

TENDÊNCIA DE AUMENTO DA ALTURA DAS ONDAS NA COSTA DE PERNAMBUCO: UMA ANÁLISE A PARTIR DOS DADOS DO WW3

Pereira, P. S.^{1†}; Nogueira Neto, A.V.¹

*¹ Universidade Federal de Pernambuco; Departamento de Oceanografia; Laboratório de Oceanografia Geológica-LABOGEO, Av. Arquitetua S/N-Cidade Universitária, Recife-PE
†pedro.pereira@pq.cnpq.br*

RESUMO

Alterações nos padrões do clima de ondas tem sido perceptíveis a nível global. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo é demonstrar a atual tendência de aumento da altura das ondas ao largo da costa de Pernambuco. Para tal, uma análise de uma série histórica de 22 anos do modelo WWIII foi analisada e correlacionada com uma série de um pouco mais de uma ano da PNBoia Recife. Após a realização da correlação entre os dados, que se mostrou significativa ($r=0.86$), os dados indicam uma atual tendência de aumento da média diária da altura das ondas de 15mm/ano. Além da média diária, observou-se aumento das alturas máximas e mínimas. Apesar da carência de informações mais consistentes a despeito da origem da tendência encontrada, acredita-se que a mesma possa ter origem nas mudanças climáticas conforme já descrita por outros autores para a região

Palavras chave: PNBoia, clima de ondas, mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais tem afetado significativamente os oceanos, seja através da aumento da temperatura média dos oceanos, aumento do nível médio do mar, acidificação ou através da alteração nos padrões dos ventos que por sua vez resultam em alterações nos padrões das ondas. Independente das suas causas, se antrópica ou natural, as alterações decorrentes dessas mudanças já são perceptíveis a nível global (IPCC, 2013).

Se tratando do clima de ondas, alterações em seus padrões tem sido perceptíveis ao redor do globo. Ruggiero et al. (2010) analisaram dados de dois ondógrafo mantidos pela NOAA no nordeste do Pacífico. De acordo com os autores, é perceptível nas ultimas três décadas um aumento na altura média das ondas. Além do incremento encontrado, os autores ainda afirmam que as maiores alturas de ondas, relacionadas a eventos extremos, tem não só aumentando em termos de sua altura mas também em termos de sua frequência.

Para a região do Caribe e do Atlântico Sul estudos semelhantes ao de Ruggiero et al. (2010) são praticamente inexistentes, a exceção do estudo de Reguero et al. (2013). De acordo com os autores, alterações relacionadas ao clima de ondas tem sido pouco consideradas nos relatórios do Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (IPCC). Através da reanálise de 60 anos de dados de ondas modelados e devidamente calibrados, os autores constataram que a região estudada apresenta uma tendência de variação da altura de ondas entre -1 a 1 cm/ano, com a maior parte do litoral analisado apresentando um aumento variando entre 0.2 a 0.6 cm/ano.

A adequada compreensão das tendências atuais de alterações do clima de ondas se torna importante devido a ampla gama de impactos que podem resultar destas alterações, destacando-se impactos relacionados a segurança da navegação, inundação e erosão costeira

XI Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite
bem como no design de estruturas portuárias ou de proteção costeiras. Neste sentido, trabalhos como o presente se fazem necessários.

OBJETIVO

O objetivo deste estudo é analisar a tendência de aumento da altura das ondas ao largo da costa de Pernambuco a partir de série histórica de resultados provenientes do modelo operacional Wave Watch III (WW3) avaliada no ponto de localização da boia oceanográfica do Programa Nacional de Boias (PNBoia).

METODOLOGIA

Os dados utilizados para a análise do clima de ondas são oriundos do modelo operacional WW3 (Tolman, 2002). A série histórica de vinte e dois anos (1992-2013) de ondas foi produzida pela *BMT Argoss Consultoria Marítima*¹ para uma malha global de $1.5^{\circ} \times 1.0^{\circ}$. A série de dados foi exaustivamente calibrada por meio de uso de dados de boias e de satélites. Os dados foram adquiridos com resolução temporal de três horas, apresentando 8 medições por dia, para um ponto próximo ao da localização da boia do PNBoia presente na costa de Pernambuco ($8.10^{\circ}\text{S } 33.45^{\circ}\text{W}$) em águas profundas.

Os dados modelados foram comparados com uma série contínua de dados de um pouco mais de um ano (de 7 de agosto de 2012 a 14 de outubro de 2013) da boia PNBoia. Os dados medidos foram interpolados para terem o mesmo passo de tempo dos modelados possibilitando a comparação através de parâmetros estatísticos comumente utilizados para este tipo de análise, de acordo com a metodologia de Tolman et al. (2002), Melo et al. (2008) e Lanzaneo et al. (2009).

RESULTADOS

A análise da série histórica das ondas mostrou uma distribuição com forte característica sazonal de H_s que apresentou média anual em torno de $1,8\text{m} \pm 0,2\text{m}$. Os maiores valores H_s predominaram entre os meses de Julho e Setembro, com Agosto sendo o mês mais energético, quando predominam ondas de SE. Por outro lado, ondas menores foram observadas entre novembro e Abril, onde o mês menos energético foi Fevereiro.

A comparação da H_s modelada com a observada mostrou um coeficiente de correlação significativa de 0,86 e desvio em relação a reta de tendência em torno de 0,2. A tabela 01 mostra que os valores positivos para o viés (V) e inclinação quadrática média ($SS > 1$) indicam que o modelo tende a superestimar os valores medidos de H_s em cerca de 25% e em 23% para T_p . Estes resultados mostram que os dados do modelo transferidos para o ponto da boia reproduzem de forma satisfatória os dados observados. De maneira geral, os resultados tiveram a mesma ordem de grandeza dos dados apresentados por Tolman et al. (2002) que compararam séries do WW3 com boias oceanográficas dentro da malha do modelo no oceano Atlântico Norte e mostraram superestimação pelo modelo de aproximadamente 10%. Do mesmo modo, os resultados aqui apresentados corroboram aqueles apresentados por Melo et al. (2008) Lanzaneo et al. (2009).

Tabela 01- Parâmetros estatísticos utilizados na comparação entre dados do modelo e boia. Onde: N= número de observações; $\bar{o}$ = média dos dados medidos; σ_o = desvio padrão dos dados medidos; O_{max} =máximo dos dados medidos; $\bar{m}$ =média dos dados modelados; σ_m =desvio padrão dos dados modelados; M_{max} =máximo dos dados modelados; V =viés; $V/\bar{o}$ =viés relativo; $RMSE$ = erro médio

¹ www.waveclimate.com

Parâmetro	N	o	so	$Omax$	m	sm	$Mmax$	V	V/o	$RMSE$	Si	SS
Hs	3465	1,66	0,38	3,38	2,08	0,44	3,83	0,42	25,00	0,47	0,28	1,16
Tp	3465	8,85	1,75	14,30	10,91	2,75	17,97	2,05	23,00	3,68	0,42	1,58

Após verificar a capacidade do modelo em reproduzir os dados observados, foi possível obter de maneira confiável a tendência de aumento da altura das ondas para a região em estudo. Através do coeficiente angular da reta da regressão linear, chegou-se a uma tendência de aumento de 15mm/ano para H_s , o que implica em uma projeção de 15 cm de aumento em 10 anos (Fig. 01).

Adicionalmente a tendência de aumento da altura média observada, notou-se um aumento relativo da altura das maiores ondas nos meses coincidentes aos de inverno para a região (Junho, Julho e Agosto). Esse aumento é notado não só na tendência da altura média e máxima das ondas mas para toda sua função de distribuição, concluindo-se que toda a distribuição esta sofrendo alterações.

A taxa de aumento obtida com os dados condiz exatamente com o valor apontado por Ruggiero et al. (2010). Estes autores avaliaram dados de H_s de duas boias localizadas ao largo da costa noroeste dos Estados Unidos, no Pacífico, e apontaram que este parâmetro aumentou com uma taxa de 15mm/ano entre meados dos anos 70 até 2007. Porém, segundo os autores, esta taxa aumenta em até 50% se levarmos em conta somente os maiores valores de H_s de cada ano ou somente o período de maiores ondas do ano (Ruggiero et al., 2010). Considerando todo o Atlântico Norte, Bancon e Carter (1991) obtiveram uma taxa de 22mm/ano a partir de medições desde 1950.

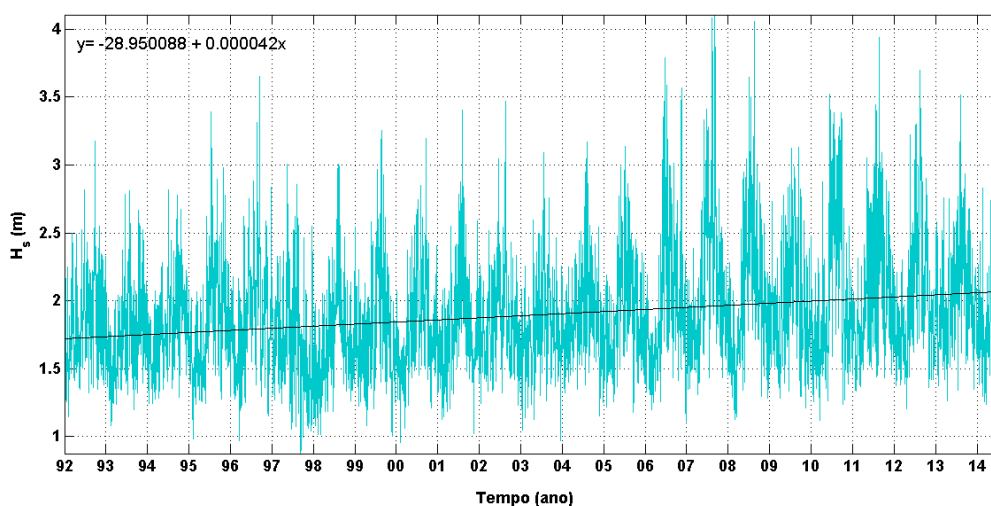


Figura 1. Média diária dos dados de H_s do modelo WW3 para a região ao largo de Recife (8.10°S 33.45°W). A linha preta contígua representa a tendência de aumento das ondas.

De acordo com Wang et al. (2004), cenários de aumento de H_s projetados para o nordeste do Atlântico estão associados a mudanças climáticas de origem antropogênica que favorecem a mudanças no gradiente de pressão e intensificação dos ventos.

Provavelmente os efeitos do clima sobre o padrão de ondas no Atlântico Sul experimentam as causas descritas nos estudos mencionados. Entretanto a carência de informações consistentes sobre causa e efeito ainda são limitadas e impedem de compreender de fato e de maneira acoplada o papel dos padrões atmosféricos e o clima de ondas atuante na costa brasileira, assim como em Pernambuco.

CONCLUSÕES

A comparação entre os dados do WWII e os dados da PNBoia para o largo da costa de Pernambuco se mostrou significativa apresentando um elevado coeficiente de correlação, o que demonstra uma alta confiabilidade do modelo para a região.

A partir da análise da série histórica de vinte e dois anos do WWII constatou-se tendências de alterações do clima de ondas local não só relacionadas a sua média diária mas também aos seus máximos, mínimos e toda a distribuição dos dados.

Apesar da carência de informações mais consistentes a despeito da origem da tendência encontrada, acredita-se que a mesma possa ter origem nas mudanças climáticas conforme já descrita por outros autores para a região. No entanto ressaltasse a necessidade de se realizar estudos mais aprofundados, sobretudo dos padrões atmosféricos, afim de se conhecer de forma detalhada as causas das modificações aqui encontradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACON, S. & CARTER, D. J. T. 1991. Wave climate changes in the North Atlantic and North Sea. *Int. J. Climatol.*, 11: 545–558.

IPCC 2013. Sea Level Change Supplementary Material. In D. S. & A. S. U. CHURCH, J.A., CLARK, P.U., CAZENAVE, A., GREGORY, J.M., JEVREJEVA, S., LEVERMANN, A., MERRIFIELD, M.A. MILNE, G.A., NEREM, R.S., NUNN, P.D., PAYNE, A.J., PFEFFER, W.T. ed. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, pp. 1–8.

LAZANEO, C.Z.; CUCHIARA, D.C. & FERNANDES, E.H. 2009. Comparação entre dados de onda modelados e medidos na costa do Rio Grande do Sul, Brasil. *VIII Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite – OMAR-SAT*. Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Outubro de 2009.

MELO FILHO, E.; HAMMES, G.R.; FRANCO, D. & ROMEU, M.A.R. 2008. Avaliação de desempenho do modelo WW3 em Santa Catarina. *Anais do III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica*, FURG, Rio Grande, pp 20, (Publicado em CD, sem paginação).

NICHOLLS, R.J. & CAZENAVE, A., 2010. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science* 328: 1517.

REGUERO, B.G.; MÉNDEZ, F.J. & LOSADA, I.J. 2013. Variability of multivariate wave climate in Latin America and the Caribbean. *Global and Planetary Change*. 100: 70-84.

RUGGIERO, P.; KOMAR, P.D. & ALLAN, J.C. 2010. Increasing wave heights and extreme value projections: The wave climate of the U.S. Pacific Northwest. *Coastal Engineering*. 57:539-552.

TOLMAN, H.L. 2002. User manual and system documentation of WAVE-WATCH III version 2.22. NOAA/NWS/NCEP/OMB *Tech. Note* 222, 133 pp.

TOLMAN, H.L.; BALASUBRAMANYAN, B.; BURROUGHS, L.D.; CHALIKOV, D.V.; CHAO, Y.Y.; CHEN, H.S. & GERALD, V.M. 2002. Development and implementation of wind-generated ocean surface models at NCEP. *Weather and Forecasting*, 17, 311-333.

WANG, X. L.; ZWIERS, F. W.; & SWAIL, V. R. 2004. North Atlantic Ocean Wave Climate Change Scenarios for the Twenty-First Century. *Journal of Climate*. 17:2368-2383.