

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DOS SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERÊNCIA NO BRASIL

Compatibility evaluation of Geodetic Reference Systems in Brazil

SILVIO ROGÉRIO CORREIA DE FREITAS¹

DEISE REGINA LAZZAROTTO²

CLÁUDIA ROBBI SLUTER³

ROBERTO TEIXEIRA LUZ⁴

Autores vinculados ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – Setor de Ciências da Terra da UFPR – Curitiba - Caixa Postal 19001 – CEP 81.531-990

¹sfreitas@ufpr.br

²drlazzarotto@ig.com.br

³robbi@ufpr.br

⁴ robtluz@ufpr.br - Licenciado do IBGE

RESUMO

A história referente às realizações geodésicas no Brasil, tem registrado sucessivas mudanças de referenciais geodésicos com épocas de concepção distintas entre si. Os referenciais distintos marcam o que pode ser denominado de “geração geodésica” dos Sistemas Geodésicos de Referência (SGR) em função dos seus caracteres diferenciados do ponto de vista científico e tecnológico. Estes aspectos implicam na necessidade da parametrização da transformação de coordenadas entre diferentes gerações de SGRs. Porém, por diversas razões no Brasil, a transformação nem sempre pode ocorrer de forma adequada. Assim, os documentos cartográficos brasileiros devem ser submetidos a uma análise referente à “geração geodésica” a que pertencem e, dependendo da finalidade dos seus usos, devem ser avaliados a respeito da compatibilidade entre os SGRs utilizados na realização dos documentos, evidenciando compatibilidades e limitações com os referenciais de geração mais atual.

Palavras chaves: Sistema Geodésico de Referência - SGR; Definição e realização de SGRs; Compatibilidade entre SGRs; Geração Geodésica; Idade Tecnológica.

Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 10, nº 2, p.225-239, jul-dez, 2004.

ABSTRACT

Different geodetic realizations in Brazil have changed the geodetic references along different periods of time. There differences can define what it is proposed here to name “geodetic generations” of the Geodetic Reference Systems (GRS). Each “geodetic generation” is defined according to its scientific e technological development related to every historical period of time. The different characteristics of every “geodetic generation” demand modeling the coordinates transformation between two different GRS. However, due to several reasons, sometimes those transformations cannot be developed under suitable conditions. Therefore, the Brazilian cartographic documents must be analyzed according to their “geodetic generation”, that is, the GRS used at the time the cartographic documents were generated. Besides, when some cartographic document is to be generated based on different GRS, the compatibility between those GRS must also be evaluated, in order to make their limitations and compatibilities clear in relation to the most modern generation of GRS.

Key words: Geodetic Reference System – GRS; Definition and realization of GRS; Compatibility between GRS; Geodetic generation; Technological age.

1. INTRODUÇÃO

Lazzarotto (2003, apud LAZZAROTTO et al. 2004) introduziu o conceito de idade tecnológica para análise de produtos cartográficos. Os SGRs são definidos por parâmetros e convenções tais que permitem a orientação de uma superfície de referência, usualmente elipsoidal, relativamente à Terra. Qualquer que seja o SGR adotado em um dado mapeamento, em princípio, deve ser sempre possível a redução das coordenadas dos pontos mapeados à superfície de referência correspondente, e portanto, matematicamente, a transformação de coordenadas torna-se possível de um sistema de referência para qualquer outro definido de forma equivalente. Porém, embora definidas as transformações matemáticas, há que se considerar as dificuldades e limitações práticas, em virtude das particularidades envolvidas na realização e manutenção física de cada um destes referenciais. Diante disto é altamente recomendável o conhecimento das limitações inerentes aos processos de transformação de coordenadas e a compatibilização dos dados espaciais provenientes de mapeamentos fundamentados em diferentes “gerações geodésicas”, ou seja, elaborados em diferentes contextos tecnológicos e científicos. Diferentes SGRs só podem ser integrados com a realização de pontos comuns entre eles em quantidade e distribuição a permitir a modelagem das transformações e distorções. Para as diferentes gerações geodésicas dos SGRs utilizados no Brasil isto nem sempre ocorre, resultando em dificuldades práticas no que se refere à comparação ou integração de documentos baseados em diferentes SGRs. Estes fatores têm implicações na utilização de produtos cartográficos ou geração de novos produtos vinculados a bases cartográficas existentes. Assim, o estudo de custo-

benefício sempre deve preceder a aplicação de produtos cartográficos nestas condições.

Entendendo-se ser útil uma avaliação relativa das dificuldades inerentes à “geração geodésica” dos produtos cartográficos, buscou-se obter uma quantificação da compatibilidade entre os SGRs antigos, e também suas compatibilidades com o SIRGAS - 2000 (FORTES, 2004), adotado como o sistema de geração mais atual. A avaliação da compatibilidade entre estes Sistemas visa facilitar a condução de atividades como: o estabelecimento de novas Bases Cartográficas; eventuais decisões por re-mapeamento; ou por atualização das feições cartográficas já mapeadas. O desconhecimento das características dos sistemas geodésicos, de suas realizações, e particularidades de sua manutenção implicam, principalmente, no comprometimento da acurácia posicional das feições mapeadas, trazendo prejuízos na eficácia de utilização do mapa e até mesmo inviabilizando processos de atualização ou de mapeamento de áreas contíguas às já mapeadas.

2. SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERÊNCIA – DELIMITAÇÃO CONCEITUAL NESTE ESTUDO

Na atualidade, um Sistema Terrestre de Referência tridimensional tal como o International Terrestrial Reference System - ITRS é definido com base num conjunto de parâmetros e convenções que permitem sua materialização (ou realização) via uma Rede Terrestre de Referência, tal como o International Terrestrial Reference Frame – ITRF o qual conta com cerca de 800 pontos em cerca de 400 localidades distribuídas em todos os continentes cujas coordenadas são dadas em um referencial cartesiano com origem no geocentro e solidário com a Terra, com orientação espacial dada para uma determinada época por um conjunto de parâmetros denominados de “Earth Orientation Parameters – EOP” (ALTAMIMI et al., 2002). À realização da rede é possível associar de forma unívoca uma superfície de referência, usualmente um elipsóide de revolução ajustado às dimensões da Terra, e devidamente orientado. Assim obtém-se uma estrutura geodésica na forma dos SGRs habitualmente empregados em Cartografia, relativamente à qual é possível a atribuição das coordenadas latitude, longitude e altitude elipsóidicas a pontos sobre a superfície física. Então, a materialização ou realização do SGR pode se dar com base em um conjunto de pontos implantados sobre a superfície física da Terra cujas latitudes, longitudes e altitudes elipsóidicas são conhecidas. A forma atual de obtenção de um SGR pode assim fornecer referenciais análogos àqueles obtidos na forma clássica, onde a orientação do elipsóide relativamente a Terra era procedida via um conjunto de parâmetros estimados ou ainda arbitrados em um único ponto Datum e a partir deste eram transportadas coordenadas via uma estrutura geodésica, tais como o Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, em suas duas gerações mais conhecidas que têm limitações impostas principalmente pelos aspectos tecnológicos da época de suas

concepções e realizações: Datum Córrego Alegre arbitrário e elipsóide de Hayford 1909 também denominado de Elipsóide de Referência Internacional 1924; e o South American Datum - SAD 69 baseado no Elipsóide de Referência Internacional 1967 com Datum Chuá parcialmente arbitrário, já que baseou-se em integração com outras redes e melhor ajuste continental (FISHER, 1973). Ao SAD 69 foi associado um modelo geoidal dando-lhe característica tridimensional, já que mesmo em caráter precário promovia uma integração com a rede vertical. Ambas as redes (Córrego Alegre e SAD-69) foram elaboradas de forma distinta das gerações de rede vertical, que no Brasil foram predominantemente vinculadas ao Datum Vertical de Torres e ao Datum Vertical de Imbituba.

Com a diversidade de possíveis “gerações geodésicas” apresentadas no parágrafo anterior, as redes podem ser divididas em três categorias: redes verticais com predomínio da altitude como objeto; redes horizontais com predomínio da latitude e longitude geodésicas como objeto; e redes tridimensionais cujos objetos podem ser coordenadas cartesianas tridimensionais tais como no ITRF ou latitude, longitude e altitude elipsóidicas com precisões posicionais equivalentes, as quais têm forte dependência das redes gravimétricas que são base para a determinação do modelo geoidal. Enquanto a latitude e longitude elipsóidicas têm uma aproximação bastante grande com um sentido natural (ou físico), podendo ser adequadamente empregadas na Cartografia, as altitudes com significado físico são as mais demandadas em detrimento das elipsóidicas, daí a necessidade da existência de um modelo geoidal satisfatório para obtenção de altitudes relativas ao Geóide a partir das elipsoidais e vice-versa.

A evolução tecnológica vem trazendo novas concepções aos SGRs, mudando tanto sua definição como sua realização ou materialização. Ou seja, novos ajustes são feitos tanto na determinação de um elipsóide, relativamente às dimensões da Terra e devida orientação (definição), como também na implantação de pontos sobre a superfície da Terra com coordenadas conhecidas. Em nosso país, pode ser percebida a complexidade da questão se considerado que instituições e empresas voltadas à produção cartográfica, bem como os usuários de dados espaciais, utilizam informações baseadas nos diferentes sistemas de referência e respectivas realizações que coexistem no Brasil (DALAZOANA, 2001, p.7, 15,16).

3. SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO – BREVE HISTÓRICO

O estabelecimento do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) foi iniciado na década de 40, e caracteriza-se pelo conjunto de estações que representam o controle horizontal e vertical necessários à localização e representação cartográfica no território brasileiro. A Rede Gravimétrica Brasileira foi desenvolvida, até recentemente, de forma independente destas redes posicionais. O estabelecimento e manutenção do SGB são atribuições da Coordenação de Geodésia do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). A materialização do Sistema Geodésico Brasileiro dá-se através das Redes Geodésicas Brasileiras (RGB): Rede

Horizontal, Rede Vertical e Rede Tridimensional (Rede Nacional GPS, Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC), que são formadas pelos conjuntos de estações e coordenadas geodésicas (DALAZOANA, 2001, p.19).

Segundo o IBGE (2004), o desenvolvimento do SGB, composto pelas redes vertical, horizontal e gravimétrica, pode ser dividido em duas fases distintas: uma anterior e outra posterior ao advento da tecnologia do rastreio de satélites artificiais com fins de posicionamento. Inicialmente, na década de 70, eram observados os satélites do Sistema TRANSIT. No final da década de 80, o IBGE, através do seu então Departamento de Geodésia, criou o projeto GPS com o intuito de estabelecer metodologias que possibilitassem o uso pleno da tecnologia do Sistema NAVSTAR/GPS (Navigation Satellite with Time and Ranging / Global Positioning System), que se apresentava como uma evolução dos métodos de posicionamento geodésico até então usados, mostrando-se amplamente superior nos quesitos rapidez e economia de recursos humanos e financeiros.

O SGB, cuja implantação foi iniciada em 17 de maio de 1944, visou a unificação de diversos referenciais locais e regionais até então existentes no Brasil, com uma pluralidade de Datum em distintos pilares astronômicos. Assim, o SGB tem sido utilizado para atender as necessidades de informações posicionais para diversos fins, como apoio ao mapeamento, demarcação de unidades político-administrativas, obras de engenharia, regulamentação fundiária, posicionamento de plataformas de prospecção de petróleo, delimitação de regiões de pesquisas geofísicas, etc. Os métodos denominados clássicos (triangulação, trilateração e poligonação geodésica), utilizados até 1990, foram responsáveis pela determinação de coordenadas em um conjunto de vértices, cuja ocupação era imprescindível na materialização do SGB. O advento do NAVSTAR/GPS, com desempenho muito superior aos métodos clássicos, em rapidez e precisão, provocou a revisão das características do SGB. Em 1991, o IBGE passou a empregar exclusivamente o GPS para a densificação da RGB. Com esta nova metodologia passou a ser constituída a Rede Nacional GPS, uma estrutura geodésica de alta precisão no contexto Nacional. A operacionalização da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) em 1996 implantou o conceito de redes ‘ativas’ através do rastreio contínuo de satélites do GPS. A extensão da potencialidade do uso do GPS e a nova concepção de SGR global fundamentaram a implantação do projeto “Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul – SIRGAS” em 1993 (IBGE, 1997). A rede deste Sistema regional foi estabelecida como uma densificação do ITRF 1994. Na atualidade o projeto SIRGAS, agora “Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas”, vem sendo desenvolvido com a participação de todos os países Sul Americanos, Estados Unidos da América e México e diversos países da América Central. O escritório de coordenação do Projeto SIRGAS situa-se no IBGE-RJ e tem suporte da International Association of Geodesy – IAG assim como de outros organismos e instituições internacionais. No contexto deste projeto foi realizada uma campanha inicial de observações conjuntas

em 1995 para o estabelecimento de uma rede geodésica continental na América do Sul com 57 pontos, cujas precisões posicionais foram melhores que 2cm, constituindo-se na época na melhor densificação do ITRF em todo o mundo. Visando apoiar as redes nacionais sul americanas os resultados foram oficializados em 1997 e já em 2000 nova campanha foi realizada agora envolvendo as três Américas, e de mais 180 pontos. A integração entre a rede de referência SIRGAS com as redes existentes em outras regiões do planeta está garantida pela existência no continente de estações de operação contínua pertencentes à Rede Global do International GPS Service for Geodynamics – IGS (IBGE, 2004).

O desenvolvimento do projeto SIRGAS compreende as atividades necessárias à adoção no continente de sistema de referência de precisão compatível com as técnicas atuais de posicionamento, notadamente as com o GPS. Considerando a proliferação do uso do GPS, referir estes novos levantamentos a uma estrutura geodésica existente, implantada basicamente por triangulação, poligonação, trilateração, etc., e cuja precisão é pelo menos dez vezes pior que a fornecida facilmente com o GPS, implica, no mínimo, em desperdícios de recursos. Além disto, a multiplicidade de sistemas geodésicos clássicos, adotados pelos países sul-americanos, dificulta em muito a solução de problemas tecnicamente simples, tais como a definição de fronteiras internacionais. Por outro lado, a adoção do ITRF como sistema de referência, além de garantir a homogeneização de resultados internamente ao continente, permitirá uma integração consistente com as redes dos demais continentes, contribuindo cada vez mais para o desenvolvimento de uma geodésia “global”.

Cabe ser lembrado que o WGS-84, com uma precisão inicial de 1,5 m, sofre sucessivas melhorias com suas realizações G730, G870 até a materialização mais recente, G1150, que pode ser considerada como totalmente compatível com o ITRF-2000, quando consideradas as aplicações cartográficas.

A questão referente à utilização de informações cartográficas de “gerações geodésicas” distintas, ou seja, elaboradas em diferentes SGRs, gera a necessidade de transformação dos parâmetros geodésicos para um único referencial geodésico. Logo, é fundamental o conhecimento das características e restrições de cada um destes sistemas.

Com base na concepção de D. R. Lazzarotto, de Indicadores a serem tratados pela Lógica Fuzzy (LAZZAROTTO, et.al, 2004), apresentam-se, na Tabela 01, os principais SGRs horizontais e tridimensionais adotados no Brasil, com suas mais significativas implicações às representações cartográficas. Assim, com base na caracterização da geração geodésica de cada um dos SGRs, foi estabelecida uma classificação relativa referente à compatibilidade que cada um dos SGRs tem com o SIRGAS-2000. Esta classificação conta com as seguintes classes nominais: IMPOSSÍVEL, MUITO PEQUENA, PEQUENA, MÉDIA, GRANDE, MUITO GRANDE, e TOTAL, que são associadas às classes quantitativas variando de 0 a 7,

as quais visam diferenciar quantitativamente o grau de facilidade de migração existente em cada um dos SGRs antigos para o SIRGAS-2000.

Tabela 1: Classificação dos SGRs quanto à compatibilidade com o SGR de “Geração Geodésica” mais atual e vinculado ao SGB - SIRGAS 2000.

SGR	Origem (Datum Horiz.)	Vigênci-a	Matéria- lização	Parâm. Transf. para:	** Obs.	Compatib.SI RGAS 2000
Concepção Anterior ao SGB	Vértices Locais	1939 - 1950	Elipsóide Hayford (1924)	Não determi- nados	<i>1, 2, 3, 4</i>	Impossível 0
Córrego Alegre (CA)	Vértice Córrego Alegre	Décadas de 50, 60 e 70	Elipsóide Hayford (1924)	SAD-69	<i>1, 4, 5, 6</i>	Pequena 2
Chuá Astro Datum	Vértice: Chuá	Década de 60	Elipsóide Hayford (1924)	-	<i>3, 4, 6</i>	Muito Pequena 1
SAD-69 (Original)	Vértice Chuá	De 1969 a 1996,5	Elip.Ref. Int.(1967)	CA NSWC9Z2 WGS-84	<i>7, 11</i>	Média 3
NWL10-D NNSS (TRANSIT)	Vértice Chuá	1970	NSWC 9Z2	SAD-69	8	Média Grande 4
WGS-84 (Original)	Vértice Chuá		WGS-84	SAD-69	9	Grande 5
WGS-84 (G-730)	Vértice Chuá	1991	WGS-84 (G-730)	-	10	Muito Grande 6
WGS-84 (G-873)	Vértice Chuá	1994	WGS-84 (G-873)	-	10	Muito Grande 6
SAD-69 (1996)	Vértice Chuá	1996	WGS-84 (G-873)	SIRGAS	<i>11, 12</i>	Grande 5 RedeCompl
Reajustado					<i>11</i>	Muito Grande 6 Rede GPS Alta Prec.
SIRGAS (GPS) WGS-84(G- 1150)	Estações da RBMC	2004*	Elipsoide GRS-80 (ITRF- 2000)	SAD-69 SAD-69 (96)	13	Total 7

* vigência do SIRGAS: novembro de 2004 somente para a rede SAD-69 (1996) em pontos homologados pelo IBGE (para transações cadastrais).

** A descrição das observações, dos Referenciais Geodésicos (Tabela 01), segue abaixo:

- 1- Qualidade posicional desconhecida. (OBS.: os parâmetros de transformação oficiais entre CA e SAD-69, não vêm acompanhados de uma avaliação de sua precisão, assim como as coordenadas baseadas no Sistema CA.)
- 2- Inexistência de registros referentes às observações originais (cadernetas) e descrição completa dos métodos.
- 3- Inexistência de grande parte dos pontos materializados.
- 4- Alcance espacial limitado e deficiência de orientação. Isto afeta a precisão de bases longas e da propagação de coordenadas. Os parâmetros de transformação só devem ser aplicados para regiões próximas do Datum, em função do produto pretendido e precisão admissível. Em bases longas, por exemplo, 2000 km (ex. Córrego Alegre a Chuí), a precisão estimada para bases referenciadas em Córrego Alegre podem apresentar um erro de até 40 metros.
- 5- Inexistência de grande parte dos pontos materializados, mas, em algumas regiões é possível se recuperar um número suficiente de pontos e se estabelecer uma ocupação com GPS tal que sejam gerados parâmetros locais de transformação. Com isso, elimina-se a componente sistemática de longo alcance, porém, permanecem as distorções relativas da rede, que são significativas para as escalas maiores que 1:50.000. Segundo DALAZOANA (2001, p. 80, 81), "a maior parte da cartografia sistemática existente está apoiada no Sistema CA e é utilizada como base cartográfica para uma série de produtos no Brasil. Estes mapas, além de desatualizados estão vinculados a um referencial do qual não se tem controle das deformações". Continua a mesma autora (DALAZOANA, 2001, p. 80) alertando que os parâmetros de transformação do Sistema CA para o SAD-69 apresentam variações regionais que somados aos desvios padrão elevados e as discrepâncias em relação aos parâmetros oficiais, são indicativos da inviabilidade de aproveitamento de produtos em CA para integração em SIRGAS. Do referencial Córrego Alegre constitui-se uma rede geodésica bidimensional com precisão de 10 a 20 ppm.
- 6- Inexistência de modelo geoidal. Rede horizontal, inicialmente baseada nos vértices da rede com Datum em Córrego alegre, porém, com mudança de Datum, orientação e elipsóide.
- 7- Ajustamento da rede feito através do software HAVOC (Horizontal Adjustment by Variation of Coordinates) que adota a modelagem matemática da geodésia clássica, permitindo soluções somente para redes horizontais. Em consequência das limitações computacionais da época, a rede brasileira foi dividida em 10 áreas de ajuste (IBGE, 1996, p.5), e a precisão desta rede está em torno de 5 a 10 ppm. Tem características

tridimensionais, pois, foi associada a um Geóide Gravimétrico. Para o cálculo deste Geóide Gravimétrico foi utilizado o modelo geopotencial GEMT2 (Goddard Earth Model), complementando as alturas geoidais por satélite em 521 pontos. Estas alturas foram originadas de observações Doppler e GPS efetuadas sobre a rede de nivelamento de alta precisão, subtraindo-se a altitude “ortométrica” (não consideram as observações gravimétricas) da altitude elipsoidal obtida.

8- *Rede tridimensional concentrada na região Amazônica e vinculada ao SAD-69 original. Precisão métrica (1,5 m) devido à limitação da técnica utilizada, o Doppler. (DALAZOANA, 2001, p.30).*

9- *Rede Tridimensional para a qual foram determinados os parâmetros de translação para o referencial cartesiano do SAD-69 original que tinha precisão estimada em 1,5 m.*

10- *Rede tridimensional com precisão em torno de 1 a 3 ppm (DALAZOANA, 2001, p.25).*

11- *O deslocamento horizontal das coordenadas entre os dois sistemas, SAD-69 e SAD-69(1996), pode atingir valores maiores que 15 metros de acordo com o distanciamento do ponto origem.*

12- *As variações entre as duas realizações do SAD-69 (original e de 1996) são significativas apenas para as escalas iguais ou maiores a 1:10.000 quando referenciadas pela rede clássica, isto é, para a rede estabelecida por meio de GPS não existe essa limitação (DALAZOANA, 2001, p.82).*

13- *Para efeitos práticos a realização G-1150 do WGS-84 pode ser considerada como equivalente ao ITRF-2000.*

Então, os graus de compatibilidade dos SGRs antigos com o SGR atual (SIRGAS - 2000), considerando-se as características de cada SGR (apontadas na Tabela 01), apresentam-se na ordem de classificação conforme a Tabela 02.

Utilizando-se da mesma classificação adotada para a compatibilidade entre os SGRs antigos com o SGR atual, estabelece-se a compatibilidade entre os diferentes SGRs, conforme mostra a Tabela 03. A contribuição de se conhecer a compatibilidade entre os SGRs está em possibilitar uma seleção mais homogênea, quanto à realidade dos referencias geodésicos, entre os documentos cartográficos necessários, por exemplo, para se compor uma Base Cartográfica. Diferentemente da classificação da Tabela 01, onde a comparação se dá em relação ao SGR atual, essa comparação, da Tabela 03, possibilita verificar a compatibilidade, relativa aos SGRs, entre os documentos analisados, comparando-os entre si. Após a comparação relativa (Tabela 03) entre os diversos documentos cartográficos, pode-se obter a classificação em relação ao SGR atual (Tabela 01). Assim, possibilita-se a obtenção de uma Base Cartográfica mais homogênea e conhecer seu “status” em relação à “geração” científica e tecnológica do SGR atual. Os números da Tabela

03 significam o grau de compatibilidade existente entre os diferentes SGRs, correspondentemente ao que foi adotado na classificação da Tabela 01.

Tabela 2- Classificação da compatibilidade dos SGRs com o SIRGAS – 2000.

SGR Atual <i>SGR Antigos</i>	SIRGAS
Concepção anterior ao SGB	IMPOSSÍVEL – IM = 0
Astro Datum CHUÁ	MUITO PEQUENA – MP = 1
Ca – Córrego Alegre	PEQUENA – PE = 2
SAD-69	MÉDIA – ME = 3
NNSS (TRANSIT)	MÉDIA ALTA – MA = 4
WGS-84 (Original)	GRANDE – GR = 5
SAD-69 (1996) Rede Completa	GRANDE – GR = 5
WGS-84 (G-730)	MUITO GRANDE – MG = 6
WGS-84 (G-873)	MUITO GRANDE – MG = 6
SAD-69 (1996) R. GPS Alta Precisão	MUITO GRANDE – MG = 6
WGS-84 G-1150	TOTAL – TT = 7

Tabela 3 – Compatibilidade entre os diferentes SGRs

SGR	1 ^a . Con- cep	C.A.	Chuá	SAD- 69	TRA NSIT	GPS	SAD- 69 1996	SIRG AS
1^a. Conc.	7	0	0	0	0	0	0	0
CA	0	7	1	3	2	2	2	2
CHUÁ	0	1	7	1	1	1	1	1
SAD-69	0	3	1	7	4	4	3	3
TRANSIT	0	2	1	4	7	5	5	4
GPS wgs84	0	2	1	4	5	7	4	5
SAD-69(96)	0	2	1	3	5	4	7	6
SIRGAS	0	2	1	3	4	5	6	7

4. REDE VERTICAL

As redes geodésicas verticais são compostas por pontos implantados na superfície da Terra e denominados Referências de Nível (RRNN) com altitudes supostamente referenciadas ao geóide (superfície equipotencial do campo de

Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 10, n^o 2, p.225-239, jul-dez, 2004.

gravidade da Terra melhor ajustada ao nível médio dos mares quando avaliado globalmente). São posicionados por técnicas de nivelamento geométrico. Esses nivelamentos, idealmente, são aliados a levantamentos gravimétricos ou, pelo menos, recebem correções teóricas dos efeitos do campo da gravidade.

Segundo o IBGE (2004), em 13 de outubro de 1945, foram iniciados os trabalhos de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão, dando partida ao estabelecimento da Rede Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (RV-SGB). Esta rede principiou no distrito de Cocal, município de Urussanga - SC, onde está localizada a Referência de Nível (RN) 1-A. Em dezembro de 1948, foi efetuada a conexão com a Estação Maregráfica de Torres, Rio Grande do Sul, permitindo, então, o cálculo das altitudes das RRNN já implantadas relativamente ao Nível Médio do Mar (NMM). Em 1959, quando a Rede Altimétrica contava com mais de 30.000 quilômetros de linhas de nivelamento, o Datum de Torres foi substituído pelo Datum de Imbituba, definido pela estação maregráfica do porto de Imbituba em Santa Catarina e materializado pela RN 4X. Tal substituição trouxe uma sensível melhora de definição do sistema de altitudes, uma vez que a estação de Imbituba contava na época com nove anos (1949 – 1957) de observações, mais recente e mais extenso que o alcançado pela estação de Torres (1919 – 1920). A partir da RN4X foram obtidas as altitudes da denominada Rede Altimétrica de Alta Precisão – RAAP, exceto no Amapá, onde o nivelamento foi estabelecido a partir do Datum de Santana por volta de 1980. O final da década de 70 marcou a conclusão de uma grande etapa do estabelecimento da RV_SGB. Naquele momento, linhas de nivelamento geométrico chegaram aos pontos mais distantes do território brasileiro, nos estados do Acre e de Roraima. O Projeto Ajustamento da Rede Altimétrica em 1988, cuja conclusão se deu em 1993, teve como objetivo a homogeneização das altitudes da RV-SGB. Esta Rede Ajustada é que vigora como padrão nacional mais atual, porém na atualidade vem sendo sujeita a estudos visando sua adequação com outras redes continentais e globais, no âmbito das atividades do GTIII – Datum Vertical do SIRGAS. Em 1997 surgiu o conceito da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG). A RMPG vem sendo implantada desde 2001 pelo IBGE, com o objetivo de monitorar as diferenças entre o Datum da RV-SGB e os diversos níveis de referência definidos ao longo do litoral brasileiro (LUZ & GUIMARÃES, 2003, apud LUZ et. al, 2004).

Deve ser esclarecido que o IBGE vem determinando desde 1945 o que a comunidade cartográfica brasileira convencionou chamar de “altitudes ortométricas”. No entanto, a definição formal de altitude ortométrica inclui informação gravimétrica, cuja aquisição apenas recentemente foi sistematizada no IBGE, resultando que poucas RRNN da RAAP possuem o valor de gravidade. Apenas a partir de 1995 o IBGE vinculou a realização de levantamentos gravimétricos às novas linhas de nivelamento geométrico. Assim, cabe ressaltar que o Ajustamento Altimétrico Global Preliminar – AAGP não considerou observações gravimétricas, apenas foi aplicada a redução pseudo-ortométrica, para redução dos

efeitos do não paralelismo das superfícies equipotenciais do campo da gravidade normal (ou teórico). No entanto, mais de uma centena de Data Verticais são definidos no mundo, tal que suas posições relativas a um geóide global único deve ser determinada para suas compatibilizações (DALAZOANA et. Al, 2004). Desta forma, cada Datum possui uma topografia relativamente ao geóide global, a qual deve ser determinada. Para a conexão de redes verticais é necessário conhecer esta topografia em uma mesma época.

Tabela 4 – Classificação quanto à compatibilidade dos Referenciais Altimétricos Antigos e da RV-RGB com o Geóide Global

Met	Época	Datum Vertical	Características	* Obs.	Compatib. Geóide Global
Métodos Geométricos	Mais Antigo	Locais	(Redes locais do SGE e IGG-SP)	1	Muito Pequena
	1945	RN-01 Urussanga – SC.	Início da Rede Altimétrica (SGB)	2	Pequena
	1948	Marégrafo Torres – RS	Primeiro ajustamento	3	Pequena
	1952	Marégrafo Torres – RS	Segundo ajustamento	4	Média
	1959	Marégrafo Imbituba/SC	Terceiro ajustamento	5	Média
	1962 / 63 / 66 / 70 / 75	Marégrafo Imbituba/SC	Quarto / quinto / sexto / sétimo e oitavo, ajustamentos parciais.	6	Média
	~ 1980	Santana (Amapá)	Separado do contexto nacional	7	Muito Pequena
Métodos Gravimétricos	1993 RAAP (Atual)	Marégrafo de Imbituba – SC.	Ajustamento para homogeneização das altitudes.	8	Grande
	1992	Marégrafo de Imbituba – SC.	Mapa Geoidal do Brasil	9	Muito Pequena
	1996	Marégrafo de Imbituba – SC.	Princípios – GPS WGS-84	10	Média

*A Descrição das características dos Referenciais Geodésicos Altimétricos (Tabela 04), segue abaixo:

- 1- Não se conhece o efeito da utilização das altitudes referidas aos antigos nivelações realizados pelo Serviço Geográfico do Exercito – SGE e Instituto Geográfico e Geodésico do Estado de São Paulo – IGG/SP, antes que o IBGE implantasse sua rede no RS e SP na década de 80.
- 2- 1945 – Urussanga: Referencial local implícito, utilizado no início do Nivelamento Geométrico de Alta Precisão. Enquanto esta rede altimétrica não alcançou o Marégrafo de Torres.

- 3- 1948 – Torres: Possibilita o cálculo das altitudes das RRNN já implantadas. Primeiro ajustamento manual das observações da RAAP, gerando um conjunto consistente de altitudes na região litorânea de Santa Catarina e Paraná.
- 4- 1952 – Torres: Segundo ajustamento, que substituiu as altitudes anteriores, além de estender a rede até os Estados de Goiás, Minas Gerais, e Espírito Santo.
- 5- 1959 – Imbituba: Terceiro ajustamento, substituindo as altitudes anteriores envolvendo as regiões centro-leste brasileira até a Paraíba. As diferenças entre as altitudes não se mantiveram constantes (entre 6 e 9 cm), por tratar-se de redes geometricamente diferentes.
- 6- 1962, 1963, 1966, 1970, 1975 – Imbituba: Seguiram-se os ajustamentos parciais manuais.
- 7- 1980 – Santana: Refere-se ao NMM no Porto de Santana, AP, por volta de 1980. Tal NMM é influenciado pelas águas fluviais, possibilitando um significativo afastamento desse referencial em relação a um futuro Datum Vertical Continental do SIRGASl. Há necessidade de se investigar a respeito da participação ou não das altitudes referidas à Santana na elaboração do Mapa Geoidal do Brasil de 1992 (MGB-92), e da existência de um adequado parâmetro de transformação entre Santana e Imbituba.
- 8- 1993 – Imbituba: Ajustamento para homogeneização das Altitudes da Rede Altimétrica do SGB. Maior rigor nos cálculos das altitudes com a consideração da redução pseudo-ortométrica. As altitudes derivadas deste ajustamento evidenciam elevadas distorções na RAAP crescente para a região central do Brasil. Isto ocorre pela inexistência de altitudes ajustadas anteriormente, ou seja, depois do último ajustamento manual. Desta forma é pertinente uma investigação sobre o impacto deste fato em produtos de mapeamento, destas regiões, que eventualmente tenham utilizado as altitudes não ajustadas (antes de 1993).
- 9- Método Gravimétrico – 1992: Mapa geoidal com ondulações na precisão absoluta de 3,0 m e precisão relativa de 1,0 cm/km. Recomenda-se aqui um levantamento dos fatos para averiguar a existência ou não de parâmetro de transformação para o EGM-96 – Modelo Geoidal.
- 10- Método Gravimétrico – 1996: Com o G-873 derivou-se o EGM-96 – Modelo Geoidal com precisão de 0,5 m, e precisão relativa que depende da densidade da rede gravimétrica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação e quantificação da compatibilidade entre os Sistemas Geodésicos de Referência, tanto relativamente entre si como em relação ao SGB cuja rede mais atual é a do SIRGAS-2000, pode ser associada com outras variáveis que intervêm em processos para tomadas de decisão como o estabelecimento de

Bases Cartográficas, re-mapeamentos e atualizações cartográficas.

A contribuição desta classificação está principalmente em notificar, para cada documento cartográfico, uma posição referente à atual situação científica no que diz respeito às possibilidades geodésicas empregadas no mapeamento. Essa conscientização remete o leitor, dentre outras questões, ao entendimento de que é possível o desenvolvimento de metodologias capazes de quantificar objetivamente questões importantes de controle e utilização das informações cartográficas, das quais tradicionalmente tem-se apenas um conhecimento subjetivo.

As variáveis a serem consideradas nestes processos podem ser a precisão, a acurácia e a atualização de produtos cartográficos. Destas considerações destaca-se principalmente a possibilidade de se conhecer a acurácia, ou o padrão de qualidade posicional, dos dados cartográficos.

A quantidade de aplicações que requerem informações espaciais, traduzidas através de mapas, aliada ao fato das bases cartográficas analógicas estarem sendo transformadas para o meio digital, propiciando seu uso pelos Sistemas de Informação Geográfica e por sistemas auxiliados por computador, além de facilitarem o intercâmbio com outros aplicativos que manipulam a informação espacial, torna importante o conhecimento do padrão de qualidade posicional destas bases.

O Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC permite que o usuário conheça a qualidade posicional das feições mapeadas, porém a coexistência de diferentes SGRs exige uma análise cuidadosa, quanto à acuracidade e precisão, dos produtos cartográficos para adotá-los como componentes de uma Base Cartográfica. Essa análise será possível apenas mediante o conhecimento do sistema de referência e “geração geodésica” à qual os produtos cartográficos estão vinculados.

O conhecimento sobre a compatibilidade de SGRs não é o único aspecto a ser considerado na formação de uma Base Cartográfica, por exemplo. Porém, o conjunto de documentos com classificação homogênea, em relação aos SGRs, certamente, trará maior consistência entre os dados da Base Cartográfica, os quais, por sua vez, também proporcionarão maior consistência nos dados e resultados provenientes das aplicações desta referida Base.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro para execução dos estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTAMIMI, Z.; SILLARD, P.; BOUCHER, C. ITRF2000: *A new release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Sciences applications.* Journal of Geophysical Research, v.107, n. B10, p 2.1-2.19, 2002.

DALAZOANA, R. *Implicações na Cartografia com a evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e futura adoção do SIRGAS*. Dissertação de Mestrado em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2001.

DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; DE FREITAS, S. R. C.; SOTO, J. C. B. *First Studies to Estimate Temporal Variations of the Sea Level at the Brazilian Vertical Datum*. In: Proceedings of the IAG International Symposium on Gravity, Geoid and Space Missions (GGSM2004). Porto, Portugal. CD-ROM 2004.

FISCHER, I. *The basic Framework of the South American Datum of 1969*. XII Pan American Consultation on Cartography. Panamá, 1973. 18p.

FORTES, L.P.S. *Implicação da mudança de Referencial Geodésico na Cartografia e no Cadastro*. Mesa Redonda. In: I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. UFPE. Recife. 2004.

IBGE. *SIRGAS – Relatório Final dos Grupos de Trabalho I e II*. Diretoria de Geociências, Departamento de Geodésia. Rio de Janeiro. 1997

IBGE – Disponível em: <http://www.ibge.com.br>, acessado em 14/10/2004.

LAZZAROTTO, D.R., ROBBI, C., DALMOLIN, Q. *Projeto para avaliação da qualidade do mapeamento*. In: Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. UFPE. Ed. L.A.M. Correia de Sá & A.F.T. Carneiro, Recife. CD-ROM. 2004.

LUZ, R. T. et. al. *Possibilidades de integração de dados gravimétricos à Rede Altimétrica do SGB para cálculo de altitudes SIRGAS no Brasil*. In: Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. UFPE. Recife. CD-ROM. 2004.

(Recebido em novembro/04. Aceito em dezembro/04)