

Avaliação da influência das flutuações em alta frequência do vento em modelagem de ondas

Leandro Machado Calil Elias

Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM
l.calil@ig.com.br

Rogério Neder Candella, M.Sc.

Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM
candella@acd.ufrj.br

INTRODUÇÃO

O vasto litoral brasileiro, com mais de 20.000 praias e 8 mil km de linha de costa, recebe ondulações oriundas de diversas direções. As ondas oceânicas, formadas por perturbações induzidas pelo vento na superfície líquida, transportam, principalmente, energia na direção de propagação preferencial das ondas.

Embora no Brasil o clima de ondas não seja dos mais severos, o conhecimento acurado das condições de mar é de fundamental importância, quer para a engenharia costeira e *offshore*, quer para a segurança da navegação. Além disso, em condições de ressaca, a liberação da energia das ondulações incidentes pode induzir processos de importância econômica e social, e causar grandes prejuízos no litoral.

No auxílio à compreensão desses fenômenos, modelos numéricos de previsão de ondas vêm sendo implementados e utilizados por diversos centros de pesquisa, para prever com maior exatidão a chegada dessas ondulações e minorar ou gerenciar melhor suas consequências.

A qualidade dos resultados da modelagem de ondas depende crucialmente dos campos de vento utilizados como forçantes. Tais campos são derivados de modelos atmosféricos e sua atualização, ao longo das simulações, se dá a cada 3 horas, no caso de previsões operacionais, e 6 horas para as reconstituições (*hindcast*). Tais resoluções temporais tornam-se grosseiras para os campos de vento, pois, fisicamente, as respostas do oceano à atuação do vento são inferiores a esse espaço de tempo, especialmente nas reconstituições. Na prática, o modelo numérico de ondas mantém constante o campo de vento ou os interpola linearmente entre os tempos de atualização,

de forma que a variabilidade em alta frequência é perdida e fenômenos como a passagem de frentes atmosféricas e outras instabilidades baroclínicas podem ser negligenciados ou atenuados (Bauer & Weisse, 2000).

Quando aplicadas ao modelo, as flutuações em alta frequência geram diferenças nas curvas de crescimento da altura significativa das ondas quando comparadas às simulações com vento constante ou interpolado. Esta diferença pode ser inicialmente atribuída a uma assimetria na função de entrada de energia e o respectivo aumento de vento acima da velocidade de fase das ondas. Para transferir energia para as ondas o vento tem que estar com uma velocidade superior à velocidade de fase da onda, além de soprar com um ângulo favorável. Assim, flutuações positivas irão aumentar o crescimento médio das ondas e, analogamente, flutuações negativas irão reduzi-lo, caso o vento possua velocidade inferior à velocidade de fase das ondas existentes no local (Bauer & Weisse, 2000).

O presente estudo visa quantificar a influência das flutuações em alta frequência do vento no desenvolvimento do espectro de ondas superficiais de gravidade gerados pelo modelo de ondas WAVEWATCHIII.

MATERIAL E MÉTODOS

O modelo utilizado foi o *WAVEWATCH III* (WW3), desenvolvido no *Ocean Modeling Branch* – OMB – of the *National Centers for Environmental Predictions* – NCEP (Tolman, H.L., 1999).

Os campos de vento foram montados a partir dos dados obtidos pela estação meteorológica da Universidade do Estado de São Paulo - USP, localizada na latitude 22° 59' S e longitude 042° 02' W e armazenados no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) - Marinha do Brasil (MB), com intervalo de amostragem de 1 hora.

Para obtenção das flutuações de alta frequência, a série original foi sub-amostrada em intervalos de 6 horas, interpolada linearmente em intervalos de uma hora e, em seguida, subtraída da série original (Figura 1), como sugerido por Bauer & Weisse (2000).

Para facilidade de comparação entre os resultados, considerou-se o vento apenas com componente meridional, concentrando-se aí toda a intensidade dos dados originais. Com isso, desprezou-se a variações provocadas pelas flutuações relativas à direção, que, certamente, tornariam as diferenças ainda mais acentuadas.

Foram realizadas duas simulações em uma grade idealizada de 50 x 50 pontos, resolução espacial de 1° e profundidade constante de 100 m, em plataforma PC e ambiente Linux, para um período de 168 horas. O modelo foi inicializado com o espectro de JONSWAP para pista limitada baseado no vento local e os termos de entrada e dissipação de energia utilizados foram os de Tolman e Chalikov. Para as interações não lineares foi utilizada a DIA (*discrete interaction approximation*) e para o atrito com o fundo, a formulação de JONSWAP.

Foram determinados 8 pontos de controle na grade, para os quais foram gravados os dados espectrais. A localização dos pontos é mostrada na figura 2 de forma esquemática.

Foram realizadas duas simulações com o WW3: na primeira, doravante denominada EX1, foram utilizados campos de vento derivados dos dados originais, com intervalos de amostragem de 1 hora; na segunda (EX2), os campos de vento foram montados a partir dos dados sub-amostrados e interpolados, desprezando-se, assim, as variações em alta frequência.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A comparação da intensidade do vento entre as duas séries utilizadas permite constatar flutuações que atingiram até 8 ms⁻¹. A figura 3 apresenta as diferenças obtidas, representando assim, as flutuações em alta frequência antes negligenciadas.

Em termos de altura significativa, observa-se que as máximas atingidas em toda a modelagem foram da ordem de 1 metro. A ausência de alturas significativas elevadas, justifica-se pela baixa intensidade dos ventos

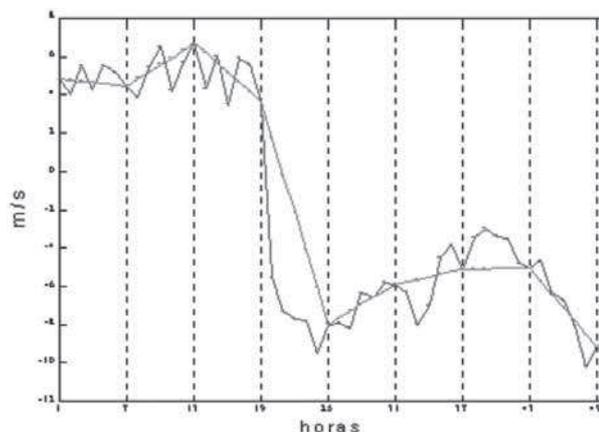


Figura 1 – Trecho das séries original e sub-amostrada, mostrando as diferenças devidas às flutuações de alta frequência.

Legenda:

- 100 = área sem atuação do campo de vento
- 100 = área com atuação do campo de vento
- 1, 2, 3, 4 = pontos selecionados
- 5, 6, 7 e 8 = pontos selecionados

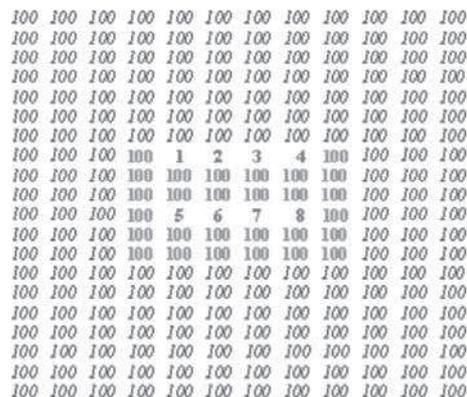


Figura 2 – Representação da área de atuação do campo de vento e os pontos de controle.

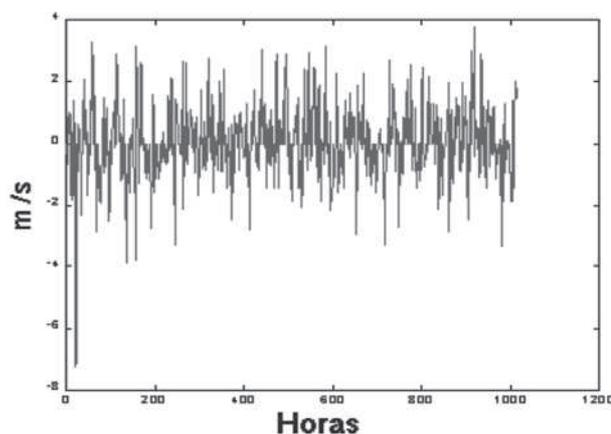


Figura 3 – Flutuação em alta frequência.

utilizados na modelagem, somando-se a isso, a pequena extensão da pista.

Os resultados das duas simulações para o ponto de controle 3 mostram uma diferença máxima de 25,8% nas alturas significativas. A evolução da parâmetro e suas diferenças para o mesmo ponto de controle podem ser observadas nas figuras 4 e 5, respectivamente. Na maior parte do tempo, o padrão das curvas são semelhantes, indicando que as energias totais dos espectros são bastante próximas em ambos os casos.

Os mesmos padrões de diferença entre as alturas significativas foram encontrados para o ponto 8, localizado mais no interior da área de atuação do vento e, portanto, com menor pista (não mostrado), sendo a maior diferença percentual da ordem de 11%.

Para a frequência de pico, a maior diferença percentual para ponto 3, foi de 22,7%, próximo a 60 horas de simulação. Na figura 6 é apresentada a evolução da frequência de pico nas duas simulações.

As variações observadas na frequência de pico podem resultar em interpretações errôneas dos resultados de simulações do estado do mar, principalmente em mares bi ou multi-modais, onde a presença de um mar local pode camuflar a presença de um marulho e vice-versa.

A evolução temporal dos espectros de potência para o ponto de controle 3 nas duas simulações, no período entre 89 horas e 91 horas de simulação, pode ser visualizada nas figuras de 7, 8 e 9, devendo-se lembrar que tais espectros são bidimensionais (integrados em direção) e a sua resolução está definida pelos parâmetros do modelo.

Foram determinadas, ainda, quatro frequências de verificação: 0,107Hz (~ 9 s), 0,136Hz (~7 s), 0,193Hz (~ 5 s) e 0,244Hz (~ 4 s).

Nas Figura 10, pode-se observar a evolução, ao longo do tempo, da frequência de 0,136 Hz, para o ponto 3.

As diferenças absolutas de energia entre as duas simulações são, na maioria dos casos, muito pequenas. Deve-se ressaltar, no entanto, que a variação relativa pode chegar a mais de uma ordem de grandeza.

A partir do gráfico, pode-se notar que as principais diferenças entre as duas simulações foram encontradas no período entre 100 e 120 horas. Nota-se que o vento foi capaz de transmitir energia para certas frequências em EX1 em algumas situações, mas não em EX2.

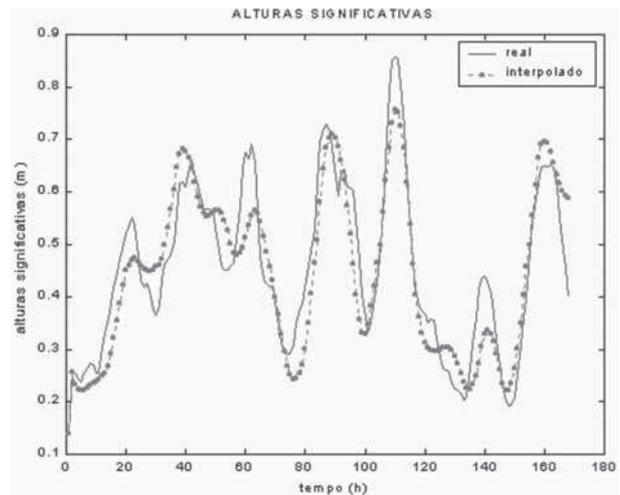


Figura 4 – Alturas significativas das duas simulações para o ponto de controle 3.

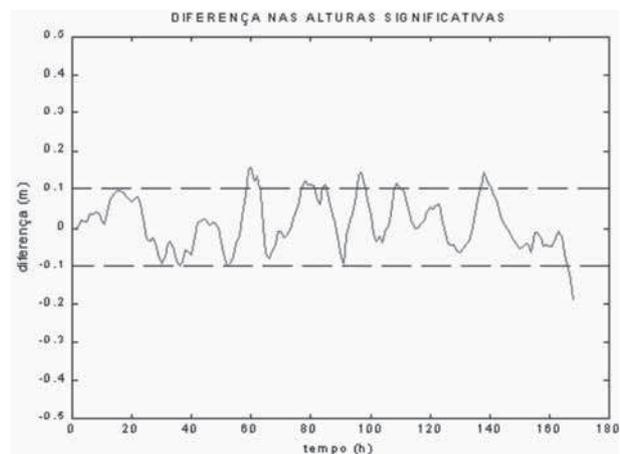


Figura 5 – Diferença nas alturas significativas para o ponto de controle 3.

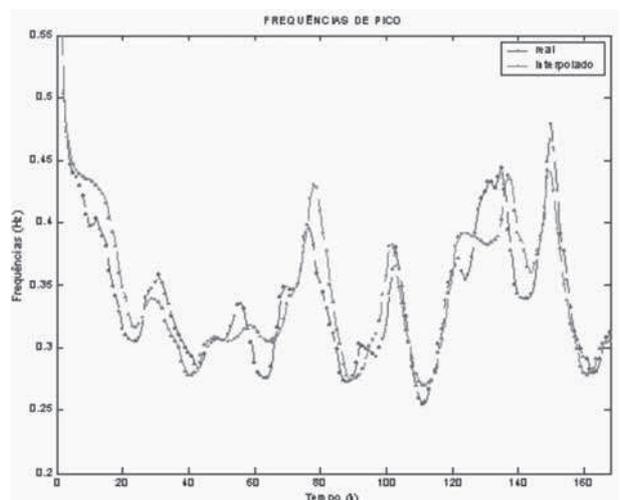


Figura 6 – Frequência de pico do ponto de controle 3.

CONCLUSÕES

As simulações realizadas mostraram que, de acordo com a teoria apresentada, as flutuações do vento causaram alterações significativas na forma do espectro, incluindo na frequência de pico.

Em termos de altura significativa, a média obtida em EX1, supera a de EX2, sendo a diferença média entre as duas simulações foi de 1,2 cm, o que comprova maior transferência de energia da atmosfera para o oceano na primeira simulação no período modelado.

Em termos de frequência, é notável que as diferenças entre as duas simulações podem levar a erros na avaliação do estado geral do mar, principalmente quando se analisa este parâmetro isoladamente.

A composição do espectro sofreu modificações consideráveis, principalmente nas médias/altas frequências, excetuando-se as parametrizadas pelo modelo, uma vez que estas são mais facilmente influenciadas pelas flutuações do vento. A pequena extensão da pista influenciou significativamente para a ausência energia significativa em baixas frequências.

Em EX1 são verificados picos transientes de energia em determinadas frequências. Como a interpolação linear tem efeito similar ao de um filtro passa baixa, tais efeitos não são observados na simulação EX2.

A análise das flutuações das componentes do vento permite concluir que existem flutuações em torno da direção principal semelhantes às mostradas para intensidade. Tais flutuações induzirão a outras diferenças na composição do espectro de ondas, ressaltando ainda mais as variações aqui descritas e que deverão ser objeto de estudos futuros.

REFERÊNCIAS

BAUER, E. & WEISSE, R., 2000. *Determination of high-frequency wind variability from observations and application to North Atlantic wave modeling*. Journal of Geophysical Research, Vol. 105, No. C11, Pages 26,179 - 26,190, November 15, 2000.

TOLMAN, H.L. 1999. *User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III version 1.18*. U.S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration. National Weather Service. National Centers for Environmental Prediction. Technical Note. 11 Op.

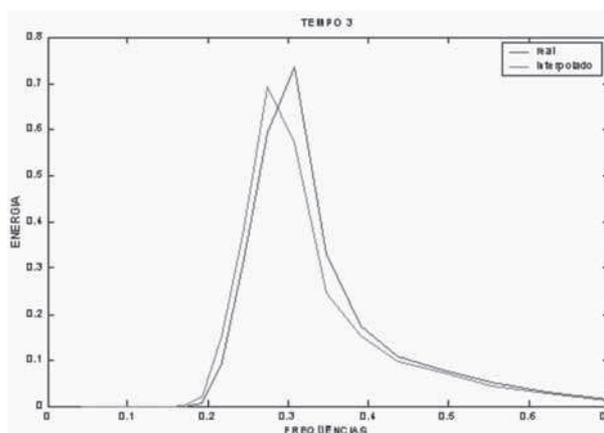


Figura 7 – Espectro em 89 horas de simulação.

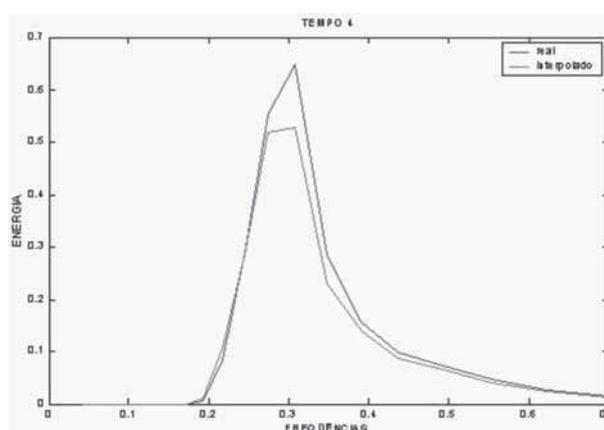


Figura 8 – Espectro em 90 horas de simulação.

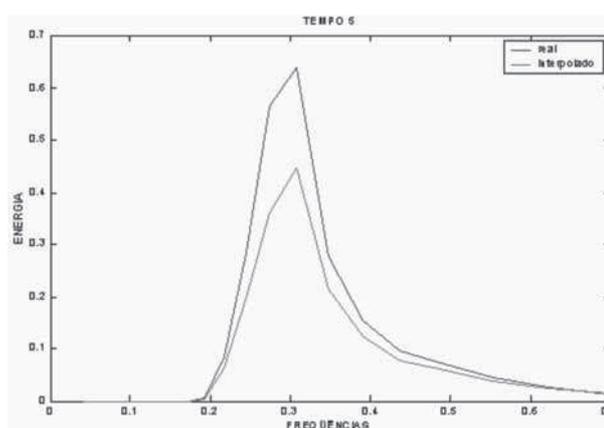


Figura 9 – Espectro em 91 horas de simulação.

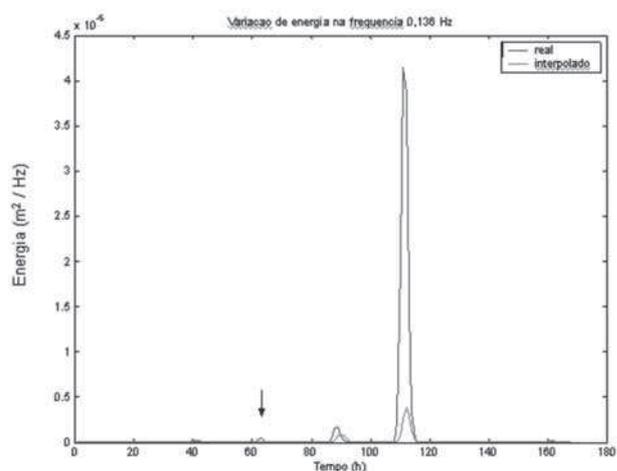


Figura 10 – Variação de energia na frequência de 0,136 Hz (~ 7 s) no ponto de controle 3.

Resumo

A qualidade dos resultados da modelagem de ondas depende crucialmente dos campos de vento utilizados como forçantes. Tais campos são derivados de modelos atmosféricos e sua atualização, dentro das simulações operacionais de previsão, é realizada, em geral, a cada 3 horas, enquanto que, nas reconstituições, esse intervalo é de 6 horas.

Embora os resultados, em termos de altura significativa e direção principal, sejam considerados razoavelmente compatíveis com medições, a composição do espectro e, muitas vezes, o período de pico divergem bastante. Como forma de avaliar tais diferenças, foram realizados ensaios com o modelo WAVEWATCH III, com e sem a presença de flutuações de vento em escala temporal menor que 6 horas.

Foi possível constatar diferenças importantes na distribuição de energia nas diversas frequências, ou seja, na composição do espectro bidimensional, e variações de altura significativa da ordem de até 25%.

Abstract

The accuracy of wind model results depends mainly on the forcing wind fields. In operational uses, these fields are usually updated in 3 or 6 hours time steps, suppressing wind high frequency variability. This procedure induces significant changes in the waves power spectrum, although significant wave height and mean direction are usually in good agreement with measured data.

To evaluate this influence, two simulations were carried on with WaveWatch III, with and without wind fluctuations in time scales less than 6 hours.

It was possible to evidence important differences in the power spectrum composition, and almost 25% changes in the significant wave height.