

# ID 121 PROPAGAÇÃO DA MARÉ NO ESTUÁRIO DO RIO AMAZONAS

Gallo, Marcos N.<sup>1</sup>, Vinzon, S.B.<sup>2</sup>, Medeiros, A.D.<sup>3</sup> e Oliveira, F.A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PEnO/COPPE, UFRJ, Centro de Tecnologia - Sala I-100, Ilha do Fundão, CEP 21 945-970, Rio de Janeiro, RJ, marcosgallo@peno.coppe.ufrj.br

<sup>2</sup> DRHIMA e PEnO/COPPE, UFRJ, Centro de Tecnologia - Sala C-209, Ilha do Fundão, CEP 21 945-970, Rio de Janeiro, RJ, susana@peno.coppe.ufrj.br

<sup>3</sup> PEnO/COPPE, UFRJ, RJ, adriana@peno.coppe.ufrj.br

<sup>4</sup> DRHIMA, Escola de Engenharia/UFRJ, felipaug@peno.coppe.ufrj.br

## INTRODUÇÃO

O estuário do rio Amazonas (Figura 1) se estende até aproximadamente uns 800 km a montante da foz, onde ainda são observadas perturbações na linha d'água devidas à maré.

Com amplitudes na foz das componentes principais de (GALLO, 2004):  $M_2 \sim 140$  cm,  $S_2 \sim 30$  cm,  $N_2 \sim 20$  cm (semi-diurnas),  $K_1 \sim 10$  cm e  $O_1 \sim 5$  cm (diurnas), pode ser classificado como:

➤ de macromaré, com uma altura de onda entre 4 e 6 metros (DYER, 1997), e

➤ com maré tipicamente semi-diurna (PUGH, 1987):

$$F = \frac{a(K_1) + a(O_1)}{a(M_2) + a(S_2)} \sim 0.1 \text{ (fator de forma)}$$

A propagação da maré se dá na forma de uma onda progressiva com características semi-diurnas e com a geração de outras componentes em decorrência de fatores como a geometria, os efeitos de águas rasas, o atrito no fundo e a vazão fluvial.

## OBJETIVOS

A partir de dados maregráficos disponíveis na região estuarina, e utilizando um modelo numérico barotrópico configurado e calibrado para a região, são mostrados as principais características da propagação da maré no estuário, a geração e dissipação de componentes harmônicas de águas rasas, e em particular, o efeito da vazão fluvial.

## METODOLOGIA

Foram exploradas duas ferramentas:

- ✓ A modelagem numérica, pelo modelo hidrodinâmico bidimensional em planta do SisBAHIA "Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental" (ROSMAN, 2000),
- ✓ A análise harmônica, através do programa T\_TIDE (PAWLOWICZ *et al.*, 2002), dos registros de níveis d'água de 20 estações maregráficas (Figura 1) e dos resultados da modelagem.

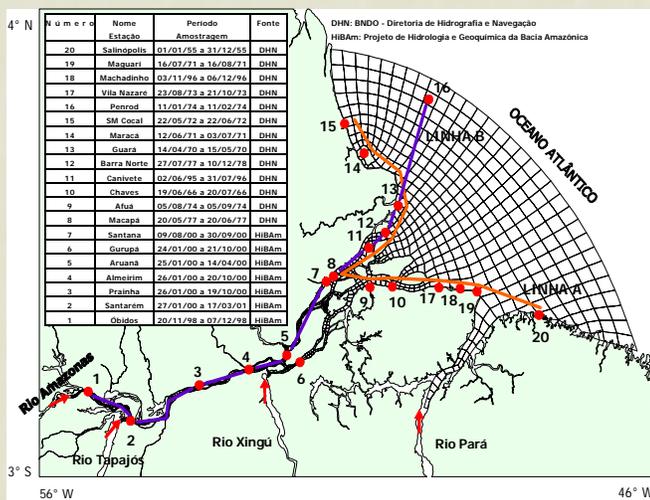


Figura 1 - Mapa da região, mostrando a malha numérica de elementos finitos do domínio de modelagem e a localização das estações maregráficas analisadas (veja tabela acima).

A informação batimétrica para a configuração do modelo foi extraída das cartas de navegação fornecidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

No que se refere à configuração do fundo, os valores de rugosidade equivalente foram adotados em função da distribuição dos diferentes depósitos sedimentários presentes (GABIOUX, 2002): lama fluida, lama consolidada e areias finas.

## RESULTADOS

Foi considerada como condição de contorno externa a elevação da superfície na fronteira aberta, gerada por uma onda de maré constituída pelas constantes harmônicas das duas componentes principais,  $M_2$  e  $S_2$  (GABIOUX, 2002; GALLO, 2004).

A calibração do modelo, em amplitudes e fases da componente  $M_2$  (Figura 2), foi realizada numa situação de vazão média ( $\sim 180$  000  $m^3/s$ ), situação mais próxima aos dados disponíveis (meses de março ou setembro quando foi possível).

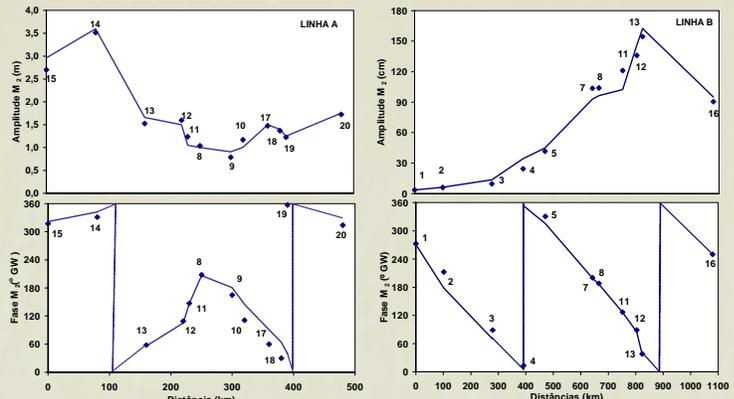


Figura 2 - Comparação dos perfis longitudinal de amplitudes (acima) e fases (abaixo) dos dados (pontos) e das simulações (linhas), para a componente  $M_2$ , ao longo das linhas A e B (veja Figura 1), na esquerda e direita, respectivamente.

Foram feitos dois experimentos adicionais considerando situações extremas de vazão, representativas das mínimas ( $\sim 100$  000  $m^3/s$ ) e máximas ( $\sim 270$  000  $m^3/s$ ) do rio Amazonas, apresentando o comportamento da componente original  $M_2$  e dos harmônicos gerados (Figura 3). Nestes casos, porém, não houve dados maregráficos disponíveis para comparar com as simulações.

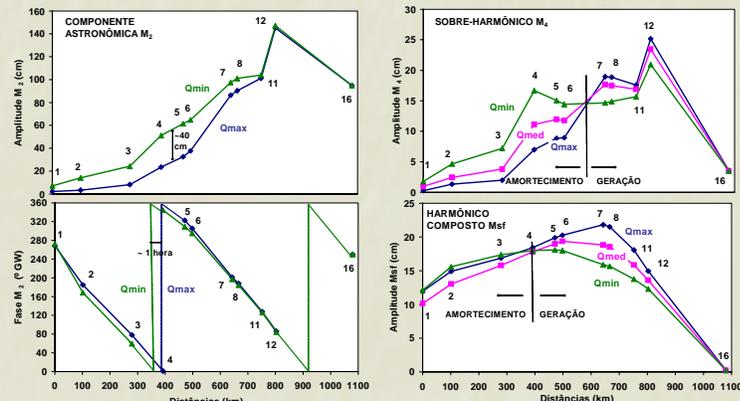


Figura 3 - Na esquerda, representação de amplitudes (acima) e fases (abaixo) simuladas da componente  $M_2$ , ao longo da linha B. Na direita, amplitudes simuladas dos novos harmônicos ( $M_4$ , acima e  $M_{sf}$ , abaixo) ao longo da linha B. Situações de vazões simuladas: mínima ( $Q \sim 100$  000  $m^3/s$ ), média ( $Q \sim 180$  000  $m^3/s$ ) e máxima ( $Q \sim 270$  000  $m^3/s$ ).

## CONCLUSÕES

- O modelo numérico, considerando só as principais componentes semi-diurnas (período  $\sim 12$  horas) como forçantes na fronteira aberta, conseguiu representar bem a física do problema e foi utilizado como uma ferramenta exploratória do comportamento das componentes de maré (originais e geradas) dentro do estuário.
- As componentes de águas rasas mais expressivas dentro do estuário foram: o primeiro sobre-harmônico da componente principal  $M_2$ , o  $M_4$  (período  $\sim 6$  horas), o harmônico composto de baixa frequência gerado pela combinação das  $M_2$  e  $S_2$ , o  $M_{sf}$  (período  $\sim 15$  dias).
- As componentes astronômicas ( $M_2$  e  $S_2$ ) no interior do estuário são afetadas pela magnitude da vazão, ou seja, um incremento desta amortce as amplitudes e produz um retardo na onda, aumentando as fases.
- Já, os harmônicos de águas rasas são amortecidos no trecho superior, mas maiores amplitudes aparecem com as vazões maiores no trecho inferior, onde são geradas, mostrando assim a importância da vazão na sua geração.
- As constantes de maré astronômica se comportam efetivamente como 'constantes' até aproximadamente 50 km a montante da foz. Progredindo além desse ponto, tanto as amplitudes como as fases são variáveis em função do valor de vazão. Já os harmônicos de águas rasas se mostraram altamente dependentes da vazão fluvial e variando ao longo de todo o estuário.

## BIBLIOGRAFIA

- DYER, K.R., 1997, *Estuaries: A Physical Introduction*. 2 ed. Chichester, England, John Wiley & Sons.
- GABIOUX, M., 2002, *Influência da Lama em Suspensão sobre a Propagação da Maré na Plataforma Amazônica*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- GALLO, M., 2004, *A Influência da Vazão Fluvial sobre a Propagação da Maré no Estuário do Rio Amazonas*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- PAWLOWICZ, R., BEARDSLEY, B., LENTZ, S., 2002. "Classical Tidal Harmonic Analysis including Error Estimates in MATLAB using T\_TIDE", *Computers & Geosciences*, v.28, pp.929-937.
- PUGH, D.T., 1987, *Tides, surges and mean sea level*. Swindon, UK, John Wiley & Sons.
- ROSMAN, P.C.C., 2000, *SisBAHIA - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental. Documentação de Referência Técnica*, Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica, Universidade Federal de Rio de Janeiro (COPPE-PEnO/UFRJ), Rio de Janeiro.