

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/6: 1279-1295
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

INTEGRAÇÃO DAS REDES VERTICAIS SUL - AMERICANAS: INVENTÁRIO EM VISTA DOS TERMOS DE REFERÊNCIA DO SIRGAS/IAG/GGOS

*Integration of Vertical Networks in South-America: Inventory with Basis in the
SIRGAS/IAG/GGOS Reference Standards*

**Andrea Galudht Santacruz Jaramillo, Sílvio Rogério Correia de Freitas
& Silvana Philippi Camboim**

**Universidade Federal do Paraná – UFPR
Setor de Ciências da Terra - Departamento de Geomática, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Geodésicas**

R. Cel. Francisco Heráclito dos Santos, 210, Jardim das Américas, Curitiba/PR, CEP: 81531-970, Brasil
andreasantacruzj@gmail.com, {sfreitas, silvanacamboim}@ufpr.br

*Recebido em 24 de Fevereiro, 2015/ Aceito em 06 de Julho, 2015
Received on February 24, 2015/ Accepted on July 06, 2015*

RESUMO

Na atualidade, as atividades centrais da Geodesia têm sido dirigidas em apoio à formação de Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE) voltadas para sistemas de observação da Terra. Tal é o foco do *Global Geodetic Observing System* (GGOS) suportado pela *International Association of Geodesy* (IAG). O Nível 1 do GGOS se refere à infraestrutura geodésica terrestre, a qual está formada pelas redes geodésicas de referência terrestres materializadas, estações de monitoramento contínuo, missões dedicadas, centro de dados e de análises. Diversos processos de monitoramento planetário, no contexto do GGOS, apresentam exigências de precisão relativa no referenciamento global que podem atingir a uma parte por bilhão (1ppb). Tal é o caso dos Sistemas Verticais de Referência (SVR) e suas materializações regionais e globais. Os SVRs assumiram papel preponderante, cumprindo com suas funções usuais em caráter regional e nacional, e sendo o fundamento para o monitoramento de processos físicos associados a mudanças no Sistema Terra. Desta forma foi estabelecida uma exigência implícita de caráter físico às Redes Verticais de Referência Nacionais (RVRN) além de suas integrações a um Sistema Vertical de Referência Global (SVRG). O Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), com seu Grupo de Trabalho III (SIRGAS-GTIII), procura atender às exigências do IAG/GGOS. Busca o desenvolvimento de atividades voltadas à modernização das RVRNs na América do Sul, Central e Caribe com a atribuição de significado físico às altitudes em cada país com base em números geopotenciais e promovendo suas integrações a um SVRG, consideradas suas heterogeneidades. O SIRGAS-GTIII tem estabelecido diretrizes, metodologias e termos de referência para o cumprimento destas tarefas que são discutidos neste trabalho. De forma central são propostas ações fundamentais para a modernização das RVRN no contexto do SIRGAS-GTIII. Também se considerou as normas da *International Organization for Standardization*, especificamente a ISO 19115 da ISO/TC 211 (Informação Geográfica/Geomática) para o uso e administração de dados espaciais e metadados. Com essas bases desenvolveu-se a metodologia do inventário das redes verticais baseadas em metadados, de acordo com os preceitos mais atuais, para o contexto do SIRGAS-GTIII na América do Sul, apontando com a futura criação de uma IDE para as Américas, segundo os objetivos de UN-GGIM Américas. Um estudo de caso relativo à RVRN do Equador é apresentado.

Palavras chaves: Sistemas e Redes Verticais de Referência Nacionais e Global, Inventário, IDE, SIRGAS, GGOS.

ABSTRACT

Nowadays, the central activities in Geodesy are directed for supporting the constitution of spatial data infrastructure (SDI) directed for Earth observing systems. This is the central purpose of the Global Geodetic Observing System (GGOS) supported by the International Association of Geodesy (IAG). In the GGOS Level 1 is the geodetic terrestrial infrastructure formed by the realized terrestrial geodetic reference frames, continuous monitoring stations, dedicated spatial missions, data centers and analysis centers. Several planetary monitoring process in the GGOS context present relative precision requirements on the spatial referencing tasks in the order of one part per billion (1ppb). This is the case of the Vertical Reference Systems (VRS) definitions and their regional and global materializations in frames. The VRSs became fundamental for monitoring the physical process related to the changes in Earth's System, mainly because masses redistribution. This fact imposes an implicit exigency related to physical aspects linked to the National Vertical Reference Networks (NVRN) and the implicit need for integrating them to a Global Vertical Reference System (GVRS). The SIRGAS project (*Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas*) in the context of its Working Group III (SIRGAS-WGIII) aims to accomplish the statements of IAG/GGOS. The tasks are directed for developing activities in the sense for modernizing NVRNs in South and Central Americas as well as Caribbean region by attributing physical meaning for heights. For this, the basis is centered in geopotential numbers and promoting their integration with a GVRS considering their heterogeneities. The SIRGAS-WGIII has established procedures, strategies and reference thermos for accomplishing the referred tasks which are discussed in this work. As central subjects are the proposition of fundamental actions for modernizing NVRN in the context of SIRGAS WGIII. It was also considered the Standard established by the International Organization for Standardization, directed to geographic and geomatic information, the ISO 19115 da ISO/TC 211 related to the use and administration of spatial data and metadata. The basis for that are in developing inventory methodology on vertical related data in South America by taking into account the present IAG/GGOS/SIRGAS-WGIII standards and for building a future Spatial Data Infrastructure for the Americas in accordance with the UN-GGIM Americas. A case study on a NVRN related to Ecuador is presented.

Keywords: National and Global Vertical Reference Systems and Frames, Inventory, SDI, SIRGAS, GGOS.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, as principais ações da Geodesia, em nível global, estão direcionadas para propiciar a obtenção de informações espacialmente referenciadas com distribuição espacial e precisão adequada às atuais demandas dos denominados Sistemas de Observação da Terra. O posicionamento espacial tem demandas de precisões relativas de até uma parte por bilhão (1ppb) quando são analisados fenômenos de variações temporais decorrentes de fenômenos associados à redistribuição de massas no Sistema Terra. Neste contexto, são de importância fundamental os Sistemas e Redes Geodésicas de Referência com caráter geométrico e os físicos associados ao espaço do geopotencial bem como plataformas e métodos geodésicos de aquisição de dados.

A Associação Internacional de Geodesia (*International Association of Geodesy – IAG*) é a organização que se dedica à coordenação de todas as atividades da Geodesia no planeta e, em especial, tem um enfoque central nas investigações de fronteira desta Ciência. Está estruturada em diferentes Serviços Científicos,

Comissões, Subcomissões e Inter-Comissões, que permitam gerar investigações em ramos específicos como: Sistemas de Referência; Campo da Gravidade Terrestre; Rotação da Terra e Geodinâmica; Posicionamento e suas aplicações.

Destaque-se na estrutura da IAG o *Inter-Comission Project 1.2 (Vertical Reference Frames – IAG ICP 1.2)* com o propósito de estabelecer convenções para a definição do denominado Sistema Vertical de Referência Global (SVRG) e sua materialização através da Rede Vertical de Referência Global – RVRG no espaço do geopotencial. Para cumprir com este objetivo, foi necessária a criação de vários projetos de apoio para dar continuidade com os objetivos de estabelecer e avaliar estas convenções.

Em 2011 a IAG integrou os trabalhos designados à IAG ICP 1.2 ao projeto *Global Geodetic Observing System (GGOS)* com o objetivo de recompilar os dados geodésicos globais para gerar uma infraestrutura e base científica interoperável que servirá aos estudos referentes às mudanças globais no âmbito das

Ciências da Terra. Isto permite a relação da Geodesia com outras ciências, gerando estudos e aplicações práticas interdisciplinares em favor da sociedade. Para o desenvolvimento das atividades referidas, GGOS se encontra dividido em níveis de ação. O Nível 1 se refere à infraestrutura geodésica terrestre, a qual está formada pelas redes geodésicas de referência terrestres materializadas, estações de monitoramento contínuo, missões dedicadas, centro de dados e de análises. O GGOS utiliza-se dos serviços da IAG como base fundamental para alcançar seus objetivos bem como na geração de produtos (ver <http://www.ggos.org>).

O Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), o qual pertence à Comissão 1: *Reference Frames* da IAG, mediante a Sub- Comissão 1.3: *Regional Reference Frames*, conta com Grupos de Trabalho para desenvolver suas atividades específicas. O Grupo de Trabalho III: *Datum Vertical* (SIRGAS-GTIII), busca a criação do Sistema Vertical de Referência SIRGAS (SVRS) comum para os países membros. Para atender a este objetivo, diversos autores já apresentaram contribuições fundamentais em termos de estratégias e métodos tais como DREWES *et al.*, (2002), DE FREITAS *et al.* (2002), SÁNCHEZ & LUZ (2011), SÁNCHEZ (2012), entre outros.

Considerando-se as contribuições precedentes, busca-se suprir a necessidade de implementar ou adaptar as estruturas nacionais visando-se suas unificações tendo por base convenções globais. Tais convenções foram criadas para a definição e realização de um SVRG (IHDE *et al.*, 2007) e são ora adaptadas às condicionantes desenvolvidas no contexto do SIRGAS- GTIII em associação com os termos de referência da IAG/GGOS (KUTTERER *et al.* 2012), que estabelecem as diretrizes mais atuais para um SVRG e sua realização.

Em vista da pluralidade de acrônimos utilizados destacam-se os seguintes para facilitar a leitura do texto:

DV – *Datum Vertical*;
GGOS – *Global Geodetic Observing System*;
IAG-ICP 1.2 – *Vertical Reference Frames – International Association of Geodesy Inter Commission Project*;
MDA – Modelo Digital de Altitudes;

MGG – Modelo Global do Geopotencial;
NMM – Nível Médio do Mar;
PVCG – Problema do Valor de Contorno da Geodésia;
RG – Rede Gravimétrica;
RTM – *Residual Terrain Model*;
RVRE – Rede Vertical de Referência do Equador;
RVRG – Rede Vertical de Referência Global;
RVRN – Rede Vertical de Referência Nacional;
RVRS – Rede Vertical de Referência SIRGAS;
SIRGAS-COM – Rede de Monitoramento Contínuo com GNSS;
SIRGAS-GTIII – Grupo de Trabalho III do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas;
SVRE – Sistema Vertical de Referência do Equador;
SVRG – Sistema Vertical de Referência Global;
SVRN – Sistema Vertical de Referência Nacional;
SVRS – Sistema Vertical de Referência SIRGAS;
TNMM – Topografia do Nível Médio do Mar.

2. ASPECTOS CORRELATOS À UNIFICAÇÃO DE RVRN NO CONTEXTO DO SIRGAS

Da seção precedente se denota a importância da homogeneização e unificação das redes verticais nacionais para o estabelecimento do SVRS e sua vinculação futura a um SVRG. Ações implícitas são a padronização e difusão de metadados dos SVRN e RVRN, base de processos de inventário visando às suas modernizações, manutenções e também propiciar ferramentas de acesso e de conversão para os usuários.

Os maiores problemas da unificação de SVRNs no contexto do SIRGAS decorrem da incompatibilidade dos dados existentes das redes nacionais. Em cada qual o estabelecimento foi realizado com diferentes metodologias e normas, com vínculos a diferentes *data* verticais (DVs) e épocas de referência distintas. Também, a falta de significado físico para as altitudes é fator limitante para a utilização das tecnologias mais atuais para levantamentos e gestão territorial bem como para o vínculo a uma base de dados global. Em geral, as realizações não consideram aspectos geodinâmicos que produzem variações temporais, entre outros fatores. Em vista destes aspectos, as redes verticais apresentam

consideráveis discrepâncias entre países. Na atualidade, isto representa um grande empecilho para o intercâmbio consistente de geoinformação como também para o desenvolvimento e administração de projetos conjuntos em regiões de fronteira. A inexistência de um referencial vertical unificado impede o desenvolvimento adequado de modelos geoidais/quasegeoidais na região. Portanto, pouco contribuem para a determinação de altitudes com significado físico a partir de técnicas GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Não contribuem também para o uso adequado da atual geração de Modelos Globais do Geopotencial (MGGs), poderosas bases para o relacionamento de informações geodésicas geométricas e físicas (DE FREITAS *et al.*, 2012). O conjunto destes aspectos negativos constituem-se em obstáculos para o vínculo dos diversos SVRNs a um SVRG.

Estratégias para conexão de redes verticais no espaço do geopotencial foram inicialmente propostas por HECK & RUMMEL (1990). Deram ênfase no tratamento da conexão de diferentes DVs com base em gravimetria e técnicas espaciais de posicionamento emergentes à época. As mesmas propostas possuem grande potencial de aplicação na atualidade em vista das modernas plataformas globais existentes. LEHMANN (2000) desenvolveu estratégias de unificação de redes verticais no espaço do geopotencial a partir da solução do Problema do Valor de Contorno da Geodésia (PVCG) com condição de *Datum* Vertical (DV) livre, buscando a minimização das discrepâncias entre as redes verticais a serem conectadas. Estas estratégias em associação com os preceitos referidos de Heck e Rummel tornaram-se base de atividades globais de conexão de redes verticais. DE FREITAS *et al.* (2002) buscaram a adaptação das estratégias descritas e o estabelecimento de alternativas para a conexão de RVRNs no contexto do SIRGAS - GTIII. Desde então, tem-se buscado inventariar os aspectos correlatos a cada RVRN na América do Sul e Central. Considera-se este o processo mais complexo e certamente como um estágio fundamental para o estabelecimento do SVRS.

A existência e o conhecimento dos dados e metadados associados a cada RVRN no contexto SIRGAS são fundamentais para o desenvolvimento de estratégias para suas conexões. Assim, faz-se necessário estudar

suas estruturas e recompilar toda a informação pertinente existente. A base desta investigação é a constituição de um inventário padronizado baseado em metadados, que reúna tanto os estudos anteriormente realizados como os novos, com a visão de levantar todas as características específicas das Redes Verticais. Em vista das exigências de consideração do espaço do geopotencial, as Redes Gravimétricas (RG) passaram a ser elementos assessórios importantes para a geração de estratégias locais ou nacionais de compatibilização. Com a homogeneização dos SVRNs e com o emprego das convenções para a definição do SVRG, se poderá definir o SVRS e realizá-lo com sua respectiva Rede Vertical de Referência SIRGAS (RVRs). Esta deverá ser baseada em números geopotenciais consistentes. Atualmente, este é o passo primordial para SIRGAS - GTIII.

3. O SISTEMA VERTICAL DE REFERÊNCIA DO SIRGAS SOB AS ESPECIFICAÇÕES DA IAG/GGOS

A IAG e o GGOS têm foco na integração de dados para gerar uma infraestrutura global de informações científicas. A importância destas ações está alicerçada no estabelecimento de padrões e no esforço conjunto de várias organizações. Com isto busca-se propiciar as condições necessárias para a consistência de dados e produtos de alta qualidade para a comunidade (GROSS *et al.*, 2009). IHDE & SÁNCHEZ (2005) apontaram a necessidade de padrões para o estabelecimento de um SVRG.

O *Inter-Commission Project 1.2* (ICP1.2 – IAG) *Vertical Reference Systems* propôs um conjunto de convenções para um SVRG (IHDE *et al.* 2007) os quais estão ainda sob apreciação pela comunidade geodésica internacional. Estas convenções inicialmente propostas foram concebidas para prover estruturas de referência com a acurácia necessária aos estudos relativos à forma, dimensões e aos fluxos de massa no Sistema Terra, compreendidas aí a Geosfera, Atmosfera, Hidrosfera, Criosfera e Biosfera. Na atualidade são exigidas precisões relativas no posicionamento geodésico que podem atingir a 1ppb que implicam, por exemplo, em cerca de 1cm para a realização de um DV global e de um SVRG (PLAG & PEARLMAN, 2009, pp.18).

Para fazer face aos preceitos referidos, o

SIRGAS – GTIII está na busca de convenções e de procedimentos para o estabelecimento do SVRS sob a consideração de integração das componentes geométricas e físicas das altitudes no continente. As componentes geométricas correspondem às altitudes elipsoidais referidas à Rede de Monitoramento Contínuo com GNSS (SIRGAS – CON) e as componentes físicas referentes às coordenadas verticais obtidas primariamente como números geopotenciais referidos a um SVRG (SÁNCHEZ, 2007). Todavia, nas condições atuais, em grande parte das RVRNs da América do Sul, Central e Caribe é somente possível a determinação de diferenças de geopotencial ao longo das linhas de nivelamento onde existem informações gravimétricas. Outro fator impeditivo de ajustes conjuntos em termos de números geopotenciais é o de que cada DV é referido a uma superfície equipotencial particular W_{oi} associada em geral ao Nível Médio do Mar (NMM) local. Os NMMs associados aos DVs, são referidos cada qual a uma época de redução distinta e em geral discrepantes de uma superfície equipotencial de referência global, o geóide global, com geopotencial W_o .

4. CÁLCULO DE NÚMEROS GEOPOTENCIAIS EM SISTEMAS LOCAIS E GLOBAIS

Considerando-se que a gravimetria terrestre convencional e o nivelamento geométrico assumem diferentes graus de importância nas estratégias de integração de RVRNs, é importante pormenorizar suas funções. A ação fundamental é o cálculo de números geopotenciais com precisão suficiente para realizar a determinação de altitudes físicas na conexão de SVRN.

Nas redes verticais clássicas realizadas por nivelamento geométrico, a contribuição de valores conhecidos da gravidade em cada estação de nivelamento é sua aplicação no cálculo de diferenças de potencial entre pontos nivelados. Neste caso, a tolerância de erros nos valores da gravidade é bastante grande, sendo, em geral suficientes valores da gravidade com precisão na ordem de poucos miligal. Um erro de 1 miligal produz erros em desníveis menores do que 1 mm (DE FREITAS & BLITZKOW, 1999). Em muitos casos, a interpolação de valores da gravidade é suficiente. Nestas condições, a gravimetria absoluta que tem papel relevante na atualidade no estabelecimento de redes gravimétricas

com precisões na ordem de 5 microgal, tem pouca relevância para a geração de diferenças de potencial em redes verticais convencionais. Na estratégia convencional a única coordenada conhecida é a altitude em relação a um DV arbitrário. Isto implica que somente diferenças de potencial podem ser conhecidas ao longo de redes verticais convencionais e, portanto números geopotenciais locais. As coordenadas da maior parte dos pontos na superfície limite (Superfície Física da Terra – SF) com respeito ao elipsoide de referência ou outra superfície de referência permanecem desconhecidas. Isto tem uma implicação na solução do PVCG que torna a abordagem convencional bastante limitada, mesmo na determinação dos denominados geóides gravimétricos que são afetados pelos DV locais (GATTI *et al.*, 2012). As resoluções espaciais desses geóides, em termos de seus desenvolvimentos harmônicos, são limitadas pela frequência de Nyquist. A maior resolução espacial é dada por $\lambda/2$, sendo λ o comprimento de onda correspondente à maior frequência resolvida no desenvolvimento harmônico. Na prática, tendo em vista a frequência de Nyquist, o menor comprimento de onda resolvido é igual ao dobro do espaçamento de amostragem e, portanto, aproxima-se a resolução pela distância média entre pontos onde se conhece o valor da gravidade, supondo-se estas estações como distribuídas de maneira aproximadamente uniforme em uma região. Usualmente, estas resoluções são ainda mais degradadas pelas distribuições das estações gravimétricas localizadas essencialmente ao longo de linhas de nivelamento.

Nas redes de nivelamento convencionais a determinação do geopotencial W_p em um ponto P é efetivada por:

$$W_p = W_{oi} + C_p \quad (1)$$

O número geopotencial C_p no ponto P é dado por:

$$C_p = W_{oi} - W_p = \int_0^P g dn \cong \sum g_{im} \Delta_{ni} \quad (2)$$

Note que nas RVRN convencionais, W_{oi} é um valor arbitrário em cada DV conforme discutido na seção precedente. A integral

na eq. (2) sobre desníveis dn é resolvida de forma numérica utilizando-se o valor médio da gravidade g_{mi} entre os extremos, por exemplo, de cada seção de nivelamento onde observa-se um desnível Δn_i .

Os métodos mais modernos da Geodésia buscam suprir as deficiências associadas às limitações das RVRN clássicas e aos geoides gravimétricos locais. Para tanto buscam tirar proveito das técnicas de posicionamento mais modernas, tal como o posicionamento GNSS associado à gravimetria.

Numa abordagem moderna do PVCG a SF pode ser dada como conhecida e ser utilizada como superfície de referência. De acordo com HECK (2011), se a SF é usada como superfície limite, esta situação configura o denominado PVCG fixado onde a única incógnita é o valor de W_p . Em vista da abordagem moderna pode ser considerada a determinação dos distúrbios da gravidade δg na forma:

$$\delta g_p = g_p - \gamma_p \quad (3)$$

Sendo γ_p a gravidade normal em P. O distúrbio da gravidade conduz à determinação do potencial perturbador T_p . A determinação de W_p na forma fixada inicia por:

$$W_p = U_p + T_p \quad (4)$$

Onde U_p potencial normal em P dado por:

$$U_p = U_0 + \frac{\partial U_0}{\partial h} h_p \quad (5)$$

U_p é obtido de U_0 que é o potencial normal da gravidade no elipsoide de referência ou de nível. Por convenção é considerado que $U_0 = W_0$ e h_p é a altitude elipsoidal de P. O número geopotencial correspondente C_p é referido a um nível vertical global W_0 é dado por:

$$C_p = W_0 - W_p = W_0 - (U_p + T_p) \quad (6)$$

HECK (2011) aponta que uma solução de primeira ordem para o PVCG pode ser obtida com base na teoria de Molodenskii utilizando-se a solução proposta por BROVAR (1972) dada por:

$$T_p = \frac{R}{4\pi} \iint_s (\delta g + g_1 + \dots) H(\psi) \cdot ds \quad (7)$$

onde R é o raio médio da Terra, $H(\psi)$ é a função de Hotine-Koch escrita para a distância angular geocêntrica ψ como (HOFMANN-WELLENHOF & MORITZ 2005, p.115):

$$H(\psi) = \frac{1}{\text{sen}\left(\frac{\psi}{2}\right)} - \ln \left(1 + \frac{1}{\text{sen}\left(\frac{\psi}{2}\right)} \right) \quad (8)$$

O termo de correção de primeira ordem g_1 para efeitos das massas topográficas é dado por:

$$g_1 = \frac{R^2}{4\pi} \iint_s \left(\frac{h - h_p}{\ell_0^3} \right) \delta g \cdot ds \quad (9)$$

h e h_p são respectivamente a altitude elipsoidal do elemento de massa anômala e do ponto de cálculo, ℓ_0 é a distância Euclidiana entre o ponto de cálculo e o elemento de integração dada por (HOFMANN-WELLENHOF & MORITZ, 2005, p.120):

$$\ell_0 = 2R \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \quad (10)$$

Considerando-se a formulação apresentada o número geopotencial em P pode ser obtido. Neste caso W_p vincula-se a um valor de referência global obtido de um SVRG de acordo com o expresso na eq. (4).

Conforme apontado por SIDERIS & SCHWARZ (1986), as soluções das eq. (9) e (10) são bastante adequadas para aplicação da técnica de *Fast Fourier Transform* (FFT). O potencial perturbador T_p pode ser calculado com base na decomposição espectral utilizando-se distúrbios da gravidade residuais. O potencial perturbador associado aos longos comprimentos de onda pode ser obtido de Modelos Globais do Geopotencial (MGGs) e o potencial perturbador referente aos curtos comprimentos de onda não resolvidos pelos dados da gravimetria pode ser obtido dos efeitos do terreno. Neste

último particular, são de grande atualidade a utilização de Modelos Digitais de Altitude (MDA) e utilização da técnica RTM (*Residual Terrain Model*) proposta por FORSBERG (1984) e bastante implementada para técnicas e modelos atuais por HIRT *et al.* (2010). Esta técnica é particularmente adequada para regiões topografia acentuada e com de informações gravimétricas. Esta abordagem é adaptada da denominada técnica *Remove-Restore* proposta por FORSBERG & TSCHERNING (1981). No caso atual, o distúrbio da gravidade residual pode ser dado a partir do distúrbio da gravidade observado, o dado por um MGG e o obtido da técnica RTM por decomposição espectral como:

$$\delta g_{RES} = \delta g_{OBS} - \delta g_{GGM} - \delta g_{RTM} \quad (11)$$

Em consequência, o potencial perturbador residual é calculado com base no δg_{RES} . O potencial perturbador total em um ponto é dado então por:

$$T = T_{RES} + T_{GGM} + T_{RTM} \quad (12)$$

Mais informações sobre a abordagem fixada descrita podem ser vistas em HOFMANN-WELENHOF & MORITZ (2005, Capítulo 11).

Deve ser destacado que na abordagem fixada do PVCG a gravimetria e as altitudes elipsoidais assumem papel preponderante. Decorre que T_p é calculado em um referencial global permitindo a obtenção de W_p e conseqüentemente de C_p em um SVRG. O distúrbio da gravidade calculado para a SF, sem reduções, depende fundamentalmente da acurácia dos valores de g_p e h_p porém independem da existência das linhas de nivelamento convencionais. Em contrapartida, a aplicação da abordagem fixada depende da existência de boas redes gravimétricas com distribuição adequada para permitir a transferência de valores acurados da gravidade em estações de interesse (com precisões de 30 microgal ou melhores) onde efetiva-se o posicionamento GNSS com precisões de 1 cm ou melhores visando-se ao atendimento das convenções modernas do IAG/GGOS.

Pode ser entendido desde este ponto que o nivelamento geométrico convencional associado com a gravimetria, processo moroso e

dispendioso, pode ser substituído com vantagens, em muitos casos, pelo método proposto baseado em nivelamento GNSS associado à gravimetria e com o uso da técnica RTM, no estabelecimento de ligações entre RVRNs propiciando já seus vínculos a um SVRG. Também o método proposto pode ser utilizado para produzir informação altimétrica em áreas inacessíveis para o nivelamento convencional. Fazendo-se a Eq. (6) menos a Eq. (2) obtém-se a discrepância do DV local com nível dado por W_{oi} o DV global com nível W_0 na forma:

$$C_p - C_{Pi} = W_0 - W_{oi} = \delta W_i \quad (13)$$

onde δW_i é a diferença de geopotencial entre o DV local e o DV global. A denominada Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM), que expressa a altitude do NMM relativamente ao geóide associado ao SVRG é dada por (BOSCH, 2002):

$$TNMM = \frac{\delta W_i}{\gamma_i} \quad (14)$$

onde γ_i é a gravidade normal no elipsoide de referência para a latitude do ponto considerado. Os denominados Modelos da Topografia Dinâmica dos Oceanos (do Inglês DOT – *Dynamic Ocean Topography*) ou MDT (*Mean Ocean Dynamic Topography*) são atualmente disponibilizados fornecendo a altitude do NMM relativamente ao elipsoide de referência. Estes modelos são bastante eficientes em regiões oceânicas abertas perdendo parcialmente sua eficiência em regiões costeiras (MONTECINO *et al.* 2014).

Números geopotenciais relacionados a cada SVRN podem ser transformados para um SVRG e vice-versa, com a aplicação da Eq. (13).

Os números geopotenciais relativos a cada DV e aqueles obtidos da solução fixada quando associados a *informações provenientes de conexões entre países* possibilitam o ajuste continental e a determinação da discrepância de cada DV nacional com um SVRG.

Em síntese e de acordo com alguns aspectos de SANTACRUZ & DE FREITAS (2015) a solução da Eq. (13) demanda a adoção de critérios e especificações calcadas nos termos de referência do IAG/GGOS e do SIRGAS conforme subseção a seguir.

4.1. Aspectos Metodológicos para a Determinação de Números Geopotenciais Locais e Globais

- i) Diferenças de nível medidas por nivelamento geométrico e referidas ao DV local W_{oi} possibilitam gerar números geopotenciais C_{pi} em sistemas locais;
- ii) Valores da gravidade ao longo das linhas de nivelamento para a determinação de C_{pi} (Eq. (1)).
- iii) Valores da gravidade associados aos pontos, com densidade e distribuição adequadas para solução do PVCG na forma fixada como descrito. Também, estes pontos devem ser conectados, na medida do possível às RVRNs.
- iv) Para minimizar o raio de integração na solução fixada do PVCG, deve-se empregar técnicas de decomposição espectral tal como mencionado, com base em MGGs e MDAs.
- v) É bem conhecido que valores da gravidade ou de distúrbios da gravidade não são usualmente disponíveis nos bancos de dados clássicos. Uma possibilidade é a da conversão de anomalias da gravidade em distúrbio da gravidade considerando-se a expressão simplificada derivada da Equação Fundamental da Geodésia Física (HOFMANN-WELLENHOF & MORITZ 2005, p.252):

$$\delta g = \Delta g - \frac{\delta \gamma}{\delta h} N \approx \Delta g + 0,3086N \quad (15)$$

onde Δg é a anomalia da gravidade, N é a altitude geoidal que pode ser estimada de algum MGG ou de cartas geoidais, $-0,3086$ miligal/metro é o valor médio do gradiente normal da gravidade. Observe-se que estas anomalias dependem do DV local e, portanto a solução não é exata. Usualmente, processos iterativos na solução do PVCG são aplicados.

- vi) A formulação do PVCG baseia-se no princípio de que inexistem massas externas à superfície de contorno produzindo efeito gravitacional. Assim, os efeitos do Sol, da Lua e atmosfera devem ser removidos. Neste caso, os efeitos gravitacionais permanentes de origem externa devem ser removidos das observações da gravidade. É o caso das marés permanentes que tem aspecto preponderante nas correções nas posições e na gravidade (DE FREITAS *et al.* 2012). Usualmente as posições

GNSS e as grandezas associadas aos MGGs são usualmente expressas em um sistema livre de maré onde todos os efeitos diretos e indiretos das marés permanentes são removidos. Já dados de gravidade terrestre são dados em sistema de maré zero onde somente os efeitos indiretos das marés são mantidos. A consistência entre os sistemas de maré deve ser assegurada nos cálculos dos distúrbios da gravidade δg_p e no potencial perturbador T_p derivado dos distúrbios da gravidade.

- vii) A formulação básica do PVCG assume que as condições de contorno na superfície limite são estacionárias e que o potencial é invariante com o tempo (condição que na realidade deve ser dita quase estacionária). Uma vez que as observáveis variam com o tempo, estas devem ser todas referidas a uma mesma época.

viii) A manutenção do SVRG bem como dos SVRNs devem supor aspectos de variações temporais expressas por $\partial C_p / \partial t$ para as altitudes físicas derivadas dos números geopotenciais, $\partial h_p / \partial t$ para as altitudes elipsóidicas e $\partial N_p / \partial t$ para as altitudes geoidais.

Para garantir que a Eq. (13) forneça valores adequados das discrepâncias entre DVs locais e o DV global δw_i , é necessária, na medida das possibilidades, a remoção de todas as causas de incertezas tais como Sistemas Geodésicos de Referência para posições e gravidade, os Sistemas de Marés Permanentes devem ser compatibilizados; todas as épocas de referência devem ser compatibilizadas; etc.

5. INVENTÁRIO SOBRE REDES VERTICAIS DE REFERÊNCIA NACIONAIS NA AMÉRICA DO SUL

Em vista dos aspectos evidenciados nas seções precedentes, percebe-se ser essencial o conhecimento do estágio de cada SVRN visando-se à sua modernização, bem como para seu vínculo com o SVRS e a um SVRG. Assim, o SIRGAS – GTIII estabeleceu como atividade prioritária o inventário dos SVRNs e RVRNs na América do Sul com base em seus metadados. O inventário está sendo proposto com base em estratégias de forma que se contribua com o protagonismo dos países membros do SIRGAS no seu desenvolvimento, implementação e continuidade. Isto traz consigo vantagens com respeito a uma visão futura

de acesso e descentralização da informação. Vislumbra-se ser fundamental a criação de uma única Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) do SIRGAS, a qual atende alguns dos objetivos da UN-GGIM Américas (Comitê Regional das Nações Unidas sobre a Gerenciamento Global da Informação Geoespacial para as Américas), Seus Objetivos são (UN-GGIM Américas, 2014):

Estabelecer e coordenar as políticas e normas para o desenvolvimento da IDE das Américas;

- Promover prioritariamente o estabelecimento e desenvolvimento das infraestruturas de dados geoespaciais nacionais de cada um dos membros de UN-GGIM Américas;
- Promover o intercâmbio de informações geoespaciais entre todos os membros da comunidade das Américas, respeitando sua autonomia, de acordo com suas leis e políticas nacionais;
- Incentivar a cooperação, a investigação, a complementação e intercâmbio de experiências em áreas do conhecimento relacionadas ao campo geoespacial;
- Com isto, permitira-se ter interoperabilidade e intercâmbio da geoinformação entre as possíveis IDEs nacionais, continentais e globais. Certamente isto facilitará o uso deste tipo de informação geodésica, atenderá aos princípios do uso de informação aberta e o uso de software livre para benefício dos usuários.

Dentro dos objetivos de estabelecimento do SVRS a partir do vínculo das RVRNs, primeiramente buscou-se analisar o estado atual dos SVRN e respectivas redes existentes na região SIRGAS com base na compilação de informações técnico-científicas existentes conforme os aspectos determinantes de SVR modernos sintetizados na seção precedente.

Foi efetivada a análise de metadados vinculados, em geral, às suas distribuições geográficas, bem como a necessidade de suas suplementações, classificados sob as determinantes mencionadas visando-se ao SVRS. Também foram consideradas possíveis combinações entre eles. Todos os aspectos correlatos à análise das distribuições e suas completudes foram às diretrizes do inventário já mencionado. Este inventário contém

características específicas obtidas a partir da análise das informações produzidas das redes verticais da América do Sul. Resultados preliminares apontam para a falta de nivelamento convencional e de dados gravimétricos em grandes áreas. Outro aspecto crítico é a grande heterogeneidade nas definições dos SVRN e nos seus aspectos de cobertura, qualidade e atualização nas respectivas realizações. A metodologia proposta para o inventário é resumida na Figura 1.

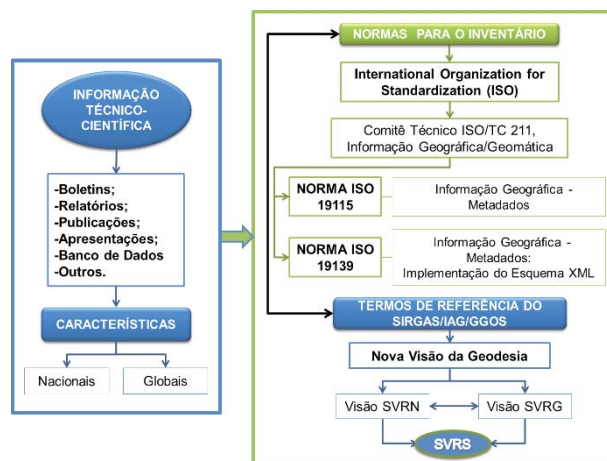


Fig. 1 - Metodologia do Inventário.

Assim, produziu-se a análise das RVRNs, base para o estabelecimento de estratégias para suas homogeneizações, modernizações e vínculo a um SVRG. Para se chegar a um maior entendimento com respeito à estrutura desta investigação, considerada como um sistema no qual se trabalhou com dados geográficos. Foram gerados, paralelamente, Diagramas de Caso de Uso e Diagramas de Classes.

Na sequência apresenta-se os Diagramas de Caso de Uso em linguagem UML para o SIRGAS-GTIII (Figura 2) e para o caso de estudo (Figura 3), os quais mostram ao usuário como funciona o sistema de forma externa.

Estes permitem o entendimento de como se observa o Sistema, tanto interna como externamente. Para se operar com estes dados tomou-se por base a Norma ISO 19115 da ISO/TC 211 Informação Geográfica/Geomática, permitindo assim implantar o uso de metadados organizados, padronizados que permitam a criação de planilhas de metadados que contemplem as características relevantes dos SVRN e das RVRNs.

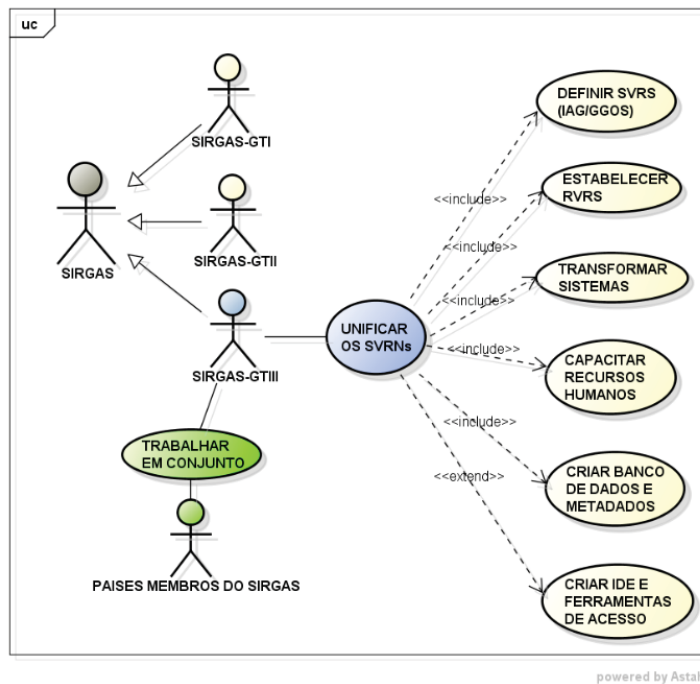


Fig. 2 - Diagrama de Caso de uso para o SIRGAS GT-III.

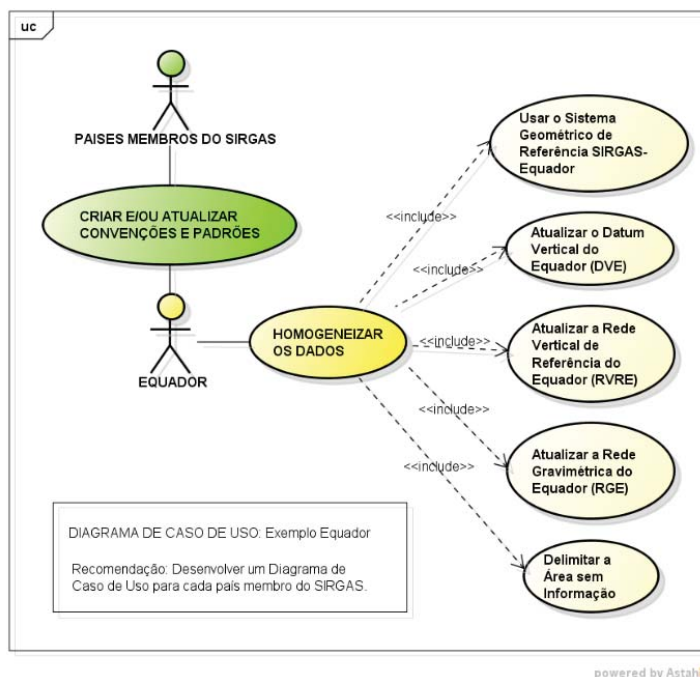


Fig. 3 - Diagrama de Caso de uso para o Equador.

Os detalhes compilados de cada sistema e rede são fundamentais tanto para o desenvolvimento do inventário quanto para o registro de metadados específicos nas planilhas levantadas para o SIRGAS-GTIII, além de cumprir uma vez mais com os pressupostos descritos nas seções precedentes. Foram desenvolvidas quatro planilhas de metadados com de acordo seguintes Conjuntos de Dados de Geográficos (CDG):

- Rede Geométrica de Referência SIRGAS

(RGeRS);

- Datum Vertical (DV);
- Rede Vertical de Referência (RVR);
- Rede Gravimétrica.

Essas propostas de planilhas de metadados pode ser analisadas, editadas, e aplicadas nos países membros do SIRGAS, dependendo de suas próprias características.

A continuação na Tabela 1 apresenta-se um exemplo da planilha de metadados do CDG Rede Gravimétrica.

Tabela 1: Planilha da RG

Rede Gravimétrica (RG)		
SEÇÃO: IDENTIFICAÇÃO CDG		
Meta-dados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Título do Conjunto de Dados	M
	Data de referência do conjunto de dados	M
	Idioma do dado	M
	Estado Atual	O
	Responsável	M
	Palavras chave para pesquisa	O
	Recurso online	O
SEÇÃO: CARACTERÍSTICAS CDG		
Meta-dados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Categoria do tema do conjunto de dados	M
	Descrição abstrata do conjunto de dados	M
	Informação ampliada adicional para o conjunto de dados (vertical e temporal)	O
	Localização geográfica do conjunto de dados (por quatro coordenadas ou por identificador geográfico)	C
	Tipo de representação espacial	O
	Informação tipo vetor	C
	Informação tipo ráster	C
	Manutenção/Atualização	O
	Informação suplementar	O
	ESPECÍFICOS	Tipo de componente no SRVS
Tipo de dados geográficos relacionados		M
Relação com outras combinações de dados		M
Nome do ponto de origem		M
Número de estações absolutas		M
Número de estações relativas		M
Número de nós		M
Número de circuitos		M
Informe do ajuste da rede		C
Informe sobre reajuste da rede		C
Gravidade interpolada		C
Gravidade por MGGs		C
Número de pontos com combinação TIPO 4		C
Número de pontos com combinação TIPO 5		C
Número de pontos com combinação TIPO 6		C
Número de pontos com combinação TIPO 7		C
Número de pontos com combinação TIPO 8		C
Número de pontos com combinação TIPO 10	C	

ESPECÍFICOS	Número de pontos com combinação TIPO 11	C
	Número de pontos com combinação TIPO 13	C
	Número de pontos com combinação TIPO 14	C
	Número de pontos com combinação TIPO 18	C
	Número de pontos com combinação TIPO 19	C
	Número de pontos com combinação TIPO 22	C
	Informe de metodologia empregada para o levantamento, processamento e manutenção dos dados	M
GERAIS	Avanços no levantamento, processamento e manutenção dos dados	C
	Estratégias de solução	O
SEÇÃO: SISTEMA DE REFERÊNCIA		
Meta-dados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Identificador do Sistema de Referência	M
	Nome do elipsoide de referência	M
	Parâmetros elipsoidais	O
	Ponto Datum Vertical	M
	Tipo de Projeção	C
SEÇÃO: QUALIDADE		
Meta-dados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Linhagem	O
	Metodologia de levantamento de dados	M
	Metodologia de processamento de dados	M
	Metodologia de compensação o ajuste de dados	M
	Qualidade Qualitativa	O
	Qualidade Quantitativa	O
SEÇÃO: RESTRIÇÃO		
Meta-dados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Restrição de acesso	M
	Restrição de uso	M
	Restrição de publicação	M
	Direito de Autoria	M
SEÇÃO: IDENTIFICAÇÃO METADADO		
Meta-dados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Data do metadado	M
	Responsável	M
	Ponto de contato do metadado	M
	Identificador do arquivo do metadado	O
	Versão	O
	Idioma do metadado	C
	Restrição de uso do metadado	O
	Recurso online	O

SEÇÃO: DISTRIBUIÇÃO		
Meta-dados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Versão	O
	Responsável	M
	Ponto de Contato	M
	Formato de distribuição	M

Com esta parte desenvolvida, se criou uma projeção futura sobre o uso, operação e distribuição de dados geográficos dentro do SIRGAS. Esta abordagem certamente ajudará a incentivar os países membros para que deem continuidade para suas atividades correlatas de unificação das RVRNs.

6. ESTUDO DE CASO PARA O EQUADOR

Apresenta-se, como um exemplo, um estudo de caso sobre um SVRN. Foi levantada toda a informação disponível para o SVR do Equador (SVRE) e sua materialização (RVRE), na forma de uma estrutura de dados geodésicos e metadados. A partir do inventário sobre a referida estrutura, foram geradas as estratégias de solução para atender aos objetivos de integração da RVRE com outras RVRN na região e formação do SVRS com base nos termos de referência do SIRGAS/IAG/GGOS. A partir deste exemplo, apresenta-se como contribuição algumas opções de como se pode homogeneizar os dados locais para uma possível unificação de RVRN.

O estudo de caso para o Equador foi elaborado considerando um inventário sobre metadados, atendendo assim aos pressupostos da Norma ISO 19115 e dos SIRGAS/IAG/GGOS. As informações dos dados foram classificadas de acordo com suas origens (desníveis, gravidade, posicionamento GNSS, observações maregráficas, entre outros) determinando-se suas características. É importante se considerar desses dados referem-se a conexões com países vizinhos. Na sequência são representadas algumas das estruturas de metadados existentes.

6.1 Rede de Estações GPS e GNSS do Equador

Existe uma estrutura relativamente densa de estações geodésicas fundamentais referidas a diversas épocas das realizações do ITRS e um conjunto de estações contínuas (a maior densidade dentro do SIRGAS-CON) estabelecidas com receptores GPS (Figura 4). Como estratégias de

sua plena utilização, deve-se:

- Associar gravimetria aos pontos existentes e promover suas conexões com a RVRE;
- Promover a densificação de estações GPS em áreas com dificuldade de acesso ao nivelamento convencional associado também a estas observações gravimétricas.

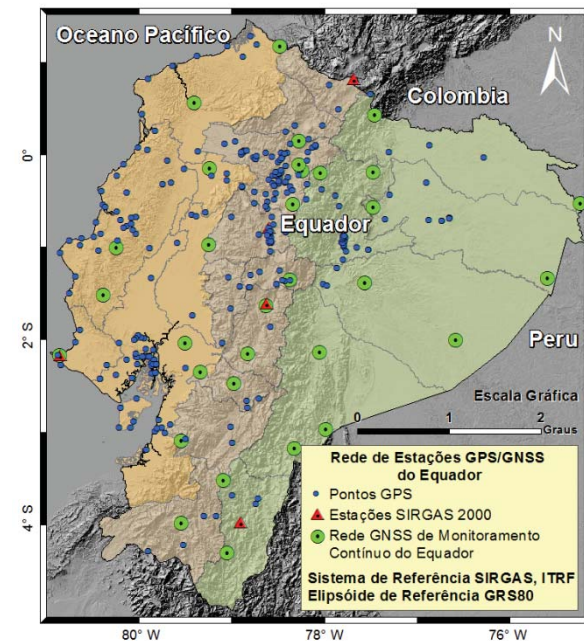


Fig. 4 - Estações GPS e GNSS do Equador com vínculo ao ITRS.

6.2 Datum Vertical do Equador (DVE)

O DVE foi realizado por nove anos de observações convencionais do Nível Médio do Mar (NMM), entre 1950 e 1959, com marégrafo costeiro instalado em *La Libertad* (Figura 5).

Das análises efetivadas sobre metadados concluiu-se existirem etapas fundamentais a serem desenvolvidas para sua modernização. Assim, evidenciam-se as seguintes possíveis estratégias relativamente ao DVE:

- Reativação de observações maregráficas contínuas para finalidades geodésicas;
- Posicionamento geocêntrico contínuo do marégrafo conforme proposto por DE FREITAS *et al.* (2002);
- Modelagem da evolução do NMM em *La Libertad* discriminando-o dos movimentos locais da crosta;
- Melhoria da resolução de MGGs recentes buscando a redução de seus erros de omissão (e.g. por RTM e/ou densificação gravimétrica)

de forma a se assegurar uma melhor solução do PVCG na região do DVE;

- Determinação de W_{0i} no DVE permitindo a determinação de δW_i com base na solução do PVCG complementada por análise da Topografia do NMM com base em Modelos da Topografia Dinâmica dos Oceanos e MGGs relacionados a um SVRG.

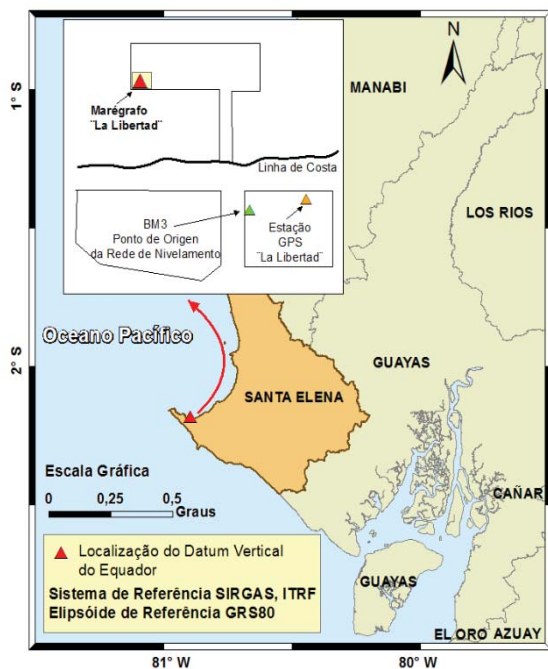


Fig. 5 - Localização do DVE "La Libertad".

6.3 Rede Vertical de Referência do Equador (RVRE)

A RVRE com origem no ponto BM3 (cf. Figura 6) é materializada por aproximadamente 6000 pontos em linhas de nivelamento geométrico ditas de primeira ordem. Os pontos têm espaçamento médio de cerca de 1,5 km sobre 11.000 de linhas niveladas e contra-niveladas ao longo das principais rodovias do país. Está sub-dividida em mais de 62 linhas, 20 circuitos e 38 nós. Não existe divulgado um controle efetivo de sua precisão. Diversos pontos da RVRE possuem controle por GPS geodésico. Atualmente está sendo iniciada sua extensão em regiões de fronteira visando sua conexão com países vizinhos e também na região amazônica do Equador.

Em vista da sua análise evidenciam-se as seguintes possíveis estratégias para modernização da RVRE:

- Análise dos erros das altitudes niveladas

e de eventuais observações gravimétricas associadas;

- Busca da sua densificação nas regiões de fronteira e Amazônia conforme carências evidenciadas na Figura 6;
- Associação de valores da gravidade com base em novas observações ou interpolação onde for possível;
- Determinação de diferenças de geopotencial em associação aos pontos nivelados;
- Ajustamento da RVRE com base em diferenças de geopotencial (ou números geopotenciais relativos ao DVE);
- Determinação de números geopotenciais relacionados ao SVRG com base no valor determinado da TNMM ou δW_i ;
- Determinação das discrepâncias em pontos de conexão com outros países.

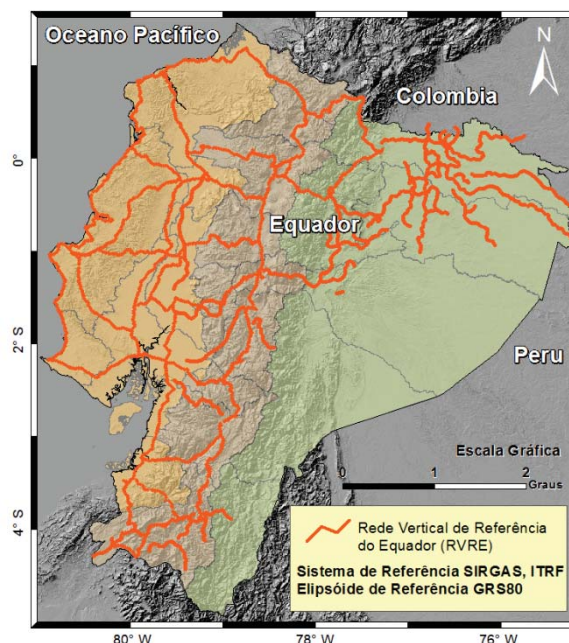


Fig. 6 - RVRE.

6.4 Rede Gravimétrica do Equador (RGE)

A RGE foi estabelecida por um conjunto de 39 pontos ligados à estação Quito da *International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71)*. Existem no Equador três estações de gravidade absoluta hoje utilizadas como pontos de controle da RGE. Juntamente com esta rede fundamental foram iniciadas atividades de densificação na região no entorno de Quito (Figura 7). Em adição, existem milhares de estações derivadas da rede fundamental, principalmente aquelas associadas à prospecção

de petróleo no país, porém sem um controle de qualidade. Assim entende-se como atividades essenciais para a modernização e densificação da RGE:

- Ajustamento da RGE com injeção das estações absolutas;
- Determinação da gravidade sobre todas as estações GPS e GNSS fundamentais bem como melhorar a distribuição de observações gravimétricas sobre as estações da RVRE visando-se a determinação de números geopotenciais;
- Interpolação de valores da gravidade sobre as estações da RVRE onde não existirem observações diretas da gravidade;
- Determinações gravimétricas em associação com posicionamento GPS e/ou GNSS visando-se a uma distribuição mais uniforme de pontos com distúrbio da gravidade conhecidos em um SVRG, visando-se à solução fixada do PVCG;
- Determinação de parâmetros ou cartas digitais de transformação entre coordenadas atuais da RVRE e a RVRG.

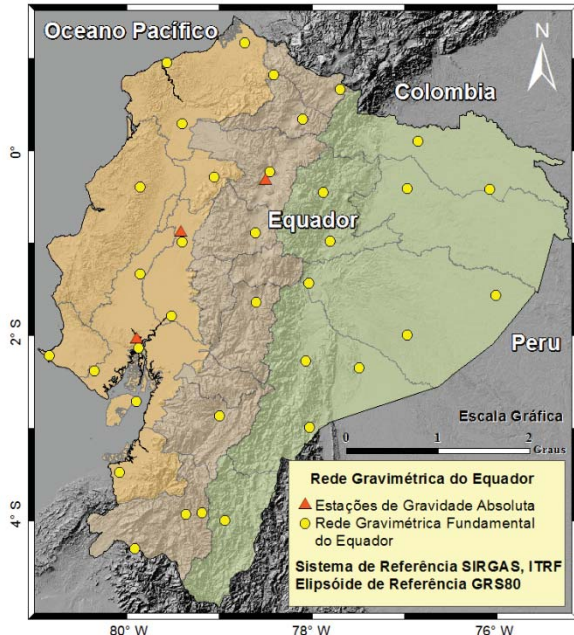


Fig. 7 - RGE e sua densificação.

6.6 Ações Complementares para o SVRE e RVRE

Tendo em vista os aspectos essenciais para modernização e vínculo do SVRE a um SVRG e considerando-se os aspectos sintetizados na seção 4, percebe-se que os maiores problemas estão

associados a áreas com vazios de informações correlatas ao posicionamento vertical. Isto está evidenciado nas Figuras 5, 6 e 7. Cabe aqui reinserir as considerações de que os levantamentos complementares mencionados nos itens precedentes sofrem impacto direto em seu planejamento e execução em função de limitações de recursos. Assim é que assume importância a consideração das possibilidades aportadas pelos métodos mais atuais da Geodésia bem como das missões baseadas em satélites artificiais e nos respectivos produtos derivados. Neste contexto inserem-se os MGGs, MDAs, DOT (ou MDT), além de outras técnicas emergentes tais como as novas ferramentas INSAR e a integração de *Inertial Navigation Systems* (INS) com o GNSS. Esta última ferramenta, antes uma expectativa, graças à evolução tecnológica com aumento significativo da precisão e barateamento de custos torna-se uma possibilidade real na atualidade.

7. EXTENSÃO DE RESULTADOS PARA O SVRS

Com base no estudo de caso do SVRE e RVRE percebe-se que para o estabelecimento do SVRS, precedem às ações de unificação uma extensa atividade de inventário dos SVRN e RVRN. No estágio das atividades já desenvolvidas percebem-se carências similares às reportadas para o SVRE e RVRE. Assim é que se confirma a necessidade da padronização das metodologias e Banco de Dados atualizados para a modernização dos SVRN. Estas atividades dentro dos objetivos centrais do SVRS em consonância com os padrões do IAG/GGOS exigem a estruturação de Banco de Dados e metadados consistentes, de acesso aos países membros e para as quais estes países sejam protagonistas no suprimento de todas as informações pertinentes. Evidencia-se assim a imediata formatação e regulamentação da geoinformação dos países membros dentro de padrões globais de forma a que o SIRGAS-GTIII em articulação com as representações nacionais possa enfim realizar o SVRS vinculado a um SVRG e consiga produzir as ferramentas necessárias a cada país para as respectivas conversões dos sistemas atuais, a mais de manter cada SVRN agora vinculado ao Sistema Global dentro do espaço do geopotencial.

8. CONCLUSÕES

Uma proposta do inventário das Redes Verticais de Referência Nacionais no contexto do SIRGAS foi apresentada. Tal inventário é fundamental para a modernização das RVRNs e suas conexões dentro do contexto de um SVRG. Para tanto foram ou propostas ou consideradas normas e convenções existentes no sentido de facilitar a geração de possíveis estratégias de solução com base nos termos de referência SIRGAS/IAG/GGOS. Estas estratégias apresentam-se como viáveis para resolver os problemas que surgem na homogeneização e modernização de dados nacionais, conexões entre países e integração das redes verticais da América do Sul, e possivelmente na América Central e Caribe.

A falta de informação específica, organizada e padronizada referente aos SVRNs e as RVRNs do SIRGAS, gera a necessidade de levantamento de metadados, os quais detalham as características próprias de cada país e características regionais.

Devido à proposta de se utilizar metadados, reforçou a necessidade de padronização das informações correlatas para serem armazenadas num Banco de Dados e criar uma IDE para SIRGAS, considerando um dos principais objetivos do UN-GGIM Américas. Por isso, pode-se concluir que este trabalho é uma contribuição no campo da Geodésia e da gestão das informações correlatas, sendo relevante para ser considerado como uma base de procedimentos pelos países membros do SIRGAS.

Considerando-se o estudo de casos sobre os componentes do SVRE e RVRE, os quais são representativos da realidade encontrada em grande parte dos países membros do SIRGAS, conclui-se que, em geral, são necessárias ações de atualização, recuperação e complementação de dados, com objetivo da modernização dos SVRNs e RVRNs visando-se seus vínculos a um SVRG. O foco central é o da geração de números geopotenciais que são as bases para o vínculo das RVRNs, ajuste da RVRS e determinação de parâmetros de transformação entre os SVRNs e o SVRS.

O uso de fontes modernas para a obtenção de dados espaciais, com base nos sistemas de levantamento de dados por satélite são

considerados essenciais para abordar a limitada disponibilidade de dados em algumas áreas inacessíveis no território dos países do SIRGAS;

O esforço e protagonismo de cada país membro do SIRGAS para gerar informação precisa e adequada para o desenvolvimento de estratégias de solução confiáveis para suas condições específicas é fundamental para alcançar todos os objetivos definidos pelo SIRGAS-GTIII.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSCH, W. The Sea Surface Topography and its Impact to Global Height System Definition. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems. International Association of Geodesy Symposium (IAGS)** vol. 124, Springer-Verlag, Berlim: pp. 225-230. 2002.

BROVAR, V. V., A possible improvement in the accuracy of gravimetric results in Geodesy. **Soviet Astronomy**, Nº 15, pp. 1055–1058. 1972

DE FREITAS, S. R. C.; BLITZKOW, D. Altitudes e Geopotencial. In: **International Geoid Service – Bulletin n. 9 - Special Issue for South America**. Jun. pp. 47-61. 1999.

DE FREITAS, S.R.C., MEDINA, A.S, LIMA, S.R.S. Associated problems to link South American Vertical Networks and possible approaches to face them. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems. International Association of Geodesy Symposium (IAGS) vol. 124**, Springer-Verlag, Berlim: pp. 318-323. 2002.

DE FREITAS, S. R. C.; FERREIRA, V. G.; PALMEIRO, A. S.; DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; FAGGION, P. L. Modelagem do potencial anômalo no datum vertical brasileiro visando sua nova definição. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 13. n. 2, p. 395-419, jun./dez. 2007.

DE FREITAS, S. R. C.; FERREIRA, V. G.; DALAZOANA, R. The Spatial Age and the New Paradigms in Geodesy: Implications for surveying and mapping in Brazil. **Brazilian Journal of Cartography. Special International Issue**. 64/6: 845-861, 2012.

- DREWES, H.; SÁNCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; DE FREITAS, S.R.C. Scientific Foundations of the SIRGAS Vertical Reference System. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems. International Association of Geodesy Symposium (IAGS) vol. 124**, Springer-Verlag, Berlin: pp. 297-301. 2002.
- FERREIRA, V.G.; DE FREITAS, S. R. C. Geopotential numbers from GPS satellite surveying and disturbing potential model: a case study of Parana, Brazil. **Journal of Applied Geodesy**, Germany, v. 5, n. 3-4, p. 8, ISSN 1862-9024. Available at: < <http://www.degruyter.com/view/j/jag.ahead-ofprint/JAG.2011.016/JAG.2011.016.xml> >. 2011.
- FORSBERG, R. A study of terrain reductions, density anomalies and geophysical inversion methods in gravity field modelling. **Ohio State University**, Report No. 355. 1984.
- FORSBERG, R.; TSCHERNING, C. C. The use of height data in gravity field approximation by collocation. **Journal of Geophysical Research**. 86, pp. 7843–7854. 1981.
- GATTI, A.; REGUZZONI, M.; VENUTI G. The height datum problem and the role of satellite gravity models. **Journal of Geodesy**, N° 87: 1, pp. 15-22. doi: 10.1007/s00190-012-0574-3. 2013.
- GGOS, **The Global Geodetic Observing System. The Goals and Tasks of GGOS**. <http://www.ggos.org/>. Acesso em junho de 2014.
- GROSS, R., BEUTLER, H., PLAG, H-P. Integrated scientific and societal user requirements and functional specifications for the GGOS. In: PLAG, H-P. & PEARLMAN, M. (eds.) **Global Geodetic Observing System: meeting the requirements of a global society on a changing planet in 2020**. Berlin: Springer, 332pp. 2009.
- HECK, B. A Brovar-type solution of the fixed geodetic boundary-value problem. **Studia Geophysica Et Geodaetica**, 55, pp. 441–454. 2011.
- HECK, B. & RUMMEL, R. Strategies for solving the vertical datum problem using terrestrial and satellite geodetic data. In: **Sea Surface Topography and the Geoid**. Ed. SÜNKEL, H., BAKER, T. Springer, Berlin: pp. 116-128. 1990.
- HIRT, C.; FEATHERSTONE, W.E.; MARTI, U. Combining EGM2008 and SRTM/DTM2006.0 residual terrain model data to improve quasigeoid computations in mountainous areas devoid of gravity data. **Journal of Geodesy**, 84, 9, pp. 557–567. 2010.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; MORITZ, H. **Physical Geodesy**. Springer Wien New York. 2005. 403pp.
- IHDE, J.; SÁNCHEZ, L. A unified global height reference system as a basis for IGGOS. **Journal of Geodynamics** v. 40, n. 4-5, pp. 400-413, DOI 10.1016/j.jog.2005.06.015. 2005.
- IHDE J.; AMOS M.; HECK B.; KERSLEY B.; SCHÖNE T.; SÁNCHEZ L.; DREWES H. **Conventions for the definitions and realization of a conventional vertical reference system (CVRS)**. http://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/IHOTC8/IHOTC8/IHOTC8-3-6-1.pdf. 2007. Acesso em: junho de 2014.
- LEHMANN, R. Altimetry-gravimetry problems with free vertical datum. **Journal of Geodesy**, N° 74: 3, pp. 327-334. 2000.
- MONTECINO, H.; H. CUEVAS; S. R. DE FREITAS. A study of the chilean vertical network through global geopotential models and the cnes cls 2011 global mean sea surface. **Boletim de Ciências Geodésicas**, N° 20, pp. 300-316. 2014.
- PLAG, H-P.; PEARLMAN, M. (eds.). **Global Geodetic Observing System: meeting the requirements of a global society on a changing planet in 2020**. Berlin: Springer, 332pp. 2009.
- SÁNCHEZ, L.; BRUNINI C. Achievements and challenges of SIRGAS. In: Drewes H. (Ed.): **Geodetic Reference Frames. International Association of Geodesy Symposium (IAGS)** 134:161-166, Springer, DOI:10.1007/978-3-642-00860-3_25. 2009.
- SÁNCHEZ L. & R. LUZ. **Requerimientos para la unificación de los sistemas de alturas existentes en la Región SIRGAS**. Presentado en la Reunión SIRGAS2011, Heredia, Costa Rica, Agosto, pp. 8-10, 2011.

SÁNCHEZ, L. Definition and Realization of the SIRGAS Vertical Reference System within a Globally Unified Height System. In: TREGONING, P., RIZOS, C. H. (Eds.), Dynamic Planet. **International Association of Geodesy Symposia (IAGS)** 130, 638-645. Springer, Berlin, p. 638-645. 2007.

SÁNCHEZ, L. Towards a vertical datum standardisation under the umbrella of Global Geodetic Observing System. **Journal of Geodetic Science**. doi: 10.2478/v10156-012-0002-x. 2012.

SANTACRUZ, A.; DE FREITAS, S.R.C.

Towards a Unified Vertical Reference Frame for South America in view of the GGOS Specifications. Aceito para publicação. IAG Series, (IAGS-D-14-00047), Springer, Berlin. 2015.

SIDERIS, M. G.; SCHWARZ, K. P. Solving Molodensky's series by fast Fourier transform techniques. **Journal of Geodesy**, 60, pp. 51-63. 1986.

UN-GGIM Américas, 2014. **Acerca de UN-GGIM Américas**. Disponível em <<http://www.cp-idea.org/index.php/un-ggim-americas/acerca-de-un-ggim-americas>>. Acesso em: 2014.