

EFEITOS NA CARTOGRAFIA DEVIDO A EVOLUÇÃO DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO E ADOÇÃO DE UM REFERENCIAL GEOCÊNTRICO

Regiane Dalazoana
Sílvia Rogério Correia de Freitas

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Centro Politécnico, Jardim das Américas, Caixa Postal: 19011, CEP: 81531-990
Curitiba – Paraná – Brasil, Fone: (41) 361-3485 - regiane@geoc.ufpr.br – sfreitas@cce.ufpr.br

RESUMO

Os produtos cartográficos existentes no país, inclusive o mapeamento sistemático – cuja produção é de responsabilidade do IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico) - estão baseados em diferentes sistemas de referência e suas realizações. Os principais sistemas de referência, em função do volume de documentos existentes, são o Córrego Alegre e o SAD 69 (*South American Datum of 1969*) - este composto de uma realização inicial e da realização de 1996. As potencialidades dos métodos de posicionamento por satélites, aliado ao fato dos sistemas ditos clássicos não possuírem precisão compatível com as atuais técnicas de posicionamento, fez com que muitos países adotassem sistemas de referência geocêntricos. Neste sentido, foi criado na América do Sul o projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul e atualmente para as Américas). A futura adoção do SIRGAS como sistema oficial no Brasil segue uma tendência lógica tendo em vista os avanços tecnológicos e científicos. Porém, a adoção de um novo referencial implica na necessidade de integração dos dados e mapas já gerados ao novo sistema. Nesse sentido, procura-se com este trabalho averiguar as implicações advindas da evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e as implicações relacionadas à adoção de um novo referencial no país.

Palavras chaves: sistema de referência, transformação entre coordenadas, cartografia sistemática

ABSTRACT

The existent cartographic products in the country, including the systematic mapping - whose production is responsibility of IBGE (*Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*) and of DSG (*Diretoria do Serviço Geográfico*) - are based on different reference systems and their realisations. The principal reference systems, considering the quantity of existing products, are Córrego Alegre and SAD 69 (*South American Datum of 1969*) – the last one comprised of an initial realisation and the realisation of 1996. The potentialities of the satellite positioning methods, associated with the fact that the classical systems do not have compatible precision according to the current positioning techniques, caused many countries to adopt geocentric reference systems. In this sense it was created in South America the SIRGAS project (Geocentric Reference System for South America and now for the Americas). In Brazil, the future adoption of SIRGAS as an official system follows a logical tendency, keeping the technological and scientific progresses in sight. However, with the adoption of SIRGAS, it is necessary to integrate the data and maps already generated to the new system. In this work the implications of the evolution of the Brazilian Geodetic System and of the adoption of a new system in the country are discussed.

Key words: reference system, coordinates transformation, systematic cartography.

1. INTRODUÇÃO

Os dados e produtos georreferenciados, gerados através de levantamentos geodésicos,

topográficos, aerofotogramétricos e por Sensoriamento Remoto, que têm como base as coordenadas do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), servem como fonte de informação para uma série de aplicações na engenharia,

agricultura, meio ambiente e planejamento, entre outras. A evolução tecnológica propiciou o melhoramento dos Sistemas Geodésicos de Referência (SGR), tanto no aspecto de definição quanto no de realização do sistema. Com isso, tanto a produção cartográfica quanto a produção geodésica no Brasil, de forma geral são baseadas em diferentes sistemas de referência e suas realizações que ainda hoje coexistem no país. Estes sistemas englobam: o Sistema Córrego Alegre; o Astro Datum Chuá, que foi um sistema de referência provisório entre o Córrego Alegre e o SAD 69; e o SAD 69, realização inicial e realização de 1996. As redes geodésicas vinculadas ao SAD 69 compreendem a rede clássica de triangulação e poligonização, a rede de estações Doppler e as redes GPS de alta precisão. A tecnologia propiciava até pouco tempo a análise sobre mapas em papel; hoje a análise é baseada em um SIG (Sistema de Informação Geográfica) ou em sistemas auxiliados por computador, o que de certa forma evidenciou ainda mais as diferenças entre os diferentes SGR existentes no país (DALAZOANA, 2001).

Com o advento dos métodos de posicionamento por satélites surgiu a possibilidade de determinação simultânea das três coordenadas que definem a posição de um ponto no espaço com alta precisão. Visando aproveitar as potencialidades dos métodos de posicionamento espaciais, muitos países já adotaram sistemas de referência geocêntricos, como a Austrália, Canadá, Estados Unidos, países da Europa, África do Sul e Nova Zelândia (OSG, 2000). Neste sentido foi criado, em 1993, o projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul e atualmente para as Américas). A realização inicial (1995) é composta por 58 estações distribuídas no continente sul-americano (IBGE, 1997). Em 2000 foi realizada a campanha SIRGAS 2000 sendo ocupadas 184 estações em todo o continente americano (IBGE, 2000).

A evolução do SGB e uma possível mudança no sistema de referência no Brasil afetam produtores e usuários de Cartografia e Geodésia. Logo, o processo de transição entre os diferentes referenciais deve ser realizado de modo consistente e controlado, procurando antever problemas e indicar possíveis soluções para os mesmos. No caso da adoção do SIRGAS, a coordenação geral do processo de transição é de responsabilidade do IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Para o processo de transição foram criados oito grupos de trabalho com a finalidade de realizar estudos e pesquisas relacionados a temas específicos.

Tendo em vista os aspectos abordados anteriormente, pretende-se apresentar: a evolução do SGB e algumas implicações desta evolução; alguns dos aspectos relacionados à adoção de um referencial geocêntrico no país; alguns alertas para a comunidade usuária quanto ao uso inadequado de sistemas de coordenadas.

Salienta-se que o principal objetivo deste artigo é apresentar alguns dos resultados finais obtidos com uma dissertação de mestrado (DALAZOANA, 2001).

Além disso, este artigo trata-se de uma versão ampliada do trabalho apresentado na 2ª Mostra do Talento Científico, realizada durante o GIS BRASIL 2002 (DALAZOANA, 2002).

2. A EVOLUÇÃO DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

O *Datum* Córrego Alegre foi oficialmente adotado no país da década de 50 até a de 70. Na definição deste sistema adotou-se como superfície de referência o elipsóide Internacional de Hayford de 1924 e como origem foi escolhido o vértice Córrego Alegre (IBGE, 1996). Ainda é de importância, pois uma grande quantidade de documentos cartográficos e coordenadas estão referidos a ele. Cartas vêm sendo atualizadas e novos produtos vêm sendo gerados com base neste sistema. A realização do Sistema Córrego Alegre, de precisão compatível com as técnicas e equipamentos da época, aliada à menor precisão da densificação do apoio terrestre, faz com que os produtos gerados com base neste sistema, principalmente os em escalas grandes, apresentem qualidade inferior quando comparados aos produtos gerados com base em sistemas de referência e tecnologias mais atuais (DALAZOANA, 2001).

Historicamente existiu um sistema de referência provisório entre Córrego Alegre e SAD 69, que foi o Astro Datum Chuá, e algumas cartas foram editadas neste sistema. O Astro Datum Chuá tinha como origem o vértice Chuá, como elipsóide de referência o de Hayford e foi estabelecido com o propósito de ser um ensaio ou referência para a definição do SAD 69 (IBGE, 2001a).

No final da década de 70 o SAD 69 foi adotado como sistema de referência oficial no Brasil, adotando como modelo geométrico da Terra o Elipsóide de Referência Internacional de 1967 (porém arredondando o valor do achatamento) e como origem o vértice Chuá (IBGE, 1998). O primeiro ajuste realizado em ambiente computacional, para o estabelecimento do SAD 69, foi feito pelo *Defense Mapping Agency*, dos EUA. Neste ajuste a rede brasileira foi dividida em 10 áreas que foram processadas separadamente em função das limitações computacionais existentes na época (IBGE, 1996). Os dados de novos levantamentos geodésicos, provenientes da densificação da rede horizontal, eram ajustados considerando-se fixas as coordenadas das estações já existentes. Caso existissem erros sistemáticos nas coordenadas dos pontos já existentes, estes eram propagados através dos diversos ajustes, gerando distorções nas coordenadas das novas estações (COSTA, 1999b). Ainda na década de 70 iniciou-se no Brasil o uso do sistema TRANSIT. Em 1991 o IBGE adotou o uso do GPS (*Global Positioning System*) em seus trabalhos geodésicos (COSTA, 1999b), e a partir de 1994 começaram a ser implantadas redes estaduais GPS de alta precisão.

Em 1996 a rede horizontal do SGB, no SAD 69, sofreu um reajustamento simultâneo, tendo sido utilizadas todas as observações de natureza angular

e linear da rede dita clássica e com as observações GPS ponderadas de acordo com suas precisões. Este reajustamento resultou numa nova realização (novas coordenadas) para as estações da Rede Planimétrica Brasileira. Com os resultados do ajustamento desenvolvido foi obtido, pela primeira vez, um retrato consistente da qualidade da rede, a qual foi consideravelmente melhorada em função do tratamento global (IBGE, 1996). A partir de 1997 o IBGE começou a divulgar apenas as coordenadas na nova realização do SAD 69 acompanhadas de seus desvios-padrão, o que proporcionou ao usuário o conhecimento acerca da qualidade das coordenadas das estações. De acordo com IBGE (1996), o deslocamento horizontal das coordenadas aumenta proporcionalmente com a distância do ponto origem, chegando a atingir cerca de 15 m. As grandes diferenças (da ordem de 50 m) em estações localizadas no estado do Amapá são decorrentes de problemas encontrados nos resultados antigos.

No Brasil a transformação entre diferentes sistemas de referência se dá por meio de parâmetros de transformação, os quais são oficialmente divulgados pelo IBGE. A resolução PR número 22, de 21 de julho de 1983, traz os parâmetros de transformação entre os sistemas Córrego Alegre e SAD 69. Estes parâmetros consistem em três translações, que do sistema Córrego Alegre para o SAD 69 são:

Translação em X = -138,70 m

Translação em Y = 164,40 m

Translação em Z = 34,40 m

Esta mesma resolução traz como modelo matemático, para a transformação de coordenadas entre sistemas geodésicos de referência, as equações diferenciais simplificadas de *Molodensky*.

A Resolução número 23, de 21 de fevereiro de 1989, que altera o Apêndice II da Resolução PR – 22/83, traz os parâmetros oficiais para a transformação de WGS 84 (*World Geodetic System 1984*) para SAD 69:

Translação em X = $66,87 \text{ m} \pm 0,43 \text{ m}$

Translação em Y = $-4,37 \text{ m} \pm 0,44 \text{ m}$

Translação em Z = $38,52 \text{ m} \pm 0,40 \text{ m}$

Cabe ser ressaltado que estes parâmetros foram estimados com base na realização inicial de ambos os sistemas (SAD 69 e WGS 84) e utilizando somente a estação Chuá. Esta estação foi a única que não sofreu alteração em suas coordenadas com o reajustamento da rede planimétrica realizado em 1996, uma vez que Chuá constitui-se no Datum (ponto origem) do sistema SAD 69 e que os sistemas definidos são os mesmos. Os parâmetros estão limitados pela realização inicial do WGS 84, não tendo sofrido alteração devido à sua evolução. O WGS 84 já passou por três refinamentos desde sua realização inicial, mais informações podem

ser obtidas em SLATER; MALYS (1997) e em MERRIGAN et al. (2002).

Não existem parâmetros de transformação entre Córrego Alegre e WGS 84, devendo ser feita uma transformação intermediária para SAD 69. E, ainda, não existem parâmetros de transformação entre as duas realizações do SAD 69 uma vez que os sistemas definidos são os mesmos. Porém, é importante citar que estudos anteriores foram realizados visando a integração entre as duas materializações do SAD 69: por OLIVEIRA (1998), que apresenta uma análise onde, além de determinar parâmetros de transformação, é feita uma modelagem das distorções usando uma transformação geométrica afim geral a 12 parâmetros combinada a uma triangulação de *Delaunay*; e por COSTA (1999a), que utiliza uma transformação de similaridade no espaço tridimensional associada ao conceito de modelagem dos resíduos.

3. O PROJETO SIRGAS

A Rede de Referência SIRGAS é uma densificação do *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF) na América do Sul, via estações GPS (IBGE, 2000). Sua realização inicial é composta por 58 estações distribuídas pelo continente sul americano, sendo que 11 estão localizadas no Brasil, e destas, 9 coincidem com estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) (IBGE, 1997).

As coordenadas das estações foram determinadas por uma campanha GPS realizada no período de 26 de maio a 4 de junho de 1995 e referidas ao ITRF 94, época 1995,4 (IBGE, 1997). De 10 a 19 de maio de 2000 foi realizada a campanha SIRGAS 2000, na qual foram ocupadas 184 estações situadas em todo o continente americano (IBGE, 2000).

O WGS 84 (G873) e, mais recentemente, o WGS 84 (G1150) possuem características muito próximas ao SIRGAS, podendo ambos, para efeitos práticos da Cartografia, serem considerados como equivalentes. A denominação WGS 84 (G873) refere-se ao segundo refinamento do WGS 84, onde “G” indica o uso exclusivo da técnica GPS no refinamento e “873” refere-se a semana GPS desta solução (NIMA, 1997). Cabe comentar que o WGS 84 sofreu um novo refinamento o qual recebeu a denominação WGS 84 (G1150) e que este pode ser considerado coincidente com o ITRF2000 ao nível de um centímetro. Mais detalhes com respeito a este refinamento do WGS 84 podem ser vistos em MERRIGAN et al. (2002).

A adoção do SIRGAS segue uma tendência atual, tendo em vista as potencialidades do GPS e as facilidades para os usuários, pois, com esse sistema geocêntrico, as coordenadas obtidas com GPS, relativamente a esta rede, podem ser aplicadas diretamente aos levantamentos cartográficos, evitando a necessidade de transformações e integração entre os dois referenciais (FREITAS; DALAZOANA, 2000).

A densificação da Rede SIRGAS é feita a partir da integração das redes geodésicas individuais dos

países da América do Sul à Rede de Referência SIRGAS. A integração das redes nacionais com o SIRGAS vem sendo feita na Colômbia, com o projeto MAGNA (*MARCO Geocêntrico de Referência Nacional*) (COSTA, 2000), na Argentina com o projeto POSGAR (*POSICIONES Geodésicas ARGENTINAS*) (COSTA, 2000), no Uruguai, na Venezuela com o projeto REGVEN (IGVSB, 2001); e no Brasil, com a integração, em desenvolvimento, da rede horizontal ao SIRGAS. COSTA (1999b) indica que a adoção do SIRGAS ocasionará alterações nas coordenadas planimétricas que podem variar de 58m na região Nordeste até 73m na região Sul do Brasil (quando as coordenadas planimétricas são comparadas diretamente, sem nenhuma transformação).

Considerando os avanços obtidos através do Projeto SIRGAS, no que diz respeito a um sistema geodésico de referência unificado, a 7th *United Nations Regional Cartographic Conference for the Americas*, realizada em Nova York no período de 22 a 26 de janeiro de 2001, recomendou que os países membros das Américas integrem seus sistemas de referência nacionais a um sistema de referência compatível com o SIRGAS (ONU, 2001). Essa integração é importante, pois diversos problemas, como por exemplo, os relativos às fronteiras entre países, podem ser resolvidos mais facilmente com a adoção de um sistema geodésico de referência único, além de facilitar a integração e o intercâmbio de dados, entre outros.

4. A CARTOGRAFIA SISTEMÁTICA NO BRASIL

O mapeamento é multifinalitário, ou seja, serve a múltiplos propósitos e deve ser visto como necessário à toda a sociedade. A inexistência e/ou desatualização do mapeamento dificulta o planejamento, a distribuição de recursos e a implantação de projetos, daí a extrema necessidade da existência de um programa organizado de mapeamento sistemático (DALAZOANA, 2001). O mapeamento sistemático nacional é de responsabilidade do IBGE, juntamente com a DSG (Diretoria do Serviço Geográfico). A DSG é responsável pela normatização nas escalas de 1:250.000; 1:100.000; 1:50.000 e 1:25.000, sendo a produção do mapeamento em escala topográfica compartilhada entre a DSG e o IBGE. O IBGE, além destas, é responsável pelas escalas de 1:1.000.000 e 1:500.000.

As cartas nas escalas de 1:1.000.000, 1:250.000 e 1:100.000 abrangem grande parte do território nacional. Porém, através da Tabela 1, que relaciona o mapeamento sistemático relativo à cada escala com sua área de abrangência no território nacional, é possível observar que nem todas as escalas têm recobrimento para a totalidade do território brasileiro, ou seja, o país ainda possui grandes vazios cartográficos em determinadas escalas do mapeamento sistemático. A ausência e/ou a demora na alocação dos recursos governamentais para o mapeamento

sistemático é um dos fatores que tem dificultado a produção, tanto na DSG quanto no IBGE.

Com relação à produção cartográfica, a Tabela 2 apresenta o quantitativo de cartas produzidas em Córrego Alegre e SAD 69 (IBGE, 2000).

TABELA 1 – ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO NACIONAL

Escala	Abrangência
1 : 1.000.000	100% do território
1 : 250.000	80,72% do território
1 : 100.000	75,39% do território
1 : 50.000	13,9% do território
1 : 25.000	Distrito Federal e parte do estado de Goiás e das regiões Nordeste e Sul

Fonte: IBGE, 2001b

TABELA 2 – QUANTITATIVO DE CARTAS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO

Escala da Carta	Quantidade	
	Córrego Alegre	SAD 69
1 : 1.000.000	46	-
1 : 250.000	320	397
1 : 100.000	1115	963
1 : 50.000	1262	313
1 : 25.000	148	240
Total	2891	1913

Fonte: IBGE, 2000

Tanto a DSG quanto o IBGE estão convertendo os mapas analógicos para o meio digital. Na etapa de conversão a DSG mantém o sistema de referência do mapa analógico, sendo que atualiza as cartas com imagens de satélites (mas sem comprovação de campo) e prepara as cartas em escalas maiores do que 1:100.000 para uso em SIG. No IBGE, após a vetorização, todas as cartas são referenciadas ao SAD 69 e todas vêm sendo preparadas para uso em SIG (IBGE, 2003a). O IBGE vem atualizando parcialmente o mapeamento sistemático (principais localidades, sistema de transportes e massas d'água significativas) através de projetos internos e conveniados, como por exemplo, os projetos SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia) e FUNDESCOLA (IBGE, 2003b).

5. ASPECTOS RELACIONADOS À EVOLUÇÃO DO SGB

5.1. Comparação Córrego Alegre – SAD 69 (Realização Inicial)

Foram realizados dois testes visando analisar a validade dos parâmetros de transformação existentes entre Córrego Alegre e SAD 69 para diferentes estados brasileiros. Foi selecionada uma amostra de 129 vértices, apresentada na Figura 1, cujas coordenadas em Córrego Alegre e SAD 69 (realização inicial) foram obtidas junto ao IBGE. Não foi possível recuperar coordenadas em Córrego Alegre para todos os estados

brasileiros, desta forma foram determinados parâmetros de transformação regionais apenas para os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, São Paulo e Sergipe.

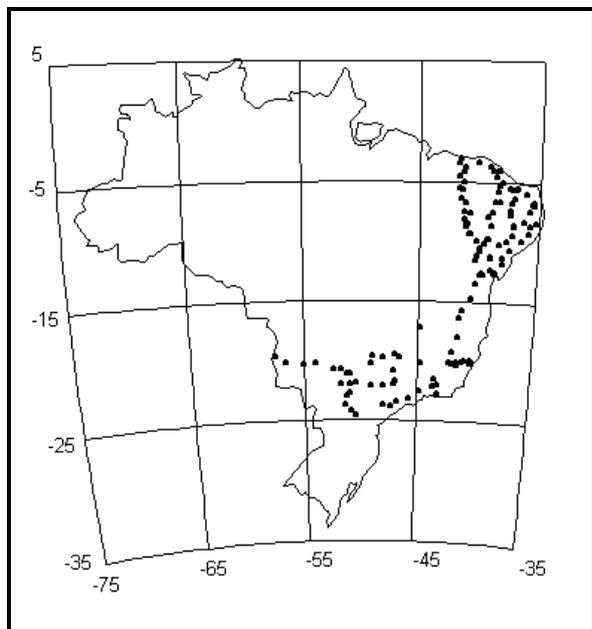


Figura 1 – Amostra de Vértices Utilizada nos Testes

O primeiro teste consistiu na determinação de sete parâmetros: três translações (ΔX , ΔY , ΔZ), três rotações (ϵ_X , ϵ_Y , ϵ_Z) e um fator de escala (δ). Esta transformação é conhecida como transformação conforme, isogonal, de similaridade ou de Helmert (LUGNANI, 1987). No espaço, o modelo matemático matricial da transformação conforme é dado pela fórmula (1):

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \delta R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde X' , Y' , Z' , X , Y , e Z são as coordenadas cartesianas dos vértices nos dois referenciais envolvidos na transformação, δ é o fator de escala e R é uma matriz de rotação ortogonal, obtida a partir da aplicação seqüencial de três rotações, como indica a fórmula (2):

$$R = R_1(\epsilon_X) R_2(\epsilon_Y) R_3(\epsilon_Z) \quad (2)$$

Neste caso, R_i ($i=1,2,3$) são as matrizes de rotação para cada um dos eixos e podem ser vistas com detalhes em (LUGNANI, 1987). Na transformação conforme no espaço, existem sete parâmetros a determinar: ΔX , ΔY , ΔZ , ϵ_X , ϵ_Y , ϵ_Z e δ , sendo necessários no mínimo três pontos com coordenadas conhecidas em ambos os sistemas. Cada ponto comum aos dois sistemas propicia um conjunto de três equações e dados três ou mais pontos, os sete parâmetros da

transformação são estimados pelo método dos mínimos quadrados. O processo de estimação utilizado foi o método paramétrico cuja formulação pode ser vista com detalhes em GEMAEL (1994).

O segundo teste consistiu na determinação de três translações, obtidas através da média aritmética das diferenças das coordenadas cartesianas entre os dois referenciais. Na seqüência apresentam-se, de forma resumida, alguns resultados parciais com respeito aos testes realizados. Os resultados completos encontram-se em DALAZOANA (2001). A Tabela 3 mostra os parâmetros regionais obtidos para o estado de São Paulo e para o estado da Paraíba.

TABELA 3 – PARÂMETROS REGIONAIS DA TRANSFORMAÇÃO CÓRREGO ALEGRE – SAD 69

ESTADO	SÃO PAULO	
7 PARÂMETROS	Valores	Desvio Padrão
Translação em X (m)	-187,781	19,459
Translação em Y (m)	214,072	13,709
Translação em Z (m)	53,926	31,303
Rotação em X (arcsec)	0,986	0,797
Rotação em Y (arcsec)	-0,842	0,849
Rotação em Z (arcsec)	-0,629	0,513
Fator de escala	1,000010	2,019 x10 ⁻⁶
3 PARÂMETROS		
Translação em X (m)	-141,994	1,817
Translação em Y (m)	166,697	2,821
Translação em Z (m)	33,346	3,022
ESTADO	PARAÍBA	
7 PARÂMETROS	Valores	Desvio Padrão
Translação em X (m)	-173,999	2,554
Translação em Y (m)	130,108	2,615
Translação em Z (m)	1,083	9,255
Rotação em X (arcsec)	0,709	0,191
Rotação em Y (arcsec)	0,770	0,245
Rotação em Z (arcsec)	-1,729	0,081
Fator de escala	0,999998	0,380 x10 ⁻⁶
3 PARÂMETROS		
Translação em X (m)	-148,455	1,063
Translação em Y (m)	176,667	0,548
Translação em Z (m)	34,318	0,127

Fonte: DALAZOANA, 2001

Verifica-se que o teste realizado com sete parâmetros fornece desvios-padrão maiores do que o teste com três parâmetros. Em alguns casos observou-se que o desvio padrão era numericamente maior que o próprio parâmetro. Ainda, as translações fornecidas pelo modelo de similaridade são muito diferentes de estado para estado e muito diferentes dos parâmetros oficiais. Este fato pode estar relacionado à geometria ruim ao se determinar sete parâmetros para cada estado, uma vez que os parâmetros são altamente correlacionados. O teste com três parâmetros forneceu desvios padrão menores, mas ainda os parâmetros diferem de estado para estado e diferem dos oficiais; porém, aproximam-se mais dos oficiais quando comparados com os resultados obtidos através do modelo de similaridade.

No caso do segundo teste, São Paulo é o que apresenta menores discrepâncias em relação aos parâmetros oficiais e o estado da Paraíba é o que fornece as maiores discrepâncias.

Considerando apenas os resultados fornecidos pelo segundo teste e comparando-os com os parâmetros oficiais, observa-se uma diferença (entre os parâmetros calculados e os oficiais) de aproximadamente 14m 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 Piauí, 15m para o Rio Grande do Norte, 7m para o Rio de Janeiro, 4m para São Paulo e 12m para Sergipe. Estas diferenças foram calculadas através da fórmula (3), onde ΔX_c , ΔY_c , ΔZ_c são os parâmetros calculados e ΔX_o , ΔY_o , ΔZ_o são os parâmetros oficiais:

$$\sqrt{(\Delta X_c - \Delta X_o)^2 + (\Delta Y_c - \Delta Y_o)^2 + (\Delta Z_c - \Delta Z_o)^2} \quad (3)$$

A Tabela 4 mostra os resultados dos dois testes quando se consideram na etapa de cálculo todas as amostras de vértices conjuntamente.

TABELA 4 – PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO CÓRREGO ALEGRE – SAD 69

7 PARÂMETROS	Valores	Desvio Padrão
Translação em X (m)	-161,231	1,695
Translação em Y (m)	162,301	2,263
Translação em Z (m)	11,247	1,822
Rotação em X (arcsec)	0,732	0,059
Rotação em Y (arcsec)	0,398	0,041
Rotação em Z (arcsec)	-0,689	0,083
Fator de escala	1,000000	0,159 x10 ⁻⁶
3 PARÂMETROS		
Translação em X (m)	-144,477	2,912
Translação em Y (m)	172,241	4,307
Translação em Z (m)	34,550	1,505

No caso da Tabela 4 observa-se que os desvios-padrão da transformação com sete parâmetros são menores do que o com três parâmetros, com exceção da Translação em Z, isto pode estar relacionado com a melhora na geometria uma vez que todos os pontos da amostra são utilizados conjuntamente. Considerando apenas os resultados fornecidos pelo segundo teste e comparando-os com os parâmetros oficiais, observa-se uma diferença de aproximadamente 10m entre eles. A diferença de 10m é significativa para as escalas maiores do que 1:50.000, se o valor de 0,2mm (na carta/mapa) for considerado como limite mínimo a partir do qual as variações começam a ser significativas. Com isso, os parâmetros oficiais de transformação entre Córrego Alegre e SAD 69 (realização inicial) podem ser utilizados para a integração Córrego Alegre – SAD 69, considerando as escalas menores ou iguais a 1:100.000, sem maiores prejuízos e sem trazer problemas sensíveis aos usuários.

As diferenças encontradas nos testes 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. Apesar dos resultados basearem-se numa amostra de vértices para cada estado, evidenciam a necessidade do estabelecimento de parâmetros mais confiáveis e/ou da adoção de uma metodologia de transformação que considere a não homogeneidade da rede. Um aspecto de extrema importância é de que os parâmetros de transformação oficiais entre Córrego Alegre e SAD 69 não vêm acompanhados de uma avaliação de sua precisão, assim como as coordenadas baseadas no Sistema Córrego Alegre. Estes aspectos dificultam o conhecimento acerca da qualidade das coordenadas e também a avaliação da implicação nos produtos cartográficos. Além disso, a recuperação das informações a partir dos produtos cartográficos torna-se duvidosa pela falta de conhecimento da qualidade do sistema (DALAZOANA, 2001). Outros resultados com respeito a comparação entre parâmetros calculados e parâmetros oficiais dos sistemas Córrego Alegre e SAD 69, bem como comparações entre as coordenadas das duas realizações do SAD 69, podem ser obtidos em DALAZOANA et al. (2002).

5.2. Comparação SAD 69 (Realização Inicial) – SAD 69 (Realização 1996)

A variação das coordenadas entre o SAD 69 (realização inicial) e o SAD 69 (realização 1996), para a rede clássica, assume amplitudes sistemáticas em relação ao vértice Chuá, como mostra a Figura 2 (IBGE, 1996). No Paraná, estas diferenças (de acordo com a Figura 2) são de aproximadamente 10m e, como já visto anteriormente, são significativas para as escalas maiores ou iguais a 1:50.000.

Na Figura 3 é feita uma comparação com relação as duas realizações do SAD 69 para a Rede GPS do Paraná. Nela são plotadas a magnitude e a orientação da resultante que indica a variação das coordenadas geodésicas, latitude e longitude, entre as duas realizações do SAD 69 para cada estação que compõe a Rede GPS de Alta Precisão do Estado do Paraná. Nesta figura é possível observar que a variação das coordenadas, em SAD 69 da Rede GPS, não apresenta caráter sistemático em todo o estado, apenas em determinadas regiões. Alguns problemas localizados são evidenciados e podem estar associados à qualidade das coordenadas SAD 69 (realização inicial) de alguns vértices.

A menor variação foi de 3,31 cm na estação Querência do Norte, sendo que a maior variação foi de 261,61 cm na estação Clevelândia. A variação na coordenada do vértice em Querência do Norte não é significativa para a Cartografia, porém a variação na coordenada do vértice em Clevelândia é significativa para as escalas maiores ou iguais a 1:10.000.

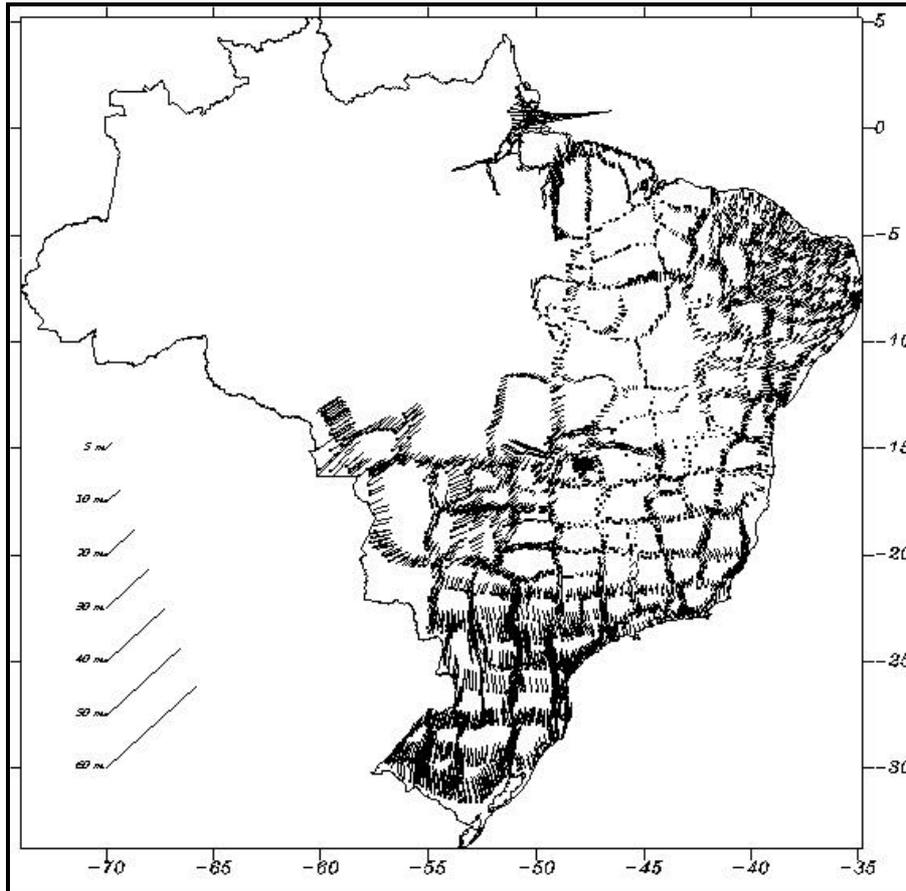


Figura 2 - Vetores de Variação das Coordenadas Horizontais da RGB SAD 69 (1996) Relativamente ao SAD 69 (Realização Inicial) Fonte: IBGE, 1996

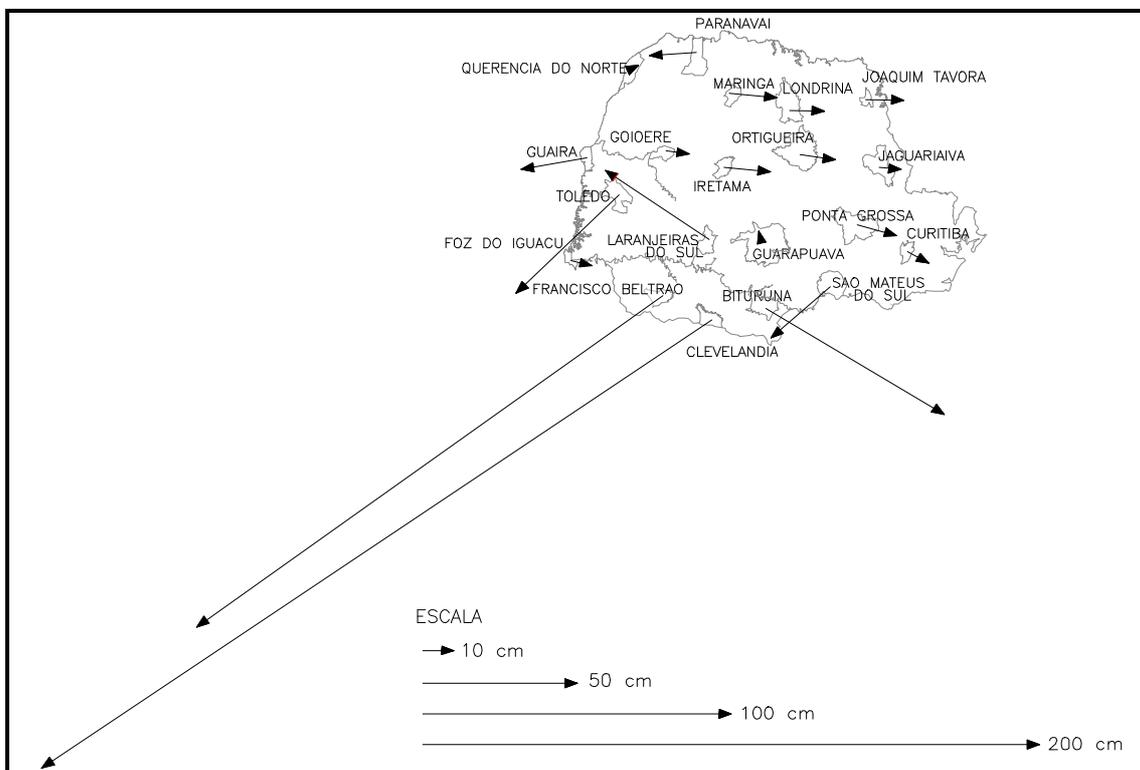


Figura 3 - Vetores de Variação das Coordenadas Geodésicas Entre as Duas Realizações do SAD 69 para a Rede GPS do Estado do Paraná

Um dos problemas que surgiram após o reajustamento da Rede Geodésica Brasileira (RGB) foi a implantação, por parte da comunidade usuária e de instituições e empresas voltadas à produção cartográfica, de novas redes GPS e de redes empregadas para o apoio à Cartografia, a partir de pontos da rede GPS do estado e a partir de pontos da rede clássica. Além disso, estas novas redes são vinculadas ora à antiga, ora à nova realização do SAD 69. Em vista desta situação, é justificada a preocupação no sentido de caracterizar cada uma das redes e produtos derivados, principalmente pela falta de conhecimento dos usuários relativamente às transformações ocorridas. A caracterização dos produtos derivados possibilitaria respostas, por exemplo, às seguintes questões: a) a que rede e a que realização do SAD 69 o produto está vinculado? b) qual a precisão esperada para o produto? Além disso, a caracterização é de extrema importância no contexto da transição para um referencial geocêntrico, uma vez que as variações entre as duas realizações do SAD 69 são significativas para determinadas escalas em função da rede de referência empregada (rede clássica ou rede GPS) (DALAZOANA, 2001).

5.3. Aspectos Relacionados à Adoção do SIRGAS

Salienta-se que a adoção de um referencial geocêntrico está sendo amplamente discutida, principalmente pelos Grupos de Trabalho (GT) envolvidos no processo de transição. Neste sentido, o GT 2, responsável pela definição e materialização do novo sistema geodésico de referência, realizou um encontro na UNESP, em Presidente Prudente, no período de 16 a 19 de julho de 2001, com o objetivo principal de definir o referencial geocêntrico a ser adotado pelo Brasil em substituição ao sistema SAD 69. Segundo o documento PROTOCOLO DE PRESIDENTE PRUDENTE, cujo objetivo é divulgar o contexto técnico discutido pelo GT no encontro, a proposta do GT 2 é pela adoção do Sistema SIRGAS, visto que:

- a) atende aos mais diferentes tipos de aplicações, englobando usuários não especialistas e especialistas em Geodésia;
- b) é compatível com os sistemas ditos internacionais;
- c) permite que as coordenadas geodésicas sejam utilizadas de forma simples e objetiva.

Considerando que para a Cartografia o WGS 84 pode ser considerado equivalente ao SIRGAS, o novo referencial proporciona aos usuários o emprego das coordenadas diretamente oriundas do rastreamento GPS, sem a necessidade de realização de qualquer tipo de transformação entre referenciais.

A adoção de um novo referencial deve considerar todos os sistemas que coexistem no país, justificando as análises baseadas em Córrego Alegre e nas duas realizações do SAD 69. A transição do SAD 69 (realização 1996) para o SIRGAS deve ser um processo mais simples, uma vez que a rede foi

reajustada simultaneamente, tendo caráter global e tendo o controle de medidas GPS, o que reduziu as distorções existentes na realização anterior. Porém, a maior parte dos produtos cartográficos em SAD 69 está vinculada à antiga realização e, no caso da cartografia sistemática, a maior parte está referenciada a Córrego Alegre.

A possível adoção do SIRGAS no Brasil provocará a alteração nas coordenadas das estações do SGB. Isto torna necessária a integração das redes planimétricas existentes, que estão baseadas nos sistemas Córrego Alegre, Astro datum Chuá e SAD 69 (realização inicial e realização 1996) com o SIRGAS, além da necessidade de compatibilizar os produtos cartográficos existentes. O desenvolvimento de procedimentos de transformação para o Astro Datum Chuá se justifica apenas se existirem produtos cartográficos (coordenadas e mapas) referenciados a ele e que sejam utilizados por usuários, uma vez que o mesmo foi um sistema provisório utilizado no estabelecimento do SAD 69.

A transformação dos documentos cartográficos para o meio digital permite uma transformação maciça dos dados. Porém o processo de conversão dos mapas analógicos para o meio digital é lento e gradual.

Os dados obtidos a partir de Sensoriamento Remoto adquiriram alta resolução espacial como, por exemplo, os obtidos a partir de imagens IKONOS, que possuem uma resolução espacial de até 1 m. Como os pontos da RGB e sua densificação são muitas vezes utilizados como apoio para a geração dos produtos obtidos a partir de sensores orbitais, a falta de conhecimento com respeito às deformações da rede e a falta de parâmetros de transformação que atendam a esta precisão fazem com que o produto gerado perca em qualidade.

Outra questão importante e que também deve ser discutida, aproveitando a discussão acerca da adoção de um novo referencial no país, é quanto a atualização das cartas. Muitas decisões (sociais, econômicas, culturais, políticas, etc.) são auxiliadas pela existência de mapeamento e por sua condição de atualização. Algumas informações, tais como a data, a escala, o ano da última edição, etc., são de extrema importância para o planejamento de projetos. As cartas analógicas no Brasil foram produzidas nas décadas de 60, 70 e 80, com algumas exceções da década de 30. Conforme mencionado na seção 4, a DSG, no processo de conversão do mapeamento sistemático para o meio digital, vem atualizando suas cartas com o auxílio de imagens orbitais, sem comprovação de campo. O IBGE também vem convertendo as cartas do mapeamento sistemático para o meio digital, realizando atualização parcial através do levantamento de feições em campo por GPS.

Um outro aspecto importante é a falta de cobertura de algumas escalas do mapeamento sistemático em território nacional. As cartas em escala 1:50.000 cobrem cerca de 14% do território, enquanto que as cartas em escala 1:25.000 abrangem o Distrito

Federal e parte do Estado de Goiás e das regiões Nordeste e Sul. Estes dados devem ser considerados quando da avaliação da relação custo/benefício entre:

- a) efetuar o mapeamento em SAD 69 e realizar a transformação da carta ao sistema SIRGAS; ou
- b) realizar o mapeamento e gerar o produto diretamente em SIRGAS (DALAZOANA, 2001).

Quanto às cartas em Córrego Alegre, detectou-se através dos testes realizados que os parâmetros oficiais não atendem às escalas maiores ou iguais a 1:50.000. Uma das alternativas visando sua integração ao SIRGAS seria a de gerar parâmetros de transformação locais (diretamente de Córrego Alegre para SIRGAS) que seriam aplicados aos produtos. O desvio obtido para os parâmetros é um indicativo das distorções existentes e possibilita a análise de aproveitamento dos produtos. Outra possibilidade seria a de gerar uma metodologia de conversão que considerasse as distorções existentes na rede clássica. É importante salientar que o Grupo de Trabalho 3 (GT 3), do Projeto Mudança do Referencial Geodésico, tem por objetivo realizar este tipo de análise e gerar os procedimentos de conversão, ou seja, determinar parâmetros de conversão, desenvolver aplicativos, etc (IBGE, 2001c).

Atualmente existem diversas aplicações que requerem o uso de informações espaciais, disponibilizadas através de mapas. Além disso, as bases cartográficas vêm sendo transformadas para o meio digital, o que propicia seu uso pelos Sistemas de Informações Geográficas e por sistemas auxiliados por computador. Estes dois fatos, além de facilitarem o intercâmbio de dados com outros aplicativos que manipulam a informação espacial, tornam importante o conhecimento do padrão de qualidade posicional destas bases. O padrão para a identificação da qualidade dos dados espaciais determinado para o mapeamento em território nacional é o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), estabelecido pelo Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984 (LEAL, 1998). Este decreto permite classificar as cartas em classes A, B ou C e indica que a classificação deverá constar no rodapé da carta. Isto permite que o usuário conheça a qualidade e as restrições do produto. No contexto da evolução do SGB e adoção de um referencial geocêntrico, quanto à viabilidade da translação de *grid* (proposta apresentada pelo IBGE para adequar a cartografia existente ao SIRGAS), deve ser considerado que se o erro inerente à construção da carta for maior que o deslocamento posicional da área mapeada não existe a necessidade da translação de *grid*. Para que essa análise seja possível é necessário que a carta esteja classificada e que sejam conhecidos o sistema de referência e a materialização à qual a carta está referenciada (DALAZOANA, 2001).

6. CONCLUSÕES

Pelos testes realizados, verificou-se a necessidade de reavaliar os parâmetros de transformação entre Córrego Alegre e SAD 69, além de

analisar uma metodologia de transformação que considere a não homogeneidade da rede. Os testes indicaram que os parâmetros oficiais entre o Sistema Córrego Alegre e o Sistema SAD 69 podem ser utilizados para as escalas menores ou iguais a 1:100.000 sem causar maiores prejuízos aos usuários. Mas devem ser reavaliados para a integração das cartas em escalas maiores ou iguais a 1:50.000.

Apesar de não existirem parâmetros de transformação entre as duas realizações do SAD 69, verifica-se que a alteração de aproximadamente 10m nas coordenadas dos vértices da rede clássica (no estado do Paraná) é significativa para escalas maiores ou iguais a 1:50.000.

Considerando a variação das coordenadas entre as duas realizações do SAD 69 para a Rede GPS de Alta Precisão do Estado do Paraná, verifica-se que a alteração não tem caráter sistemático em todo o estado. Na estação Clevelândia a variação é significativa para as escalas maiores ou iguais a 1:10.000. Conforme abordado no item 5.2, os problemas localizados podem estar associados à qualidade das coordenadas SAD 69 (realização inicial) de alguns vértices.

É importante caracterizar cada uma das redes e produtos derivados, pois as diferenças entre as realizações do SAD 69 são significativas para determinadas escalas em função da rede de referência empregada (rede clássica ou rede GPS).

A transição do referencial atualmente utilizado no país, SAD 69 (realização 1996), para um referencial geocêntrico (SIRGAS) provocará a alteração de todas as coordenadas que materializam o SGB. A alteração média no contexto nacional é de aproximadamente 65m, afetando as cartas em escala maior ou igual a 1:250.000.

Quanto à utilização dos dados cartográficos, o processamento e a representação digital dos dados desta natureza trouxe uma série de benefícios na forma de análises rápidas, precisas e sofisticadas. Mas ao mesmo tempo revelou algumas fragilidades, como por exemplo, o uso inadequado de sistemas de coordenadas por parte da comunidade usuária leiga que trabalha com dados baseados em sistemas de coordenadas de diferentes características e realizações sem maiores cuidados. O uso inadequado das coordenadas pode, por exemplo, acarretar em resultados não acurados e em decisões equivocadas.

Existindo a opção de adoção do SIRGAS como referencial oficial, é importante evidenciar a necessidade de que todas as instituições, produtores e usuários de Geodésia e Cartografia optem pela adoção do novo referencial, procurando garantir a unicidade de suas informações e a integridade com o SGB.

Salienta-se a importância do desenvolvimento, apresentação e documentação de estudos referentes aos impactos provocados pela evolução do SGB, bem como pela possível mudança de referencial no país, além da necessidade de geração de produtos que facilitem a transição. Este trabalho apresenta apenas alguns dos aspectos relacionados à evolução do SGB e adoção de um novo referencial, e que devem continuar em

discussão na tentativa de analisar e gerar soluções aos problemas que surgem em decorrência das alterações no SGR do país.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, M. F. **Uma Proposta para Compatibilização entre Referenciais Geodésicos**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999a.
- COSTA, S. M. A. **Integração da Rede Geodésica Brasileira aos Sistemas de Referência Terrestres**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999b.
- COSTA, S. M. A. **Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro – Razões e Impactos com a Mudança do Referencial**. I Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <ww1.ibge.gov.br/home/geografia/geodésico/srg/histórico/evolução.pdf>.
- DALAZOANA, R. **Implicações na Cartografia com a Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura Adoção do Sirgas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.
- DALAZOANA, R. Implicações na Cartografia com a Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura Adoção do Sirgas. In: 2ª Mostra do Talento Científico - GIS BRASIL 2002, Curitiba, 2002. **Anais**. Curitiba, 2002.
- DALAZOANA, R.; FREITAS, S. R. C. de; CRIOLLO, A. R. T. **Integração entre Referenciais Geodésicos – Problemas Decorrentes das Distorções na Rede Clássica Brasileira**. In: Série em Ciência Geodésicas - Volume 2 - Pesquisas em Ciências Geodésicas. Curitiba, 2002.
- FREITAS, S. R. C. de; DALAZOANA, R. Implicações Cartográficas e Cadastrais das Diferentes Realizações do SAD 69 no Paraná. In: IV Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis, 2000. **Anais**. Florianópolis, 2000.
- GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro, 1996.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul**. Relatório Final. Grupos de Trabalho I e II. Rio de Janeiro, 1997.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos**. Coletânea das Normas Vigentes. Rio de Janeiro, 1998.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Proposta preliminar para a adoção de um referencial geocêntrico no Brasil**. Documento preliminar – texto para discussão. Rio de Janeiro, 2000.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistemas de Referência**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/ibge/geografia/geodésico/default.shtm>>. Acesso em 3 abr. 2001a.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento Topográfico**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/disseminação/produto/serviço/catálogo/documcartog/sumáriodocumento/decartografia.shtm>>. Acesso em 28 mar. 2001b.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Grupos de Trabalho e suas Atribuições**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/ibge/geografia/seminar/seminário.html>>. Acesso em 3 abr. 2001c.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapoteca Topográfica Digital**. Metodologia da Validação. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 20 fev. 2003a.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Relatório de Gestão, Exercício 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/relatgestao.shtm>>. Acesso em 20 fev. 2003b.
- IGVSB. Instituto Geográfico de Venezuela Simon Bolívar. **Sirgas – Evolucion y Estado Actual em Venezuela**. In: IAG Symposium on Vertical Reference Systems, 20-23 de fevereiro de 2001, Cartagena, Colômbia.
- LEAL, E. M. **Análise da Qualidade Posicional em Bases Cartográficas Geradas em CAD**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1998.
- LUGNANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba: Impresso na Imprensa Universitária da UFPR, 1987.

MERRIGAN, M. J.; SWIFT, E. R.; WONG, R. F.; SAFFEL, J. T. **A Refinement to the World Geodetic System 1984 Reference Frame.** Presented at the Institute of Navigation, ION-GPS-2002. Disponível em: <www.nima.mil/GandG/sathtml/IONReport8-20-02.pdf>.

NIMA. National Imagery and Mapping Agency. **Department of Defense World Geodetic System 1984.** NIMA TR 8350.2, Third Edition, 1997.

OLIVEIRA, L. C. de. **Realizações do Sistema Geodésico Brasileiro Associadas ao SAD 69 – Uma Proposta Metodológica de Transformação.** Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

ONU. **7th United Nations Regional Cartographic Conference for the Americas.** New York, 22-26 Janeiro, 2001. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/ONU2001.pdf>

OSG. OFFICE OF SURVEYOR GENERAL. **A Proposal for Geodetic Datum Development.** OSG TR2.1. 10 June 1998. Disponível em: <<http://www.linz.govt.nz>>. Acesso em 2 jun. 2000.

SLATER, J; MALYS, S. WGS84 – Past, Present and Future. In: BRUNNER, F. K. (Ed.). **Advances in Positioning and Reference Frames.** IAG Symposia, vol. 118, 3-9 de setembro de 1997, Rio de Janeiro, Brasil. Berlin: Springer-Verlag, 1998.