

ANÁLISE DO DESEMPENHO INSTRUMENTAL DA ESTAÇÃO DE MARÉS TERRESTRES DA UFPR

De Freitas, S. R. C. & Modro, N. R.
Universidade Federal do Paraná,
Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas
Centro Politécnico - Jardim das Américas - Curitiba - Pr.
CEP 81531-990 - Cx. Postal 19011
E-mail: sfreitas@cce.ufpr.br

RESUMO

As marés terrestres tem assumido um cada vez mais importante nos campos da Geodésia e Geofísica, uma vez que implicam em fenômeno Geodinâmico. Este fenômeno de natureza periódica é composto de uma sobreposição de efeitos periódicos, com períodos desde poucos minutos a vários anos. As deformações induzidas na Terra, em resposta ao efeito, dependem das características regionais da crosta. As precisões atingidas pelos métodos geodésicos (e.g. VLBI, GPS, SLR e LLR) atingiram o limiar das variações da resposta da Terra às marés. Assim, é cada vez mais necessária a sua mensuração para a descrição das deformações regionais.

A Universidade Federal do Paraná, através do seu Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, vem desde 1983, realizando pesquisas nesta área. O presente trabalho visa analisar os sistemas de aquisição usualmente empregados (analógico e digital) e de seus efeitos na precisão dos dados adquiridos em vista das técnicas mais modernas de análise. Como elementos básicos de análise, foram utilizadas as respostas teóricas para a Estação Gravimétrica de Curitiba, determinações de longas séries temporais nesta mesma estação e, como elemento decisivo, para a determinação do nível de precisão, foram utilizados os efeitos indiretos dos oceanos para as principais ondas de maré gravimétrica, calculados para esta estação. Os resultados indicam claramente as características dos sistemas de aquisição e a acurácia instrumental.

ABSTRACT

The Earth tides study has assumed more and more importance in Geodesy and Geophysics, because it implies in Geodynamics phenomena. The Earth tides have a periodic nature and is compounded of different periodic effects sobreposition, with different periods, of few minutes to some years. The induced crustal deformations of the Earth, as an answer to the tidal effect, depends on the regional characteristics of the crust. The achieved precision of the geodetic methods (e.g. VLBI, GPS, SLR and LLR) is in the limit of the variations of the Earth response to the tides. Then, it is necessary to measure them to describe the regional deformation.

The Federal University of Parana, through its Geodesy Postgraduate Course, has been researching in this area since 1983. In this work, it was performed an analysis of the analogic and digital acquisition system, and their effects on the data precision, acquired with the more modern techniques. The basic elements of the analysis were the theoretical response of Earth, predicted to Curitiba station, and data obtained from a long time series acquisition at the same station. A decisive element for high precision level be reached in the analysis was the calculus of the indirect effect of the oceans on the measurements, for the main waves of gravimetric tides, for Curitiba station. The results allow to understand both the characteristics of the employed acquisition systems and the instrumental accuracy.

1. INTRODUÇÃO

A atração gravitacional dos corpos celestes sobre a Terra, de modo mais significativa da Lua e do Sol, causam o fenômeno conhecido como marés (Melchior 1993). Este fenômeno provoca deformações em todas as partes do globo. As marés dos meios fluidos representam a resposta da parte líquida e da atmosfera; as respostas das outras regiões correspondem as marés terrestres. A atração gravitacional entre a Terra e um ponto, de massa unitária, em sua superfície, mais o efeito da força centrífuga devido à rotação da Terra em torno do seu

próprio eixo, produzem a força de gravidade nesse ponto. O vetor resultante é orientado para o interior da Terra, definindo a orientação da vertical do ponto, e cujo módulo representa a intensidade da gravidade no ponto considerado. A diferença entre a gravidade e a força centrífuga por unidade de massa no ponto, devido ao movimento relativo entre a Terra e a Lua, e a Terra e o Sol é denominada força de maré. A variação da posição e distância entre os corpos celestes, Sol e Lua, em relação à Terra provoca uma alteração na força gravitacional, o que acarreta uma variação da intensidade do vetor gravidade sobre os pontos que compõem a superfície terrestre. Como a

Terra é deformável, a força de maré altera também a forma do globo. Tal fato mostra uma estreita relação das marés terrestres com a Geodésia para estudos das variações geoidais, estudo das influências nos desvios das órbitas dos satélites, nas determinações da gravidade e, conseqüentemente, nas alterações no desvio da vertical, com implicações na Geofísica, Astronomia, Hidrologia e Reologia, visto que as marés terrestres se traduzem em deformações visco-elásticas da Terra.

No estudo das marés terrestres, o cálculo da amplitude e fase teóricas das principais ondas deve ser conduzido com o maior rigor para posterior comparação com os valores correspondentes observados. Surge daí, a importância do controle rigoroso sobre as observações realizadas, para que estas correspondam à realidade do fenômeno. A importância das investigações realizadas na Estação de Marés Terrestres da Universidade Federal do Paraná (EMTUFPR) deve-se principalmente ao fato desta estação ser referência para a América do Sul, contribuindo com a comunidade geodésica e geofísica internacional.

A aceitabilidade dos dados obtidos digitalmente dependerá dos desvios padrão dos fatores gravimétricos e diferenças de fase dos principais grupos de ondas de maré, comparados com aqueles obtidos na análise das marés terrestres dos dados analógicos. Para tanto é utilizado o programa ETERNA 3.2 (Wenzel, 1995). O efeito indireto do oceano obtido de cartas cotidais (Schwidorski, 1980) e observação entre as de melhor fator de qualidade (fator de consistência) dentro da Trans World Tidal Gravity Profiles (TWTGP) da Associação Internacional de Geodésia (IAG) (Melchior, 1994) realizadas por Freitas (1993) em Curitiba, são também elementos que contribuem para a análise quantitativa da estação e do desempenho instrumental (Modro, 1997).

2. TEORIA DAS MARÉS TERRESTRES

As marés são fenômenos causados pela deformação e variação na força gravitacional exercida pelos corpos celestes, principalmente o Sol e a Lua. A força correspondente é conhecida como força de maré. Esta força é periódica, com componentes de períodos desde poucos minutos até vários anos, produzidas pela atração luni-solar, variável espacial e temporalmente.

O desenvolvimento de Laplace para o potencial de maré W (Melchior, 1983), resulta em três tipos de classes harmônicas: Sectoriais (S); Tesserais (T); Zonais (Z). Desta forma, sendo:

$$W = S + T + Z \quad (01)$$

Então para o desenvolvimento de grau 2 resulta:

$$\begin{aligned} S &= \frac{3kM_L R^2}{4d_0^3} [\cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos(2H)] \\ T &= \frac{3kM_L R^2}{4d_0^3} [\sin(2\phi) \sin(2\delta) \cos H] \\ Z &= \frac{3kM_L R^2}{4d_0^3} \left[3 \left(\sin^2 \phi - \frac{1}{3} \right) \left(\sin^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \right] \end{aligned} \quad (02)$$

Estas três classes de harmônicos geram respectivamente os grupos das principais ondas sectoriais semi-diurnas, função de $2H$ (H = ângulo horário do astro perturbador); as tesserais diurnas em função de H e as ondas de longo período em função exclusivamente das variações da declinação do astro perturbador. Cada um destes três tipos de harmônicos, causa um efeito distinto sobre a Terra (Melchior, 1993). As ondas predominantes na Estação de Marés terrestres da UFPR (EMTUFPR) da componente semi-diurna são a M_2 e S_2 ; para a componente diurna, as predominantes são O_1 e K_1 (Modro, 1997).

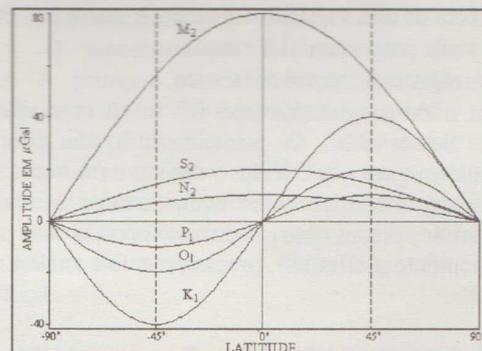


Fig.1 - Variação da amplitude das Principais Ondas de Maré em função da latitude para o componente vertical da força de maré (Melchior, 1993)

3. A ESTAÇÃO DE MARÉS TERRESTRES DE CURITIBA

A estação de marés terrestres de Curitiba localiza-se a 80 km do oceano e a uma altitude de 913 m, tendo as coordenadas geodésicas: $\phi = 25^\circ 27' 15,25''$ S e $\lambda = 49^\circ 14' 15,46''$ W

Situa-se no Centro Politécnico (UFPR), numa área isolada e afastada de vibrações mecânicas (tráfego de veículos, indústrias, atividades humanas intensas, etc.). Sua construção consiste em uma sala de 10 m², no qual estão instalados os instrumentos de medição, o relógio que comanda as marcas horárias em Tempo Universal (TU) e a alimentação elétrica. Esta, se comunica com uma sala subterrânea de 16 m² e 3,7 m de profundidade através de duas tampas de metais. A

sta subterrânea isolada termicamente do exterior, destina-se à instalação do gravímetro, inclinômetro e demais sensores.

Nesta estação, já operaram doze diferentes gravímetros, e ela apresenta a série de observações mais longa do hemisfério sul, operando continuamente desde sua instalação em 1983.

4. EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS UTILIZADOS PARA A AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para a aquisição, armazenamento, processamento e análise dos dados de marés terrestres são necessários os seguintes equipamentos;

Aquisição dos dados:

- O gravímetro **LaCoste & Romberg** modelo D99;
- Um barógrafo aneróide. Sendo que para a aquisição automática de dados adaptou-se no sensor (parte móvel) do barógrafo um captor eletrônico de distância, de modo que quando houver uma variação de pressão e consequentemente variação do sensor, o sensor detecta-se esta variação, fornecendo assim um sinal de saída proporcional à mesma;
- Um registrador potenciométrico;
- Um microcomputador tipo PC e um computador PC Server 320. O primeiro utilizado para a armazenagem de dados digitais (minuto em minuto) coletados pelos equipamentos acima; o segundo possui os programas necessários para tratamento preliminar, processamento e análise dos dados.

Programas computacionais:

- Programa de aquisição de dados, o qual gerencia todo o sistema (leitura, armazenamento e controle). A leitura de cada instrumento é realizada a cada segundo e após o cálculo da média para um minuto, sendo armazenada em arquivos de formato apropriado;
- ETERNA 3.2 - Programa de processamento de dados de marés terrestres, desenvolvido na Universidade de Karlsruhe (Wenzel, 1995). Faz a análise de observações de dados horários de marés para observações da gravidade e inclinação, fornecendo como produto final os principais grupos de ondas componentes do espectro de maré e informações que permitem realizar a análise final de desempenho;
- Software de leitura que lê os dados digitais minuto a minuto e faz o registro apenas dos dados digitais registrados hora a hora;

- Microsoft Excel versão 5.0 para Windows e Microsoft Word versão 6.0 para Windows, da Microsoft Corporation.

5. AQUISIÇÃO DE DADOS

A aquisição de dados para este trabalho foi feita no período de 19/07/1995 a 30/07/1996, sendo coletados dados em um total de 221 dias úteis para o processamento. No dia 19/12/1995 ocorreu uma descarga atmosférica nas proximidades da EMTUFPR atingindo e danificando o principal instrumento da coleta dos dados, o gravímetro. Após o reparo, a coleta de dados reiniciou em 15/02/1996.

Nesta parte da aquisição dos dados, verificou-se a existência de algumas diferenças entre os dados analógicos e os dados digitais, conforme descrito a seguir.

a) Sistema Analógico

Os dados são registrados de forma contínua (24 horas por dia) através do registrador potenciométrico, em um rolo de papel apropriado.

Nestes, são registradas automaticamente as marcas horárias através de um dispositivo eletrônico conectado a um relógio digital sincronizado ao TU.

Sobre as curvas do papel, retirou-se os respectivos valores horários de cada curva em unidade gráfica do papel (up), anotando em uma planilha apropriada. Os dados foram então digitalizados com um software adequado. Neste, realizou-se uma primeira inspeção das curvas através da elaboração de gráficos.

Na curva que contém os registros do barógrafo foi realizada a transformação de up para hPa, em duas fases da seguinte forma:

- através de uma regressão linear com uma série de dados obtidos via registrador analógico e dados coletados diretamente com um barômetro de coluna de mercúrio para um mesmo período. Como resultado desta regressão, obteve-se um fator de conversão de up para mmHg.
- através da transformação de unidades, os dados foram convertidos para hPa, através da relação 1 mmHg corresponde a 1,33322 hPa.

As duas curvas - gravímetro e barógrafo, foram agrupadas para uma verificação final. Processo este para evitar períodos de perda de dados de uma das grandezas, uma vez que o software não prevê este tipo de situação. Deve-se eliminar o período em que exista somente dados de uma das grandezas.

Pode-se então realizar o processamento via pacote ETERNA, que fornece como produtos finais:

- as amplitudes, fases e diferenças de fases dos principais grupos de ondas;
- seus respectivos desvios padrões;

- fator gravimétrico e diferença de fase e os erros a eles associados;
- os resíduos e seus espectros;
- os desvios dos agrupamentos de ondas (diurnas, semi-diurnas, ter-diurnas), sendo que quanto maiores forem estes desvios, mais perturbada serão as observações.

b) Sistema Digital

Foi desenvolvido, a partir do segundo semestre de 1994, um sistema eletrônico para a aquisição automática dos dados da EMTUFPR.

Este sistema é composto de vários blocos. Inicialmente são coletados os sinais elétricos da saída de cada instrumento, e então, é feito o condicionamento destes sinais para que possam ser transmitidos pelo cabo da EMTUFPR até a sala de aquisição. O condicionador de sinais é um circuito eletrônico onde é feito um ajuste da amplitude do sinal (amplificação ou atenuação), de forma que estes estejam numa faixa compatível para a transmissão. Estes sinais são transmitidos na forma de tensão elétrica, com uma faixa para transmissão normalmente de 0 à 14 volts.

Com os dados transmitidos pelo cabo até a sala de aquisição, os mesmos são injetados novamente num circuito de condicionamento de sinais, o qual faz a filtragem (filtro passa baixas) e alternando estes sinais para que os mesmos fiquem na faixa de 0 à 2 volts, que é o permitido pelo conversor analógico digital instalado no micro. Este conversor é um circuito eletrônico cujo propósito é o uso geral em baixa velocidade (máximo de 30 conversões por segundo), possuindo uma resolução de 12 bits + sinal (positivo ou negativo), o que corresponde a 4.096 diferentes níveis + sinal. Este também possui saídas digitais para eventuais necessidades de controle. Assim, no experimento, os dados digitais foram colhidos por sistema de aquisição automática, que conecta o computador aos sinais dos instrumentos através de uma interface analógica digital, sendo que os dados foram armazenados de minuto em minuto, em arquivos diários de 110 Kb.

Os arquivos gerados possuem: data, horário, valor do registro do gravímetro, temperatura interna, temperatura externa, componentes Norte e Sul do inclinômetro. Neste trabalho foram utilizadas somente as informações das curvas do gravímetro e barógrafo.

Com os arquivos de dados (minuto em minuto), no software apropriado, fez-se o agrupamento dos dados, em formato compatível com a entrada do ETERNA, contendo cada um: data, horário, curva do gravímetro e curva do barógrafo.

O registro das curvas: gravímetro e barógrafo, que estavam na forma digital foram então convertidos para *up*. No passo seguinte, foi executada a transformação de curva do barógrafo para hPa, cuja

transformação corresponde à mesma utilizada no sistema analógico. A seguir, foram separadas todas as horas cheias, juntamente com os registros correspondentes às curvas no horário correspondente.

Na seqüência, montou-se um arquivo horário digital que foi anexado ao arquivo horário obtido do sistema analógico; e após, separou-se em quatro arquivos distintos, contendo:

- data, horário, gravímetro analógico, barógrafo analógico (GABA);
- data, horário, gravímetro analógico, barógrafo digital (GABD);
- data, horário, gravímetro digital, barógrafo digital (GDBD);
- data, horário, gravímetro digital, barógrafo analógico (GDBA).

6. PROCESSAMENTO DOS DADOS

O processamento dos dados foi realizado para o período anterior (1995) e para o período posterior (1996) à descarga atmosférica, pois existe um espaço de tempo razoável (± 2 meses e meio) sem dados da EMTUFPR. Assim:

- arquivo total de 1995 (105 dias);
- arquivo total de 1996 (116 dias).

O processamento foi realizado em duas partes. A primeira sem eliminação de *spikes* e a segunda com eliminação de *spikes* $> 0,4 \text{ nm/s}^2$.

Com a realização do processamento, o programa cria um arquivo *np.RES* que gera os maiores resíduos entre modelo de marés terrestres com a curva observada ou *spikes*, observação por observação, permitindo assim que se corrija ou não estas diferenças.

7. ANÁLISES E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

A pressão atmosférica possui uma variação semi-diurna, assim como as principais ondas do espectro de marés na EMTUFPR (ondas M_2 e S_2). Devido a este fato, a maior fonte de perturbação sobre um gravímetro são aquelas decorrentes das variações locais de pressão atmosférica e a análise foi centrada na remoção destes efeitos.

Numa primeira análise, foram utilizados: o desvio padrão dos fatores gravimétricos, fase e amplitude obtidos nas análises.

Como este tipo de análise não conduz de forma precisa à constatação do desempenho instrumental, acrescentaram-se análises comparativas com valores teóricos de amplitude e fase calculados para a estação, em função do modelo estrutural da Terra de Molodensky (Freitas, 1993). Como aspecto mais aplicado, buscou-se a comparação dos valores reais obtidos com a melhor série de dados de marés gravimétricas na estação de Curitiba, em termos de

fator de qualidade ou fator de consistência (Freitas, 1993). Também buscando-se o refinamento desta análise, introduziu-se o efeito indireto dos oceanos, de forma a obter os resíduos finais para cada uma das principais ondas do espectro de maré.

Os vetores envolvidos na análise das marés gravimétricas são apresentados na Figura 2.

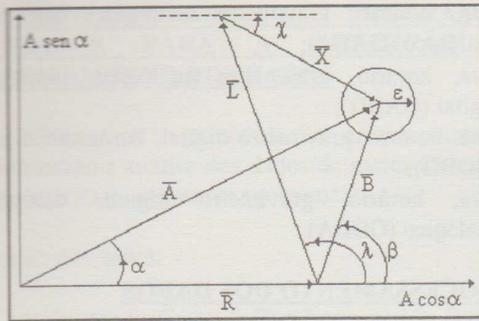


Fig. 2 - Diagrama vetorial para uma onda de maré (Freitas, 1993)

Da figura 2 temos:

\vec{A} = maré observada (A = amplitude, α = fase);

\vec{R} = vetor de marés para uma terra rígida e sólida (R = amplitude, fase nula);

\vec{L} = atração oceânica sobre as marés gravimétricas (L = amplitude, λ = fase);

\vec{B} = vetor dos resíduos das observações entre a maré observada e a maré predita $\vec{B} = \vec{A} - \vec{R}$ (B = amplitude, β = fase);

\vec{X} = resíduo final de marés gravimétricas $\vec{X} = \vec{B} - \vec{L}$ (X = amplitude, χ = fase);

ϵ = erro instrumental.

As análises foram realizadas com a comparação dos resultados do processamento com o Modelo da Terra elástica, usando o modelo de Molodensky e Whar-Dehant e com Valores de Referência da melhor determinação dos parâmetros de maré gravimétrica para a EMTUFPR, em função do fator de qualidade ou fator de consistência, obtido por De Freitas (1993).

Nesta análise foi utilizada a seguinte convenção:

GRÁFICOS	
Análise sem eliminação de spikes	GABA GABD
Análise com eliminação de spikes	GDBD GDBA

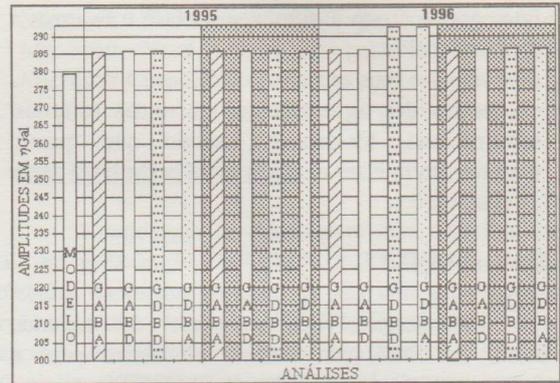


Figura 3 - Histograma da análise global da principal onda do espectro diurno (O1) em relação ao modelo estrutural (Amplitude);

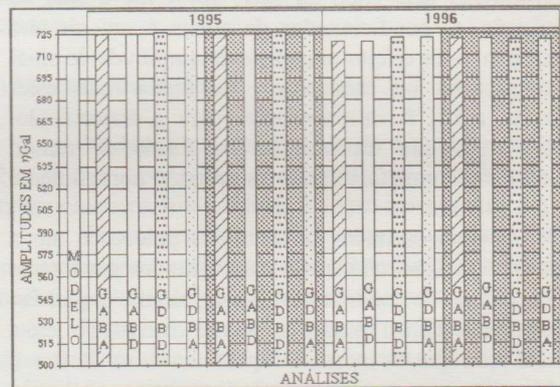


Figura 4 - Histograma da análise global da principal onda do espectro semi-diurno (M2) em relação ao modelo estrutural (Amplitude);

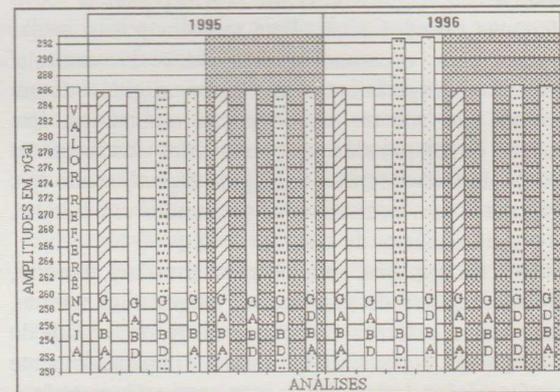


Figura 5 - Histograma da análise global da principal onda do espectro diurno (O1) em relação ao valor de referência (Amplitude);

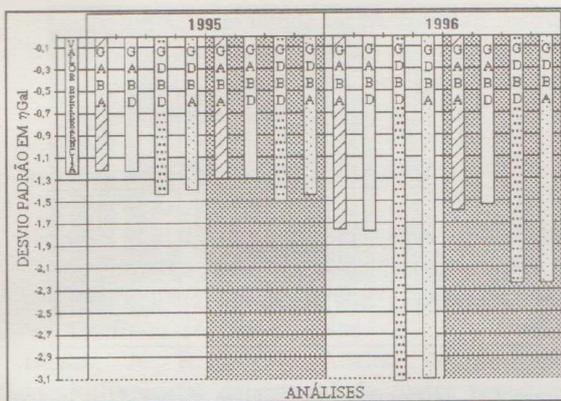


Figura 6 - Histograma da análise global da principal onda do espectro diurno (O1) em relação ao valor de referência (Desvio Padrão);

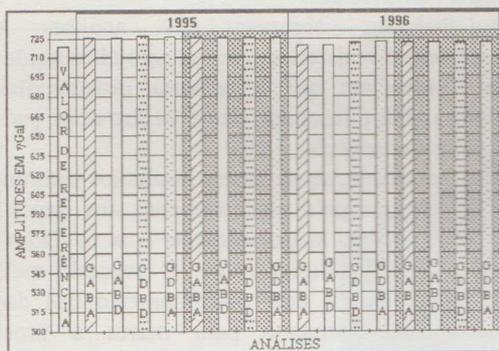
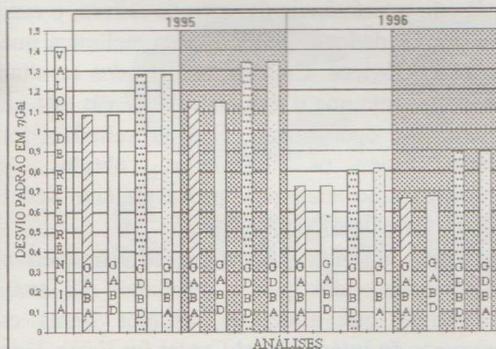


Figura 7 - Histograma da análise global da principal onda do espectro semi-diurno (M2) em relação ao valor de referência (Amplitude);



Figuras 8 - Histograma da análise global da principal onda do espectro semi-diurno (M2) em relação ao valor de referência (Desvio Padrão);

Nas análises realizadas sem a eliminação dos *spikes*, verificou-se que as amplitudes foram sistematicamente maiores que as do modelo e as dos valores de referência (valores conhecidos para a EMTUFTR). As fases apresentam um retardo sistemático em relação aos valores de referência indicando que existe uma filtragem excessiva. Estes comportamentos podem ser explicados por uma calibração deficiente, pelo sistema de *feed-back* com filtragem excessiva e por uma deriva instrumental elevada, da ordem de 800 nm/s² ou 80 µGal por dia.

Nos resultados, verifica-se que o processamento realizado com os dados do gravímetro, coletados analogicamente junto com os dados do barógrafo coletados digitalmente, são mais coerentes com os valores teóricos ou do modelo e os valores de referência. O segundo melhor resultado foi obtido com o processamento dos dados do gravímetro e barógrafo coletados analogicamente.

Já nas análises realizadas com a eliminação dos *spikes* > 0,4 mn/s², os valores resultantes do processamento, apesar de estar longe de serem os ideais, aproximaram-se mais dos valores de referência e dos valores teóricos, e os desvios padrão para as principais ondas de marés são sensivelmente menores que nos processamentos realizados sem eliminação de *spikes*. Entretanto, ainda continuam apresentando amplitudes sistematicamente maiores que as do modelo e valores de referência, e as fases apresentando retardo sistemático em relação aos valores de referência, indicando haver existência de filtragem excessiva. Ainda se verifica que o processamento realizado com os dados do gravímetro coletados analogicamente, junto com os dados do barógrafo coletados digitalmente, continuam tendo um melhor resultado.

Segundo Melchior (1993), a contribuição oceânica mais importante nas marés terrestres, é o efeito indireto devido à atração da lâmina d'água, flexão da crosta e variação do geopotencial. A consideração deste efeito permite identificar o nível de precisão instrumental, pela sua eliminação.

O efeito indireto dos oceanos é dado por $L(L, \lambda)$ para a componente de maré considerada e $X(X, \chi)$ é o vetor do resíduo final, sendo (Figura 2):

$$B(B, \beta) = A(A, \alpha) - R(R, 0) \quad (04)$$

$$X(X, \chi) = B(B, \beta) - L(L, \lambda) \quad (05)$$

Melchior & De Becker (1993) apresentam como valores característicos para estes vetores: $R \approx A \rightarrow$ de 40 a 90 µGal, $-5^\circ \leq \alpha \leq 5^\circ$, $L \approx B \rightarrow$ de 2 a 10 µGal e $X \approx 0,5$ a 5 µGal. As componentes $B \text{ sen}\beta$ e $L \text{ sen}\lambda$ por serem independentes do modelo adotado são uma forma de verificação da calibração instrumental existente.

Temos as análises realizadas nas seguintes etapas:

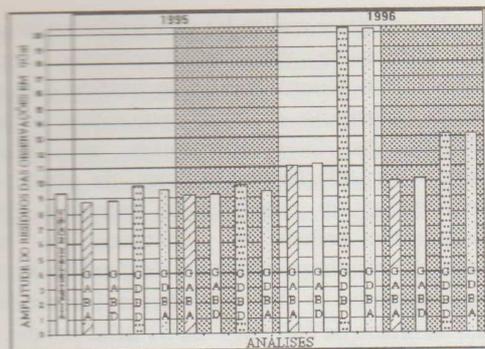


Figura 9 - Histograma da análise global da principal onda do espectro diurno (O1) em relação ao valor de referência (Amplitude do resíduo das observações - B);

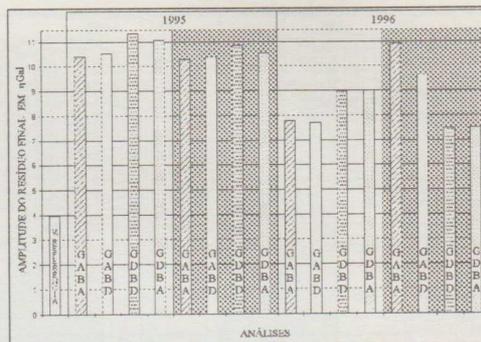


Figura 12 - Histograma da análise global da principal onda do espectro semi-diurno (M2) em relação ao valor de referência (Amplitude final das observações - X);

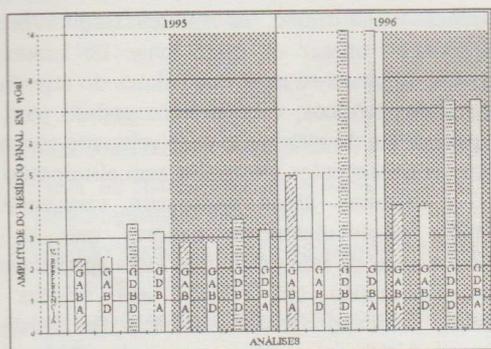


Figura 10 - Histograma da análise global da principal onda do espectro diurno (O1) em relação ao valor de referência (Amplitude final das observações - X);

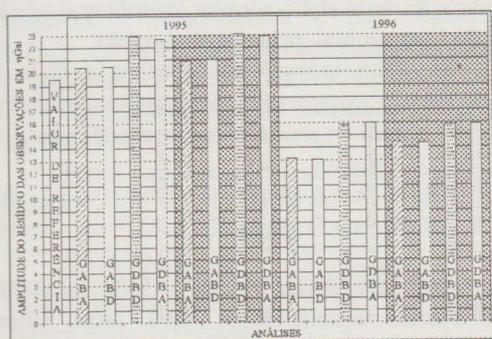


Figura 11 - Histograma da análise global da principal onda do espectro semi-diurno (M2) em relação ao valor de referência (Amplitude do resíduo das observações - B);

O padrão internacional para a aceitação dos resíduos finais de marés gravimétricas ($\bar{X} = \bar{B} - \bar{L}$) é de 2 nm/s^2 ou $0,2 \mu\text{Gal}$, que nos mostra o nível de resolução instrumental.

Podemos observar nas análises dos processamentos realizados, sem ou com eliminação de *spikes*, evidenciam que a resposta instrumental é satisfatória, pois o resultado esteve dentro deste padrão ou muito próximo à ele.

Entretanto, os melhores resultados continuam sendo os obtidos pelo processamento dos dados do gravímetro coletado analogicamente com os dados do barógrafo coletado digitalmente. O segundo melhor resultado foi obtidos pelo processamento dos dados coletados analogicamente para marés e pressão atmosférica.

8. CONCLUSÕES

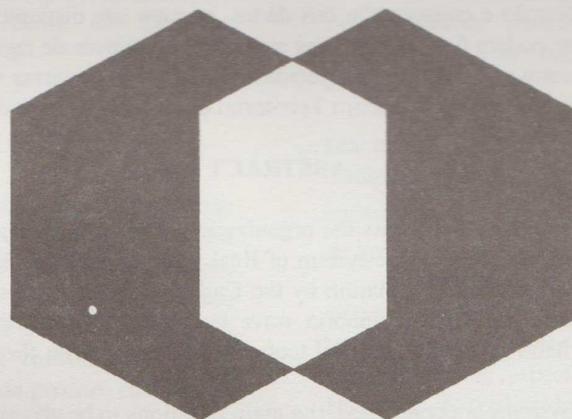
Diante dos processamentos e análises realizados, pode-se dizer que:

- os dados de pressão atmosférica apresentam problemas de calibração com mudança evidente de comportamento,
- pela não interferência de erros de leitura, o natural era que os dados digitais fossem melhores que os dados analógicos. Com as análises dos resultados, ficou evidente que o sistema digital não está ainda totalmente operacional. Seus resultados foram piores que os resultados obtidos pelo processamento analógico, provavelmente devido a transmissão dos dados digitais;
- os dados digitais não podem ser caracterizados como inadequados, pois o resultados das análises mostraram que ainda os resíduos finais estão próximos do International Center for Earth Tides;
- os resultados nas investigações, inclusive com o cálculo do efeito indireto dos oceanos, mostrou que para os dois sistemas de aquisição, existem evidências de erros sistemáticos na resposta

instrumental (amplitude superestimada e retardo de fase), provavelmente devido a inadequação de parâmetros de calibração do gravímetro e da resposta do método zero.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Freitas, S. R. C., 1993. Marés gravimétricas implicações para a placa sul-americana. São Paulo, Tese de Doutorado - Departamento de Geofísica, IAG/USP, 264pp.
- Modro, N. R., 1997. Análise do desempenho instrumental da estação de marés terrestres de UFPR. Curitiba, Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 134pp.
- Melchior, P., 1993. The Tides of the Planet Earth. Pergamon Press, 2nd edition, London, 640pp.
- Melchior, P., 1994. A new data bank for tidal gravity measurements (DB92). *Phys. Earth Planet. Int.*, **82**: 125 - 155.
- Melchior, P. & De Becker, M., 1993. A discussion of world-wide measurements of tidal gravity with respect to oceanic interactions, lithosphere heterogeneities, Earth's flattening and inertial forces. *Phys. Earth Planet. Int.*, **31**: 27-53.
- Schwiderski, E. W., 1980. On Charting Global ocean Tides. *Rev. Geophys. Space Phys.* **18**: 143 - 168.
- Wenzel, G., 1995. Manual of Earth Tide data processing packge ETERNA - version 3.20, Black Forest Observatory, Universitaet Karlsruhe, Englerstr.



CPRM
Serviço Geológico do Brasil