

Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE

Roberto Teixeira Luz e Valéria Mendonça Guimarães
Departamento de Geodésia – IBGE
III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, maio/2003, Curitiba, PR

RESUMO

Apresentam-se as motivações para o IBGE estabelecer a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia, dentre as quais destaca-se a necessidade de correlacionar os diversos referenciais verticais existentes ao longo do litoral brasileiro ao Datum de Imbituba. Aborda-se a situação atual da RMPG, analisando-se os resultados preliminares das três estações maregráficas já implantadas — Imbituba, Macaé e Salvador. Tais resultados incluem uma possível diferença de 20 cm entre os níveis médios passado e atual em Imbituba, além da estabilidade marcante do nível médio em Salvador — contrariamente ao que acontece em Imbituba e Macaé —, sem deixar de ressaltar que o tratamento de tais observações encontra-se ainda em estágio inicial. São relacionadas as próximas etapas do estabelecimento e operação da RMPG : implantação das estações de Fortaleza e Santana ; conclusão da conversão das observações dos marégrafos auxiliares de cada estação e sua correlação com as observações digitais dos marégrafos primários ; implantação de receptores GPS permanentes.

Palavras-chave: Datum Vertical ; Nível Médio do Mar ; Rede Maregráfica Permanente para Geodésia

ABSTRACT

The paper presents the motivations for IBGE to establish the Geodetic Tide Gauge Network (RMPG), among which it is emphasized the need for a correlation between Imbituba Datum and the multiple vertical references existent along Brazilian coast. The status of RMPG is commented, analysing the preliminary results of the three operational tide gauge stations — Imbituba, Macaé e Salvador. These results include an eventual 20-cm-difference between past and present mean sea levels at Imbituba, besides the noticeable stability of the mean sea level at Salvador — contrarily to that at Imbituba and Macaé —, emphasizing that the data processing is in its initial phase. Next steps of the establishment and operation of RMPG are : instalation of the stations at Fortaleza and Santana ; conclusion of conversion of the secondary tide gauge observations in each station, and its correlation with digital data of primary gauges ; colocation with permanent GPS receivers.

Keywords: Vertical Datum ; Mean Sea Level ; Geodetic Tide Gauge Network

1. MOTIVAÇÕES

Em abril de 1993 entrava em operação a Estação Maregráfica Experimental de Copacabana (EMEC). Dez anos depois, o IBGE está prestes a alcançar o objetivo que, durante várias décadas, permaneceu apenas como aspiração de muitos de seus geodestas : o estabelecimento de uma rede de estações maregráficas para subsidiar estudos relacionados ao Datum Altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Hoje, a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) tem três estações em operação — Imbituba (SC), Macaé (RJ) e Salvador (BA) —, e planeja instalar ainda em 2003 as duas restantes, em Fortaleza, CE, e Santana, AP (Figura 1).

Uma vez completa, a RMPG permitirá correlacionar ao Datum de Imbituba os diversos referenciais verticais existentes ao longo do litoral brasileiro. Um dos cenários em que a RMPG assumirá maior importância é constituído pelos trabalhos e pesquisas em regiões costeiras cujo controle altimétrico é dado pelas Referências de Nível (RRNN) do SGB mas buscam referir-se ao nível médio local. Por exemplo, grandes obras de revitalização de bairros portuários podem encontrar problemas de drenagem das águas pluviais se não forem considerados não só o nível médio local como também o nível máximo.

A Figura 2 apresenta a relação entre o Datum de Imbituba e vários níveis médios locais. Tal relação foi determinada progressivamente durante todo o período de estabelecimento da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do SGB, sempre que suas linhas de nivelamento geométrico conectavam-se aos marégrafos existentes. Conclui-se, por exemplo, que o nível médio do mar em Salvador estaria cerca de 1 cm acima do Datum, enquanto que em Fortaleza essa diferença chegaria a 30 cm. Mais recentemente, o reajustamento global da RAAP — que corrigiu as distorções introduzidas na rede pelos sucessivos ajustamentos de blocos isolados (Luz & Guimarães, 2001) — alterou tais valores para 15 cm e 55 cm, respectivamente.

FIGURA 1 – Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG)

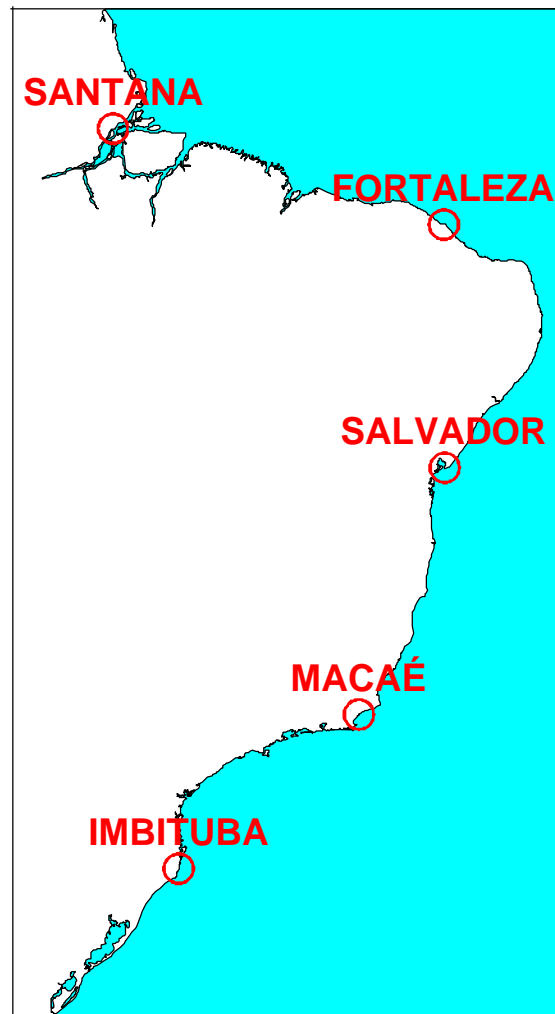
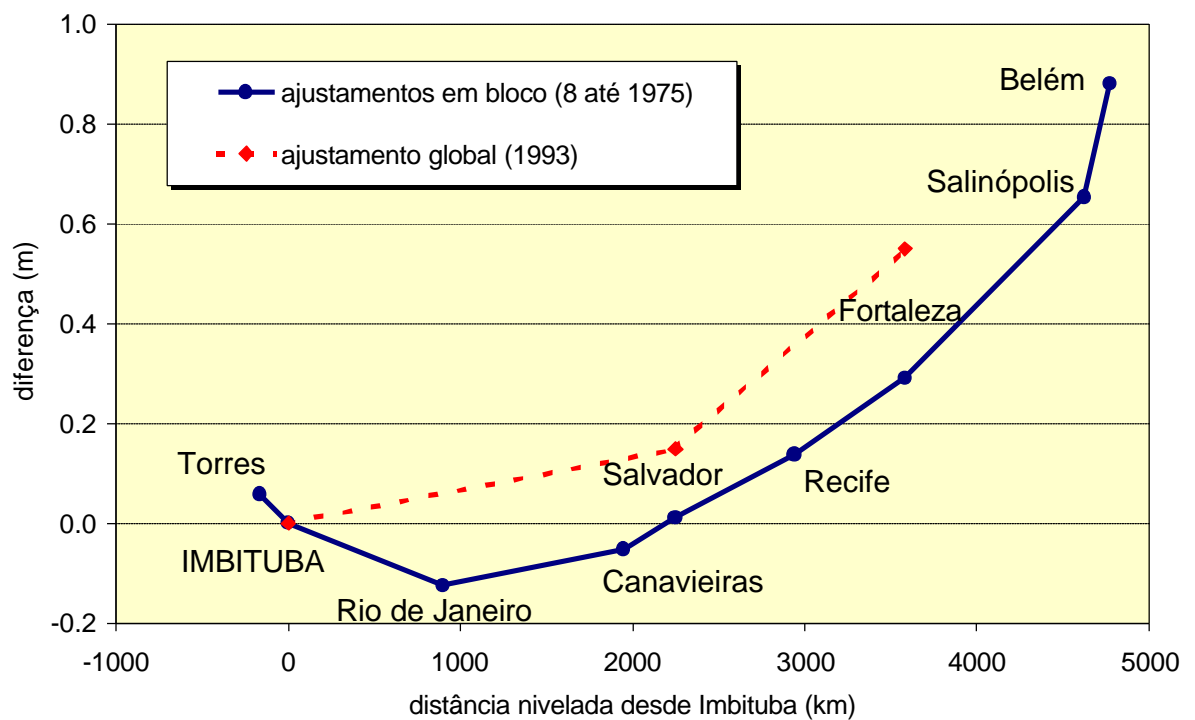


FIGURA 2 – Diferenças entre o Datum de Imbituba e o nível médio local em alguns pontos do litoral brasileiro (Alencar, 1990), com indicação dos efeitos do refinamento das altitudes do SGB pelo ajustamento global da RAAP (Luz & Guimarães, 2001)



No entanto, não só a diversidade das datas de referência dos níveis utilizados nesse gráfico, quanto sua desatualização, levam à necessidade de uma estrutura permanente, e organicamente vinculada ao SGB — como a RMPG —, para refinar as informações de correlação entre os referenciais verticais envolvidos. Esse refinamento pode ser dividido em duas etapas. A primeira será constituída pela correlação temporal entre as observações atuais de Imbituba e aquelas utilizadas para a definição do Datum. As observações atuais, por sua vez, poderão ser correlacionadas espacialmente com as observações para os mesmos períodos das outras estações.

2. EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA

2.1. A ANTIGA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA

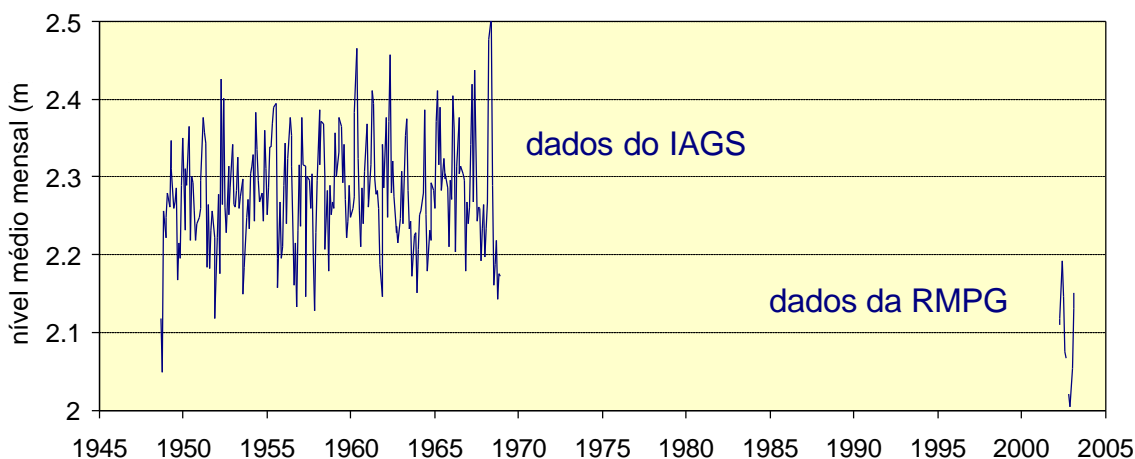
Em 1948, o *Inter-American Geodetic Survey* (IAGS), unidade da antiga agência militar de mapeamento (DMA, hoje NIMA) dos EUA, iniciou um extenso programa de colaboração com diversas instituições brasileiras, dentre as quais o Conselho Nacional de Geografia (CNG, hoje Fundação IBGE), que recebeu grande apoio em suas operações geodésicas. O IAGS também apoiou o então Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais (DNPRC, depois Portobrás, hoje extinta) com a implantação de nove estações maregráficas na costa brasileira. O período de operação de tais estações não foi homogêneo, variando de poucos anos (e.g., Salinópolis, MA) até duas décadas (p.ex., Fortaleza, Salvador e Imbituba). Em 1968 o IAGS encerrou suas atividades maregráficas no Brasil, doando os equipamentos e instalações ainda operacionais ao Instituto de Pesquisas Hidroviárias (InPH, sucessor da Divisão de Hidrografia do DNPRC), que também experimentou dificuldades em manter sua operação. São mostradas, na Figura 3, as médias mensais das observações referentes ao período de operação do IAGS, armazenadas no *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL), banco mundial de dados de nível do mar. A análise comparativa dos dados recentes é abordada nas próximas seções.

2.2. A DEFINIÇÃO DO DATUM DE IMBITUBA

Em 1959, quando a RAAP já alcançara o Estado da Paraíba, totalizando mais de 10 mil RRNN implantadas e 30 mil quilômetros de duplo nivelamento, foi realizado seu terceiro ajustamento manual (Alencar, 1968). Contrariamente aos ajustamentos anteriores, que haviam mantido o Datum de Torres, neste ajustamento o CNG introduziu um novo datum vertical, melhor definido através da média das observações do nível do mar no marégrafo do IAGS em Imbituba, entre 1949 e 1957. A comparação direta das altitudes referidas aos dois *data* não é possível, já que os respectivos ajustamentos consideraram redes bastante 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 de 5,84 cm para a elevação do Datum de Torres acima do Datum de Imbituba.

Depois da introdução 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, como mostrado na Figura 3.

FIGURA 3 – Médias mensais das observações da antiga estação maregráfica de Imbituba (PSMSL, 1996) e da nova estação da RMPG



2.3. AS OBSERVAÇÕES DA ESTAÇÃO DA RMPG

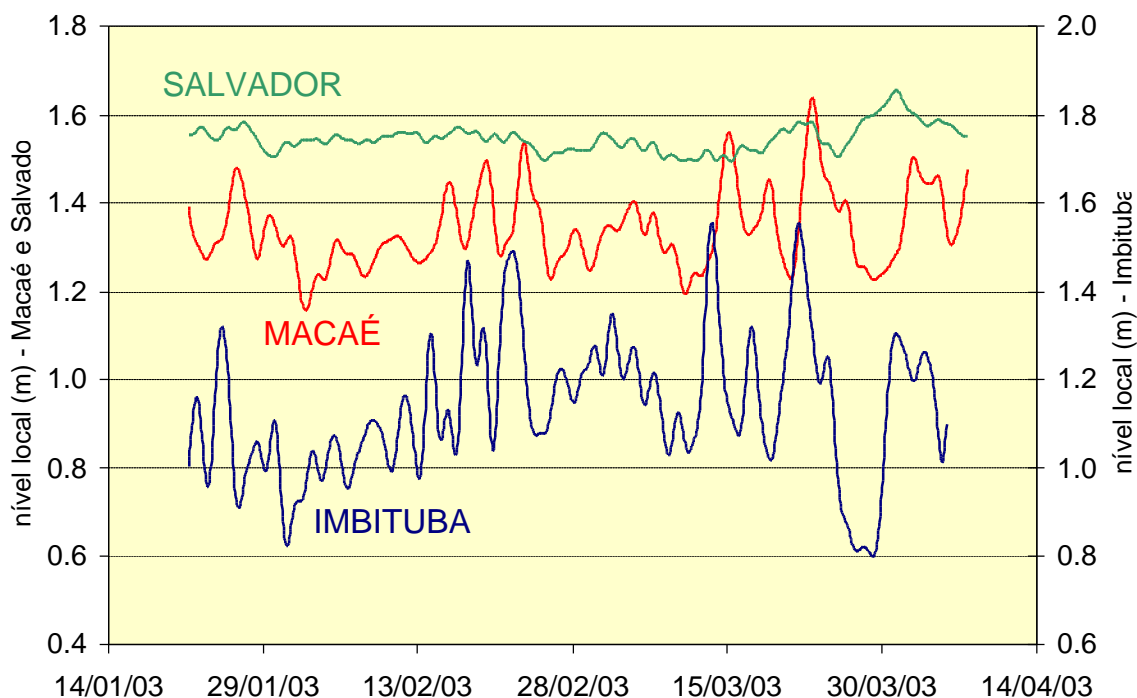
Após um período indeterminado, no início da década de 1990, em que não houve coleta de dados de nível do mar, a Companhia Docas de Imbituba (CDI) retomou em 1999 a operação contínua de um mareógrafo convencional. Em 2001, o Departamento de Geodésia (DEGED) do IBGE instalou sensores mareográficos e meteorológicos digitais, que configuram, juntamente com o equipamento convencional, uma estação mareográfica que segue o padrão da RMPG.

A Figura 3 mostra os primeiros resultados da integração das novas observações à série histórica de dados do IAGS. Observa-se uma nítida diferença, de aproximadamente 20 cm, cuja interpretação deve ser feita com extremo cuidado. Além do número insuficiente de observações, não existe ainda segurança sobre possíveis alterações de seu nível de referência, devido ao grande período com ausência de observações e ao pequeno número de reocupações de RRNN da estação através de nivelamentos geométricos periódicos (Dalazoana et. al., 2002). Por esse e outros motivos, é essencial a recuperação dos dados pós-1968 (Dalazoana et. al., 2003).

3. EVOLUÇÃO ESPACIAL : NÍVEIS MÉDIOS ATUAIS EM MACAÉ E SALVADOR

Como já mencionado, a utilização dos resultados apresentados na Figura 2 é bastante problemática, em vista da difícil identificação dos períodos de referência dos níveis médios locais, e também da multiplicidade de padrões de operação e tratamento das observações de cada mareógrafo. O estabelecimento de uma rede como a RMPG elimina tal problema, uma vez que o gerenciamento unificado de seus processos minimiza os efeitos da citada multiplicidade, e a operação em rede, por si só, fornece uma base de dados com referência temporal única.

FIGURA 4 – Níveis médios (filtro de 168 horas) nas estações atuais da RMPG



A Figura 4 mostra dados de um mesmo período (jan-abr/2003) das três estações da RMPG em operação. As observações brutas dos mareógrafos digitais, com intervalo de amostragem de 5 minutos, foram filtradas para obtenção, inicialmente, de valores horários (Pugh, 1987) e, sucessivamente, dos valores semanais apresentados no gráfico. Observa-se que a influência meteorológica é bastante acentuada em Imbituba, cujos eventos também influenciam o nível médio em Macaé. A notável estabilidade do nível médio em Salvador deve ainda passar pelo crivo do tempo ; confirmando-se em um cenário de longo prazo, tal estabilidade pode levar à escolha dessa estação para futuros estudos mais aprofundados, como, por exemplo, a integração de observações de altimetria por satélites e de GPS. Nesse último aspecto a situação é bastante favorável, pois já existe, há vários anos, uma estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do GPS a poucos quilômetros da estação mareográfica.

Contudo, o controle geodésico é imprescindível não apenas para Salvador, mas sim para todas as estações da RMPG. Nesse contexto, terão papel essencial : a repetição das linhas de nivelamento entre as estações maregráficas, com informações gravimétricas, que possibilitará a determinação rigorosa das altitudes científicas de suas RRNN ; o controle tridimensional dessas RRNN, através de estações GPS permanentes ou da repetição freqüente de campanhas GPS, para identificar movimentos crustais que poderiam introduzir variações anômalas nos resultados de nível médio ; e a altimetria por satélites, que levará à minimização dos efeitos da topografia do nível médio, através da aplicação de modelos adequados para a correção da perda de resolução nas regiões costeiras.

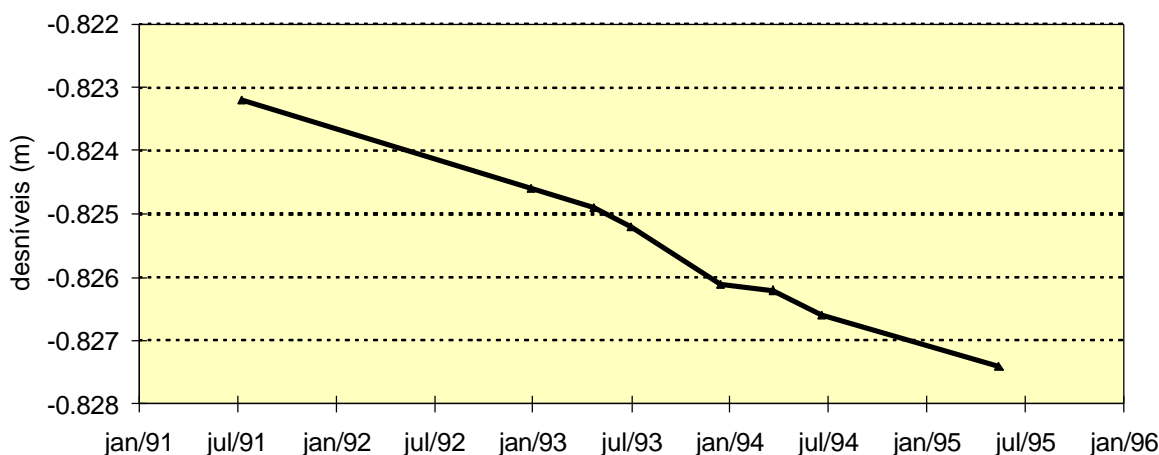
4. CARACTERIZAÇÃO DA RMPG

4.1. ANTECEDENTES

O envolvimento efetivo do DEGED/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.

A EMEC operou entre abril de 1993 e março de 1994, quando foi destruída pelas grandes ondas associadas à passagem de uma forte frente fria ("ressaca"). Por tratar-se de estação bastante singela (marégrafo convencional diário, sem abrigo) e instalada em local inadequado (raso e sem controle de acesso do público), o DEGED preferiu não recuperar a EMEC, optando por estabelecer uma nova estação em local mais favorável e que não acarretasse uma superposição com estações de outras instituições. No entanto, o objetivo da EMEC foi cumprido integralmente — o DEGED adquiriu experiência nos procedimentos de coleta e tratamento de dados do nível do mar. Essa foi uma etapa essencial do processo de capacitação dos técnicos do IBGE, após vários anos de contato com diversas instituições atuantes no campo do nível do mar. Um dos principais resultados da experiência 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 (Figura 5). 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, i.e., em locais sujeitos à ação de ondas de alta e média frequência (Luz, 1996).

FIGURA 5 – Evolução do desnível entre as RRNN 1033-A e 2969-F, que faziam parte da estrutura de controle geodésico da EMEC (Luz, 1996)



4.2. ESPECIFICAÇÕES

Em novembro de 1994 o DEGED assumiu a operação de um marégrafo convencional da Petrobrás no Porto de Imbetiba, em Macaé, RJ. Gradualmente, foram introduzidos aprimoramentos na estrutura dessa estação maregráfica, transformando-a numa estação piloto da então futura RMPG. Dentre esses aprimoramentos, vale destacar a operação simultânea de pelo menos dois marégrafos, iniciada em novembro de 1995 com a instalação de um segundo marégrafo convencional. Esse padrão de operação ainda prevê que os equipamentos possuam princípios de funcionamento diferentes, com o objetivo de minimizar a ausência de observações por falha instrumental, e que pelo menos um dos

marégrafos seja digital (armazenamento e transferência dos dados), para que as observações estejam disponíveis em tempo real, sempre que necessário. 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). A existência de equipamentos baseados em diferentes princípios de operação também permite controlar a incidência dessa espécie de problema.

A experiência do DEGED na Estação Maregráfica de Macaé também levou ao desenvolvimento do padrão de instalação da RMPG, constituído de abrigo (adaptado para o nivelamento da referência de leitura dos equipamentos), poços de tranquilização com pequena necessidade de manutenção (tubos de PVC de alta pressão com orifícios em tampas cônicas auto-limpantes) e régua de marés com trilhos-guia e graduação usinada de alto contraste, que facilita enormemente a operação e a manutenção.

4.3. A REDE

A concepção da RMPG data de 1997, quando foram definidos preliminarmente os locais para instalação das estações da rede : Imbituba, Macaé, Salvador, Fortaleza e Santana. Além do critério de espaçamento regular, a definição desses locais baseou-se na importância histórica como Datum (além de Imbituba, o SGB tem ainda o nível médio do mar no Porto de Santana como datum altimétrico para a pequena porção isolada da RAAP no Amapá) 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. 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.

5. PERSPECTIVAS

A RMPG vem sendo gerenciada com uma diretriz principal : dar máxima prioridade à manutenção da qualidade das observações coletadas por suas estações. Tal procedimento acarretou, no período inicial de operação dos equipamentos digitais, atrasos nas demais atividades, notadamente no tratamento das observações gráficas. Esses atrasos estão sendo progressivamente minimizados, esperando-se para os próximos meses a integração das observações gráficas às séries digitais. Com isso, tornar-se-ão finalmente disponíveis, através do Banco de Dados Geodésicos (BDG) do IBGE, todos os resultados da RMPG, isto é, não somente as alturas horárias, mas também níveis médios em várias periodicidades, tábuas de maré prevista etc.

Espera-se que as estações de Fortaleza e Santana sejam implantadas ainda em 2003. A estação de Fortaleza terá papel essencial, uma vez que será a responsável pela determinação do nível médio para a porção do litoral do Nordeste exposta ao Atlântico Norte. Já a estação de Santana será importante ferramenta para a vinculação entre os *data* verticais de Imbituba e Santana.

A integração da RBMC à RMPG, com a instalação de receptores GPS permanentes em suas estações maregráficas, também é uma importante meta de médio prazo. A determinação contínua da posição geocêntrica das estações permitirá detectar e extrair, dos dados de nível do mar, quaisquer tendências com origem não oceanográfica. Como informado anteriormente, em Salvador tal integração já é realidade.

6. CONCLUSÕES

A disponibilidade de dados digitais contínuos nas atuais estações da RMPG — em Macaé desde julho/2001, em Imbituba desde setembro/2001, e em Salvador desde janeiro/2003 — ainda não permite a realização de correlações confiáveis entre os referenciais altimétricos existentes no litoral brasileiro. O tratamento da grande quantidade de dados gráficos, que estendem em vários anos os períodos citados, vem desenvolvendo-se em um ritmo mais lento que o desejado. Mas essas dificuldades estão sendo superadas, com a priorização da RMPG nas atividades geodésicas do IBGE, esperando-se que, nos próximos dois anos, os primeiros resultados consolidados possam ser divulgados.

7. REFERÊNCIAS

- Alencar, J. C. M. (1968) **Sistema Nacional de Nivelamento de 1ª Ordem**. Conferência Nacional de Geociências, IBGE, Rio de Janeiro.
- Alencar, J. C. M. (1990) **Datum Altimétrico Brasileiro**. Cadernos de Geociências, IBGE, 5:69-73, Rio de Janeiro.
- Dalazoana, R., Freitas, S. R. C., Luz, R. T. (2002) **Acompanhamento do Datum Altimétrico IMBITUBA através das Redes Altimétrica e Maregráfica do Sistema Geodésico Brasileiro**. VII Congresso Internacional de Ciências da Terra, Santiago, Chile.
- Dalazoana, R., Freitas, S. R. C., Luz, R. T. (2003) **Importância do Resgate e Análise da Série Temporal de Observações Maregráficas no Porto de Imbituba**. III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba.
- IOC (1985) **Manual on Sea Level Measurement and Interpretation**. vol. I, UNESCO/Intergovernmental Oceanographic Commission, Paris.
- IOC (1994) **Manual on Sea Level Measurement and Interpretation**. vol. II, UNESCO/Intergovernmental Oceanographic Commission, Paris.
- Luz, R. T. (1996) **A Influência das Ondas de Alta e Média Frequência na Observação do Nível do Mar para Aplicações Geodésicas**. Dissertação de Mestrado, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Luz, R. T., Guimarães, V. M. (2001) **Realidade e Perspectivas da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro**. II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba.
- PSMSL (1996) **Permanent Service for Mean Sea Level**. <http://www.pol.ac.uk>.
- Pugh, D.T. (1987) **Tides, Surges and Mean Sea-Level**. John Wiley & Sons, Chichester.

8. RECONHECIMENTO E AGRADECIMENTOS

Foi longo o caminho desde os primeiros nivelamentos, em 1945, até a RMPG de 2003. A situação atual é uma conquista coletiva de todos aqueles que trilharam esse caminho, seja nos últimos meses, seja nos tempos pioneiros do CNG. A maioria dos nomes perdeu-se na poeira dos tempos e da papelada, mas o esforço pessoal de cada um permanece sendo recompensado sempre que “a Fundação” tem seu trabalho e sua história reconhecidos.

Inúmeras instituições colaboraram ou ainda colaboram com o IBGE em seu programa de monitoramento do nível do mar :

- Diretoria de Hidrografia e Navegação, DHN
- Instituto de Pesquisas Hidroviárias, InPH
- Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, COPPE / UFRJ
- Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, CPGCG / UFPR
- Instituto Oceanográfico, IO / USP
- Furnas Centrais Elétricas S/A, FURNAS
- Petróleo Brasileiro S/A, PETROBRAS
- Companhia Docas de Imbituba, CDI
- Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia, CONDER