

Determinação da Posição Geocêntrica do Datum Vertical Brasileiro

Sílvio Rogério Correia de Freitas
Jucilei Cordini

UFPR, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésicas
Fone: (041) 361-3150, Fax (041) 266-2393, Caixa Postal 19011
CEP: 81.531-990 - Curitiba, PR, Brasil
✉ sfreitas@cce.ufpr.br
✉ jucilei@geoc.ufpr.br

Conteúdo	
	1. Introdução
	2. Efeitos Geodinâmicos em Redes Verticais
	3. Experimento Multi-paramétrico
	4. Processamento das Observações GPS
	5. Tratamento das Observações Gravimétricas
	6. Análise das Observações
	7. Conclusões
	8. Agradecimentos
	9. Referências Bibliográficas

Resumo: Atualmente na definição de um Datum Vertical, é fundamental a determinação da posição geocêntrica do marégrafo associado e os efeitos dinâmicos da crosta nas vizinhanças da estação. Adicionalmente não existe uma solução unívoca quando as altitudes são obtidas por nivelamento geométrico sem correções de natureza física ou por posicionamento GPS relativo, sem correção das marés gravimétricas. Enfatiza-se tal aspecto principalmente levando-se em consideração o crescente uso de técnicas espaciais de posicionamento e particularmente à aplicação destas metodologias em levantamentos tais como os cadastrais. O experimento apresentado neste trabalho, foi idealizado com o objetivo de examinar as variações geocêntricas da posição do Datum Vertical Brasileiro, situado no porto de Imbituba/SC e as variações das altitudes em pontos da rede, devidas as marés gravimétricas. A análise é conduzida sobre os efeitos da redistribuição de massas na região do Datum e do carregamento crustal proveniente dos efeitos direto e indireto das marés oceânicas e pressão atmosférica sobre bases típicas para o posicionamento GPS.

Palavras chaves: Posicionamento vertical; Datum geodésico vertical.

Abstract: Nowadays, one of the most important aspects to define a vertical Datum is to determine the geocentric position of the tide gauge and associated dynamic effects on the crust in the region. This study is justified taking in account that there is no a unique solution when the heights are obtained by spirit leveling without physical corrections or by GPS relative positioning without gravity tides corrections. This point is emphasized because of the large use of spatial positioning techniques like in cadastral surveying. The experiment presented in this paper was devised in order to verify the variations in the geodetic position of the Brazilian vertical Datum, placed at Imbituba Harbour, and the height variation on the points of the network. In a first step, we decided to check how important are the effects arriving from mass redistribution around the Datum, and the loading coming from direct and indirect effects from ocean tides and air pressure on typical GPS positioning basis.

Keywords: Vertical positioning; Vertical Geodetic Datum.

1. Introdução

O nível de precisão requerido em levantamentos altimétricos, tem exigido um aprimoramento nos equipamentos e técnicas de levantamento empregados. Também, a discussão do referencial, materializado por redes geodésicas, é pertinente, uma vez que este deve ter precisão compatível com as exigências qualitativas determinadas pelas aplicações. Os padrões internacionais têm apontado para uma precisão desejável de $1\text{mm} \sqrt{K}$, para as redes verticais fundamentais, onde K é a média da distância nivelada e contranivelada em quilômetros. Por outro lado, a acurácia pretendida para a compatibilização das diferentes redes mundiais (Kumar, 1994), situa-se hoje a um nível de cerca de 10cm (Melchior & Francis, 1996). Tal fato decorre principalmente das missões ERS 1 e TOPEX/POSEIDON, as quais permitiram acurácias melhores que 5 cm nos modelos cotidianos (Andersen, 1995a/1995b), os quais são a base da determinação do Geóide (superfície equipotencial do campo da gravidade da Terra que mais se aproxima do nível médio dos mares NMM - cf. Vanicek & Krakiwsky, 1982) nos oceanos. Quando se imagina redes de dimensões continentais, tal como a Rede Vertical Brasileira (RVB), e também a sua coerência com as redes mundiais, devem ser previstos vários procedimentos para a manutenção dos índices desejáveis de precisão e acurácia. No âmbito das aplicações com base nestas redes, tal como nas aplicações cadastrais, as técnicas espaciais de posicionamento, principalmente as baseadas no GPS, têm assumido uma importância bastante grande pelas suas potencialidades. No entanto, todos estes pressupostos exigem a consideração entre outros, dos seguintes aspectos:

1. na definição do Datum, usualmente em ponto costeiro, associado com um marégrafo, ou a utilização de um conjunto de marégrafos, para atender ao pressuposto da coerência de redes com extensão continental e também com outras redes mundiais, devem ser estudadas as relações entre o NMM local e sua "topografia" em relação ao Geóide (Fenoglio-Marc, 1996);

2. diferentes aspectos geodinâmicos se fazem presentes na definição do Datum, na conexão entre diferentes marégrafos e também na manutenção temporal da altitude de referência (de Freitas et al., 1997);
3. muitas das redes existentes devem ser reformuladas, com reocupação seletiva de pontos, visando a sua adequação aos requisitos de precisão e controle da rede existente, definição do Datum e adoção de um sistema de altitudes com significado físico (Zilkoski et al., 1992; Fury, 1996);
4. vínculo das redes altimétricas, com significado físico, com sistemas geodésicos de referência geocêntricos, de natureza geométrica, tal como pressuposto no Projeto SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (IBGE, 1997), para a definição do Geóide nos continentes e redes verticais continentais baseadas em GPS (IAG - Comissão X - EUREF, 1995);
5. adequação das técnicas de posicionamento vertical, visando o controle de uma série de variáveis ambientais que interferem nas operações de nivelamento (de Freitas et al., 1998);
6. o posicionamento altimétrico de alta precisão com técnicas espaciais, principalmente sobre bases longas, é afetado por aspectos geodinâmicos diferenciais e por limitações de ordem física neste tipo de posicionamento de natureza geométrica (de Freitas & Luz, 1995);
7. a modelagem do Geóide a nível local ou regional, com acurácia, é requerida em diversas aplicações, para tal concorrendo determinações gravimétricas, aplicação de modelos do geopotencial, e posicionamento vertical por técnicas convencionais e GPS (Kuang et al., 1996).

A gama de problemas associados com estes aspectos, é de forma evidente bastante grande, pressupondo estudos de diferentes naturezas. Muitos destes aspectos são abordados de forma clara nas referências apresentadas. No entanto, um aspecto pouco explorado é o da consideração dos efeitos geodinâmicos, quer na definição do Datum quer no posicionamento relativo, principalmente considerando as técnicas de posicionamento baseadas em GPS. Desta forma na seqüência, serão tecidas algumas considerações sobre os principais efeitos geodinâmicos associados com a definição de um datum vertical e no posicionamento relativo sobre bases longas. Serão também discutidos os resultados obtidos de um experimento multi-paramétrico realizado no sul do Brasil, visando verificar a importância destes efeitos na posição geocêntrica do Datum da RVB e sobre um perfil continental de estações.

2. Efeitos Geodinâmicos em Redes Verticais

O estabelecimento de sistemas geodésicos de referência (SGRs) globais (geocêntricos) possibilitam a conexão global de redes geodésicas de controle horizontal e também a conexão de redes altimétricas de alta precisão. Desta forma, aspectos como as interações dos continentes com os oceanos e atmosfera devem ser analisados em relação a resposta dinâmica da Terra, de forma a permitir a discriminação entre movimentos seculares tais com os movimentos verticais orogênicos e epirogênicos da crosta no local de instalação do marégrafo, e movimentos eustáticos associados com as variações absolutas do NMM entre outros, e os movimentos induzidos devido a cargas periódicas (Farrel, 1972) tais como a flexão diferencial da crosta provocada pelas marés terrestres e atmosféricas (de Freitas, 1993), este últimos fundamentais para o posicionamento relativo sobre bases longas, com a aplicação de técnicas espaciais (VanDam et al., 1994; De Freitas et al., 1995). Os aspectos relacionados com a evolução na definição dos SGRs, envolvem desde a concepção puramente geométrica até os sistemas mais atuais, com a introdução do conceito de posição geocêntrica e da predição de variações temporais. Os aspectos relacionados com o geopotencial são fundamentais para a definição das grandezas pertinentes à definição do Geóide. Tal definição visa basicamente a descrição de uma superfície de referência altimétrica global, base para a conexão de diferentes redes geodésicas, tal como a RVB. Para tanto é fundamental a consideração de aspectos relacionados com a Geodinâmica, que implicam em conceitos tais como: geóide não perturbado por maré - *nontidal geoid*; geóide médio - *mean geoid*; e geóide de nível zero - *zero geoid* (Kakkuri & Poutanen, 1997).

O primeiro passo para a discriminação dos efeitos dos movimentos seculares sobre o datum de uma rede altimétrica é a fixação da sua posição geocêntrica, definida em determinada época e verificada dentro de determinados intervalos de tempo. A determinação dos efeitos seculares pressupõe a existência longos períodos de observação maregráfica e a fixação da posição geocêntrica do marégrafo tornando possível a discriminação entre movimentos orogênicos e epirogênicos. Tal procedimento exige o estabelecimento de redes de observação associando diferentes marégrafos com pontos de uma rede geodésica continental, tal como a rede SIRGAS. A associação das informações assim obtidas, injuncionadas com observações absolutas da gravidade visando a melhor determinação do geopotencial e também com a determinação da topografia do NMM no datum (abordada na seqüência), permitem a determinação da posição do Geóide naquele ponto. Este conjunto de procedimentos demanda o estabelecimento de projetos de grande amplitude e permanência e visa essencialmente a manutenção do valor da cota de referência absoluta.

Os efeitos geodinâmicos devidos a cargas periódicas, tais como as produzidas pelas marés terrestres, efeitos indiretos dos oceanos e variações da pressão atmosférica (Melchior, 1983), são bem modelados em escala global. Considerando \mathbf{R} (R - amplitude, 0° - fase) como o vetor da carga predita, considerado como referência de fase para a análise vetorial do fenômeno, \mathbf{A} (A , α°) o vetor da carga observada, \mathbf{B} (B , β°) o vetor dos resíduos locais, \mathbf{L} (L , λ°) o vetor predito da carga devida a interação com a atmosfera ou oceano e \mathbf{X} (X , χ°) o vetor da resposta anômala final, podem ser estabelecidas as relações (Melchior & DeBecker, 1983):

$$\mathbf{B} = \mathbf{A} - \mathbf{R}$$

e

$$\mathbf{X} = \mathbf{B} - \mathbf{L}$$

Destas expressões, conclui-se que a componente coseno do vetor \mathbf{X} , representa a resposta anômala local, a menos de erros instrumentais, os quais podem ser avaliados pela sua componente seno não correlacionada com o modelo.

As discrepâncias locais de resposta da Terra, aos efeitos de cargas periódicas, podem ser consideradas como perturbações de alta frequência na determinação do datum. Tais perturbações, em princípio, podem ser eliminadas pela adoção de técnicas de filtragem para a determinação do NMM e efeitos seculares. No entanto, para o posicionamento costeiro e intracontinental relativo, elas devem ser consideradas, uma vez que causam flexão crustal diferencial, a qual depende também de características locais de resposta, devidas a heterogeneidades laterais da crosta. Estas só podem ser adequadamente determinadas com observações a nível regional,

tal como demonstrado por De Freitas et. al. (1995) para um perfil transcontinental na América do Sul. Existem efeitos de reflexão anômala de sinais que afetam as determinações da altimetria oceânica com técnicas espaciais em regiões próximas à costa, tais como as do ERS 1 e TOPEX/POSEIDON. A perda de acurácia neste caso impede a aplicação desta técnica para a determinação da topografia costeira do NMM. Também os efeitos locais de circulação oceânica, não previstos nos modelos cotidianos (e.g. Schwiderski, 1980; Andersen, 1995a), também impedem uma determinação adequada dos efeitos indiretos dos oceanos principalmente em regiões costeiras. Desta forma, devem existir também injunções locais que permitam contornar estes problemas. As respostas anômalas da Terra, se corretamente determinadas, devem conter as informações necessárias para a determinação das anomalias da topografia do NMM no marégrafo e os efeitos não previstos para a flexão crustal. O nível atual de precisão alcançado por técnicas espaciais de posicionamento e de mensuração das marés gravimétricas, abriu novos horizontes para o estudo de efeitos geodinâmicos de marés terrestres e oceânicas no posicionamento horizontal e vertical. De forma pragmática, podem ser associadas observações de marés gravimétricas, como elemento discriminador da resposta flexural local e do efeito indireto dos oceanos, quando associada com determinações paralelas de posição geocêntrica por técnicas espaciais, tal como a possibilitada por observações com GPS, utilizando como base estações fiduciais, tais como as propostas por Beutler (1992).

3. Experimento Multi-paramétrico

Tendo em vista os pressupostos apresentados na sessão precedente, decidiu-se estabelecer um experimento para verificar quão adequados são os modelos de predição da resposta da Terra aos efeitos das marés terrestres em conjunto com os efeitos indiretos dos oceanos.

A estação GPS permanente em Curitiba/UFPR, código internacional PARA, a qual faz parte das estações de referência do Projeto SIRGAS, tem a série mais longa de observações na América do Sul e hoje é parte integrante da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). A estação de maré terrestre permanente de Curitiba/UFPR, código internacional 7305, localiza-se próxima da estação PARA. Esta estação de maré terrestre possui também a série mais longa de observações na América do Sul, em operação desde 1983 e é considerada como fundamental para o continente, com calibração coerente com a rede mundial do International Center for Earth Tides (ICET), da IAG. Estas facilidades em Curitiba com posição e fatores gravimétricos bem determinados permitiu o estabelecimento de um perfil experimental N-S com aproximadamente 315 km, sobre o qual foram estabelecidas três estações multi-paramétricas envolvendo: a estação costeira de Imbituba/SC, onde o Datum vertical brasileiro está locado; uma estação intermediária em Blumenau/SC, a 50 km da costa, com o propósito de verificação do comportamento relativo; e uma estação em Curitiba a 80 km da costa (Figura 1 e Tabelas 1 e 2).

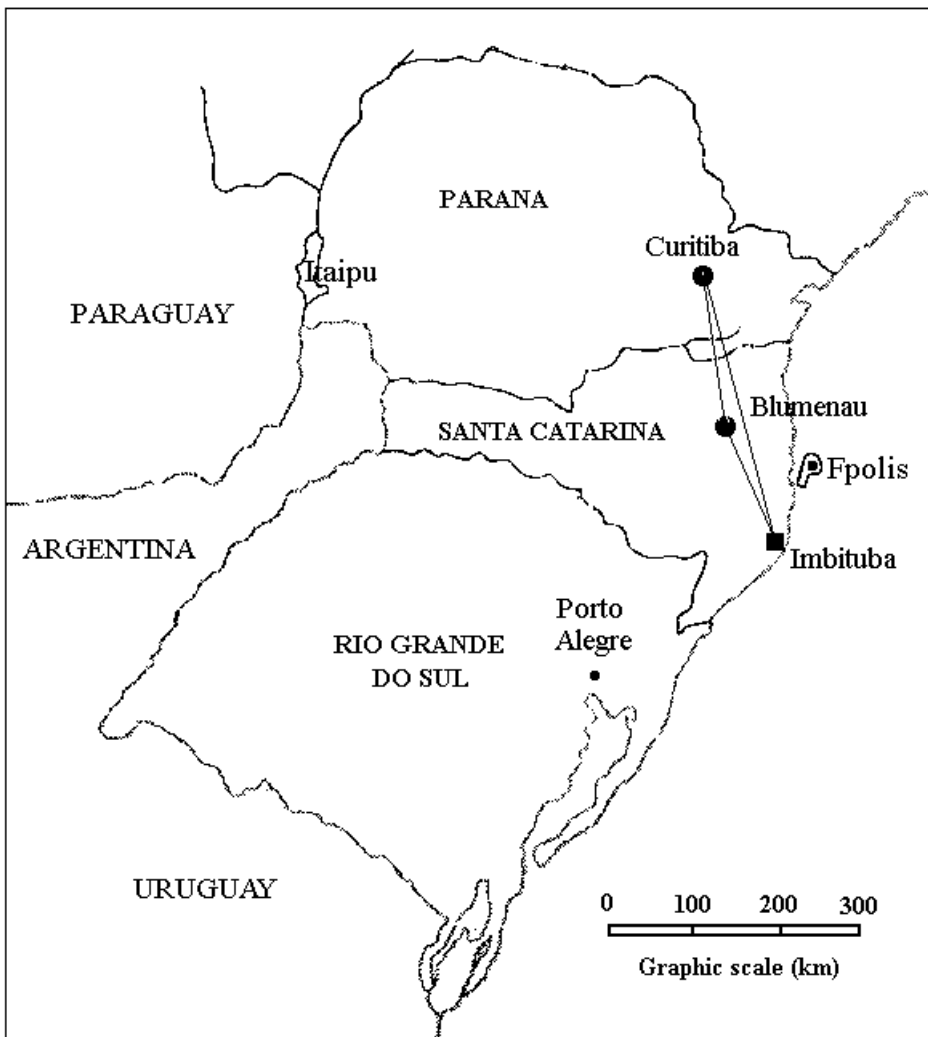


Fig. 1: Estações usadas no experimento desenvolvido entre 09/04/97 e 21/05/97 (● - Receptor GPS com L1+L2 + Medição de: maré gravimétrica; pressão atmosférica; temperatura; - Receptor GPS com L1+L2 + Medição de: maré gravimétrica; maré oceânica; pressão atmosférica; temperatura)

Tabela 1: Posição das Estações (GPS)

Estações	Latitude	Longitude	H (m)	d --> Mar (km)
Curitiba	25° 26' 54.1291" S	49° 13' 51.4368" W	925.7591	» 80
Blumenau	26° 53' 30.0421" S	49° 05' 00.8292" W	26.7669	» 50
Imbituba	28° 14' 11.8106" S	48° 39' 21.8818" W	11.7642	» 0.400

Tabela 2 : Comprimento das linhas de base (km)

Curitiba --> Blumenau	160.592
Curitiba --> Imbituba	314.170
Blumenau --> Imbituba	154.895

Foram estabelecidos dois objetivos principais em relação ao experimento no referido perfil:

- estudar o efeito costeiro no Datum e no posicionamento vertical próximo ao oceano;
- verificar as implicações das marés terrestre e oceânica sobre bases com comprimentos usuais no posicionamento vertical relativo de alta precisão com GPS.

Neste experimento, desenvolvido no período de 09/04/97 a 21/05/97, foram realizadas observações contínuas de posição com receptores GPS geodésicos com dupla frequência com taxa de aquisição de 30 s, paralelamente com observações de maré gravimétrica nas três estações, com taxa de aquisição de 1 min, complementadas com observações simultâneas de pressão atmosférica e temperatura, com taxa de aquisição de 1 min; no mesmo período, também operou em Imbituba um marégrafo de pressão com taxa de aquisição de 10 min.

4. Processamento das Observações GPS

Para o processamento das observações GPS foi utilizado o *Software* conhecido por *The Bernese GPS Software Version 4.0*, 6ª versão (Rothacher & Mervart, 1996). Considerado um dos melhores softwares científicos para processamento de dados GPS, por atender às necessidades dos mais variados tipos de usuários, os quais buscam, acima de tudo, resultados de alta precisão. Justamente por proporcionar soluções altamente confiáveis, é utilizado pelos centros de processamento e análises do IGS.

O processamento das observações é dividido em quatro etapas principais: Transferência, Órbitas, Processamento e Serviços. A passagem dos dados no formato receptor para o formato RINEX e posteriormente para o formato Bernese, é realizada na etapa de transferência dos dados. Nesta etapa são gerados também os arquivos de zero diferenças de código e fase. A etapa de preparação das órbitas precisas para o processamento compreende duas fases. Na primeira fase as informações das órbitas são transformadas em efemérides tabulares referidas ao Sistema J2000.0 (McCarthy, 1996); a segunda fase é reservada para a criação do arco de órbita, denominada órbita padrão. O processamento dos dados é realizado por etapas. No pré processamento são calculadas a correção do relógio do receptor com relação ao tempo GPS e as coordenadas das estações a partir das observações do código. A segunda fase do pré processamento destina-se à formação das linhas de base. As simples diferenças (entre receptores) são armazenadas em arquivos e as duplas diferenças serão criadas na última fase do processamento. Atenção deve ser dispensada na escolha da estratégia de formação das linhas de base, pois o comprimento da linha é determinante na resolução das ambigüidades. Na última fase do pré processamento, são eliminadas as observações de má qualidade e é realizada a correção da perda de ciclos. Em seguida são geradas coordenadas a partir das triplas diferenças de fase, cuja solução deverá apresentar erro médio quadrático na ordem de 1 centímetro. O processamento final é dedicado à estimativa dos parâmetros através das duplas diferenças de fase. Inicialmente é feita a análise das observações cujos resíduos ultrapassarem uma tolerância estabelecida pelo operador. Em seguida são resolvidas as ambigüidades, podendo ser adotadas quatro estratégias disponíveis. A conclusão do processamento se dá com a geração do arquivo de coordenadas finais e das equações normais, para posterior combinação das soluções de diferentes sessões. A etapa de serviços permite efetuar uma série de análises, dentre as quais, a análise de resíduos e a comparação de resultados.

Dentro do contexto do projeto de Geodinâmica, três alternativas de análise estão sendo estudadas:

- investigação do comportamento das estações Blumenau e Imbituba, relativo à estação PARA, fixada como estação base;
- investigação do comportamento das estações Blumenau, Imbituba e PARA, relativo ao Sistema IGS, através do monitoramento pela estação IGS-Santiago (SANT);
- Idem, utilizando como referência a estação IGS-Brasília (BRAZ).

Os estudos relativos aos itens b) e c) encontram-se em fase final.

5. Tratamento das Observações Gravimétricas

Os dados gravimétricos adquiridos com taxa de 1 min, constituem uma seqüência temporal, cujas variações contém informações da resposta local a cada uma das ondas do potencial de maré, o qual na atualidade é determinado para mais de 3000 componentes (IAG - Commission V, 1997). Existem basicamente duas técnicas para a separação das respostas características a cada uma das ondas dentro das bandas quase-diurna (QT), Ter-diurna (TD), semi-diurna (SD), diurna (D) e longo período (LP): a) análise harmônica, no domínio do tempo, onde as amplitudes e fases das respostas são obtidas por técnicas de ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, aplicado a cada uma das bandas características, procedimento este adotado a nível internacional pelo ICET para o processamento padrão das estações do Trans World Tidal Gravity Profiles (TWTGP); b) análise espectral no domínio das frequências, a qual possibilita a obtenção direta dos resíduos em relação à maré teórica predita para a estação e uma análise mais consistente das admitâncias com uma série de fontes de perturbação, sendo mais empregada em aplicações específicas, onde as estimativas de erro em cada banda não sejam o objetivo principal da análise. Usualmente, os processamentos para aplicações científicas, como as análises geodinâmicas, fazem uso das duas técnicas, efetuando um procedimento de pré-análise dos dados, com técnicas espectrais e determinação das respostas para as principais ondas das bandas D, SD, TD e QD, via análise harmônica. Os parâmetros determinados de amplitude e fase relacionados a cada uma das ondas principais, permitem a determinação da resposta local característica, possibilitando a geração de uma maré sintética para a estação. A diferença entre esta maré sintética e a

observada, permite a geração de uma série temporal relacionada com os resíduos não correlacionados com as ondas componentes. Então, podem ser determinadas as admitâncias de diversas fontes de perturbações com estes resíduos, gerando correções que aplicadas à série temporal observada, permitem o refinamento da resposta local, corrigida das perturbações. Este procedimento é fundamental para o estudo das variações temporais produzidas por outras fontes, tais como as variações da pressão atmosférica, temperatura e efeito indireto dos oceanos. A análise espectral destes resíduos, permite identificar a frequência, a fase e amplitude das perturbações e, em consequência, qualificar as fontes e efeitos das mesmas (De Freitas, 1993).

6. Análise das Observações

As análises conduzidas até o presente, visam a identificação dos efeitos relativos entre as três estações do perfil do experimento multi-paramétrico. Este estágio de identificação, permitiu já o estabelecimento das metodologias de análise, atualmente em desenvolvimento dentro da tese de doutorado do segundo autor. No entanto, os resultados iniciais já se apresentam bastante reveladores, no que diz respeito à existência de efeitos diferenciais importantes na resposta geodinâmica, quando considerado somente as três estações, sem outra injeção externa.

Os gravímetros que operaram nas três estações para a medição das marés gravimétricas, foram intercomparados antes e depois do experimento na estação fundamental de Curitiba. As suas funções de transferência, envolvendo calibração estática e dinâmica, foram aferidas. As análises das marés gravimétricas nas três estações, com a determinação dos efeitos das variações da temperatura e pressão atmosférica e também dos efeitos indiretos dos oceanos, puderam portanto ser efetuadas com segurança relativamente a sua coerência. No contexto deste trabalho, são apresentados os resultados obtidos da análise das marés gravimétricas em Imbituba, junto ao Datum vertical brasileiro. A figura 2 apresenta a série temporal da maré gravimétrica observada, a figura 3 apresenta a série temporal da maré sintética para a estação, gerada com os parâmetros oriundos das análises da estação. A figura 4 mostra a série temporal relativa às observações a cada minuto da pressão atmosférica, a qual permitiu a correção das observações da maré oceânica, mostrada na figura 5. A figura 6 representa a síntese das análises da maré gravimétrica, onde está apresentada a série temporal dos resíduos na estação. Estes resíduos apresentam uma correlação forte com os efeitos indiretos dos oceanos, considerada a contribuição local, avaliada pelo marégrafo no local. A síntese das análises, sobre a onda M2, a de maior amplitude na estação, está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros de maré para a onda M2 na estação de Imbituba (Amplitudes em nm/s²)

A	RMS	Amp.fc	RMS	α°	RMS	B	β°	L	λ°
689.2	3.0	1.1831	0.0052	1.07	0.25	18.5	44.1	21.7	71.4

As observações com GPS nas três estações, no contexto deste primeiro estágio de análise, visaram somente uma forma de identificar os movimentos relativos das estações Imbituba e Blumenau em relação à estação Curitiba/PARA, no sentido de demonstrar a existência de efeitos de flexão diferencial. Para isto, foram processadas fixando a estação PARA e considerando o modelo teórico de resposta às marés terrestres (Standards 1992 - IERS) contido no software Bernese. As variações temporais nas posições verticais, analisadas a intervalos de uma hora, estão apresentadas na figura 7. Pode ser observado claramente que, mesmo que os desvios padrão da posição vertical nas estações de Blumenau e Imbituba, para a série integral de 42 dias, tenha ordem de grandeza ao nível do milímetro, constata-se variações localizadas no tempo, as quais atingem até 45 cm. É evidente que existem efeitos dinâmicos de variação da posição vertical. Estas variações apresentam componentes periódicas relacionadas com os resíduos de maré gravimétrica.

Os estágios de análise em andamento, visam a determinação precisa das respostas locais às marés e efeitos indiretos dos oceanos e sua associação com as variações de posição, agora das três estações. Para isto, o processamento das observações GPS já foi efetuado em relação às estações IGS de Santiago e Brasília, adotadas como fixas, com e sem a adoção do modelo teórico de maré fornecido pelo Standards 1992 - IERS.

O posicionamento GPS sobre um período de 42 dias, permitiu o estabelecimento de duas estações GPS de altíssima precisão em Santa Catarina. A estação de Imbituba, foi conectada ao marégrafo, via nivelamento geométrico de precisão, via uma linha com cerca de 800m, o que possibilitou a determinação da posição geocêntrica do marégrafo. A reocupação desta estação, permitirá identificar futuras variações desta posição, de forma a discriminar movimentos orogênicos e epirogênicos. A síntese deste processamento está apresentada nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 : Coordenadas das estações (WGS-84/ITRF)

Estação	X	SigmaX	Y	SigmaY	Z	SigmaZ
PARA	3763751,6390	0,001	-4365113,7680	0,001	-2724404,7550	0,004
BLU0	3728247,3387	0,0002	-4301512,4071	0,0002	-2867528,3883	0,0001
IMB0	3714672,3986	0,0002	-4221791,3892	0,0002	-2999637,9143	0,0001

Tabela 5 : Coordenadas no Sistema Sul Americano-1969

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (H)
PARA	-25° 26' 52,363203" S	-49° 13' 49,726585" W	928,7732
BLU0	-26° 53' 28,254700" S	-49° 04' 59,101914" W	028,5137
IMB0	-28° 14' 10,000520" S	-48° 39' 20,146203" W	012,5254

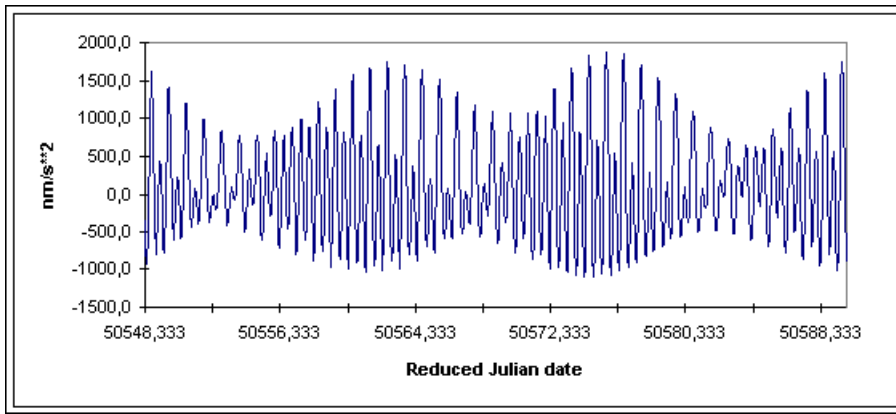


Fig. 2: Série temporal da maré gravimétrica observada (Imbituba)

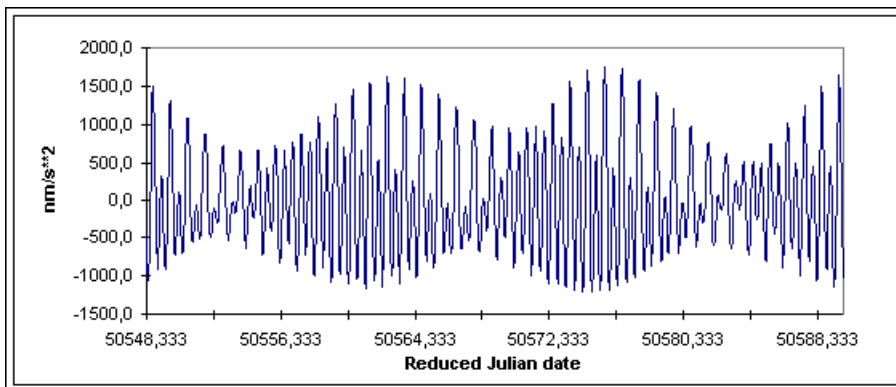


Fig. 3: Série temporal da maré gravimétrica sintética (Imbituba)

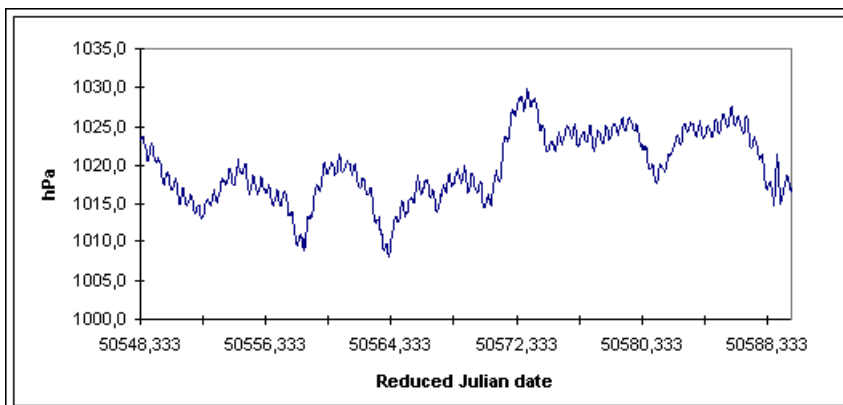


Fig. 4: Série temporal da pressão atmosférica (Imbituba)

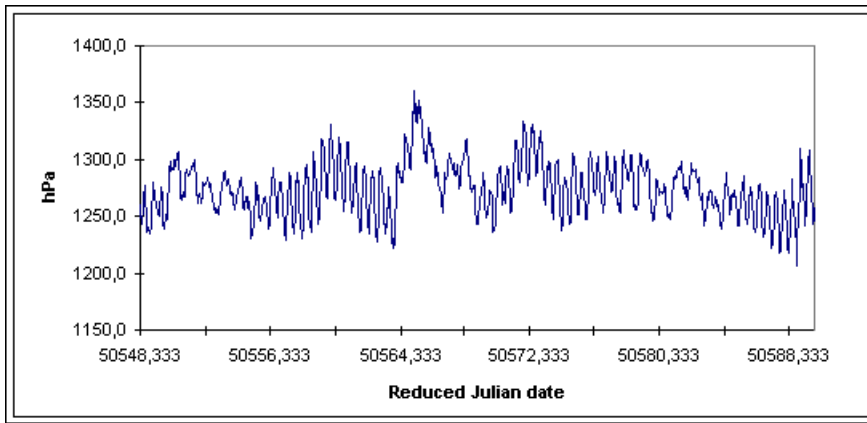


Fig. 5: Série temporal da maré oceânica corrigida da pressão atmosférica (Imbituba)

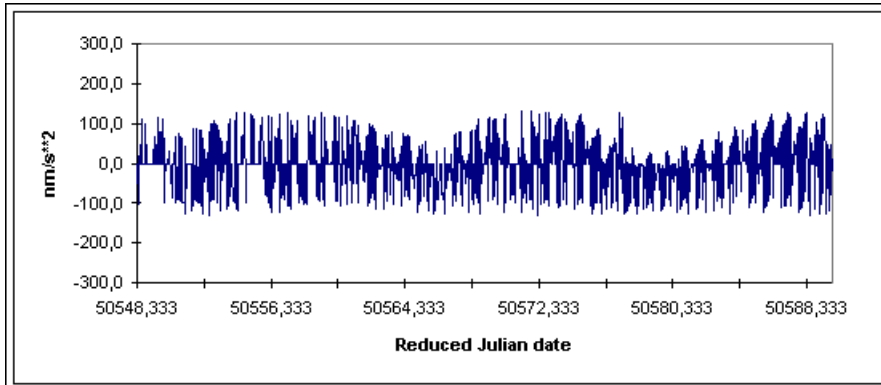


Fig. 6: Resíduos da maré gravimétrica (Imbituba)

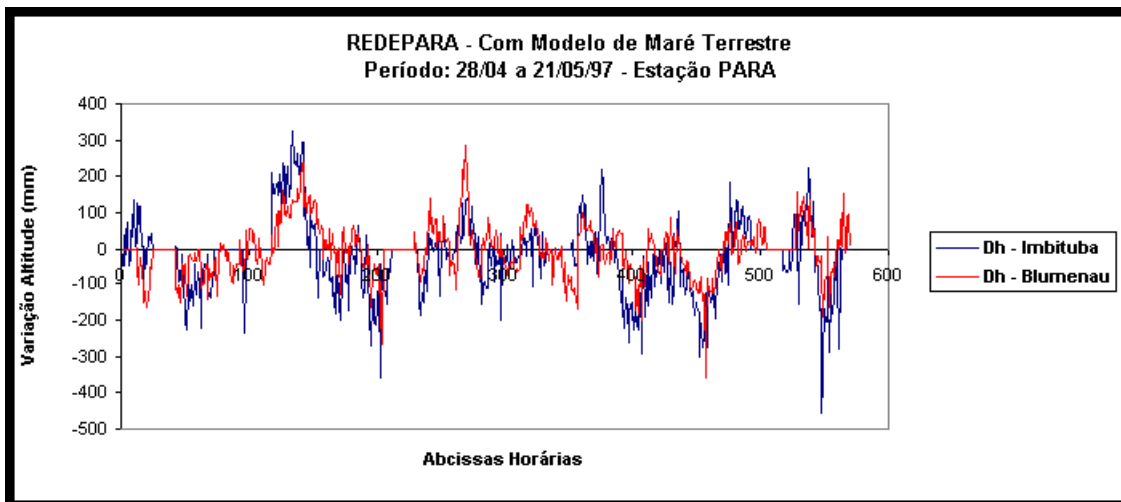


Fig. 7: Deslocamentos verticais relativos à estação PARA (mm)

7. Conclusões

O experimento multi-paramétrico realizado, buscou primariamente a identificação de efeitos geodinâmicos sobre um perfil de observações e no Datum vertical brasileiro. No entanto os resultados já evidenciados são extremamente encorajadores no aprofundamento dos estudos.

Estão evidenciados efeitos geodinâmicos diferenciais, com magnitude significativa, mesmo considerando somente o processamento fixando a estação PARA, já foi suficiente para a constatação de efeitos diferenciais significativos, indicando a necessidade de cuidados adicionais para o posicionamento vertical relativo com GPS, evidenciando que a posição determinada, mesmo que com desvio padrão de pequena magnitude, pode conter um erro sistemático muito maior, dependendo do ciclo de variação, associado com a observação.

Os modelos teóricos de correção das marés terrestres, tal como o Standards 1992 - IERS não são suficientes para as correções destes efeitos nas observações com GPS, uma vez que os efeitos oceânicos podem assumir valores elevados.

É possível a determinação da posição geocêntrica de um datum altimétrico, desde que consideradas correções de natureza geodinâmica.

8. Agradecimentos

Os autores desejam agradecer ao CNPq (Processo 524030/96 - NV) e à CAPES - PICDT pelo apoio financeiro para esta pesquisa. Sem dúvida, o Observatório Real da Bélgica tem fornecido apoio constante aos nossos estudos de geodinâmica, e em particular o Dr. Olivier Francis que forneceu suporte fundamental para as análises dos efeitos indiretos dos oceanos. O Prof. Dr. Eduardo Marone e seu orientado Geog. Murilo Kungenfluss tomaram parte dos experimentos e das análises das marés oceânicas e contribuíram com o empréstimo do marégrafo utilizado. Também desejamos manifestar nosso reconhecimento ao apoio a este projeto de grande envergadura dado pela Cia Docas de Imbituba e à Fundação Universidade Regional de Blumenau, assim como aos colegas Eng. Eno Darci Saatkamp, Profa. Dra. Cláudia Pereira Krueger, Eng^a Sônia Alves da Costa MSc. e Prof. Pedro Luis Faggion MSc.

9. Referências Bibliográficas

Andersen, O.B. (a); Global ocean tides from ERS 1 and TOPEX/POSEIDON altimetry. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 100, No. C12, p. 25249-25259, 1995.

Andersen, O.B. (b); Intercomparison of recent ocean tide models. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 100, No. C12, p. 25261-25282, 1995.

Beutler, G.; The impact of International GPS Geodynamics Service - IGS, in the surveying and map community. *In: XVII Congress ISPRS, Session IU-GP, Proceedings*, Washington DC, 1992.

De Freitas, S.R.C.; *Marés gravimétricas: Implicações para a placa Sul-Americana*. Tese de doutorado, IAG/USP, 1993.

De Freitas, S.R.C. & Luz, R.T.; Altimetria de precisão com GPS baseada no SGB: Possibilidades físicas e limitações. *In: 4º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro, Anais, v1, p. 135-138, 1995.

De Freitas, S.R.C.; Mantovani, M.S.M.; Melchior, P. & Shukowsky, W.; Some implications of the gravity tides in the South American plate. *In: Earth Tides*, ed. H.Hsu, Science Press, New York, p. 387-393, 1995.

De Freitas, S.R.C.; Santos, M.C.; Cordini, J. & Marone, E.; Multi-parametric experiment for observing crustal deformations in Southern Brazil. *International Association of Geodesy General Assembly*, Rio de Janeiro, 6 pp., Thematic Book, in press, 1997.

De Freitas, S.R.C.; Faggion, P.L. & Medeiros, Z.F.; Controle da estabilidade de RRNN utilizando nivelamento geométrico. *Revista Brasileira de Cartografia*, No. 49/1998, p. 1-6.

Farrel, W.E.; Deformation of the Earth by surface loads. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, No. 10/1972, p. 761-797.

Fenoglio-Marc, L.; *Sea surface determination with respect to European Vertical Datums*. Deutsch Geodätische Kommission, München, Heft Nr. 464, 1996.

Fury, R.J.; Leveled height differences from published NAVD 88 Orthometric heights. *Survey and Land Information System*, Vol 56, No 2/1996, p. 88-102.

IAG - Comission X - EUREF. *Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for the European Reference Frame (EUREF)*. Publ. Astronomisch-Geodätische Arbeiten, München, Heft Nr. 56, 1995.

IAG - Comission V - Earth Tides. *Report of the Work Group on Tide-generating Potential*. ICET, Brussels, 1997.

IBGE. *SIRGAS: Relatório Final, Grupos de Trabalho I e II*. Diretoria de Geociências, Departamento de Geodésia, Rio de Janeiro, 1997.

Kakkuri, J. & Poutanen, M.; Geodetic determination of the surface topography of the baltic sea. *Marine Geodesy*, No. 20/1997, p. 307-316.

Kuang, S.; Fidis, C. & Thomas, F.; Modeling of local Geoid with GPS and levelling: a case study. *Survey and Land Information System*, Vol 56, No 2/1996, p. 75-88.

Kumar, M. Development of a world height system. *In: INSMAP 94*, Hannover, Proceedings, 235-242, 1994.

Mc Carthy, D.D. IERS Conventions 1996. *IERS Technical note*, 21. 1996.

Melchior, P. *The tides of the planet Earth*. Pergamon, 2nd ed. London, 1983.

Melchior, P. & DeBecker, M.; A discussion of world-wide measurements of tidal gravity with respect to oceanic interactions, lithosphere heterogeneities, Earth's flattening and inertial forces. *Physics of the Earth and Planetary Interior*, No. 31/1983, p. 27-53.

Melchior, P. & Francis, O.; Comparison of recent ocean tide models using ground-based tidal gravity measurements. *Marine Geodesy*, Vol. 19/1996, p. 291-330.

Rothacher M. & Mervart L.; *Bernese GPS Software Version 4.0*. Astronomical Institute University of Berne. Berne. 1996.

Schwiderski, E.W. On charting global ocean tides. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, No. 18/1980, p. 243-268.

VanDam, T.M.; Blewitt, G. & Heflin, M.B.; Atmospheric pressure loading effects on Global Positioning System. *Journal of Geophysical Research*, vol. 99, No. B12/1994, p. 23939-23950.

Vanicek, P. & Krakiwsky, E.J.; *Geodesy: The concepts*. North-Holland, Amsterdam, 1982.

Zilkoski, D.B.; Richards, J.H. & Young, G.M.; Special Report on Results of the general adjustment of the North-American vertical Datum of 1988. *Survey and Land Information System*, Vol 52, No 3/1992, p. 133-149.

