

Observações maregráficas empregando a Técnica RTK OTF em Apoio a Levantamentos hidrográficos para Atualização de Cartas náuticas

Alexandre Moreira Ramos¹
Prof^a. Dr^a. Cláudia Pereira Krueger²

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
81531-990 Curitiba-PR-Brasil

¹moreira.ramos@ufpr.br

²ckrueger@ufpr.br

Resumo: A redução batimétrica visa eliminar as oscilações do nível do mar das sondagens, referenciando-as ao Nível de Redução (NR) da Carta Náutica. Para isto são geradas correções de marés a partir de Estações Maregráficas na costa. Muitas vezes os registros maregráficos nestas estações não representam de forma fidedigna o real comportamento da maré na área de trabalho. As precisões centimétricas obtidas com a técnica RTK permite considerar as altitudes elipsoidais da antena da embarcação, como resultantes da variação da maré. Se um sensor inercial adequado for integrado ao sistema GPS-Ecobatímetro associado ao um modelo de separação entre o elipsóide de referência do sistema WGS-84 e o NR é possível efetuar a redução de sondagem sem a necessidade do apoio de estações maregráficas na costa. O primeiro passo para a aplicação desta nova metodologia é a confirmação da acurácia do RTK para efetuar o acompanhamento de marés, em operações de campo.

Palavras chaves: Batimetria, Marés e GPS RTK

Abstract: The sounding reduction seeks to eliminate sea level oscillations from the depths, relating them to the Chart Datum. These corrections of tides are generated starting from a tide gauge records in the coast. Sometimes these records don't represent in a trustworthy way the real behavior of the tide in the work area. The centimeter-level accuracy obtained with the RTK allows to be considered ellipsoidal heights of the GPS antenna, as resultants of the sea level oscillation. If adequate motion compensation equipment is used, and project tidal datum modeling has been accomplished, accurate, real-time elevations (depths) can be directly obtained without observing tidal or river stage data. The first step for the application of this new methodology is to check the RTK accuracy to correct measure the tides, in survey operations.

Keywords: Bathymetry, Tides, GPS RTK

1 INTRODUÇÃO

Os Levantamentos Hidrográficos conduzidos pela Marinha têm como propósito principal a segurança da navegação. Desta forma, as profundidades representadas em uma Carta Náutica são referidas a um nível básico, denominado Datum da Carta ou Nível de Redução (NR), que deverá estar em um plano suficientemente abaixo do nível médio do mar, de modo que represente as profundidades mínimas a serem encontradas na região. Assim para se obter a profundidade em determinado instante deve-se somar a altura maré prevista descrita nas Tábuas de Marés. O NR é calculado por meio de uma combinação matemática das amplitudes das componentes harmônicas, de acordo com a classificação da maré dada pelo critério de Courtier (1938). As componentes principais de marés são determinadas a partir da análise harmônica de séries temporais de variações do nível do mar medida através de marégrafos instalados na costa. Desta forma, o plano que define o NR é representativo das características das marés astronômicas locais. As oscilações do nível do mar podem ainda ser provocadas por efeitos meteorológicos, hidrológicos ou oceanográficos ou movimentos verticais da crosta terrestre (isostáticos ou tectônicos). Há regiões no Brasil, como a Baía de São Marcos (MA) onde as amplitudes de marés alcançam cerca de 6 metros, em períodos de sizígia, ou em áreas de influência fluviométrica, como o rio Amazonas, onde o nível do rio varia aproximadamente 10 metros entre seus períodos de cheia e seca.

De modo a atingir o propósito principal dos LH conduzidos pela DHN, ou seja, a segurança da navegação, de acordo com as especificações recomendadas pela IHO (*International Hydrographic Organization*), devem ser aplicadas às sondagens observadas algumas correções, as quais podem ser subdivididas em (DHN 1998):

- a) Correções instrumentais: Realizadas para ajustagem dos ecobatímetros, de forma a coincidir o zero da escala, isto é, correspondente ao momento exato em que o estilete, passando pelo zero da escala do papel do registro, coincide com o momento da emissão do som.
- b) Correções da posição do transdutor: A sondagem será corrigida sempre de um valor positivo, correspondente à imersão do transdutor, isto é, a distância entre a superfície da água e a parte inferior do transdutor. Os valores das correções são obtidos a partir das marcas de calado, planos do navio, tabela de correção em função dos calados AV (avante) e AR (a ré).
- c) Correções dos movimentos da embarcação: Provocam mudança de direção do feixe acústico, podendo desta forma, ser adquirida pelo equipamento uma profundidade que não é a da vertical do transdutor. Para eliminação desses erros deve-se utilizar sensores especiais integrados a uma plataforma estabilizada mecanicamente ou eletronicamente ligadas ao transdutor.
- d) Correções das condições ambientais: Compreende as correções devidas à variação da velocidade do som e às reduções batimétricas. Redução de sondagens batimétricas são correções aplicadas em função dos efeitos ambientais de maré, com o propósito de referi-las a ao Datum da Carta ou Nível de Redução (NR).

As maiores fontes de erros presentes na profundidade reduzida são oriundas do processo de redução de marés e correções de atitude. Isto ocorre muitas vezes porque os efeitos de maré e atitude, sobretudo o efeito *heave*, são medidos de forma independente, o que gera imprecisão na etapa de pós-processamento, uma vez que, na prática, estes efeitos estão combinados no nível do mar para um determinado instante (Scarfe 2002). Tipicamente os erros em função das correções de marés chegam a 10cm, para levantamentos de Ordem Especial, e de 20 a 30cm em levantamentos de Primeira Ordem (Norden et al 2005). As precisões das correções de maré podem ser melhoradas com a aplicação da técnica RTK (USACE 2002), uma vez que as observações maregráficas serão substituídas pelas altitudes elipsoidais da antena. Há também uma minimização dos erros cotidianos, já que as altitudes elipsoidais representam a oscilação de maré no local exato do levantamento.

2 A TÉCNICA RTK OTF

A técnica foi desenvolvida no início dos anos 90 como uma alternativa para melhorar a precisão do método diferencial baseado em observações do código (DGPS). Baseia-se na geração de correções diferenciais de fase (CPC_r) a partir de observações de pseudodistância e fase da onda portadora em uma estação de referência (r), com coordenadas precisas conhecidas. Além das correções diferenciais de fase também são transmitidas as observações de pseudodistância e fase, tomadas a partir da estação de referência. Os dados são transmitidos em formato apropriado, estabelecido pela *Radio Technical Commission for Maritime Services – Special Committe 104* (RTCM SC-104). As correções diferenciais são aplicadas diretamente na fase observada em um receptor móvel, e as observações de pseudodistâncias e fases utilizadas em algoritmos de dupla diferença de fase (DDF), possibilitando uma navegação com precisão centimétrica em tempo real.

Entretanto estas precisões dependem da solução das ambigüidades inteiras no receptor móvel, durante o seu movimento. Este tipo de solução das ambigüidades é conhecido como “*on-the-fly*” (OTF) ou “*on-the-way*” (OTW). O tempo de fixação das ambigüidades (TTFA - *time to fix ambiguities*) dependerá do comportamento dos erros dependentes da distância, podendo chegar, para curtas distâncias e sob condições favoráveis, a apenas uma época. Sendo assim, o TTFA constitui um dos fatores limitantes do alcance da técnica RTK a valores máximos de até 10 Km (Seeber 2003). Outras limitações de alcance são determinadas pelo meio de comunicação empregado e as chamadas perdas de espaço livre, quando utilizados sinais de rádio para transmissão dos dados. O alcance pode ser aumentado com o uso de redes de Estações de Referência (PDGPS).

As medidas de fase da portadora são altamente sensíveis a perdas de ciclos. É preciso que a estação móvel disponha de softwares adequados para rápida detecção e correção destas falhas de sinal, que estão diretamente associadas à solução das ambigüidades enquanto em movimento, através da técnica OTF. O uso do algoritmo de triplas diferenças de fase (TDF) e o uso de modelos de solução que empregam geometria-livre (Leick 2004) podem ser utilizados para detecção das perdas de ciclos. Para bases curtas (até 10 km) a estação de referência e o receptor móvel rastreiam simultaneamente a mesma constelação de satélites, gerando certa correlação entre os erros em ambas as estações, pois além da eliminação dos erros dos relógios, os efeitos atmosféricos e os erros nas órbitas são considerados semelhantes nas estações, tornando efetivas no receptor móvel as correções geradas na estação de referência. Ambas as estações devem rastrear pelo menos cinco satélites, para se ter uma boa solução das ambigüidades.

As mensagens padrão RTCM têm sido modernizadas no sentido de acompanhar a evolução das técnicas diferenciais. A primeira versão (1.0) foi publicada em 1985, sendo substituída em 1990 pela versão 2.0, atendendo ao posicionamento diferencial baseado em observações de fase do código (DGPS). Em 1994, a versão 2.1 incluiu as mensagens 18, 19, 20 e 21 que possibilitaram o posicionamento RTK. A versão 2.2 (1998) estendeu a possibilidade de transmissão de correções diferenciais de outros GNSS, como GLONASS, por exemplo (Seeber 2003; Langley 1998). Atualmente estão disponíveis as versões 2.3 (2001) e 3.0 (2004), aperfeiçoando a acurácia dos sistemas RTK e das redes de estações de referência, respectivamente. A versão RTCM 2.3 inclui as mensagens 23 e 24, com informações do tipo de antena e referenciado a posição ao ARP (*Antenna Reference Point*), evitando os problemas de variação do centro de fase da antena (RTCM 2001).

O uso das correções diferenciais (mensagens RTCM 20/21) possibilita uma diminuição dos erros devidos à latência, em função da menor suscetibilidade das correções diferenciais em função da variação temporal comparativamente com as observações brutas (mensagens RTCM 18/19), simplificação dos cálculos na estação móvel e um volume de dados para transmissão, o que permite usar larguras de banda menores. Porém a estação móvel depende da confiabilidade das correções geradas na estação de referência (RTCM 2001). Além disto quando são utilizadas observações brutas de fase e pseudodistância, geralmente são usados os mesmos algoritmos nas estações de referência e móvel, cancelando os erros correlacionados pela diferenciação. Já a aplicação das correções diferenciais poderá redundar em erro, já que estas podem não ter sido obtidas pelo mesmo algoritmo empregado no receptor móvel (RTCM 2001). Segundo Prado (2001), o uso das observações brutas de pseudodistância e fase permitem uma modelagem mais adequada ao levantamento, bem como a eliminação dos erros dos relógios dos satélites e dos receptores. Em função disto o par de mensagens 18/19 tem sido mais usado que as correções providas pelas mensagens 20/21 (Langley 1998).

3 METODOLOGIA

O objetivo das observações maregráficas por RTK é proporcionar uma redução batimétrica coerente com o comportamento da maré da região, dentro da precisão recomendada pela *International Hydrographic Organization* (IHO), ao nível de confiança de 95%, de 5 cm para levantamentos de Ordem Especial, e de 10 cm para levantamentos de Primeira Ordem (IHO, 1998). Remondi et al (1993) dizia que as correções de marés em tempo real empregando solução OTF eram possíveis. Medidas de marés pela técnica RTK também foram investigadas por Kielland e Hagglund (1995) e DeLoach (1995). Ashkenazi et al (1990) também investigaram o uso do GPS para observação de maré, porém no contexto de estações maregráficas de longo período. A determinação da separação vertical entre o NR local e o elipsóide de referência é o que permite a execução do levantamento RTK, dispensando o uso de estações maregráficas na costa (IHO, 2005). Os erros cotidianos, em função da divisão em subáreas de redução, são substituídos por erros associados com a determinação do relacionamento entre o elipsóide de referência e o NR de local, ao longo da área (Wong et al 2000). A separação entre WGS-84 e NR tem sido refinada em

todo o mundo, gerando modelos locais de separação similares às alturas geoidais (Clarke et al 2005). A validação da aplicação da técnica RTK na redução batimétrica depende de uma análise da contribuição de suas incertezas no modelo estatístico da determinação de Erro Total Propagado (ETP) no cálculo da profundidade reduzida, que deve ser comparado com o controle de qualidade realizado a *posteriori* a partir dos pontos de cruzamento das linhas de verificação, verificando a adequação do levantamento aos padrões mínimos recomendados.

Para a comparação das curvas de marés RTK com as observações coletadas na Estação Maregráfica, faz-se necessário verificar a correta operação dos marégrafos, que pode ser feita através do teste de *Van de Castele*, que consiste na comparação dos registros do marégrafo com as leituras da régua, ao longo de um período completo de maré. Estas leituras produzirão diagramas, que de acordo com a sua forma, identificarão falhas de operação do marégrafo. No caso de um marégrafo perfeito a soma de ambas as leituras permanecerá constante (IOC 1985; SHOAM 2006).

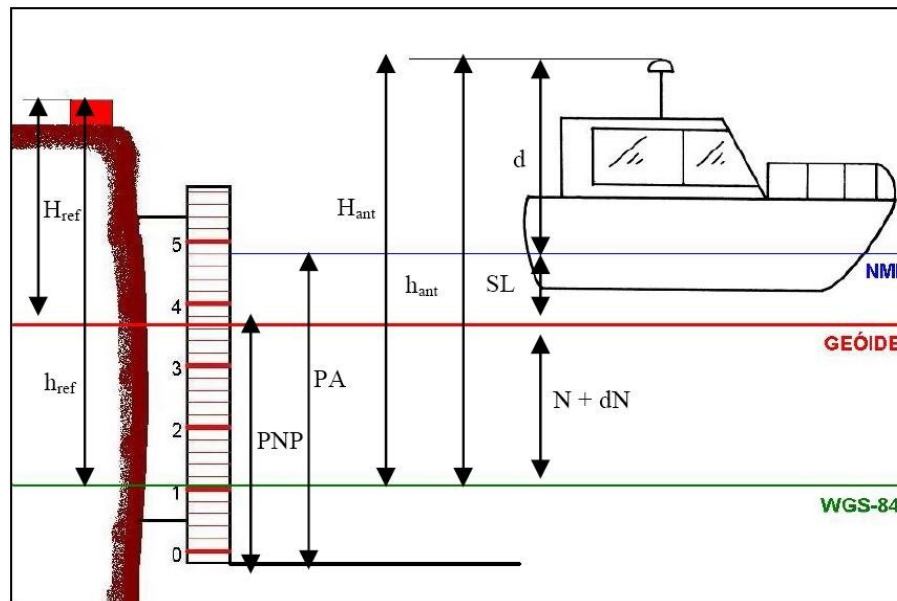


Figura 1: Determinação da altura da antena GPS

Os *offsets* da embarcação de sondagem, altura da antena GPS e profundidade medida pelo ecobatímetro, devem estar referenciados à mesma origem. Esta origem muitas vezes é a linha d'água estática, normalmente corresponde a um calado médio marcado no casco, e é determinada com a embarcação docada, situação ideal para medida dos *offsets* através de métodos geodésicos. Contudo, na prática isto nem sempre é possível. Podem ser usados os planos da embarcação, marcações no casco de calado, trenas milimétricas ou métodos topográficos. Segundo Alkan e Palancioglu (1999), o fator mais importante na observação de maré baseada em navios é a determinação precisa da altura da antena em relação à linha d'água da embarcação. Goldan (1994) apresenta um método a partir de estações de referência onde a relação entre altitudes ortométricas e elipsoidais possam ser determinadas, permitindo o cálculo da altura precisa da antena GPS sobre a superfície do mar, de acordo com a figura 1. A altura da antena pode ser alterada em função da mudança de atitude da embarcação (ângulos de *pitch* e *roll*), exigindo o emprego de um sensor inercial para aplicação destes ângulos de rotação ao vetor da antena RTK (Clarke et al,2005).

A altura do nível do mar instantâneo (SL) em relação ao geóide é dada por:

$$SL = PA + PNP \quad (1)$$

Onde:

PA é a leitura instantânea da régua; e

PNP é a altura do zero da régua em relação ao geóide. Terá sinal negativo caso esteja abaixo do geóide. Seu valor é determinado a partir do nivelamento geométrico de uma RN de altitude ortométrica conhecida.

A altitude ortométrica de uma RN de referência (H_{ref}) é dada por:

$$H_{ref} = h_{ref} - (N + dN) \quad (2)$$

onde:

h_{ref} é a altitude elipsoidal da RN;

N - altura do geóide na RN; e

dN - erro na determinação da altura do geóide.

A altura da antena GPS sobre o nível do mar é:

$$d = H_{ant} - SL \rightarrow d = h_{ant} - N_{ant} - dN - SL \quad (3)$$

Substituindo a equação (1) na equação (3), e o valor de dN dado pela equação (2), tem-se:

$$d = h_{ant} - N_{ant} - h_{ref} + N_{ref} - H_{ref} - PA - PNP \quad (4)$$

A distância entre a embarcação de sondagem e a RN de referência é muito pequena, logo pode-se considerar que $N_{ref} = N_{ant}$. A equação (4) pode ser simplificada por:

$$d = h_{ant} - h_{ref} + H_{ref} - PA - PNP \quad (5)$$

A determinação precisa da altura da antena sobre o nível do mar pode ser obtida por um processo de ajustamento das observações tomadas por um período de 1 hora, processando-se as altitudes elipsoidais a partir de soluções fixas de dupla frequência. A altura da antena deve ser calculada novamente, empregando a mesma metodologia, após os levantamentos.

As correções de marés reduzidas são obtidas pela expressão (6) refletem a movimentação sofrida pela antena RTK durante o deslocamento da embarcação de sondagem. Esta movimentação inclui, além da maré, variações em atitude, efeitos meteorológicos e ruídos. A aplicação dos métodos de suavização visa eliminar todas as fatores presentes nas altitudes elipsoidais que não representem o comportamento da maré. Neste trabalho serão testados alguns métodos: Mínimos quadrados, média móvel e aproximação polinomial. As várias curvas de correções de marés devem ser comparadas, assim como seus desvios padrão em relação à maré observada.

$$T_2(t, E) = h_{RTK}(t) - \beta - \alpha_i \quad (6)$$

onde:

$h_{RTK}(t)$ - altitude elipsoidal da antena do GPS no instante t ;

α_i - altura da antena GPS RTK sobre a origem do referencial da embarcação; e

β - expressão da altura do NR em relação ao elipsóide de referência, dada pela expressão:

$$\beta = h - (r + d) + (S_0 - Z_0) \quad (7)$$

onde:

h - altitudes elipsoidais das RRNN;

r - comprimento das réguas;

d - desníveis entre as réguas e as RRNN;

S_0 - Altitudes do NMM nas estações maregráficas; e

Z_0 - alturas dos NR abaixo do NMM nas estações maregráficas.

A suavização da curva de marés gerada pelas altitudes elipsoidais pelo processo dos mínimos quadrados utilizará um modelo matemático aproximado da altura da maré astronômica, dado pela expressão:

$$Y(t) = Z_0 + \sum_{k=1}^j [a_k \cdot \cos(\omega_k \cdot t) + b_k \cdot \sin(\omega_k \cdot t)] \quad (8)$$

Sendo j igual a uma determinada quantidade de componentes harmônicas, necessárias para uma

melhor representação da curva de marés local. Neste trabalho foram utilizadas as componentes harmônicas principais $M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1$. Portanto os parâmetros a serem determinados pelo ajustamento serão as amplitudes a_k e b_k e o nível médio Z_0 , já que as frequências angulares (ω_k) são constantes para cada componente, dadas por Franco (1997).

O vetor dos parâmetros desconhecidos é dado pela solução do sistema de equações normais através da expressão $X = -N^{-1}U$, sendo a matriz normal N dada por $A^T \cdot A$. A matriz A , denominada matriz design, é obtida pelas derivadas parciais do modelo matemático funcional em relação aos parâmetros

A solução do sistema de equações lineares do Ajustamento acima conduz a um valor quase singular da matriz N . Isto representa uma instabilidade da solução, implicando em grandes variações dos parâmetros em função de pequenas alterações das alturas observadas. Neste caso, utiliza-se um ajustamento livre, através da pseudoinversa da matriz N (N^+). O ajustamento livre permite uma adequação da curva aos valores observados, independentemente de qualquer injunção inicial. Entre os vários algoritmos existentes, optou-se pelo cálculo da pseudoinversa através da decomposição de valor singular, em função da facilidade de programação:

$${}_n N_n = {}_n B_n \cdot {}_n S_n \cdot {}_n V_n^T \quad (9)$$

onde as matrizes B e V são ortogonais e S é uma matriz diagonal, cujos elementos são denominados valores singulares, de tal forma que:

$$S_{11} \geq S_{22} \geq S_{33} \geq \dots \geq S_{mm} \quad (10)$$

e sua pseudoinversa:

$$N^+ = V \cdot S^+ \cdot B^T \quad (11)$$

onde:

$$S_{ii}^+ = \begin{cases} 1/S_{ii} & \text{Para } S_{ii} \neq 0 \\ 0 & \text{Para } S_{ii} = 0 \end{cases} \quad (12)$$

O método de suavização por média móvel de séries temporais, visa a eliminação de ruídos aleatórios, normalmente de alta frequência presentes nas observações, permitindo a observação da tendência dos dados. Uma simples média móvel de tamanho 5 será dada pela expressão abaixo, cujos valores médios são associados ao valor de tempo central (Kenney 1961):

$$\begin{cases} \bar{y}_2 = (y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4)/5 \\ \bar{y}_3 = (y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5)/5 \\ \bar{y}_4 = (y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6)/5 \end{cases} \quad (13)$$

Considerando que as observações tenham sido tomadas a intervalos de tempo constantes, o tamanho da média deverá ser escolhido de tal forma que compreenda o período total do ruído que se deseja eliminar. Para medidas de correções de maré RTK é recomendado a utilização de um intervalo de amostragem de 5 minutos (Scarfè 2002). Como normalmente as médias são associadas ao valor central de tempo, deve-se escolher um número ímpar para o tamanho das amostras. Um problema advindo do uso das médias móveis para $2k + 1$ termos, é que são perdidos k termos no início e no fim da série.

A aproximação polinomial é um processo de suavização da curva de marés RTK através do Método dos Mínimos Quadrados empregando como modelo matemático um polinômio de grau n . O grau do polinômio determinará uma melhor aproximação da curva de correções RTK. Para este trabalho observou-se que o polinômio de grau 10 apresentou os menores erros.

4 RESULTADOS

Visando verificar a acurácia das altitudes elipsoidais RTK para acompanhamento de maré, foram realizadas observações simultâneas da variação da altura da antena GPS RTK, a uma taxa de aquisição de 30 segundos, e do nível do mar instantâneo na Estação Maregráfica da Delegacia da Capitania dos Portos em Itajaí (SC), pelos alunos do Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais (CAHO) da Marinha, no período de 26 a 28 de novembro de 2005.

A antena RTK foi instalada no mastro da Lancha Balizadora BETELGUESE, e sua altura tomada em referência à linha d'água estática coincidente com o plano onde foi instalado o sensor inercial TSS 335B, que não foi empregado neste teste. O cálculo da altura da antena RTK (a_i) foi baseado no plano de projeto da embarcação, o que possibilita uma precisão apenas decimétrica. Deve ser adotada uma metodologia semelhante à sugerida por Goldan (1994) para tomada da altura da antena, ou o emprego de técnicas topográficas convencionais. A separação (β) entre o Nível de Redução e o elipsóide de referência associado ao WGS-84 foi obtida a partir da altitude elipsoidal e nivelamento geométrico da RN "CABEÇO 2". A altitude elipsoidal foi determinada a partir do posicionamento relativo estático tomando-se como base o ponto IPÊ, integrante da rede principal estabelecida pelo CAHO durante o período de reconhecimento do levantamento, e referenciada às estações PARA (Curitiba – PR) e POAL (Porto Alegre – RS), integrantes da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). As coordenadas dos pontos IPÊ e RN "CABEÇO 2" são dadas na tabela 1.

TABELA 1 – COORDENADAS DOS PONTOS IPÊ E RN "CABEÇO 2" (Sistema WGS84)

Ponto IPÊ – base (sistema WGS84)		Desvio padrão (metros)
Latitude	26° 53' 06,4564" S	0,005
Longitude	048°40' 40,8003" W	0,006
Altitude Elipsoidal (m)	17,545	0,016
RN "CABEÇO 2" – Estação Maregráfica (Sistema WGS84)		
Latitude	26° 53' 04,95602" S	0,004
Longitude	048° 39' 44,46048" W	0,004
Altitude Elipsoidal (m)	2,646	0,009

FONTE: CAHO (2005)

De acordo com o nivelamento geométrico realizado, o Nível de Redução encontrava-se 2,842 m acima do ZERO da régua de marés. Aplicando-se os valores obtidos para a altitude elipsoidal da RN "CABEÇO 2" e do nivelamento geométrico entre a régua e a RN, na expressão (7), determinou-se o valor da separação entre o elipsóide WGS-84 e o Nível de Redução em -0,207 m (o sinal negativo indica que o plano do elipsóide associado ao WGS-84 está acima do Nível de Redução). O gráfico da figura 2 apresenta a comparação entre as correções de maré observadas (T_1) e as correções de marés (T_2) a partir das altitudes elipsoidais da antena RTK (h_{RTK}), para o dia 27 de novembro de 2005. Os valores de S_0 e Z_0 são as constantes da Estação Maregráfica, descritos em sua ficha F-41-1801-001/02, sob o número de registro 60231.

Como as observações foram tomadas com a embarcação atracada ao píer da Delegacia da Capitania dos Portos, considera-se constante a separação (β) entre o Nível de Redução e o elipsóide de referência associado ao WGS-84. Da mesma forma, as variações de calado são desconsideradas, uma vez que a embarcação encontrava-se parada.

Relembra-se que estas observações foram coletadas de forma expedita, sem a avaliação correta dos *offsets* da embarcação, assim como a aplicação de correções de atitude para a antena GPS RTK. As curvas de marés RTK foram processados pelo programa SISMARE, desenvolvido pelo autor. Foram calculados os erros entre as correções de marés RTK suavizadas e as correções obtidas pela maré observada na Estação Maregráfica próxima do local onde se encontrava a embarcação. Considerando estas últimas como padrão, o desvio padrão dos erros verdadeiros define a acurácia do método. Os resultados, ao nível de confiança de 95%, são apresentados nos gráficos das figuras 3,4 e 5.

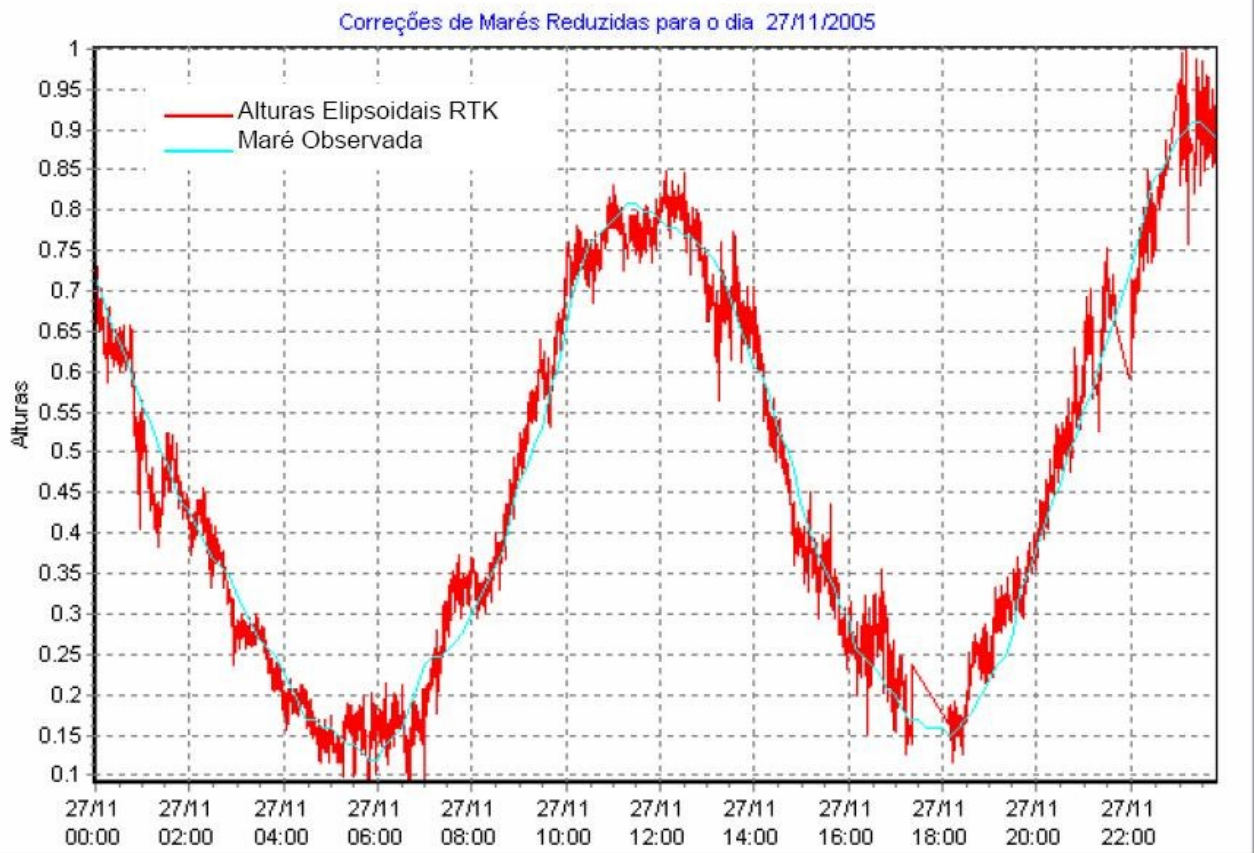


Figura 2: Gráfico comparativo entre as correções T_1 e T_2

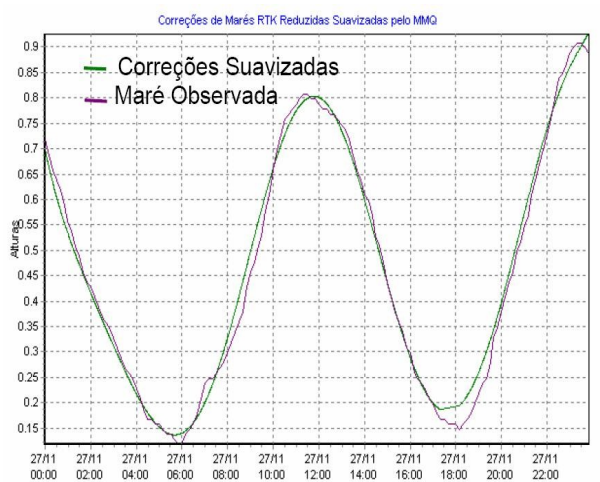


Figura 3: Curva de Correções de maré RTK suavizado pelo MMQ - acurácia de 4,535 cm

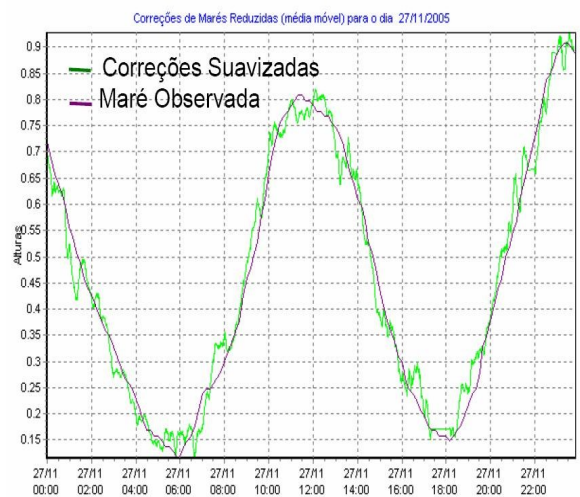


Figura 4: Curva de Correções de maré RTK por Média Móvel com taxa de amostragem de 5 minutos - acurácia de 6,8696 cm

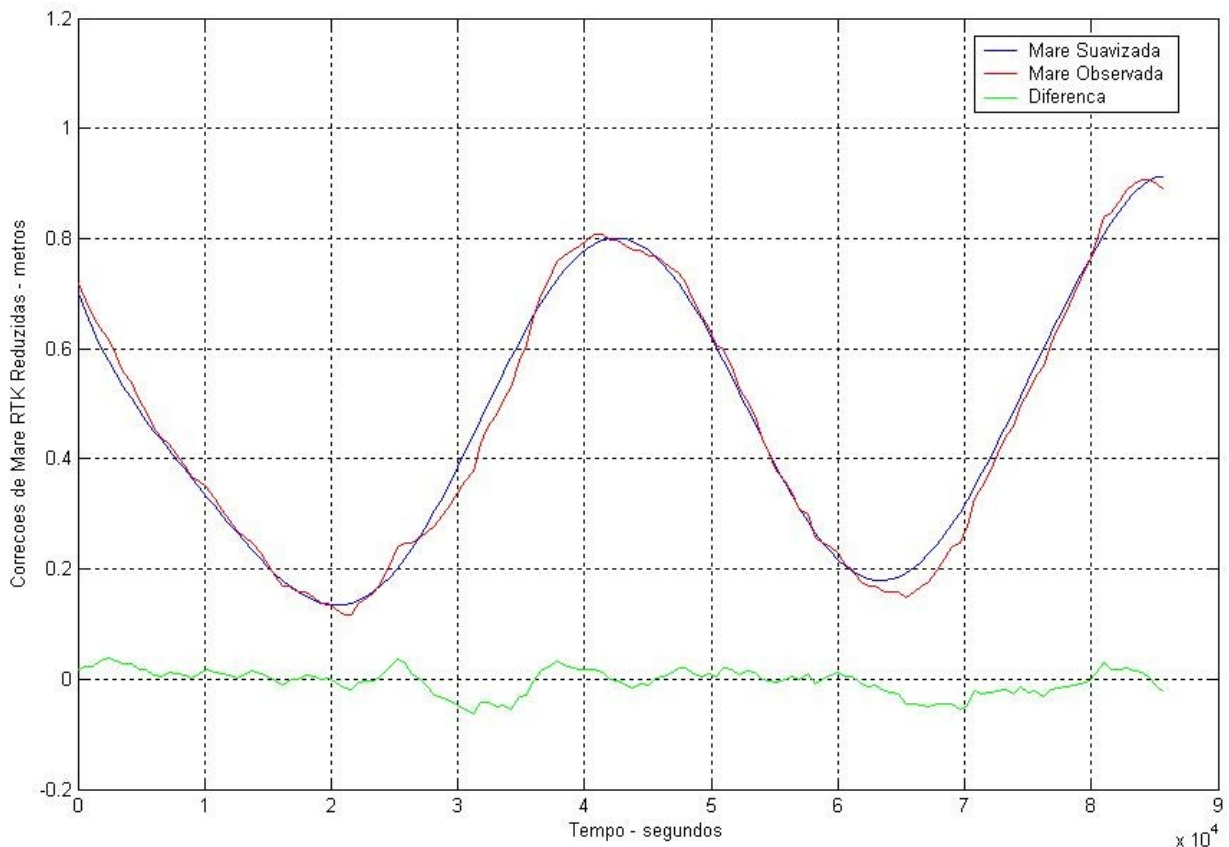


Figura 5: Correções de maré RTK por aproximação polinomial (grau 10) - acurácia de 4,522 cm

5 CONCLUSÕES

As acurácias obtidas estão dentro dos padrões exigidos para Levantamentos de Ordem Especial, para as curvas de correções de marés suavizadas pelos métodos dos mínimos quadrados e por aproximação polinomial. Já o processo da média móvel possibilita a execução de Levantamentos de Primeira Ordem. Estes resultados necessitam ainda de mais testes, preferencialmente conduzidos em operações hidrográficas no mar, a fim de avaliar sua capacidade de representação da maré em toda a extensão da área do levantamento. Precisa ainda ser avaliada qual a sua contribuição dentro do erro total propagado da profundidade reduzida, comparativamente com o erro máximo permitido.

As marés RTK permitem eliminar do processo de correção das sondagens os erros oriundos das subáreas de redução, já que o NR não se comporta de maneira uniforme em toda a área de trabalho. A técnica RTK associada a modelos de interpolação de componentes harmônicas possibilita a execução de levantamentos hidrográficos sem a necessidade de observações maregráficas baseadas em estações costeiras, podendo ainda agregar qualidade às profundidades reduzidas.

Há ainda a possibilidade do acompanhamento de maré pelos sistemas HADGPS (High Accuracy DGPS), que empregam a técnica RTG, baseada em correções dos erros das órbitas e dos relógios dos satélites geradas por uma rede global de estações de referência, processadas por programas como o GIPSY (*RTG - Real Time GIPSY*), que disponibilizada as correções por Internet ou via Banda-L do satélite INMARSAT, com latência de alguns segundos (Leick 2004). Porém estas observações devem ainda ser corrigidas dos efeitos das marés terrestres e carga dos oceanos (Norden et al,2005), de acordo com a nota técnica nº 32 do IERS.

6 REFERÊNCIAS

- ALKAN, R.M.; PALANCIÖGLU, H.M.:** *Determination of Mean Sea Level with GPS on Vessel*. In: 12th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, September 14-17 1999, Proceedings, Nashville, ION GPS-99, 1999
- ASHKENAZI, V.; BASKER, G. A.; BAKER, T.F.:** *Monitoring Mean Sea Level with GPS*. In: The Hydrographic Society SP.26, 7th Biennial Symposium of the Hydrographic Society, 18-20 December 1990, Proceedings, Southampton, HYDRO 90, 1990.
- CLARKE, J.E.H.:** *A reassessment of vessel coordinate systems: what is it that we are really aligning ?* In: U.S. Hydrographic Conference 2003, March 24-27 2003, Proceedings, Mississippi, US HYDRO 2003, 2003.
- COUTIER, A.:** *Marés*, 1938.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN):** *INSTRUÇÃO TÉCNICA H-01 – Critérios para correções a serem efetuadas nas sondagens para representação nas FB*. Rio de Janeiro: Base de Hidrografia da Marinha em Niterói, 1998
- _____. *INSTRUÇÃO TÉCNICA H-02 – Sondagens Batimétricas*. Rio de Janeiro: Base de Hidrografia da Marinha em Niterói, 1998
- _____. *Relatório de Reconhecimento para Levantamento Hidrográfico de acordo com a Instrução Especial DHN-20-001/05*, Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais, Rio de Janeiro, 2005
- DE LOACH, S.R.:** *GPS Tides and Datums*. In: The Hydrographic Journal. no.75, January, pp. 3-7, 1995
- FRANCO, A.S.:** *Marés, Fundamentos, Análise e Previsão*, 1.ed, Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1997, 265 p.
- GOLDAN, H.-J.:** *Tide Observations with Kinematic GPS on Ships*. In: Proceedings International Symposium on Marine Positioning INSMAP, Hannover, 1994
- INTERNACIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO):** *Special Publication nº 44 - IHO Standards for Hydrographic Surveys*, 4a. ed., Principado de Mônaco, 1998.
- Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC):** *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation*. Volume I – Basic Procedures. IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission, Manual and Guides no. 14, UNESCO, 1985. 75 p.
- KENNEY, J.F., KEEPING, E.S.:** *Mathematics of Statistics - Part One*. 3.ed. New York: D.Van Nostrand Company, Inc., 1961, p.348
- LANGLEY, R.B.:** *RTK GPS*. GPS World, Oregon, v.9, n.9, p.70-76, 1998.
- LEICK, A.:** *GPS Satellite Surveying*, 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004, p.435.
- NORDEN, M.F.; ARROYO-SUAREZ, E.N.; NAJJAR, A.S.:** *Hydrographic Surveys to IHO Standards without shore station using Real-Time Gipsy (RTG) Global Positioning System*. In: U.S. Hydrographic Conference 2005, March 29-31 2005, Proceedings, San Diego, US HYDRO 2005, 2005.
- PRADO, A.:** *Análise da Acurácia e da Correlação Espacial nas Técnicas DGPS e RTK*, Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).
- RADIO TECHNICAL COMMISSION FOR MARITIME SERVICES (RTCM):** *RTCM Recommended Standards for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service version 2.2*, Alexandria, 2001, p.192
- SCARFE, B.:** *Measuring Water Level Corrections (WLC) using RTK GPS*. In: The Hydrographic Journal, nº 104, Abril 2002.
- SEEBER, G.:** *Satellite Geodesy: foundations, methods and applications*. Berlin: Walter de Gruyter, 2003, p.589.
- SHOM. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. Test de Van de Castele.**
<http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_oceano/maree/vdc_f.htm>(acessado em 12 maio 2006).
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE):** *EM 1110-2-2003 Engineering and Design Hydrographic Surveying*, Department of the Army (Estados Unidos), 2002
- WONG, C.; RILEY, J.L.; MARTIN, D.; HUFF, L.C.; HALL, L.; GILL, S.; FOOTE, R.; CARLSON, E.:** *NOS RTK Team Final Report*, Office of Coast Survey, Center for Operational Oceanographic Products and Services, Office of National Geodetic Survey, p.27, 2000.