

MUSEU DE TOPOGRAFIA PROF. LAUREANO IBRAHIM CHAFFE
DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA – UFRGS

A REDE ALTIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO

Iran Carlos Stalliviere Corrêa – Museu de Topografia Prof. Laureano Ibrahim Chaffe, Departamento de Geodésia, IG/UFRGS.

Fevereiro/2010

No início do século XX teve início o levantamento cadastral das fronteiras do Brasil com os países do extremo sul, Uruguai e Argentina. Foi implantada a **Comissão da Carta Geral do Brasil**, com sede em Porto Alegre. Esta comissão instituiu um Datum para a ocasião que levou o nome de **Datum da Carta Geral**, o qual foi utilizado para os levantamentos topográficos e geodésicos. Os dados referentes à altimetria foram baseados nos dados do **marégrafo de Torres**, onde surgiu o então **Datum de Torres**. Pouco se conhece hoje, em relação aos parâmetros adotados para estabelecer o Datum da Carta Geral.



Imagens do site www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/not..., acessado em 24/10/2009

Em 1945 teve o reinício dos levantamentos cadastrais com a implantação da **Rede Altimétrica de Alta Precisão** (RAAP) do **Sistema Geodésico Brasileiro** (SGB), a partir do qual foi definida a origem de suas altitudes, o que veio a ser o estabelecimento do **Datum Vertical** (ou Datum Altimétrico). Naquela época, não havia dúvida quanto aos aspectos teóricos dessa questão, para isso as altitudes das

Referências de Nível (RRNN) do SGB teriam o Geóide como ponto de origem. O problema enfrentado pela equipe responsável pela implantação da **RRNN** era a materialização dessa referência, já que o procedimento correto ou mais aceito na época, era o de considerar coincidentes o Geóide e o nível médio dos mares, o qual era obtido num período de observações de 18,6 anos. Entretanto não haviam marégrafos instalados na costa brasileira com um período tão grande de observações. Como o estabelecimento da **RAAP** foi iniciado no litoral sul do Brasil, especificamente no sul de Santa Catarina, optou-se por implantar uma linha de nivelamento até Torres, no limite do Rio Grande do Sul com Santa Catarina, onde a **Comissão da Carta Geral do Brasil** havia instalado e operado um marégrafo entre os anos de 1919 e 1920. Apesar do marégrafo não mais existir, suas observações haviam sido referidas a um marco geodésico do antigo SGE (hoje DSG, Diretoria do Serviço Geográfico do Exército), o qual fora incluído na linha de nivelamento entre o município de Criciúma-SC e o município de Torres-RS, permitindo assim, a utilização do nível médio do mar, obtido a partir daquele marégrafo, como datum vertical provisório, e que foi denominado **Datum de Torres**.

Em dezembro de 1946, foi efetuada a conexão com a **RN IV** do Serviço Geográfico do Exército, estabelecida junto ao Marégrafo de Torres-RS, o mais próximo do nivelamento iniciado, permitindo então o cálculo das altitudes das referências de nível já implantadas.

Seria provisória a adoção do **Marégrafo de Torres** como Datum Altimétrico, mais para atender ao cálculo de altimetria da Cadeia de Triangulação de 1ª ordem, iniciada também em 1945, ao longo do Meridiano de 49°W, que iria fornecer as coordenadas dos pontos de apoio básico, necessários ao mapeamento da zona carbonífera de Santa Catarina, trabalho este conveniado com o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

Era justificável o caráter provisório do **Datum de Torres**, estabelecido pela antiga Comissão da Carta Geral do Brasil, devido a seu curto período de observações maregráficas, apenas um ano (1919), considerando que o ciclo de 18,6 anos é o mínimo desejável para que sejam reduzidos os efeitos das variações periódicas, provocadas pelas influências astronômicas.

Em 1958 o **Datum de Torres** foi substituído pelo de Imbituba-SC, quando a rede de nivelamento já havia alcançado o Estado da Paraíba, totalizando mais de 30.000 km, espalhados em 78 redes que estavam sendo ajustadas em bloco. O novo **Datum Altimétrico Brasileiro**

contava, na época de sua implantação com 9 anos de observações maregráficas (1949-1957), as quais estavam sob a supervisão e manutenção do Inter American Geodetic Survey – IAGS.



Imagem do site www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/not..., acessado em 24/10/2009

Mesmo sendo tecnicamente recomendável, o Conselho Nacional de Geografia (CNG), hoje Fundação IBGE, optou por não se envolver na operação dos marégrafos, preferindo manter o procedimento que havia sido utilizado em Torres, isto é, conectar à **RAAP** as **RRNN** dos marégrafos, o que permitiria, se necessário, o aproveitamento dos respectivos níveis médios. Isso possibilitou correlacionar os níveis médios, de diversos pontos da costa, com o **Datum de Imbituba**, concluindo-se assim, que o nível médio do mar em Salvador encontrava-se cerca de 1 cm acima do Datum de Imbituba, enquanto que em Fortaleza, essa diferença chegaria a 30 cm. Recentemente, o reajustamento global da **RAAP**, o qual corrigiu as distorções introduzidas pelos sucessivos ajustamentos de blocos isolados, alterou tais valores para 15 cm, em Salvador e 55 cm, em Fortaleza.

Ao contrario dos ajustamentos anteriores, que haviam mantido o **Datum de Torres**, neste o CNG introduziu um novo datum vertical, o qual se encontrava melhor definido através da média das observações do nível do mar no marégrafo do IAGS em Imbituba-SC, entre os anos de 1949 a 1957. A comparação direta das altitudes referidas aos dois *data* não é possível, já que os respectivos ajustamentos consideraram redes diferentes. O último ajustamento referido a Torres foi realizado

em 1952, com aproximadamente metade das observações do ajustamento de 1959. Entretanto, a fim de permitir correlações isoladas, foi determinado um valor médio, o qual corresponde a 5,84 cm para a elevação do Datum de Torres acima do **Datum de Imbituba**.



Marégrafo da Ponta da Armação

Imagem do www.mar.mil.br/dhn/chm/mares.html, acessado em 24/10/2009

Um aspecto curioso e ainda não esclarecido é o motivo que levou à definição do Datum Vertical com base apenas nos dados de Imbituba, já que a estação maregráfica de Salvador contava com observações no mesmo período e já havia sido conectada à **RAAP**.

Depois da introdução do **Datum de Imbituba**, em 1959, não foram feitas alterações na definição do Datum Vertical do SGB, apesar de existirem observações em Imbituba e em outras estações, para períodos bem maiores.

O envolvimento efetivo do Departamento de Geodésia (DEGED) do IBGE, no monitoramento do nível do mar, teve início em abril de 1993, quando entrou em operação a **Estação Maregráfica Experimental de Copacabana** (EMEC). Tal estação foi reconfigurada pelo DEGED, com apoio da DHN e do InPH, a partir dos componentes instalados pela COPPE/UFRJ, alguns anos antes, como parte dos estudos dessa instituição sobre a Lagoa Rodrigo de Freitas, na cidade do Rio de Janeiro.



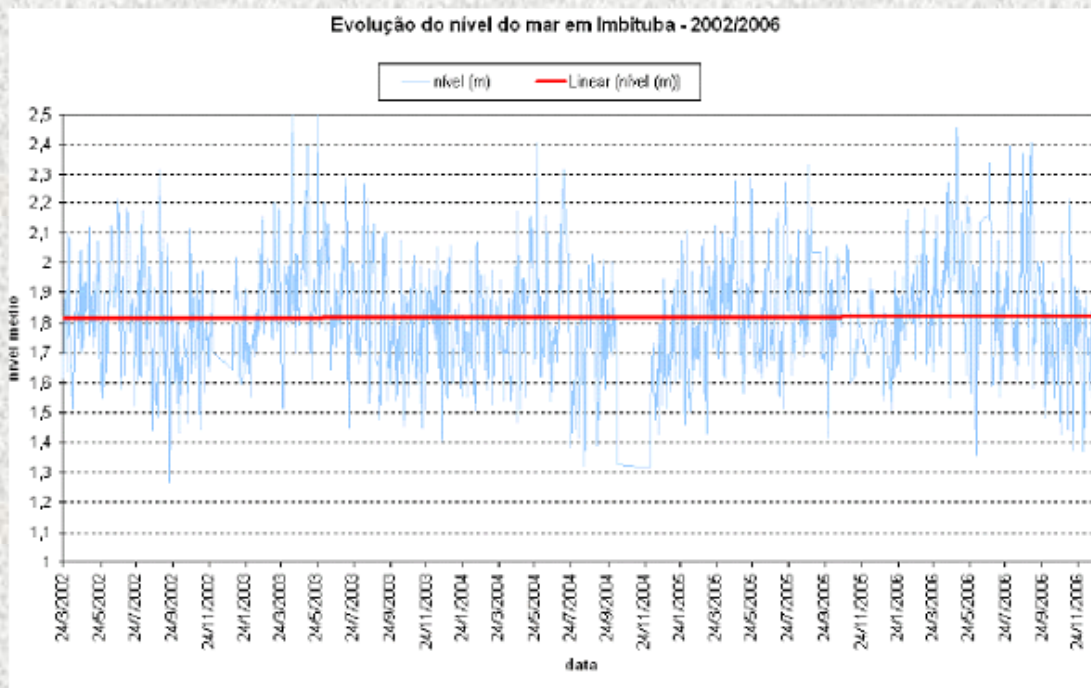
Estação Maregráfica de Salvador

Imagem do site www.panoramio.com/photo/11704359, acessado em 24/10/2009

Um dos principais resultados obtidos em Copacabana foi a constatação de que os registros de marégrafos convencionais podem indicar variações de nível do mar fictícias, fruto de derivas instrumentais e movimentos verticais das **RRNN** de controle. Também merecem destaque os estudos da influência das ondas sobre a observação do nível do mar com marégrafos convencionais, que permitiram aprimorar o planejamento e a especificação das estações maregráficas de interesse geodésico, necessariamente instaladas em costa aberta, em locais sujeitos à ação de ondas de alta e média frequência.

Em novembro de 1994 o DEGED assumiu o controle de operação de um marégrafo convencional da Petrobrás, instalado no Porto de Imbetiba, em Macaé-RJ. Foram introduzidos aprimoramentos na estrutura dessa estação maregráfica, transformando-a numa estação piloto da futura **Rede Maregráfica Permanente para Geodésia** (RMPG).

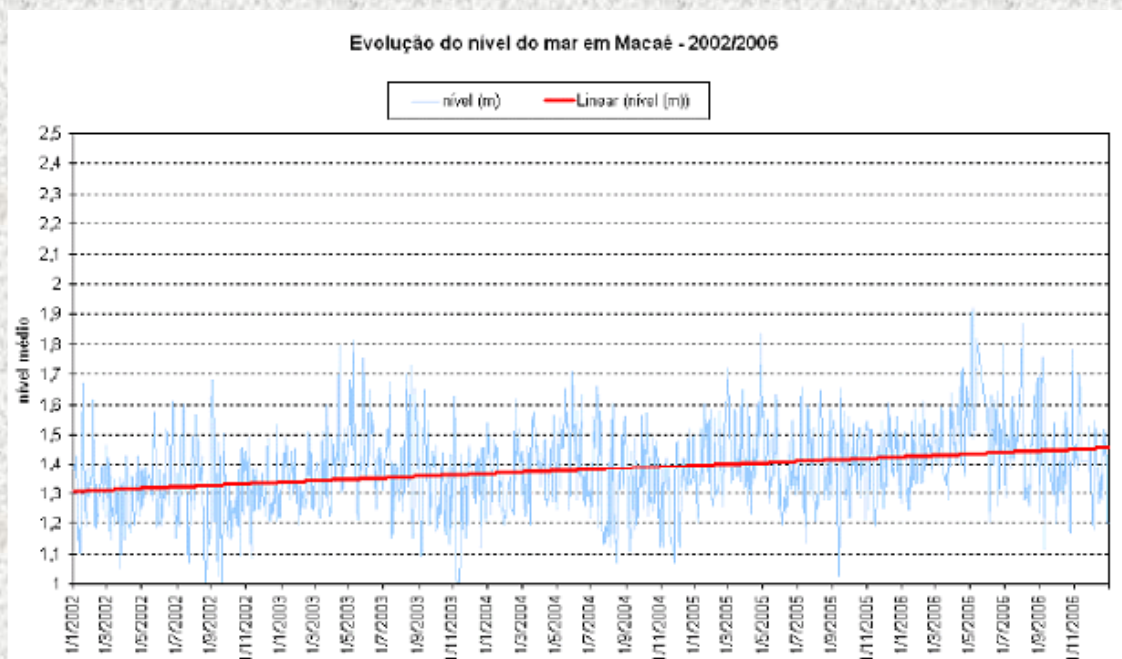
O primeiro **marégrafo digital**, cujo princípio de funcionamento elimina a possibilidade de ocorrência de deriva instrumental, foi instalado em Macaé, em abril de 1998. A esse marégrafo juntou-se, em julho de 2001, um segundo equipamento digital, de projeto mais completo e robusto, com operação baseada na observação e conversão da pressão hidrostática em altura da coluna d'água. A utilização desse tipo de sensor deve ser feita com bastante cuidado, devido à possibilidade de efeitos anômalos decorrentes da conversão para nível d'água e da ocorrência de variações não-lineares da pressão hidrostática (p.ex., em função da propagação de ondas).



Imagens do site www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/not..., acessado em 24/10/2009

Em 1997 foram definidos preliminarmente os locais onde seriam instaladas as estações da rede altimétrica: **Imbituba, Macaé, Salvador, Fortaleza e Santana**. Além do critério de espaçamento regular, a definição desses locais foi baseada na importância histórica como Datum (além de Imbituba, o SGB tem como **Datum Altimétrico** o nível médio do mar determinado no Porto de Santana-AP) e a coincidência de antigas estações do IAGS com Unidades do IBGE (Salvador e Fortaleza) que facilitaria sua operação e manutenção. No entanto, a efetiva implantação da **RMPG** foi possível somente a partir de 2001, com a chegada dos primeiros equipamentos digitais, adquiridos pelo próprio IBGE, instalados em Macaé e Imbituba. Nesta última, os administradores do porto operam um marégrafo convencional desde 1999, cujas observações estão sendo correlacionadas às do marégrafo digital. Em 2002, foi instalada a Estação Maregráfica de Salvador, com equipamentos emprestados pela DHN e apoio logístico da Companhia de Desenvolvimento Regional (CONDER) da Bahia.

Contrariamente ao que se pode supor em vista da implantação da **RMPG**, o IBGE não pretende alterar a definição do Datum Altimétrico do SGB. O principal objetivo da **RMPG** é fornecer elementos para a correlação do **Datum de Imbituba** com outros referenciais maregráficos.



Imagens do site www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/not..., acessado em 24/10/2009

A disponibilidade de dados contínuos nas atuais estações da **RMPG** (Macaé, nov/1994; Imbituba, jun/1999; Salvador, dez/2002) ainda não permite a realização das correlações mencionadas. Além disso, o tratamento da grande quantidade de dados gráficos vem se desenvolvendo em um ritmo mais lento que o desejado. Mas essas dificuldades estão sendo superadas, com a priorização da **RMPG** nas atividades do DEGED, esperando-se que nos próximos anos, os primeiros resultados possam ser divulgados.

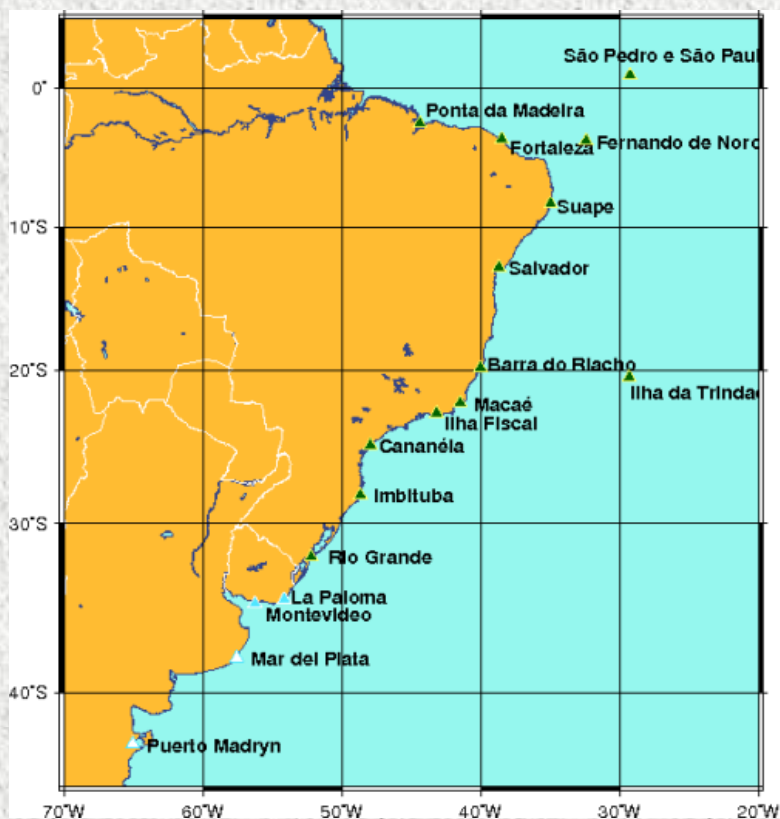


Figura do site www.oceanlan.org/produtos/gloss.html, acessado em 24/10/2009

Marégrafos da rede **GLOSS-Brasil**, posição e período de funcionamento
(Tabela 1)

#	Estação	Posição	Período
1	Puerto Madryn	42° 46'S 062° 02'W	1945 a 1998
2	Mar del Plata	38° 02'S 057° 32'W	2004 a
3	Montevidéu	34° 54'S 056° 15'W	1938 a 1995
4	Rio Grande	32° 08'S 052° 06'W	1981 a 2003
5	Imbituba	28° 08'S 048° 24'W	2001 a 2006
6	Cananéia	25° 01'S 047° 56'W	1954 a 2006
7	Ilha Fiscal	22° 56'S 043° 08'W	1963 a 2007
8	Macaé (Imbetiba)	22° 14'S 041° 28'W	2001 a 2006
9	Barra do Riacho	Operacional	Operacional
10	Salvador	12° 58'S 038° 31'W	2004 a 2007
11	Fortaleza-B	03° 43'S 038° 28'W	1995 a 1998
12	Ponta da Madeira	02° 34'S 044° 23'W	1985 a
13	Ilha Trindade	20° 30'S 029° 19'W	1983 a 1983
14	Fernando de Noronha	03° 50'S 032° 24'W	1985 a 1986
15	São Pedro e São Paulo	00° 55'N 029° 21'W	1982 a 1985

Na tabela 2, foi feita uma comparação entre os dados de **Imbituba** e os de outros 17 marégrafos, relacionados em ordem decrescente de Latitude, todos conectados com a Rede de Nivelamento. O sinal positivo indica que o plano do nível médio do mar, registrado pelas observações do Marégrafo local, é mais alto do que o determinado em Imbituba, e transportado pelo nivelamento, abstraído o erro nesse transporte. Nota-se que entre Imbituba e Salvador a discrepância entre esses dois marégrafos é de apenas 11,3 mm, que pode ser atribuída ao transporte no nivelamento. De Salvador até Salinópolis, passando por Recife e Fortaleza, a variação se apresenta muito uniforme, obedecendo quase que uma linha reta e acusando uma divergência de +0,6422 m.

TABELA 2				
MARÉGRAFO	RN N°	IBGE	MARÉGRAFOS	DIVERGÊNCIA
		(m)	(m)	(m)
Torres	IV – SGE	3,6395	3,5811	+ 0,0584
Laguna	1 – DNPRC	0,6173	0,7440	- 0,1267
Florianópolis	S/N° - DNPRC	2,0093	2,0820	- 0,0727
Porto Belo	1 – DHN	1,9286	1,6860	+ 0,2426

Itajaí	1 – DNPRC	1,1689	1,0290	+ 0,1399
S. Fco. do Sul	S/Nº- DNPRC	2,4626	2,4490	+ 0,0136
Paranaguá	3 - DNPRC	2,3960	2,3959	+ 0,0010
Santos	0–A DOCAS	3,1171	3,0650	+ 0,0521
Sepetiba	1 – SGE	2,3613	2,5270	+ 0,1657
Rio de Janeiro	5 – IAGS	10,0170	10,1407	- 0,1237
Vitória	S/Nº- DNPRC	1,6080	1,3240	+ 0,2840
Canavieiras	2 – IAGS	3,2348	3,2857	- 0,0509
Salvador	1 - IAGS	1,7035	1,6922	+ 0,0113
Recife	1 – IAGS	2,8704	2,7322	+ 0,1382
Fortaleza	1 - IAGS	3,2397	2,9474	+ 0,2923
Salinópolis	2 - IAGS	6,9019	6,2484	+ 0,6535
Belém	2 - IAGS	3,9096	3,0297	+ 0,8808

Segundo Alencar (1990) deve-se levar em conta que as observações do marégrafo de Belém não merecem confiança para definir a superfície do geóide, em virtude da sua inadequada localização, o qual se encontra a mais de 100 km do mar aberto. Nas proximidades do ponto onde se encontra o marégrafo, a influência do rio Guamá é tão acentuada que a maré vazante tem duração de cinco horas, enquanto a maré enchente demora sete horas, aproximadamente.

Alencar (1990) descreve a relação existente entre o **marégrafo de Imbituba** e o **marégrafo Arica**, no Chile, valendo-se de uma linha transcontinental de Nivelamento Geodésico, a qual atravessa o Brasil, a Bolívia e o Chile. A partir dos dados obtidos destes marégrafos fica evidenciado que o nível médio do Oceano Pacífico é mais 16 cm mais baixo do que o do Oceano Atlântico, contrariando o que se observa no hemisfério norte, em especial nos Estados Unidos, onde, para correspondentes latitudes, o nível médio do Pacífico é 60 cm mais elevado, segundo dados apresentados pelos geodestas Norman F. Braten e Charles Mc Comb.

A Tabela III indica algumas discrepâncias existentes entre redes verticais de países da América do Sul e a rede vertical brasileira. Os valores são derivados da diferença de altitude em pontos onde foi realizada a interligação entre as redes verticais dos países vizinhos.

Tabela 3

DIFERENÇAS EM PONTOS DE CONEXÃO DAS REDES VERTICAIS DE PAÍSES SUL-AMERICANOS COM RELAÇÃO AO MARÉGRAFO DE IMBITUBA	
PAÍS	DISCREPÂNCIA (m)
Argentina e Brasil	+0,1937
Brasil e Paraguai	-0,6547
Brasil e Uruguai	+0,5584

FONTE: FREITAS et al., 2002b, p. 321

Fontes:

Alencar, J.C.M. 1990. Datum Altimétrico Brasileiro. Separata de Cadernos de Geociências, nº 5 IBGE, Rio de Janeiro. <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/artigos/1990-datum%20altimetrico%20brasileiro.pdf>

Freitas, S. R. C. de; Medina, A. S.; Lima, S. R. S. de. 2002. 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. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, p. 318-323.

www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/not...

www.oceanlan.org/produtos/gloss.html

http://images.google.com.br/imgres?imgurl=http://www.mar.mil.br/dhn/chm/images/mareg-rafo.gif&imgrefurl=http://www.mar.mil.br/dhn/chm/mares.html&usg=__N37jyyrIFDxvCphgNqQiecbLdq0=&h=300&w=400&sz=64&hl=pt-BR&start=1&tbnid=LRDezjW4DEjLLM:&tbnh=93&tbnw=124&prev=/images%3Fq%3DMar%25C3%25A9grafo%2Bbrasil%26gbv%3D2%26hl%3Dpt-BR