

TELECONEXÕES ENTRE O EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E O MODO ANULAR AUSTRAL EM EVENTOS EXTREMOS DE ONDA NAS REGIÕES OCEÂNICAS SUL E SUDESTE DO BRASIL.

L. A. Dalanhese, T. L. Sarmiento, e Belem, A.L.

Universidade Federal Fluminense, Observatório Oceanográfico, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Biosistemas, Campus Praia Vermelha, Rua Passo da Pátria, 156 s/n°. CEP: 24210-240, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: ludalanhese@id.uff.br (L. Dalanhese); thaislobato@id.uff.br (T.L. Sarmiento); andrebelem@id.uff.br (A. Belem).

RESUMO

A variabilidade interanual do El Niño (El Niño Southern Oscillation ou ENSO) se destacada sobre outros processos da dinâmica oceano-atmosfera, agindo como um processo sinérgico com outros eventos climáticos conectados as mudanças climáticas globais, podendo resultar em tanto em consequências ambientais quanto impactos econômicos. Da mesma forma, o SAM, ou Modo Anular Austral, representa o movimento norte-sul do cinturão de ventos oeste que circunda a Antártica, dominando os processos em latitudes médias e mais altas do hemisfério sul. Tal deslocamento no traçado principal dos ventos de oeste resulta em um potencial gerador de tempestades mais fortes causadas por sistemas de baixa pressão que se deslocam sobre o Atlântico Sudoeste, podendo potencializar a zona de ciclogênese no Atlântico Sul. Neste trabalho, séries de ondas históricas do Atlântico Sudoeste dentro da METAREA V, sob responsabilidade brasileira, foram analisados de 2005 a 2016 utilizando dados de hindcast fornecidos pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) através do modelo WAVEWATCH III (WWIII). Utilizando dados de onda fornecidos pelo Programa Nacional de Boias (PNBOIA) aqui no Brasil para a mesma área, foi realizada então a calibração dos dados de séries históricas de onda fornecidos pelo NOAA. As séries temporais obtidas com o WWIII foram comparadas com o Multivariate El Niño Index (MEI) e o Marshall Southern Anular Mode Index (MSAM) para as mesmas posições do PNBOIA, sendo possível observar uma teleconexão clara entre os padrões de intensidade (altura) das ondas e a ocorrência dos fenômenos climáticos.

Palavras-chave: Ondas, Mudança climática, El Niño, Modo Anular do Sul, Atlântico Sudoeste.

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas marinhos nas regiões costeiras da América do Sul tanto a do Atlântico como do Pacífico sofrem distúrbios dramáticos devido a fenômenos relacionados a interação oceano-atmosfera, justamente pelo fato da dinâmica populacional de diversos organismos apresentar ciclos de frequência inferior ao de alguns fenômenos climáticos. Dentre os inúmeros processos que estão dentro da variabilidade natural do clima Terrestre, o El Niño Southern Oscillation (ENSO) é o mais importante (Ludescher et al. 2013). Estudos como os de Kousky & Cavalanti (1984) e os realizados por Tomczak & Godfrey (2003) afirmam que tal fenômeno se caracteriza pelo aquecimento anômalo das águas na superfície do oceano Pacífico Equatorial Oriental em decorrência da propagação e interação de ondas equatoriais de Kelvin e Rossby, ocasionando uma mudança no padrão de correntes e domínio de águas mais quentes em superfície com consequentemente modificações climáticas como o enfraquecimento de ventos alísios, interferência no padrão de transporte de umidade, variação no regime e distribuição de chuvas sobre a América do Sul, dentre outros efeitos. O padrão possui uma variabilidade positiva e negativa, que neste último caso é denominado de La Niña, que se caracteriza pelo resfriamento anômalo das águas superficiais na mesma região (Grimm et al. 1998; Cesare 2015). Ambas as condições, e também a atividade neutra de tais eventos apresentam teleconexões climáticas com outros fenômenos e são considerados dominantes na variabilidade climática cíclica em escala de tempo sub decadal (Yeh et al. 2009; NOAA 2015), com fortes indícios de extensão interdecadal e secular. O ENSO não é o único fenômeno climático cujas forçantes interferem na variabilidade do clima da América do Sul. Alguns trabalhos em latitudes mais altas tem mostrado que o Modo Anular Austral (Southern Anular Mode ou SAM) também influencia o clima (L'Heureux & Thompson 2006). Tal fenômeno se caracteriza por anomalias de pressão atmosférica ao nível médio do mar, já descritas por Walker em seu trabalho de 1928 sobre a circulação atmosférica inter-hemisférica. O Modo Anular Austral (Southern Anular Mode ou SAM) representa o movimento norte-sul do cinturão de ventos oeste (westerlies) que circunda a Antártica nas latitudes entre 50° e 60°S, dominando os processos em latitudes médias e mais altas do hemisfério sul. Este deslocamento no traçado principal dos ventos de oeste resulta em um potencial gerador de tempestades mais fortes causadas por sistemas de baixa pressão que se deslocam sobre o Atlântico Sudoeste, principalmente na potencialização da zona de ciclogênese no Atlântico Sul. Quando observado em escalas de tempo interanuais, é possível detectar uma estreita ligação entre SAM e ENSO, e essa correlação tem sido considerada em diferentes estudos climáticos (Carvalho et al. 2005; Fogt et al. 2010).

Tais interações geram consequências ambientais e socioeconômicas drásticas com impactos que variam de sazonais a interanuais. Regiões costeiras são ambientes naturalmente móveis e dinâmicos e que devem se adaptar de forma constante em resposta às forças naturais como as ondas oceânicas - sejam elas de gravidade ou de longo período -, vento e tempestades, mas também em resposta às intervenções humanas (Bio et al. 2015). O comportamento natural do tempo e ondas em áreas oceânicas é um assunto que requer grande atenção em países com vasta faixa costeira, como é o caso do Brasil. A economia brasileira encontra-se hoje fortemente atrelada à exploração direta ou indireta de seus recursos naturais marinhos, seja ela através da extração/exploração petrolífera, indústria pesqueira ou atividades relacionadas a região costeira (portos e turismo). A dinâmica existente entre o oceano e a atmosfera e os fenômenos aqui descritos têm o potencial de interferir nestas atividades de forma bastante significativa. Ao passo que, a ocupação e atividades ligadas à orla costeira aumentam, efeitos erosivos antes desconsiderados por não causarem um grande impacto financeiro ou ambiental passam então a ser observados como um grande fator de riscos, devido às implicações tanto econômicas como sociais (Muehe 2006). Em mar aberto, tais eventos podem ainda ser completamente perigosos e destrutivos quando afetam produção e transporte de recursos minerais e/ou exploração dos recursos pesqueiros. Geralmente, somente quando há perda de vidas e/ou de patrimônio, tais eventos são noticiados. Desta forma, o estudo das interações climáticas e os efeitos deletérios de eventos extremos faz-se cada vez mais necessários para que então possamos ter uma maior compreensão dos acontecimentos relacionados a eles (Innocentini & Caetano Neto 1996; Candella 1997).

Estudos mostram que as anomalias de pressão conectadas ao SAM e de temperatura superficial da água do mar vinculados ao ENSO podem contribuir para o aumento de precipitação, tempestades e ciclones em distintas áreas do planeta (Fraedrich & Muller 1992; Camargo et al. 2007). Conexões como estas levantam a hipótese de que os eventos climáticos globais e suas teleconexões podem interagir (positivamente ou negativamente) com eventos climáticos de mesoescala no Atlântico Sul. Paralelamente, duas perguntas advêm desta hipótese: (a) se tais eventos influenciam na quantidade de acontecimentos relacionados a ressacas e tempestades e (b) se estes acontecimentos estão aumentando, em frequência e intensidade, ao longo do tempo. Para testar esta hipótese e responder a estas perguntas, utilizamos neste trabalho dados pretéritos de onda nos últimos 12 anos, em parte através do modelo WAVEWATCH III organizados pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). O WWIII é fornecido na forma de hindcast - que se caracteriza como um módulo utilizado para se realizar "previsões" de um período pretérito dos campos de onda -, que recorre a uma combinação ponderada de valores de previsão direta (forecast) e previsão inversa (backcast) para estimar de modo recorrente os valores omisso. O WWIII é baseado na modelagem de ondas através da força natural do vento sobre o oceano, considerando a profundidade e as condições de desenvolvimento do mar e propagação das ondas, em duas diferentes grades alojadas em direções distintas que em conjunto formam uma grade global com resolução espacial de 0,5° x 0,5°. Apesar desta solução tecnológica ser de enorme precisão, o processo de reanálise com dados observacionais só é realizado pela NOAA para o hemisfério norte. Com isso, inexistente uma solução direta de reanálise para o WWIII no Atlântico Sul.

O presente estudo tem como objetivo validar os dados obtidos através do modelo WWIII para a região do Atlântico Sul, mais especificamente a METEAREA V e as regiões sul e sudeste da costa brasileira, além de investigar as possíveis interações e teleconexões entre os fenômenos ENSO e SAM e de que forma os mesmos influenciam na formação e no clima de ondas de tempestade na região offshore sul-sudeste do Brasil.

METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizados séries históricas de dados de onda NOAA – WWII, e comparados com dados observacionais do Programa Nacional de Boias (PNBOIA), coordenado pela Marinha do Brasil. Os dados do NOAA contam com diferentes parâmetros em sua composição, que são: altura de onda significativa da onda (H_s), Período e Direção de Pico (T_p e D_p), Período e Direção de Pico de vento – windsea -. Os principais parâmetros considerados no presente estudo foram os dados de altura e período das ondas (swell) bem como sua direção. Para a avaliação dos parâmetros citados, foram selecionados cinco pontos distintos de cruzamento, que se estendem pela área sul-sudeste da costa brasileira, e coincidentes com as posições geográficas referentes as boias do programa PNBOIA que estão estrategicamente distribuídas em 4 sub-regiões oceânica do METEAREA V (denominadas "alfa", "bravo", "charlie" e "delta"), cobrindo a porção externa da plataforma continental em profundidades ao redor de 100 m desde a costa do Rio Grande – RS até Vitória – ES. As coordenadas das boias (Figura 1) são: Rio Grande 31.5°S e 49.8°W, Santa Catarina em 28.5°S e 47.3°W, Santos em 25.2°S e 44.9°W, Cabo Frio em 22.9°S e 42.1°W e Vitória localizada a 19.9°S e 39.7°W. As boias se encontram posicionadas na porção externa da plataforma continental sobre uma coluna d'água de aproximadamente 100 m. Esta característica se dá pelo fato de que nesta profundidade as ondas geradas pelo vento e/ou propagadas para estas posições ainda não sofrem influência do arrasto do fundo marinho (Gomes 2003; Dalinghaus et al. 2015). É importante notar que a medida que avançam sobre a plataforma em direção a costa, a interação da onda com o fundo causa uma diminuição da velocidade do trem de onda (Meirelles & Violante-Carvalho 2007) e aumento da

altura significativa. Sendo assim, o posicionamento das boias próximos ao fim da plataforma permite que os dados ali coletados tenham pouca influência da batimetria.

O procedimento de validação dos dados cruzando o WWIII com as observações do PNBOIA é similar ao processo de validação da NOAA para o Hemisfério Norte. O modelo foi construído com uma grande malha de grades acopladas, onde cada grade funciona como um modelo de onda único, que sobrepostas, fornecem um mosaico de grades alojadas em dois sentidos (Tolman 2007; Tolman 2008). A grade utilizada (denominada pelo WWIII como multi_1) possui resolução de 0,5° x 0,5° e abrange o período que se inicia em fevereiro de 2005 e se estende até a presente data, (NOAA 2017).

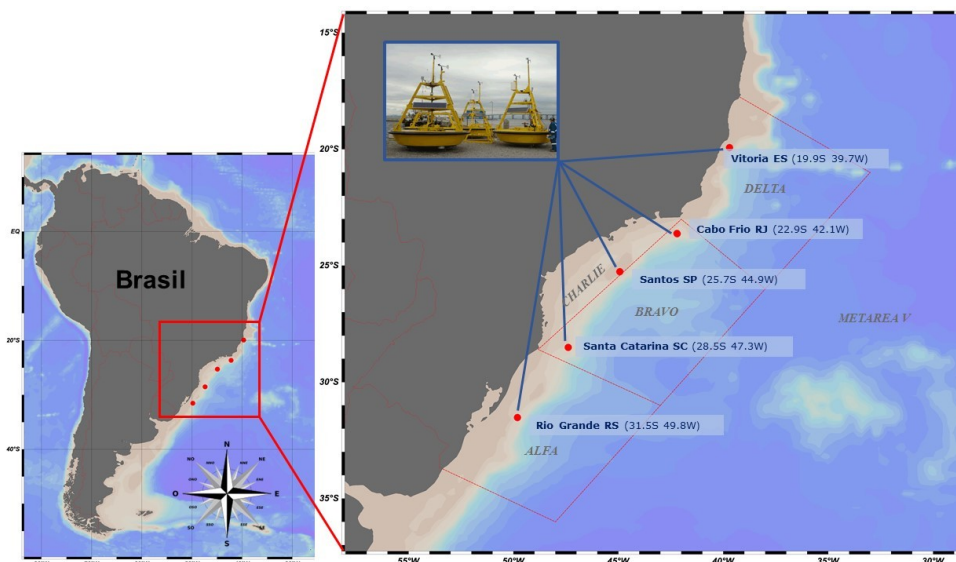


Figura 1: Área de estudo e pontos de localização das boias do PNBOIA. Note a denominação de cada boia e sua inserção nas áreas de monitoramento da METAREA V, denominadas Alfa, Bravo, Charlie e Delta.

Para calibração do WWIII, foram utilizados dados oriundos do Programa Nacional de Boias (PNBOIA - <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-goos/pnboia.html>), por serem dados observacionais, estão sujeitos a falhas de medição, transcrição e transmissão de dados automáticos, além de apresentarem gaps significativos nas séries associados a problemas logísticos (troca e manutenção do equipamento, por exemplo). Por isso, antes de serem utilizados na calibração, passaram por um extenso pós-processamento para limpeza da série, incluindo um alinhamento temporal para avaliar a sua utilização como observação real no período de estudo. Buscando identificar e eliminar dados ruins ou outliers (dados estatisticamente não coerentes em relação ao conjunto observado), foram estabelecidos alguns critérios de validação.

O primeiro, foi o cálculo da taxa de variação da altura significativa de onda (H_s) pelo tempo ($\partial H_s / \partial t$). Entende-se aqui que mesmo em processos de geração de mar totalmente desenvolvido, a taxa de aumento (ou diminuição) da H_s pelo tempo deve obedecer uma distribuição normal. A partir desta análise ficou estabelecido que caso $\partial H_s / \partial t$ seja maior que 2x o desvio padrão da população, o dado é considerado um outlier. Foram realizados 3 passes por cada série até que todos os outliers fossem totalmente removidos. O segundo critério é o de sensibilidade mínima da boia para detectar uma onda. Neste processo foram descartadas todas as observações com ondas de altura muito pequena ($< 0.3m$). As demais variáveis foram então analisadas seguindo o mesmo padrão de H_s , uma vez que caso o valor de altura significativa não fosse considerado válido, em uma determinada data, os demais parâmetros também deveriam ser descartados nesse mesmo ponto.

De forma secundária, as alturas de onda convertidas para $H_{1/3}$ (médias mensais de 1/3 das ondas mais altas) e período foram convertidas em potência, utilizando a equação

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_{m0}^2 T_e \approx \left(0.5 \frac{kW}{m^3 \cdot s}\right) H_{m0}^2 T_e$$

onde P representa o fluxo de energia da onda por unidade de comprimento da crista de onda, H_{m0} a altura de onda significativa (neste caso utilizamos a média mensal de 1/3 das ondas mais altas), T_e o período de onda médio, ρ a densidade de água e g a aceleração por gravidade. A fórmula descrita acima indica que a potência da onda será proporcional ao período de energia da onda e ao quadrado da altura da mesma. Quando a altura de onda significativa é dada em metros e o período de onda em segundos, o resultado é a potência de onda em quilowatts (kW) por metro de comprimento de frente de onda (Tucker & Pitt 2001).

Os dados do modelo WWIII foram então correlacionados ponto a ponto com os dados pós-processados do PNBOIA e gerados parâmetros de onda calibrados e regularmente espaçados no tempo para cada posição do PNBOIA correspondente. O índice multivariado do El Niño (MEI) com resolução mensal foi obtido através da Divisão de Ciências Físicas da NOAA (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>) conforme descrito por Wolter e Timlin (2011). O SAM foi obtido através de Marshall et al. (2016) <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/marshall-southern-annular-mode-sam-index-station-based>. Análises de cross wavelet comparativas com os índices MEI e SAM foram realizadas com base em uma função com média zero localizada na frequência de tempo com largura de banda definida como forma de verificar a coerência entre duas séries de tempo. Neste trabalho, foi utilizado o toolbox desenvolvido por (Grinsted et al. 2004) e comparados os valores de H1/3 mensais ao MEI e ao SAM, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na comparação dos dados disponíveis do PNBOIA para validar o *hindcast* do WWIII em todas as posições das boias, os resultados apresentados na Figura 02 mostram que, em termos gerais, os dados modelados do WWIII possuem boa correlação quando comparados as observações do PNBOIA. Ainda assim, o H_s do WWIII mostrou-se sistematicamente menor que o H_s do PNBOIA (~ 0.1 m em média), e as correlações para direções e períodos acompanharam essas diferenças (gráficos não apresentados) ao redor de 10° (direção de onda) e <1 seg (período de onda).

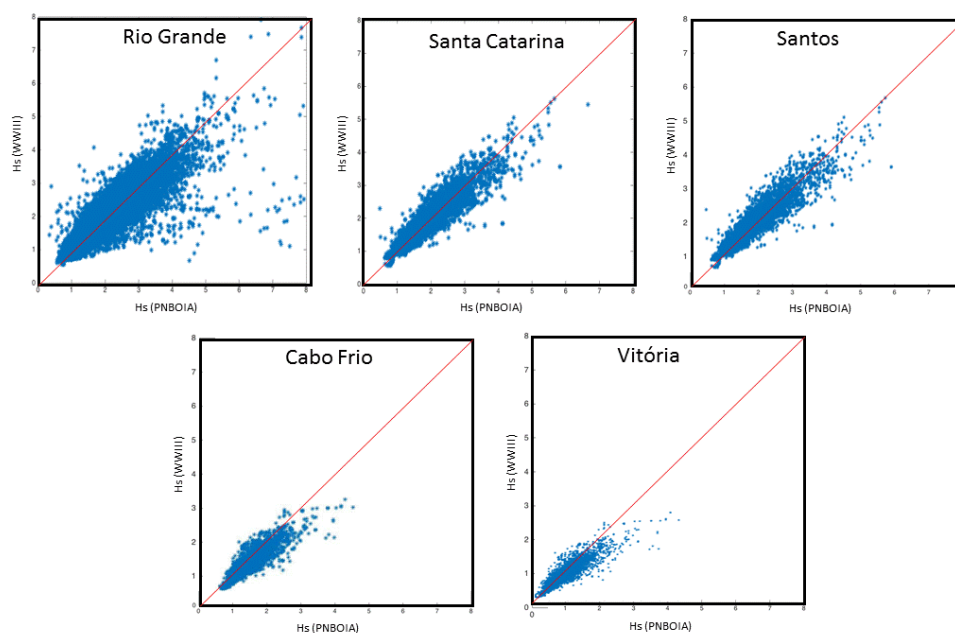


Figura 2: Comparação entre altura de onda (H_s) do modelo WWIII e das observações do PNBOIA

Assumindo, portanto, que os dados de *hindcast* do WWIII são precisos o suficiente para utilizarmos como uma série temporal, os dados subsequentes de Energia de Onda e as análises *wavelet* foram realizadas com base nas séries extraídas diretamente dos campos do WWIII. A Figura 03 mostra a característica essencialmente sazonal da energia de onda para cada uma das localidades estudadas. Nota-se ainda que a energia transportada em cada

região é similar, porém com uma clara diminuição nos valores de potência média quando comparadas as áreas alfa (Rio Grande e Santa Catarina), Charlie (Santos) e Delta (Cabo Frio e Vitória), com exceção da série correspondente a boia de Cabo Frio. Esta discrepância é dada pelo posicionamento da boia de Cabo Frio. Naquele local, as linhas batimétricas de 50 e 20 metros são muito mais próximas o que de certa forma mostra que a propagação de ondas na região deve sofrer uma forte influência da plataforma interna e profundidades mais baixas. Os dados absolutos de Hs devem, portanto, serem utilizados com cautela.

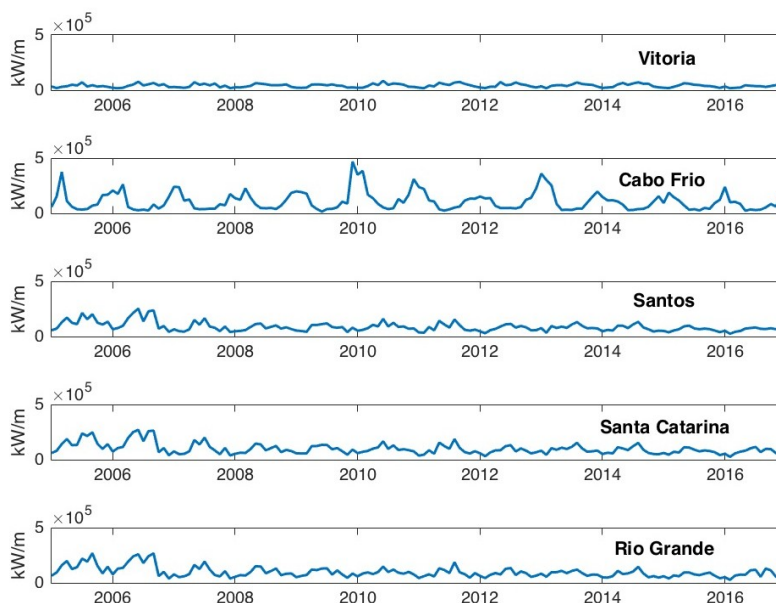


Figura 3: Séries temporais de Potência Mensal Média de onda para as localidades do PNBOLA (dados do WWIII calibrados). Note a diferença na série correspondente a boia de Cabo Frio.

A análise cross wavelet entre o índice multivariado do El Niño (MEI) e a média mensal de H_{1/3} calibrada (Figura 04) mostra uma forte correlação entre as duas séries na banda sazonal, como esperado. As setas tendendo para a direita indicam que esta correlação é em fase (MEI negativo, ou La Niña significa H_{1/3} maior). Além disso, na frequência do fenômeno El Niño (entre 3 e 4 anos), todas as localidades apresentaram um aumento da energia espectral relativa em H_{1/3} embora apenas nas localidades de Santa Catarina (norte da área Alfa) e na de Santos (área Charlie), a significância desta correlação foi notada, como indicada pelas áreas circundadas pela linha sólida preta. Estas áreas no gráfico correspondem a significância de 99% de correlação entre as duas séries. Infelizmente, pelo fato da série ser de apenas 11 anos, não é possível aprofundar a análise dentro da frequência dominante do El Niño.

Já a análise de cross wavelet entre SAM e a série media mensal de H_{1/3} (Figura 5), apresenta uma boa correlação na frequência sazonal, porém com significância entre os anos 2007-2008 e posteriormente entre 2014-2016, sem intensidades significativas na frequência do ENSO.

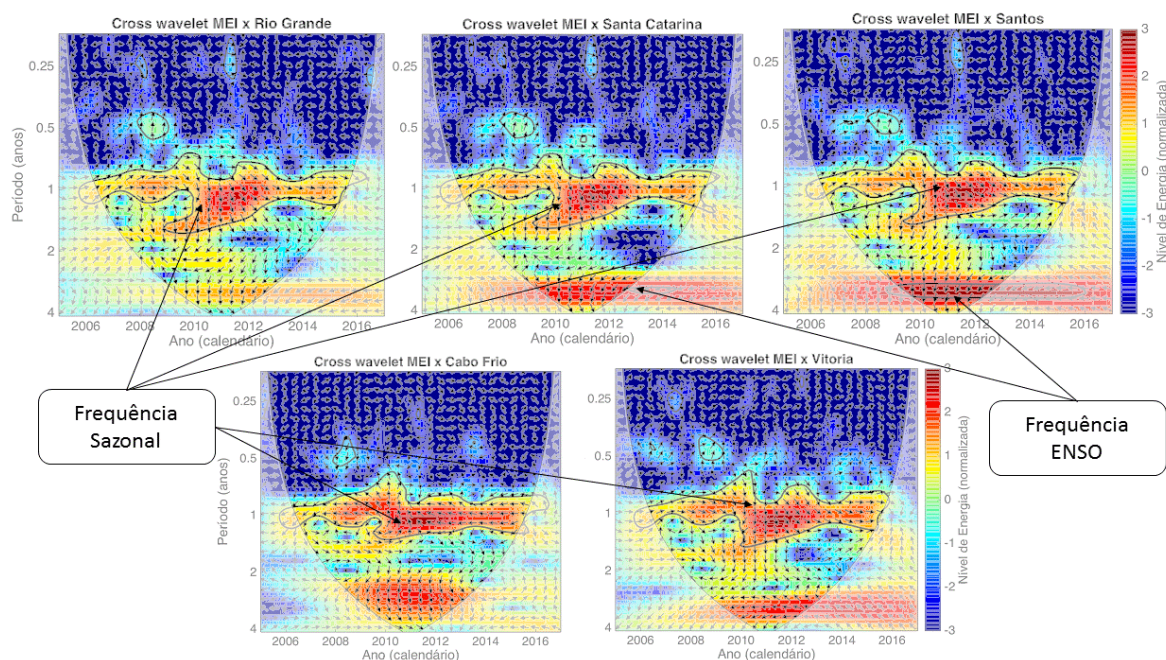


Figura 4: Análise wavelet para o cruzamento entre o MEI e médias mensais de $H_{1/3}$ para cada uma das séries do WWIII nas localidades das boias do PNBOIA.

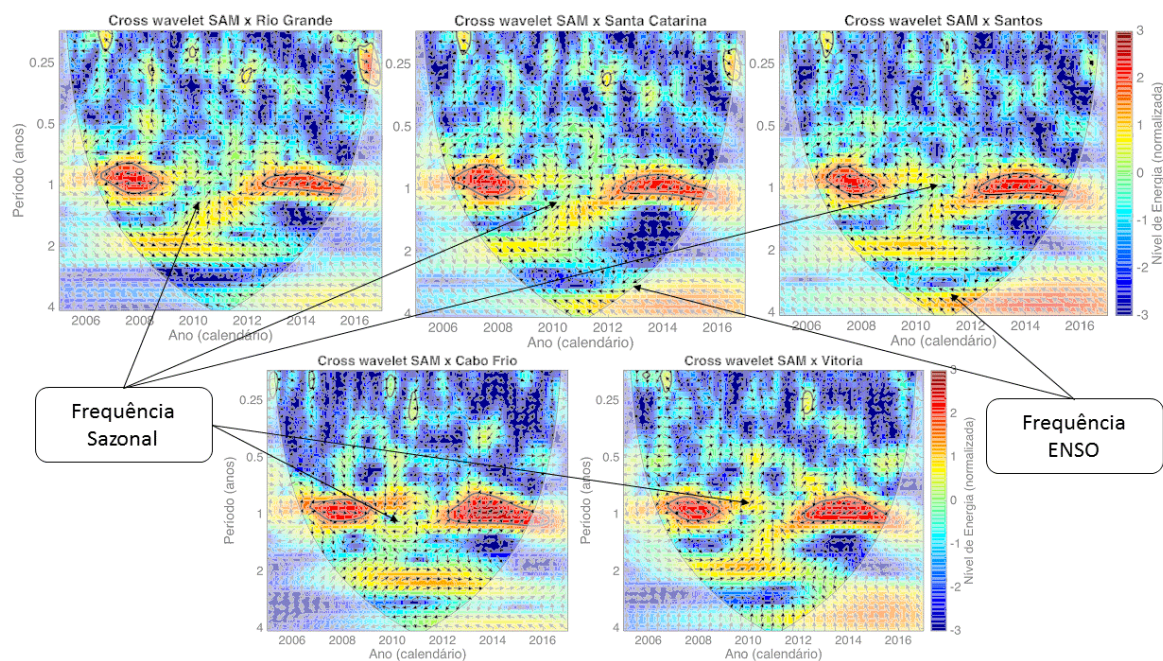


Figura 5: Análise wavelet para o cruzamento entre o índice SAM e médias mensais de $H_{1/3}$ para cada uma das séries do WWIII nas localidades das boias do PNBOIA.

CONCLUSÕES

Embora a calibração de dados do WWIII realizada no hindcast de ondas pela NOAA ser feita apenas com base em observações no hemisfério norte, o cruzamento entre dados do PNBOIA e WWIII demonstraram diferenças pequenas e lineares. O método utilizado neste trabalho provou ser eficiente o suficiente para extrair séries temporais mais longas utilizadas nas análises cruzadas para a região oceânica sudeste e sul da METAREA V.

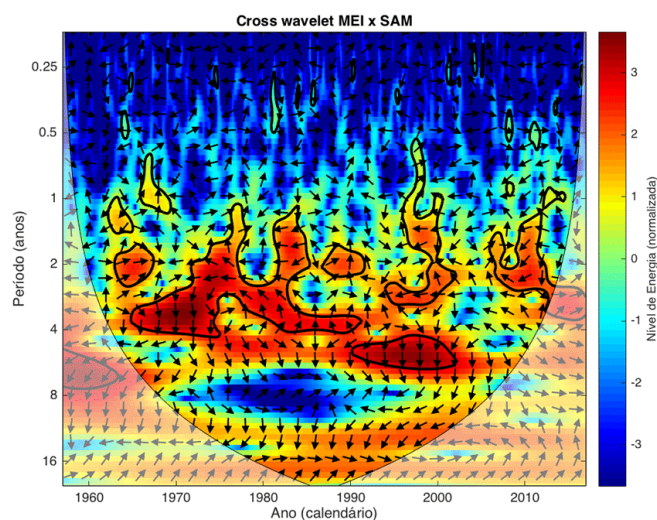


Figura 6: Análise cross wavelet entre o MEI e o índice SAM global.

Os resultados mostram ainda que a conexão entre ENSO e SAM é clara e direta (Figura 6) nas frequências do ENSO e de forma intermitente, com dominância do sinal do SAM sobre o ENSO. Sinais periódicos na faixa de 4 anos, período este dominante da oscilação sul, sugerem que para um SAM positivo e em fase com El Niño, eventos de ondas mais altas (H1/3 maior) no Atlântico Sul aconteceriam fora de fase. Esta situação é provavelmente devido a condições de bloqueio atmosférico que impede a passagem de ciclones com intensidade suficiente para gerar ondas mais altas. Além disso, eventos de SAM negativo e concomitante com La Niña teriam um forte efeito sobre as ondas em mar aberto, com eventos quase duas vezes mais fortes do que durante a fase positiva (El Niño). É possível ainda observar que, embora existam muitos dados disponíveis para a área em questão, sejam eles observacionais (PNBOIA) ou modelados (reanálise do WWIII), os períodos de observação não são longos o suficiente para uma análise mais precisa de eventos em escalas interanuais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem primeiramente ao apoio do CHM – Centro de Hidrografia da Marinha pelo apoio na obtenção dos dados do PNBOIA, e também ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biosistemas pelo apoio prestado ao projeto. A graduanda Thais Lobato Sarmiento teve ainda apoio institucional através do programa PIBIT da Universidade Federal Fluminense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bio, A. et al (2015) Methods for coastal monitoring and erosion risk assessment: two Portuguese case studies. *RGCI*, v. 15, p. 47-63.
- Camargo, S. J.; Emanuel, K. A.; Sobel, A. H. (2007) Use of a genesis potential index to diagnose ENSO effects on tropical cyclone genesis. *J. Climate*, 20, 4819–4834
- Candella, R. N. (1997) Estudo de casos de ondas no Atlântico Sul através de modelagem numérica. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. p. 80.
- Carvalho, L.M.V.; Jones, C.; Ambrizzi, T. (2005) Opposite phases of the Antarctic Oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral summer, *Journal of Climate*, v. 18, p. 702-718.

- Cesare, C. (2015) Developing El Niño could be strongest on record Disponível em: <http://www.nature.com/news/developing-el-ni%C3%B1o-could-be-strongest-on-record-1.18184>. Acessado em 17/04/2017.
- Dalinghaus, C. et al. (2015) Diferentes abordagens metodológicas para análise das consequências de marés de tempestade: ambientes praias antropizados e naturais” - Ressacas do Mar/Temporais e Gestão Costeira, 1ª ed, p 21.
- Fogt, R.L.; Bromwich, D.H. (2006) Decadal variability of the ENSO teleconnection to the high-latitude south Pacific governed by coupling with the southern annular mode. *Journal of Climate*, v. 19, p. 979-997.
- Fraedrich K.; Muller K. (1992) Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes. *Int J Climatol* 12 : 25—31
- Gomes, A. S. (2003) Ondas Marinhas. Disponível em: <http://www.uff.br/ecosed/ondas>. Acessado em 01 de março de 2017.
- Grimm, A. M.; Ferraz, S. E. T.; Gomes, J.; (1998) Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, vol. 11, pp. 2863-2880
- Grinsted, A.; Moore, J.; Jevrejeva, S. (2004) Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 11, n. 5/6, p. 561-566.
- Innocentini, V.; Caetano Neto, E. E. S. (1996) A case study of the 9 August 1998 South Atlantic storm: Numerical simulations of the wave activity. *Wea. Forecasting*, 11, 78–88
- Kousky, V.E., E Cavalcanti, I.F.A. 1984. Eventos Oscilação doSul - El Niño: características, wolução e anomalias de precipitação *Ciência e Cultura*, 36(11): 11888-1899.
- L'heureux, M. L.; Thompson, D W. (2006) Observed relationships between the El Niño–Southern Oscillation and the extratropical zonal-mean circulation. *Journal of Climate* 276-287.
- Ludescher, J. et al. (2014) Very Early Warning of next El Niño. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111.6: 2064–2066. PMC.
- Marshall, G.; National Center For Atmospheric Research Staff (Eds). (2016) "The Climate Data Guide: Marshall Southern Annular Mode (SAM) Index (Station-based).
- Meirelles, S.; Violante-Carvalho, N. (2007) Modelagem computacional da propagação de ondas superficiais no oceano: um subsídio para a compreensão dos fenômenos ópticos. *Rev. Bras. Ensino Fis.*, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 555-563.
- Muehe, D. (2006) Rio Grande do Sul: variabilidade espaço-temporal. In: MUEHE, Dieter (Org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p. 460-467.
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration – (2015). Disponível em: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. Acessado em 21 de março de 2017.
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (2017) – Environmental Modeling Center – Waves. Disponível em: <http://polar.ncep.noaa.gov/>. Acessado em 05 de março de 2017.
- Tolman, H. L. (2007) Development of a multi-grid version of WAVEWATCH III. Tech. Note 256, NOAA/NWS/NCEP/MMAB, 88 pp. + Appendices.
- Tolman H. L. (2008) A mosaic approach to wind wave modeling. *Ocean Modeling*, 25, 35-47.
- Tomczak, M. & Godfrey, J.S., 2003. Chapter 19: El Niño and the Southern Oscillation (ENSO)_Left. *Regional Oceanography: An Introduction*.
- Tucker, M. J., & Pitt, E.G. (2001). In Bhattacharyya, R.; McCormick, M.E. *Waves in ocean engineering* (1st ed.). Oxford: Elsevier. pp. 35–36. ISBN 0080435661.
- Wolter, K., & Timlin, M. S. (2011) El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *Intl. J. Climatology*, 31, 14pp., 1074-1087
- Yeh, S. et al (2009) El Niño in a changing climate. *Nature*, v. 461, n. 7263, p. 511-514.