

Acompanhamento do Datum Altimétrico IMBITUBA através das Redes Altimétrica e Maregráfica do Sistema Geodésico Brasileiro

Roberto Teixeira Luz
Departamento de Geodésia – IBGE
Silvio Rogério Correia de Freitas, Regiane Dalazoana
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR
VII Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra, octubre/2002, Santiago, Chile

Resumo

O Datum Altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), denominado comumente Datum de Imbituba, foi definido em 1959 através da média das médias anuais do nível do mar, no período de 1949 a 1957, no Porto de Imbituba (48 40,2 W ; 28 14,4 S). As observações utilizadas foram coletadas por uma estação maregráfica instalada pelo *Inter-American Geodetic Survey* (IAGS) e pelas autoridades portuárias brasileiras, que fazia parte de uma rede formada por outras oito estações maregráficas ao longo da costa brasileira.

As médias mensais e anuais da rede maregráfica do IAGS encontram-se armazenadas no *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL). No caso de Imbituba, existem dados referentes ao período entre 1949 e 1969. Ainda não foi possível recuperar as observações realizadas após 1969.

Para corrigir os problemas resultantes da separação institucional entre os levantamentos geodésicos terrestres e a observação do nível do mar, o IBGE iniciou em 1994 a operação de estações maregráficas com características geodésicas. Em 1999 as autoridades portuárias em Imbituba retomaram a observação convencional do nível do mar, e em 2001 o IBGE instalou equipamentos maregráficos e meteorológicos digitais. Desde 1949 foram realizados diversos nivelamentos nas estações altimétricas que materializam o Datum de Imbituba. Além disso, a UFPR realizou campanhas multi-paramétricas na área do Datum, monitorando sinais de GPS, pressão atmosférica, marés terrestres e oceânicas.

O trabalho analisa as observações realizadas em Imbituba, correlacionando-as para caracterizar a evolução temporal do Datum Altimétrico Brasileiro e os efeitos geofísicos relevantes.

Abstract

The Vertical Datum of Brazilian Geodetic System (SGB), commonly called Imbituba Datum, was defined in 1959 through of the mean of annual mean sea levels, between 1949 and 1957, at Imbituba Port (48 40,2 W ; 28 14,4 S). Those observations were collected at a tide station instaled jointly by *Inter-American Geodetic Survey* (IAGS) and the Brazilian Port Authorities, which was part of a network composed by other eight tide stations along Brazilian coast.

Monthly and annuals means from IAGS tide network are currently stored at *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL). Regarding Imbituba, there is data from 1949 to 1969. No observations after 1969 were recovered yet.

To correct the problems caused by institutional separation between terrestrial geodetic surveys and sea level observation, IBGE started in 1994 the operation of geodetic tide stations. In 1999 Imbituba port authorities resumed the conventional observation of sea level, and in 2001 IBGE instaled tide and meteorological equipments. Since 1949 many levelings were performed at tide gauge benchmarks which materialize Imbituba Datum. Besides that, UFPR carried out multi-parametric surveys in Datum area, monitoring signals from GPS, atmospheric pressure, Earth and ocean tides.

The paper analyses surveys made in Imbituba, correlating them to characterize time evolution of Brazilian Vertical Datum and the relevant geophysical effects.

1. A Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro

A Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) é a estrutura de referência vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), com mais de 65 mil estações altimétricas (denominadas RN = Referências de Nível) implantadas em todo o país (Luz & Guimarães, 2001 ; Luz et al., 2002a). Seu estabelecimento teve início em 1945, na região carbonífera do sul do Brasil, de onde progrediu, nos anos seguintes, em direção ao norte do país, através das regiões de maior desenvolvimento econômico e demográfico (Figura 1). A partir da década de 70 a implantação da RAAP foi direcionada ao oeste brasileiro e à reconstrução dos trechos destruídos.

As altitudes da RAAP são calculadas a partir de desníveis obtidos através de nivelamento geométrico clássico, executado com níveis geodésicos de alta precisão e miras de *invar*, com tolerância de $4 \text{ mm}(\text{km})^{1/2}$ e $3 \text{ mm}(\text{km})^{1/2}$, respectivamente para períodos antes e depois de 1983. A rotina automatizada de ajustamento dos desníveis ainda não utiliza observações gravimétricas (Luz et al., 2002b), incluindo apenas a correção de não-parallelismo das superfícies equipotenciais (gravidade normal).

Entre 1948 e 1975 foram executados oito ajustamentos manuais, em blocos justapostos (Alencar, 1968 ; Alencar, 1988). Em 1993 foi concluído o Ajustamento Altimétrico Global Preliminar (AAGP), primeiro ajustamento automatizado e integral da RAAP (Ribeiro et al., 1989 ; Ribeiro & Luz, 1991). Esses ajustamentos são caracterizados na Tabela 1 e na Figura 2.

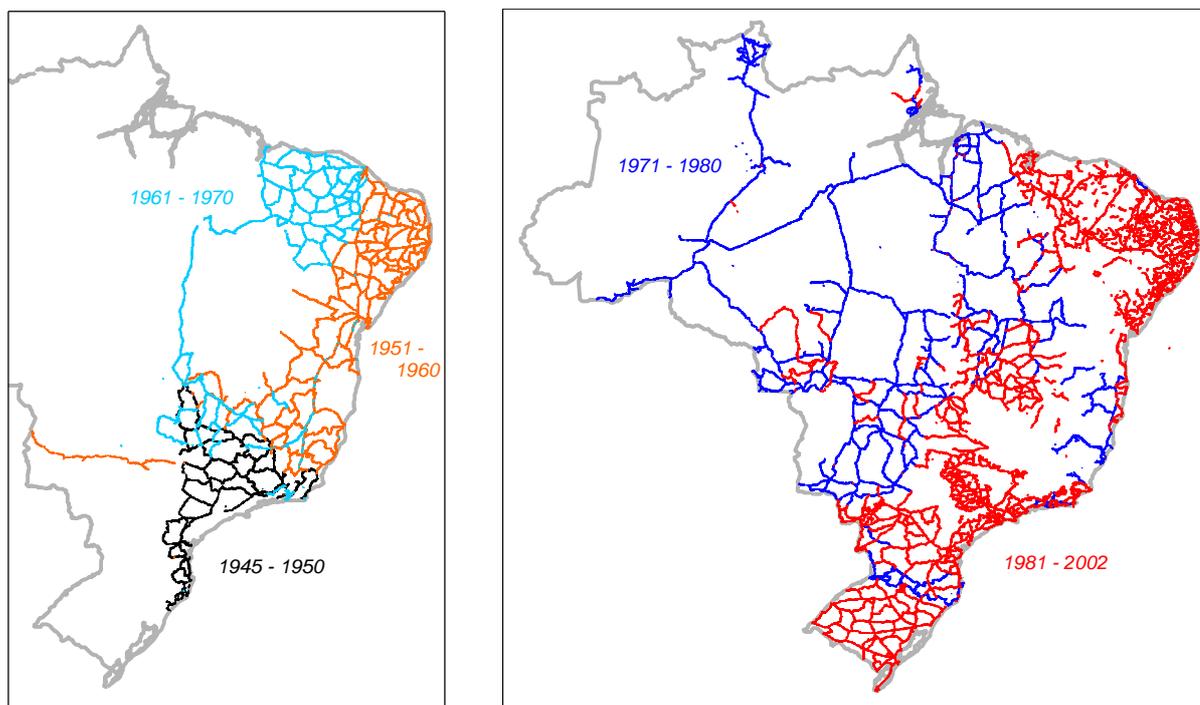


Figura 1 : Desenvolvimento temporal da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro ; (esq.) observa-se o contínuo e coerente estabelecimento da Rede, iniciando-se no litoral sul do Brasil e progredindo em direção norte por uma faixa litorânea de poucas centenas de quilômetros de largura ; (dir.) nota-se a interiorização do nivelamento, a partir do final da década de 1970, e a reconstituição da rede, a partir da década de 1980, principalmente nas áreas não cobertas anteriormente (Fonte : BDG, 2002).

Tabela 1 : Ajustamentos da RAAP : (a) blocos ajustados manualmente entre 1948 e 1975 ; (b) macro-circuitos da RAAP e precisões obtidas no AAGP

data do ajustamento	abrangência	número de circuitos	comprimento total das linhas (km)	datum
1948	total	8	2890	Torres
1952	total	38	15706	Torres
1959	total	79	30249	Imbituba
1962	parcial	19	4227	Imbituba
1963	parcial	15	2941	Imbituba
1966	parcial	4	1215	Imbituba
1970	parcial	13	4378	Imbituba
1975	parcial	9	3620	Imbituba
1993	total	377	105285	Imbituba

Fonte : Alencar, 1988 ; Ribeiro & Luz, 1991.

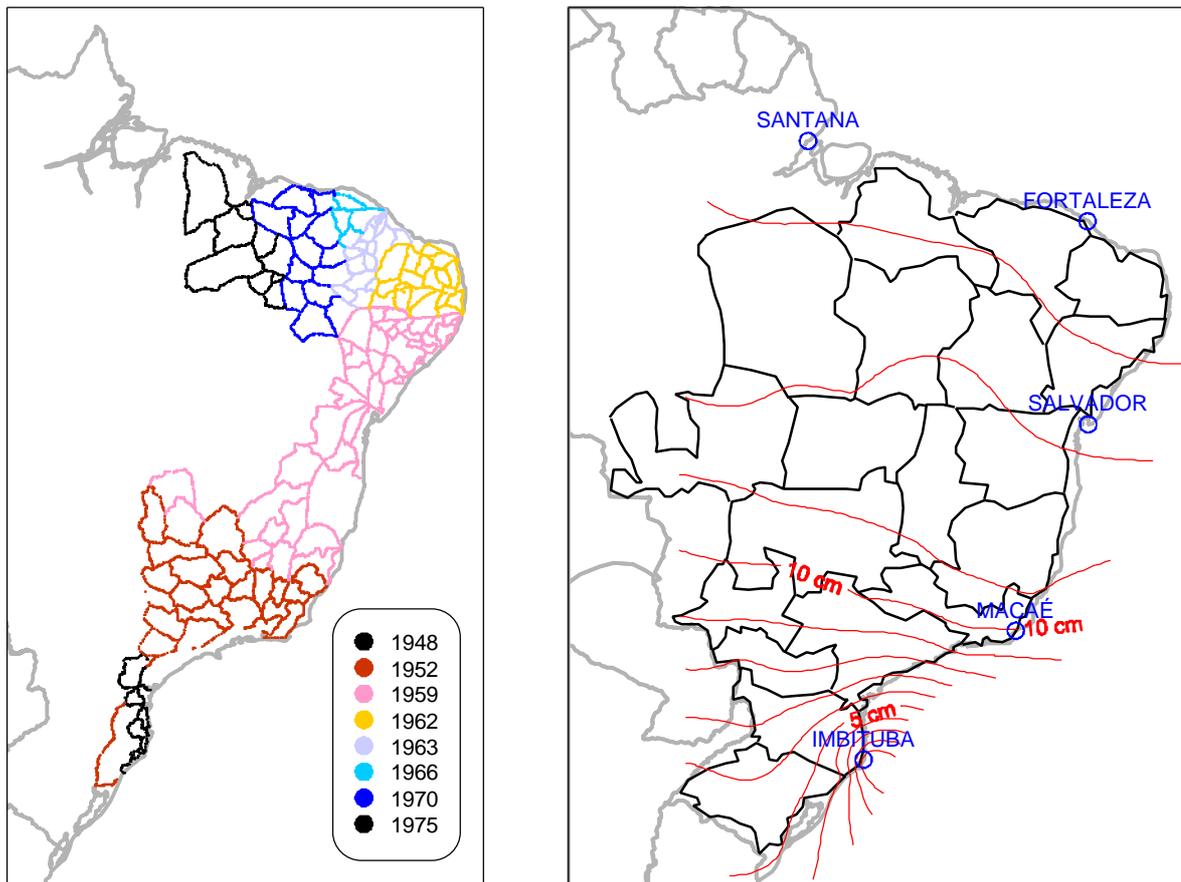


Figura 2 : Ajustamentos da RAAP : (esq.) blocos ajustados manualmente entre 1948 e 1975 ; (dir.) macro-circuitos da RAAP e precisões obtidas no AAGP, mostrando-se também as estações da RMPG, Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (Fonte : Alencar, 1988 ; Ribeiro & Luz, 1991).

2. O Datum Vertical do SGB

As altitudes das primeiras RN da RAAP eram referidas ao Datum de Torres, definido pelo nível médio do mar entre 1919 e 1920 na cidade de Torres (49 43,6 W ; 29 20,1 S). Essa referência foi adotada temporariamente em 1948, apenas para que fossem calculados valores aceitáveis das altitudes das RN, enquanto um Datum Vertical não fosse adequadamente definido (Alencar, 1990).

A partir de 1949, o serviço geodésico internacional da então agência militar de mapeamento dos EUA (IAGS = *Inter-American Geodetic Survey*) iniciou a implantação de uma rede de estações maregráficas ao longo de toda a costa brasileira. O IBGE utilizou as informações coletadas pela estação de Imbituba para definir o Datum Vertical do SGB, sem contudo participar diretamente da operação da estação. Em 1959, foi então definido e adotado o Datum de Imbituba, através da média dos níveis médios do mar anuais, entre 1949 e 1957.

Apesar da operação da estação ter continuado sem problemas até 1969, sob responsabilidade do IAGS, tais observações adicionais não foram utilizadas para refinar o Datum Vertical. O banco de dados do *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL) possui as médias mensais e anuais para Imbituba e alguns outros portos operados pelo IAGS naquela época. Na Figura 3, observa-se que a diferença resultante da promediação para todo o período de observação seria menor que 1 cm.

O PSMSL não tem dados do período após a operação das estações ter sido passada do IAGS para as autoridades portuárias brasileiras. No entanto, as observações existem, sendo necessário iniciar-se um processo de recuperação e conversão dos registros gráficos.

3. Controle da Materialização Local do Datum de Imbituba

Nas estações maregráficas convencionais, a referência imediata das observações é a régua de marés, cujas leituras freqüentes permitem corrigir a escala dos dados registrados graficamente. No entanto, a régua de marés é uma referência bastante inadequada, pois trata-se de um elemento de grande vulnerabilidade a mudanças de posição.

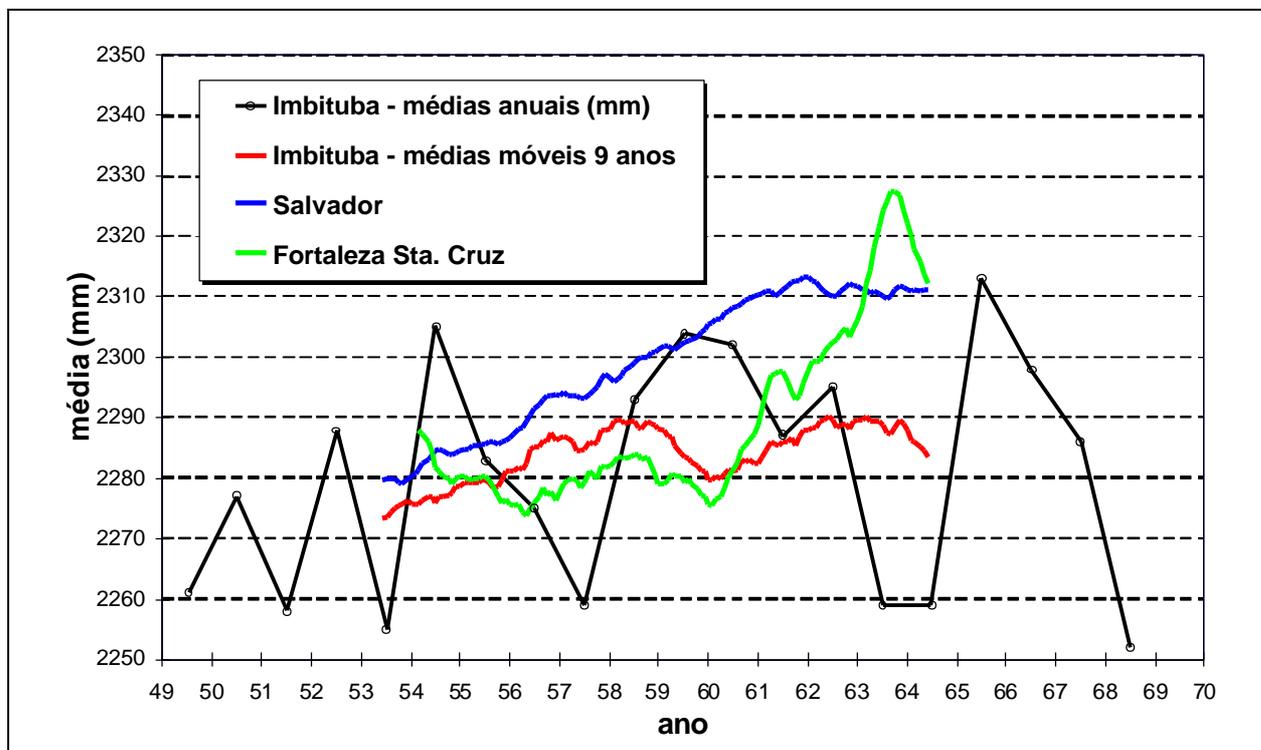


Figura 3 : Dados de estações maregráficas do IAGS no Brasil armazenados no PSMSL. As linhas coloridas representam médias móveis, com amplitude de 9 anos, das médias mensais (Fonte : PSMSL, 1996).

Para evitar que eventuais alterações na posição da régua introduzam tendências ou desvios fictícios nos dados de nível do mar, é necessário realizar periodicamente o nivelamento geométrico da régua. Essa operação transfere, para as RN da estação maregráfica, a referência dos dados coletados pelo marégrafo, materializando de forma permanente e inequívoca essa superfície de referência.

Os nivelamentos das RN da Estação Maregráfica de Imbituba iniciaram-se em dezembro de 1948, quando o USC&GS (*United States Coast and Geodetic Survey*) publicou os primeiros resultados referentes ao nivelamento de alguns pontos na região do Datum. Em junho de 1958, o IAGS renivelou a maioria destes pontos. Já o IBGE realizou operações de nivelamento na região do Datum em 1946 (antes da instalação do marégrafo), 1980, 1986, 1995, 2001 (quando os equipamentos digitais foram instalados) e 2002 (instalação de uma segunda régua junto ao marégrafo). Nestes nivelamentos, porém, nem sempre foram ocupadas as mesmas RN.

A Tabela 2 fornece uma visão geral dos nivelamentos indicados acima. Os desníveis indicados são referidos à RN IAGS-3M.

Um detalhe importante a ser destacado, e que pode facilmente ser visualizado na Tabela 2, é a escassez de repetições nos nivelamentos realizados sobre as RN que localizam-se na região do Datum de Imbituba.

Outro aspecto importante é a necessidade de se separar possíveis alterações do nível do mar, identificadas a partir da análise das séries temporais registradas com o marégrafo, de eventuais movimentos verticais da crosta. Ambos os movimentos assinalados podem ter a mesma ordem de grandeza e o acomodamento do terreno na região do marégrafo pode mascarar possível indicativo de elevação ou rebaixamento do nível do mar (Freitas e Luz, 1995). Nesse sentido, um aspecto de extrema importância é a fixação da posição geocêntrica do marégrafo, sendo que o monitoramento contínuo desta posição pode discriminar movimentos crustais e alterações do NMM (nível médio do mar).

Segundo Freitas et al. (2002b), as posições geocêntricas dos marégrafos servem como condição inicial para relacionar o NMM local a um geóide global. Uma primeira campanha visando a determinação da posição geocêntrica do Datum Vertical Brasileiro em relação a Rede SIRGAS foi realizada em 1997. O Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, em cooperação com o IBGE, estabeleceu um perfil de observações com 315 km de extensão, localizado na região sul do país e composto por três estações: Imbituba, Blumenau (situada a 50 km do mar) e Curitiba (situada a 80 km do mar e coincidente com a estação SIRGAS de Curitiba). Em cada estação foi instalado um receptor GPS de dupla frequência e um gravímetro para observação de marés gravimétricas juntamente com sensores de temperatura e pressão. Os dados GPS foram processados com técnicas fiduciais (foram utilizadas as estações IGS de Santiago e Brasília) e determinados os

efeitos dinâmicos causados pelas marés gravimétricas, influências meteorológicas e carregamento oceânico (Freitas et al., 1999).

Uma segunda campanha também envolvendo observações de marés gravimétricas e oceânicas, parâmetros meteorológicos e posicionamento tridimensional com GPS, foi vinculada à Campanha Internacional SIRGAS 2000, que incluiu estações GPS em pontos situados nas fronteiras entre os países e em diversos marégrafos nas Américas do Sul, Central e do Norte. Estudos indicam que as imperfeições dos modelos de correção dos efeitos diferenciais das marés gravimétricas, contidos nos softwares para processamento das observações GPS diferenciais sobre bases longas impedem a determinação da posição geocêntrica e conexão de marégrafos com curtos períodos de observação, sendo então recomendados períodos de observação de cerca de 10 dias sobre bases continentais.

TABELA 2 : Nivelamentos Realizados na Região do Datum de Imbituba

RN	Nivelamentos Realizados – Desníveis em metros							
	<1>	<2>	<3>	<4>	<5>	<6>	<7>	<8>
IAGS-1M	-4.5254	-4.5120	-4.5202					
IAGS-2M	-0.2240	-0.2200	-0.2225					
IAGS-3M	8.8304 ^(a)	8.8200 ^(a)	6.5532 ^(b)	(desníveis em relação a : {a} zero da régua original e {b} NMM entre 1949 e 1956)				
IAGS-5M	-1.8264	-1.8180	-1.8227					
IAGS-6M	1.9705	1.9770	1.9721	1.9774				
IAGS-7	1.5853	1.5910	1.5850		1.5860			
IAGS-8		2.0960	2.0940		2.0863			
IBGE 4-x	2.0790		2.0970			2.0860	2.0876	
IBGE 3010-A						-0.4027	-0.3970	
IBGE 3010-B						2.9234	2.9258	
IBGE 3010-C						-1.5054	-1.5052	
IBGE 3012-X						-4.5515	-4.5490	
IBGE 3012-Z						-4.4611	-4.4591	
Portobras-1					4.7276	4.7270	4.7282	
Portobras-2					-0.2765			
Portobras-3					-0.5107			
SAT 91854							3.9631	
topo régua							-4.9438	-5.4417

<1> Publicação do USC&GS; <2> Nivelamento do IAGS; <3> Lista de RN do IAGS; <4> Nivelamento do IBGE, 1980; <5> Nivelamento do IBGE, 1986; <6> Nivelamento do IBGE, 1995; <7> Nivelamento do IBGE, 2001; <8> Nivelamento do IBGE, 2002.

4. Evolução Temporal do Datum Vertical : Efeitos Dinâmicos e Posição Geocêntrica

4.1. Efeitos Dinâmicos

O estabelecimento de um Sistema Geodésico de Referência Geocêntrico facilita a conexão de redes verticais de alta precisão. Para este propósito, aspectos tais como as interações dos continentes com os oceanos e a atmosfera devem ser analisados em relação à resposta dinâmica da Terra, de modo a permitir a discriminação de movimentos seculares e periódicos e efeitos de carregamentos. O primeiro passo para a discriminação dos movimentos seculares sobre o Datum vertical é a fixação da sua posição geocêntrica. A determinação dos efeitos seculares pressupõe a existência de uma longa série de observações da maré oceânica e da fixação da posição geocêntrica do marégrafo, definida em certa época e verificada periodicamente. Estes procedimentos permitem a discriminação entre movimentos epirogênicos e crustais e entre movimentos eustáticos e variações do NMM, e demandam o estabelecimento de projetos de grande complexidade, para a manutenção da referência altimétrica de alta precisão. Durante a determinação da posição geocêntrica do marégrafo, usualmente por posicionamento diferencial GPS, utilizando técnicas fiduciais (Beutler, 1992), é necessário também considerar os movimentos relativos devido ao carregamento periódico diferencial (Farrel, 1972) devido a extensão das linhas de base. A flexão diferencial da crosta provocada pela interação entre as marés terrestres e oceânicas e variações de pressão atmosférica (De Freitas, 1993), podem produzir efeitos no posicionamento relativo sobre bases longas (VanDam et al., 1994; De Freitas, 1995).

Os carregamentos periódicos, tais como os produzidos pelas marés terrestres, efeito indireto dos oceanos e variações na pressão atmosférica (Melchior, 1983) são modelados em escala global. Para as marés terrestres, considerando **R** como o vetor dos efeitos preditos, com fase de referência de 0° para a análise do fenômeno; **A** (A, α) o vetor dos efeitos observados; **B** (B, β) o vetor dos resíduos locais; **L** (L, λ) o vetor predito do carregamento devido à interação com o oceano e a atmosfera e **X** (X, χ) o vetor dos resíduos finais, pode-se escrever que: $\mathbf{B} = \mathbf{A} - \mathbf{R}$ e $\mathbf{X} = \mathbf{B} - \mathbf{L}$. A componente cosseno do vetor **X** representa a resposta anômala local, a menos dos erros instrumentais, que podem ser estimados pela componente seno não correlacionada com o modelo de referência. A flexão crustal diferencial, proveniente das características locais de resposta, deve ser considerada devido às heterogeneidades laterais da crosta. Estas somente podem ser apropriadamente determinadas com a observação de maré gravimétrica a nível local, como proposto por De Freitas et al. (1995) para um perfil continental na América do Sul.

Um estudo realizado por Freitas et al. (1999) apontou para componentes anômalas das marés oceânicas na região do datum (Tabela 3).

TABELA 3 : Vetor X dos Resíduos de Maré Gravimétrica Compensados dos carregamentos Oceânicos para as Ondas Principais Diurna O1 e Semi-Diurna M2

Modelo	Estação	PARA	BLUM	IMBI
		Amplitude / fase	Amplitude / fase	Amplitude / fase
Schwidorsky	O1	2.9 / 138.3	3.4 / 29.1	9.8 / -9.4
	M2	4.0 / 38.0	5.5 / -64.3	22.5 / -3.1
CSR3.0	O1	1.7 / -22.1	3.5 / 13.4	10.7 / -16.5
	M2	3.5 / -65.7	8.9 / -260.6	18.9 / -19.6
FES95.2	O1	2.2 / -35.3	3.6 / 22.8	10.4 / -12.1
	M2	3.3 / 57.6	10.5 / 243.5	21.8 / -18.8
ORI	O1	1.4 / -26.2	4.1 / -2.5	11.9 / -18.8
	M2	1.5 / 38.9	6.8 / 255.1	17.3 / -12.3
ORI96	O1	2.0 / -50.4	4.2 / 23.7	11.3 / -11.9
	M2	1.8 / 35.8	5.3 / 255.8	17.4 / -10.5

Amplitude em nms^{-2} ; fase em graus
 Fonte: Freitas et al., 1999

Na determinação do NMM a partir da altimetria por satélites, cf. item 6, existem efeitos de reflexão anômala dos sinais de radar dos satélites, tais como nos sistemas do ERS-1 e Topex-Poseidon, em áreas próximas a costa. A perda de acurácia nestes casos não permite a efetiva aplicação destas técnicas para a determinação da topografia oceânica local, na região do Datum. Também, os efeitos de circulação locais e efeitos meteorológicos, não preditos nos modelos oceânicos (e.g. Schwiderski, 1980; Andersen, 1995a e 1995b), não permitem uma determinação precisa do efeito indireto dos oceanos em regiões costeiras.

4.2. Posição Geocêntrica do Datum Vertical Brasileiro

Os resultados referentes às duas campanhas GPS (1997 e 2000) realizadas sobre a estação de Imbituba estão sumariados na Tabela 4. Esta tabela mostra uma comparação entre os deslocamentos observados e os preditos a partir de diferentes modelos de velocidades. Os valores obtidos para os deslocamentos entre as duas campanhas podem ser considerados coerentes com os preditos com os modelos de velocidade (Freitas et al., 2002b).

4.3 Ondulação Observada do Geóide

A ondulação do geóide obtida a partir da altitude elipsoidal observada nas duas campanhas GPS e da altitude nivelada desde a RN vinculada ao NMM, foram respectivamente 1,331m e 1,324m. O valor fornecido pelo modelo EGM96 para o Datum Vertical Brasileiro é de 1,229m. Portanto, constata-se que a diferença entre os valores observados e o valor antecipado é de aproximadamente 10cm. Esta discrepância, ainda que pequena, poderá ser considerada na conexão das diferentes redes verticais da América do Sul. Pode estar associada à Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM) e é consistente com os modelos globais Levitus e Timothy (1994) (De Freitas et al.; 2001).

TABELA 4 : Resultados das campanhas GPS de 1997 e 2000 sobre o Datum Vertical de Imbituba

Coordenadas	Campanha 1997 ITRF 1994 época 1997.4	Campanha 2000 ITRF 1997 época 2000.4
Latitude	-28°14' 11.81027"	-28°14'11.80942" 0.025m
Longitude	-48°39' 21.88087"	-48°39'21.88225" -0.042m
Altitude Elipsoidal	11.7529m	11.7457m -0.0072m
X	3714672.3801m ±0.0022m	3714672.3567m ±0.0035m
Y	-4221791.3690m ±0.0024m	-4221791.3988m ±0.0037m
Z	-2999637.9009m ±0.0014m	-2999637.8737m ±0.0082m
Deslocamento as campanhas		Deslocamento total e componentes
Valores observados		0,0460m
		$\Delta X = -0.0234m$ $\Delta Y = -0.0288m$ $\Delta Z = 0.0272m$
Valores preditos (Modelo Nuvel)		0.0357m
		$\Delta X = 0.0009m$ $\Delta Y = -0.0183m$ $\Delta Z = 0.0306m$
Valores preditos Sol. RNNAC-SIR (DGFI) (Costa, 1999)		0.0608m
		$\Delta X = -0.0123m$ $\Delta Y = -0.0477m$ $\Delta Z = 0.0357m$
Valores preditos Sol. RBMC (Costa, 1999)		0.0657m
		$\Delta X = -0.0012m$ $\Delta Y = -0.0357m$ $\Delta Z = 0.0552m$
Valores médios preditos (Nuvel/RNNAC/RBMC)		0.0530m
		$\Delta X = -0.0042m$ $\Delta Y = -0.0339m$ $\Delta Z = 0.0405m$

Fonte: Freitas et al., 2002b

5. Acompanhamento Temporal e Espacial do Datum Vertical

Como mencionado anteriormente, o IBGE, apesar de constituir-se formalmente na autoridade geodésica brasileira, historicamente não envolveu-se no monitoramento do nível do mar, apenas utilizando os resultados fornecidos pelas instituições que operavam mareógrafos. Para resolver as incertezas oriundas dessa separação institucional, a partir de 1993 o IBGE passou a operar uma estação maregráfica piloto, e em 1997 foi lançada a proposta da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG), mostrada na Figura 2.

No entanto, o objetivo da RMPG não é redefinir ou refinar o Datum Vertical do SGB, já que a concepção moderna dos *data* verticais não mais aceita os bem conhecidos desvios do NMM em relação ao Geóide. O objetivo da RMPG é acrescentar mais um caminho para a integração das mais modernas técnicas da Geodésia Espacial ao SGB, servindo também como instrumento de transição para o futuro Datum Vertical SIRGAS. Do ponto de vista dos usuários do SGB, a RMPG possibilitará também a correlação entre o Datum de Imbituba e os diversos referenciais altimétricos existentes ao longo do litoral brasileiro (p.ex., níveis de redução para cartas náuticas e tábuas de marés, "zeros" hidrográficos portuários etc).

De forma que todos esses objetivos sejam atingidos, as estações da RMPG serão dotadas de equipamentos maregráficos e meteorológicos, que permitam a realização das reduções necessárias às observações de nível do mar, tais como o efeito de barômetro invertido. Duas das estações mostradas na Figura 2 encontram-se em operação desde 2001 (Macaé e Imbituba), a terceira (Salvador) entrará em operação ainda em 2002, e as demais (Fortaleza e Santana) serão instaladas em 2003.

Ambas as estações já operacionais contam com sensores digitais e convencionais, para evitar que eventuais panes instrumentais impliquem em perda de dados. Os sensores primários são digitais, com taxa de aquisição padronizada de 5 minutos, e transmissão dos arquivos de dados diários via linha telefônica. Os equipamentos secundários são convencionais, de registro gráfico, o que implica na necessidade de digitalização desses gráficos. No caso de Imbituba, existem registros gráficos desde 1999, que estão sendo atualmente digitalizados.

6. Evolução Temporal do NMM e Perspectivas com a Altimetria por Satélites

O uso do NMM como superfície de referência para as altitudes já foi amplamente aceito, porém atualmente é reconhecido que o NMM observado nos marégrafos não é considerado coincidente com o geóide global (Pan; Sjöberg, 1998). Com isso, cada datum vertical é referido a uma superfície equipotencial particular, associada ao NMM determinado num ponto costeiro (marégrafo); de forma geral, esta superfície possui uma diferença em relação ao geóide global. Esta diferença é chamada de Topografia do Nível Médio dos Mares (TNMM), e é causada pela ação de uma série de agentes físicos, meteorológicos e oceanográficos.

A suposição de que o NMM é coincidente com o geóide, adotada na definição da maioria dos *data* verticais, atualmente não atende aos padrões de precisão exigidos pela Geodésia. A diferença entre o nível do mar e o geóide pode atingir valores de 1 a 2 m (Seeber, 1993). Logo, a estimativa da TNMM é importante para a realização da conexão entre diferentes redes verticais e diferentes marégrafos (Freitas et al., 2002a) e deve ser conhecida para que se estabeleça o vínculo entre o sistema de altitudes local e o Geóide Global. Esta estimativa pode ser feita através da técnica da altimetria por radar.

A altimetria satelital impulsionou o estudo da Geodésia uma vez que proporciona um grande conjunto de dados relacionados à altitude da superfície do mar em escala global (Tapley; Kim, 2001). A rápida evolução da precisão na determinação das órbitas e das medidas dos satélites altímetros tem possibilitado inclusive a correção de órbitas de antigos satélites com possibilidade de incremento na precisão de antigas observações. As séries temporais da Altimetria por Satélites cobrem um período relativamente curto, de cerca de 30 anos, com descontinuidades. Porém, tais observações podem ser complementadas via outros dados, tais como os dos marégrafos (que representam localizações discretas), ampliando muito sua potencialidade.

A altimetria por radar proporciona cobertura espacial principalmente em águas profundas onde os marégrafos não podem ser instalados e em regiões oceânicas onde a presença de navios não é possível. Porém, um dos problemas relacionados com o uso da altimetria por satélites é a falta de resolução desta técnica nas regiões costeiras, onde estão localizados os marégrafos, devido à reflexões anômalas dos sinais do radar, ou seja, devido à interferência que a parte terrestre causa no sinal de retorno.

Um aspecto importante é que tanto a análise das séries temporais adquiridas com os marégrafos quanto as obtidas através da altimetria por radar têm demonstrado que o NMM não é estático, salientando a necessidade de monitoramento contínuo.

Na conexão de diferentes redes verticais ou de diferentes marégrafos, existem incertezas associadas aos erros inerentes à operação de nivelamento, aos fatores de ordem física e à TNMM. Como a TNMM é desconhecida nos *data* verticais adotados nos países da América do Sul, a adoção de um geóide global derivado de um modelo do geopotencial, como por exemplo o EGM96, pode fornecer uma primeira estimativa desta grandeza, mas desde que seja conhecida a posição geocêntrica de cada marégrafo (Freitas et al., 2002b).

7. Conclusões

As séries temporais dos registros maregráficos de Imbituba não são contínuas. Deve-se envidar um grande esforço para tentar resgatar estas informações de possíveis registros nas administrações portuárias brasileiras.

Restam inconsistências a serem resolvidas por investigação de novos modelos, para a conexão das novas séries temporais com as antigas, em vista do desconhecimento dos movimentos eustáticos e epirogênicos na região no grande período de descontinuidade.

Os resultados obtidos para a posição geocêntrica do marégrafo em Imbituba com as duas campanhas GPS apresentam boa concordância com os resultados preditos pela média dos modelos de velocidade apresentados na tabela 3. Então a variação de altitude de aproximadamente -7mm em três anos indica uma subsidência de aproximadamente 2mm ao ano.

As análises conduzidas demonstram a existência de um efeito anômalo na banda diurna, associado com as variações da altitude na estação GPS de Imbituba. De acordo com as análises espectrais procedidas, com as diversas fontes de perturbação possíveis, configurou-se que o efeito decorre provavelmente do carregamento oceânico. O carregamento oceânico está também bem configurado nos resíduos de maré gravimétrica, o que indica a extensão regional do fenômeno;

Os valores determinados da altura geoidal via observações GPS e com o modelo EGM96 são bastante coerentes, o mesmo não acontece com o valor determinado com a carta geoidal brasileira baseada no modelo GEMT2.

8. Bibliografia

- ALENCAR, J.C.M. (1968). **Sistema Nacional de Nivelamento de 1ª Ordem**. In: 1ª Conferência Nacional de Geografia e Cartografia. Rio de Janeiro, Brasil.
- ALENCAR, J.C.M. (1988). **Comunicação Pessoal**. Fortaleza, Ceará, Brasil.
- ALENCAR, J.C.M. (1990). **Datum Altimétrico Brasileiro**. In: Caderno de Geociências. Nº 5, p. 69-73. Rio de Janeiro, Brasil.
- ANDERSEN, O.B. (1995a). **Global ocean tides from ERS 1 and TOPEX/POSEIDON altimetry**. Journal of Geophysical Research, Vol. 100, No. C12, p. 25249-25259.
- ANDERSEN, O.B. (1995b). **Intercomparison of recent ocean tide models**. Journal of Geophysical Research, Vol. 100, No. C12, p. 25261-25282.
- BDG (2002). **Banco de Dados Geodésicos**. Departamento de Geodésia, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, Brasil.
- BEUTLER, G. (1992). **The impact of International GPS Geodynamics Service – IGS, in the surveying and map community**. In: XVII Congress IPRS, Session IU-GP, Proceedings, Washington DC
- FARREL, W.E. (1972). **Deformation of the Earth by surface loads**. Reviews of Geophysics and Space Physics, No. 10, p. 761-797.
- FREITAS, S.R.C. (1993). **Marés gravimétricas: Implicações para a placa Sul-Americana**. PhD. Thesis, IAG/University of São Paulo, 264 pp..
- FREITAS, S.R.C.; MANTOVANI, M.S.M.; MELCHIOR, P. & SHUKOWSKY, W. (1995). **Some implications of the gravity tides in the South American plate**. In: Earth Tides, ed. H.Hsu, Science Press, New York, p. 387-393.
- FREITAS, S.R.C.; SANTOS, M.C.; CORDINI, J. & MARONE, E. (1997). **Multi-parametric experiment for observing crustal deformations in Southern Brazil**. In: Geodesy on the Move, International Association of Geodesy General Assembly, Rio de Janeiro, 431-436.
- FREITAS, S.R.C.; LUZ, R.T. (1995). **Altimetria de Precisão com GPS baseada no SGB: Possibilidades Físicas e Limitações**. In: 4º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, p. 135-138. Rio de Janeiro, Brasil.
- FREITAS, S.R.C.; CORDINI, J.; MARONE, E.; SCHWAB, S.H.S. (1999). **Vínculo da Rede Altimétrica Brasileira à Rede SIRGAS**. In: International Geoid Service, Bulletin n.9, Special Issue for South America. p. 31-46.
- FREITAS, S.R.C.; MEDINA, A.S.; LIMA, S.R.S. (2002a). **Associated Problems to Link South American Vertical Networks and Possible Approaches to Face them**. In: IAG Symposia 124 - Vertical Reference Systems. Springer, Ed. H. Drewes et al., p. 318-323.
- FREITAS, S.R.C.; SCHWAB, S.H.S.; MARONE, E.; PIRES A.O.; DALAZOANA, R. (2002b). **Local Effects in the Brazilian Vertical Datum**. IAG Symposia 125 – Vistas for Geodesy in the New Millennium. Springer, Ed. J. Ádám e K.P. Schwarz, p. 102-107.
- IAG – Commission X – EUREF (1995). **Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for the European Reference Frame (EUREF)**. Publ. Astronomisch-Geodätische Arbeiten, München, Heft Nr. 56.
- IAG – Commission V – Earth Tides (1997). **Report of the Work Group on Tide-generating Potential**. ICET, Brussels.
- IBGE. SIRGAS (1997). **Final Report, Work Group I and II**. Diretoria de Geociências, Departamento de Geodésia, Rio de Janeiro.
- KUANG, S.; FIDIS, C. & THOMAS, F. (1996). **Modeling of local Geoid with GPS and levelling: a case study**. Survey and Land Information System, Vol 56, No 2, p. 75-88.
- KUMAR, M. (1994). **Development of a world height system**. In: INSMAP 94, Hannover, Proceedings, 235-242.
- LUZ, R.T.; GUIMARÃES, V.M. (2001). **Realidade e Perspectivas da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro**. In: II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. UFPR, Curitiba, Paraná, Brasil.
- LUZ, R.T.; GUIMARÃES, V.M.; RODRIGUES, A.C.; CORREIA, J.D. (2002a). **Brazilian First Order Levelling Network**. In: IAG Symposia 124 - Vertical Reference Systems. Springer, Ed. H. Drewes et al., p. 20-22.

- LUZ, R.T.; GUIMARÃES, V.M.; FREITAS, S.R.C.; MEDINA, A.S. (2002b). **Organização e Preparação de Dados Geodésicos para Realização do Datum Vertical SIRGAS no Brasil**. In: VII Congresso Internacional de Ciencias de la Tierra. Instituto Geografico Militar, Santiago, Chile.
- MC CARTHY, D.D. (1996). **IERS Conventions, 1996**. IERS Technical note, 21.
- MELCHIOR, P. (1983). **The tides of the planet Earth**. Pergamon, 2nd ed. London.
- MELCHIOR, P. & FRANCIS, O. (1996). **Comparison of recent ocean tide models using ground-based tidal gravity measurements**. Marine Geodesy, Vol. 19, p. 291-330.
- OPPENHEIM, A.V. & SCHAFER, R.W. (1975). **Digital signal processing**. Prentice Hall.
- RIBEIRO, G.P.; LOBIANCO, M.C.B.; LUZ, R.T. (1989). **Crítica e Análise dos Dados Iniciais Relativos à Preparação para o Ajustamento de Redes de Nivelamento de Alta Precisão**. In: XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Vol. 1, Sociedade Brasileira de Cartografia, p.215-218, Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil.
- RIBEIRO, G.P.; LUZ, R.T. (1991). **Resultados Preliminares do Ajustamento Global da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro**. In: XV Congresso Brasileiro de Cartografia, Vol. 1, Sociedade Brasileira de Cartografia, p.155-162, São Paulo, Brasil.
- ROTHACHER M. & MERVART L., (1996). **Bernese GPS Software Version 4.0**. Astronomical Institute University of Berne.
- SCHWIDERSKI, E.W. (1980). **On charting global ocean tides**. Reviews of Geophysics and Space Physics, No. 18, p. 243-268.
- SEEBER, G. (1993). **Satellite Geodesy. Foundations, Methods and Applications**. Walter de Gruyter, 531 p.
- TAPLEY, B.D.; KIM, M.C. (2001). Applications to Geodesy. In: Fu, L.L.; Cazenave, A. (Ed.) **Satellite Altimetry and Earth Sciences: a Handbook of Techniques and Applications**. Academic Press, p. 371-406.
- VANDAM, T.M.; BLEWITT, G. & HEFLIN, M.B. (1994). **Atmospheric pressure loading effects on Global Positioning System**. Journal of Geophysical Research, vol. 99, No. B12, p. 23939-23950.

9. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Processo 524030/96 – NV) e CAPES pelo suporte financeiro a este projeto; ao Observatório Real da Bélgica pela cessão de equipamentos, suporte técnico à pesquisa e em especial ao Prof. Paul Melchior e Dr. Olivier Francis os quais propiciaram discussões fundamentais e suporte para as análises dos efeitos oceânicos; à Dra. Marta S. M. Mantovani e Dr. Wladimir Shukowsky que contribuíram com apoio a trabalho de campo e empréstimo de equipamento; à Dra. Cláudia Pereira Krueger, Dr. Marcelo C. Santos e MSc. Sônia A. Costa pelo auxílio no processamento das observações GPS; ao MSc. Pedro L. Faggion, ao Geógrafo Murilo Kungenfluss e ao Engenheiro Eno D. Saatkamp pelo suporte aos trabalhos de campo e processamento de dados; à Fundação Universidade Regional de Blumenau e à Cia. Docas de Imbituba pelo apoio logístico ao trabalho.