

Evento extremo de ondas na Baía da Ilha Grande: um estudo de caso

Extreme wave event in Ilha Grande Bay: a case study

Victor Azevedo Godoi*

Leandro Calado**

Wandrey de Bortoli Watanabe***

Luciana Erika Yaginuma****

Marcos Bastos*****

Resumo

Este estudo teve como foco entender a propagação das ondas geradas pelo vento, via modelagem numérica, na Baía da Ilha Grande, diante de dois cenários distintos: em situação recorrente e em situação de ressaca. Para isso, os campos de vento do projeto *Reanalysis II* foram utilizados como condições de contorno para o modelo espectral WAVEWATCH III. Valores próximos a 1,5 m de altura significativa de onda foram simulados junto à costa em situação de ressaca. Foi visto que o uso da modelagem computacional para prever impactos nas praias e em estruturas costeiras é eficiente para a região de estudo.

Palavras-chave: Ressaca. Modelagem Numérica. Baía da Ilha Grande.

Abstract

This study aims to understand the propagation of wind-generated waves, through numerical modeling, in Ilha Grande Bay, using two different scenarios: a typical and a storm wave situation. In order to do so, the wind fields of the project *Reanalysis II* were used as boundary conditions for the spectral model WAVEWATCH III. Values of about 1.5 m of significant wave height were modeled close to the shore in the storm wave situation. The results encourage the use of the present modeling technique to predict damages to beaches and coastal structures in the study area.

* Mestre em Engenharia Costeira. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, Marinha do Brasil, Arraial do Cabo-RJ, Brasil. E-mail: victorgodoirj@gmail.com.

** Doutor em Oceanografia Física. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, Marinha do Brasil, Arraial do Cabo-RJ, Brasil. E-mail: leandro_calado@hotmail.com.

*** Mestre em Oceanografia Física. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, Marinha do Brasil, Arraial do Cabo-RJ, Brasil. E-mail: wandrey.wbw@gmail.com.

**** Mestre em Oceanografia Biológica. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, Marinha do Brasil, Arraial do Cabo-RJ, Brasil. E-mail: lucianaerika@gmail.com.

***** Doutor em Oceanografia Biológica. Universidade Estadual do Rio de Janeiro – Faculdade de Oceanografia, Rio de Janeiro-RJ, Brasil. E-mail: mbastosp@gmail.com.

Key words: Storm Wave. Numerical Modeling. Ilha Grande Bay.

Introdução

A Baía da Ilha Grande, localizada no sul do estado do Rio de Janeiro, é ligada por um canal central à Baía de Sepetiba, formando assim, um sistema estuarino (Figura 1) com ampla comunicação com o Oceano Atlântico. Essa baía e adjacências são um bom exemplo de uso misto e, invariavelmente, conflituoso do espaço costeiro. Nesse ambiente são encontrados: um terminal petrolífero, duas usinas nucleares (Angra I e II), um grande estaleiro, um porto comercial, recentemente adaptado para serviços *offshore*, e ainda, um terminal de exportação de minério de grande porte, que interagem com os ecossistemas locais (BASTOS; CALLADO, 2009).

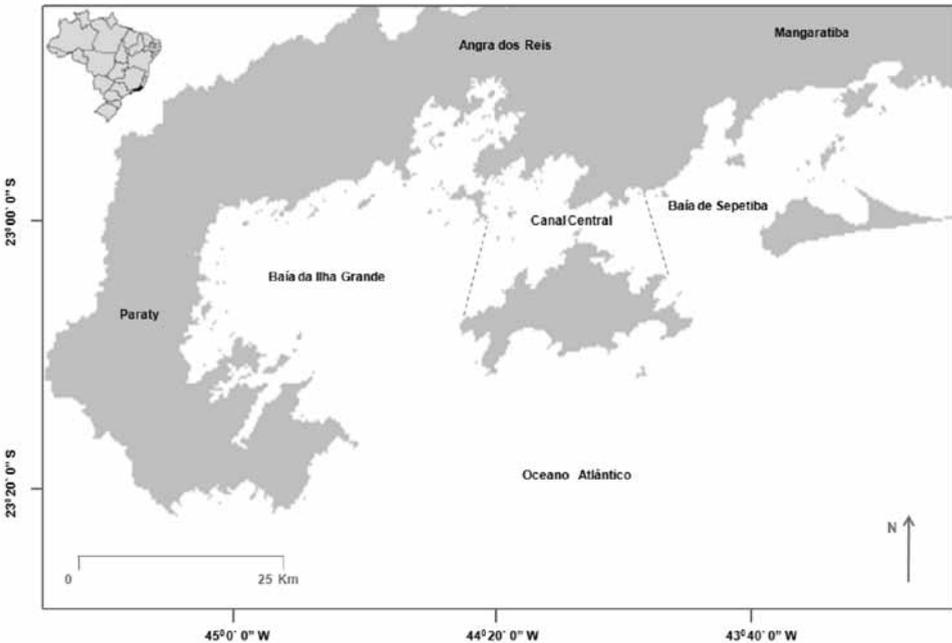


Figura 1: Divisão fisiográfica da Baía da Ilha Grande proposta por Mahiques (1987)

Com base nas estações maregráficas localizadas na Baía de Sepetiba, a maré nas baías é classificada como mista ou de desigualdade diurna, ou seja, as duas marés altas/baixas consecutivas apresentam grande diferença de amplitude (SALLES et al., 2000).

Correa (1994) considerou a Baía da Ilha Grande como um sistema com estratificação de densidade em duas camadas, identificando a ocorrência sazonal da

Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na camada abaixo de 20 metros.

Segundo Martins (2008), a circulação nas baías da Ilha Grande e de Sepetiba já foi alvo de uma série de estudos, porém, o autor ressalta que os dados de correntes são provenientes de séries temporais de curta duração, insuficientes para detectar períodos de oscilação de longo termo. Bastos (2006), na Enseada do Sítio Forte, avaliou a circulação em torno de fazendas marinhas na região e encontrou correntes superficiais (2,5 metros) e de fundo (15 metros) com velocidades mínima e máxima de 0,2 e 9,4 cm/s e 0,2 e 4,6 cm/s, respectivamente.

De acordo com Signorini (1980a), a circulação nas baías é resultado dos efeitos de maré, ventos e diferenças de densidade entre águas oceânicas, provenientes da plataforma continental, que entram pela Baía da Ilha Grande, e águas mais doces da Baía de Sepetiba. Todavia, trabalhos mais recentes destacam que eventos meteorológicos de grande escala têm papel importante na circulação do sistema de baías da Ilha Grande e Sepetiba (FRAGOSO, 1999; ALVES, 2003). Segundo Cavalcante (2010), a propagação de ondas de plataforma é um dos principais atuantes na circulação observada na Baía da Ilha Grande, no entanto, a autora ressalta a dificuldade de caracterização da região devida às medições ainda esparsas, de curta duração e pontuais.

Essas ondas de plataforma, que chegam à Baía da Ilha Grande, podem ser barradas devido à geomorfologia da baía, sendo que as ondas oriundas das direções S-SE têm sua entrada facilitada, o que torna a Baía da Ilha Grande sensível às tempestades de SE (AMORIM; NUNES, 2006 apud MUEHE, 1996).

Como já mencionado, os dados oceanográficos existentes na região não possuem uma sistemática de coleta e análise, tanto metodológica, quanto periódica, dificultando o entendimento dos processos físicos atuantes. Nesse sentido, modelos computacionais mostram-se como ferramentas valiosas, uma vez que permitem simulações com grande abrangência espaço-temporal. Todavia, mesmo com os avanços computacionais, a modelagem numérica não é trivial, pois além da extrema complexidade dos fluidos geofísicos, ainda se faz necessário o conhecimento das forçantes e seus efeitos, bem como das condições iniciais e de contorno (CAVALCANTE, 2010).

Através da análise de dois eventos distintos de estado de mar, um caso típico e um de ressaca, buscou-se nesta pesquisa entender a situação de condição extrema de ondas dentro da Baía da Ilha Grande.

Metodologia

Uma breve análise dos campos de pressão atmosférica ao nível do mar foi realizada a fim de entender o local de geração das ondas que atingiram a Baía da Ilha Grande. Em seguida, o modelo WAVEWATCH III foi utilizado para realizar as simulações numéricas de onda.

Os campos de pressão atmosférica ao nível do mar foram gerados a partir dos resultados do projeto *Reanalysis*, que surgiu da cooperação entre os *National Centers for Environmental Prediction* e o *National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR), com o intuito de produzir análises globais de campos atmosféricos (KALNAY, 1996). Esses resultados possuem resolução espacial de 2,5° e temporal de 6 horas, o que permite entender apenas os fenômenos de grande escala da atmosfera, assim como é o caso dos sistemas ciclônicos geradores das ondulações investigadas.

Em seguida, duas simulações computacionais para a Baía da Ilha Grande foram realizadas a partir de duas situações distintas de estado de mar. A primeira, período entre 10/01/2009 e 15/01/2009, foi de uma situação típica, na qual ondas relativamente pequenas adentraram a Baía da Ilha Grande. E na segunda, período entre 06/04/2009 e 11/04/2009, foi simulado um evento extremo de ondas, em que uma forte ressaca atingiu a região de estudo.

O modelo escolhido para simular o evento em questão foi o WAVEWATCH III, que é um modelo espectral de terceira geração desenvolvido nos *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP/NOAA), o qual utiliza o método de diferenças finitas e a forma Euleriana para resolver a equação do balanço da densidade de ação de onda para os espectros do vetor de onda. Nessa equação é assumido que as propriedades do meio (profundidade da água e velocidade da corrente), assim como o campo de ondas, variam em escalas de tempo e espaço que são consideravelmente maiores que as escalas de ondas individuais (TOLMAN, 2009). A partir da incorporação das novas opções de termos fonte, os quais incluem, através de parametrizações, os processos conservativos e não conservativos inerentes à propagação das ondas em águas intermediárias e rasas, a nova versão do modelo, v. 3.14, permite que ele seja aplicado para águas mais próximas à área costeira. Os processos conservativos são aqueles que não alteram o conteúdo de energia da onda, tais como: a refração, a difração e os efeitos não lineares. Já os não conservativos, implicam ganho ou perda de energia, como, por exemplo, a fricção da onda com o fundo. Vale citar que a física da zona de *surf* ainda é representada de maneira rudimentar pelo modelo, devendo-se, portanto, ter cuidado na interpretação dos resultados nessa região.

O WAVEWATCH III foi configurado com cinco grades numéricas aninhadas (Figura 2), 24 direções de onda e 25 frequências, gerando resultados a cada 1,2 h. Como condições de contorno foram utilizadas as batimetrias do modelo de relevo global ETOPO1 e das cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil e os campos de vento do projeto *Reanalysis II*. As resoluções espaciais das grades batimétricas foram 27', 9', 3', 1' e ¼', após passarem por um processo de interpolação denominado vizinho mais próximo. Já a resolução espacial dos campos de vento zonal e meridional foi 1,8750° x 1,9047°, com a resolução temporal de 6 horas.

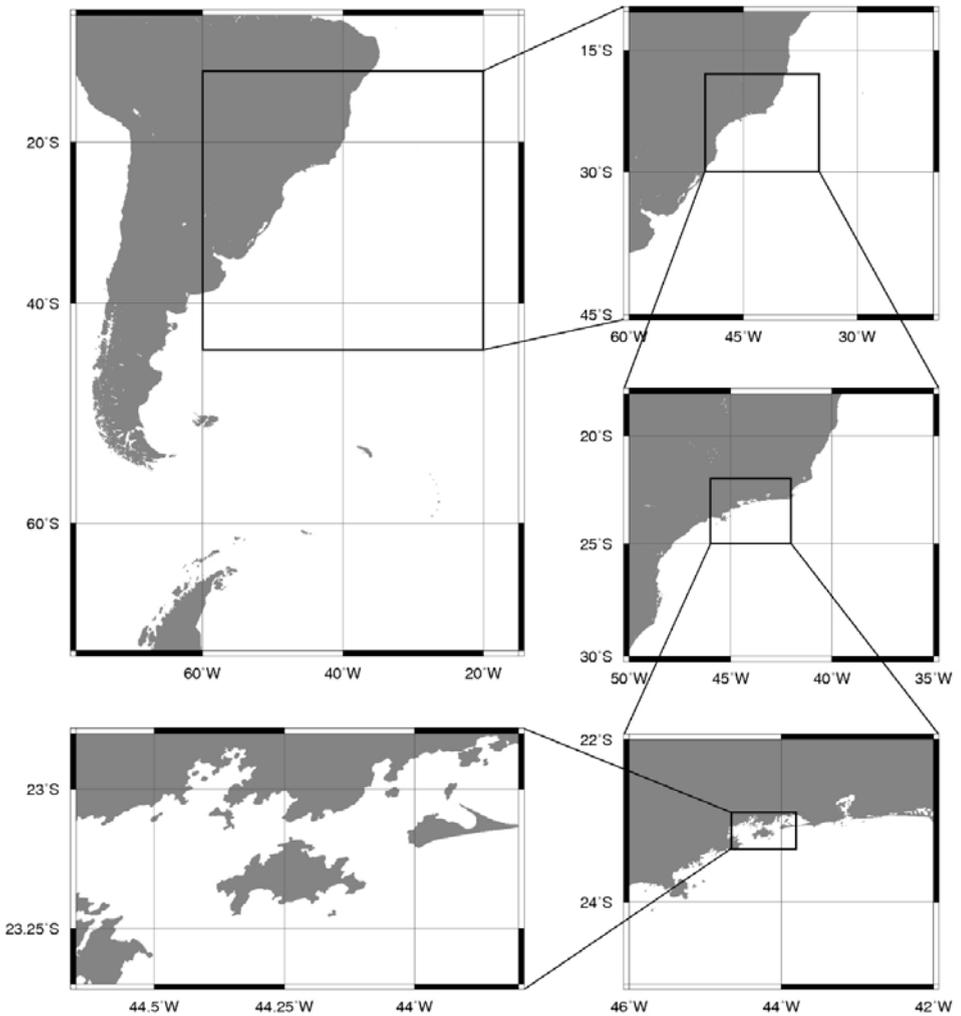


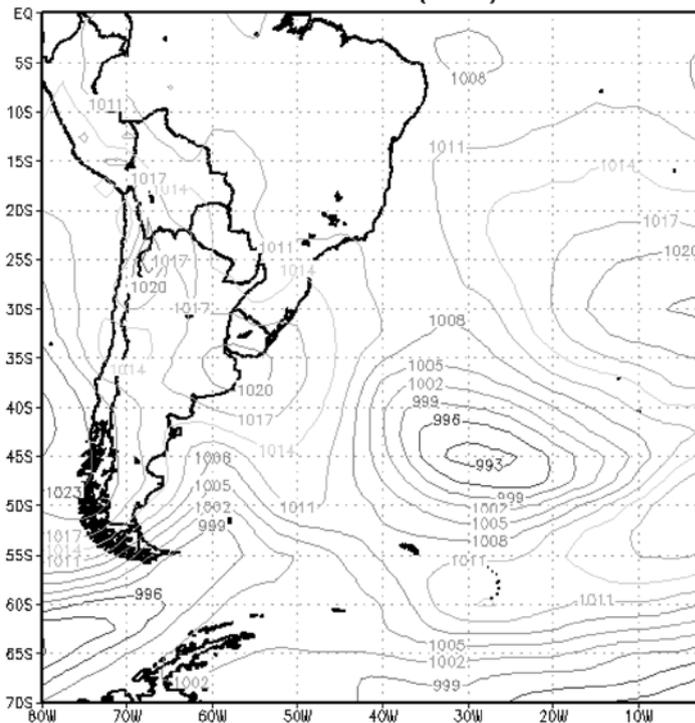
Figura 2: Grades numéricas dos cinco domínios computacionais

Três parâmetros médios de onda, comumente utilizados na investigação do comportamento das ondas em estudos de engenharia costeira, foram avaliados no presente estudo, são eles: altura significativa de onda, direção de pico e período de pico.

A altura significativa de onda é um parâmetro estatístico que pode ser entendido como sendo a média do terço das maiores ondas de um registro, no domínio do tempo. A direção de pico está associada à direção das ondas que transportam a maior quantidade de energia. E, por fim, o período de pico indica o intervalo de tempo em que as ondas com o maior conteúdo de energia chegam a determinado ponto. Entender o conteúdo de energia é necessário para identificar quais são as ondas capazes de ocasionar o maior

Na Figura 4 nota-se a presença de um sistema ciclônico, apresentando um centro de 993 hPa. O giro horário do sistema cria, a oeste do ciclone, uma pista com direção sul, a qual aponta diretamente para a Baía da Ilha Grande. Devido à persistência do sistema sobre, praticamente, a mesma posição durante alguns dias e ao significativo gradiente de pressão de 27 hPa, entre o ciclone e o anticiclone a oeste, a pista formada foi capaz de produzir ventos intensos, os quais são necessários para gerar as ondulações que serão mostradas durante a análise dos campos e das séries temporais de ondas. É importante citar que três fatores são essenciais para que ondulações proeminentes sejam formadas, são eles: intensidade, duração e direção dos ventos. Ou seja, um mar plenamente desenvolvido, que é aquele em que a quantidade de energia das ondas se encontra saturada, ocorre diante de um cenário de ventos intensos, escoando em uma direção predominante por um longo período. O horário das 18z do dia 08/04/2009, referente ao campo de pressão, coincide com o horário de altura significativa máxima que será mostrado adiante na série temporal de ondas.

Pressão ao nível do mar (hPa) – 2009:4:8:18



GRADS: OOLA/IGES

Figura 4: Campo de pressão ao nível do mar em 08/04/2009 às 18z

Como dito, três parâmetros médios de onda, altura significativa (H_s), direção de pico (D_p) e período de pico (T_p), foram avaliados nas simulações. Para isso, foram gerados campos de onda para H_s e séries temporais de H_s , D_p e T_p no ponto $44,42^\circ\text{W} \times 23,00^\circ\text{S}$ com o modelo espectral de ondas WAVEWATCH III v. 314. O ponto $44,42^\circ\text{W} \times 23,00^\circ\text{S}$ foi selecionado por localizar-se próximo à costa, dando uma noção do impacto das ondulações na construção de um píer, por exemplo.

A Figura 5 é a representação do campo de altura significativa de onda às 4:48z do dia 04/01/2009, um exemplo de alturas típicas encontradas na Baía da Ilha Grande na ausência de eventos de ressacas.

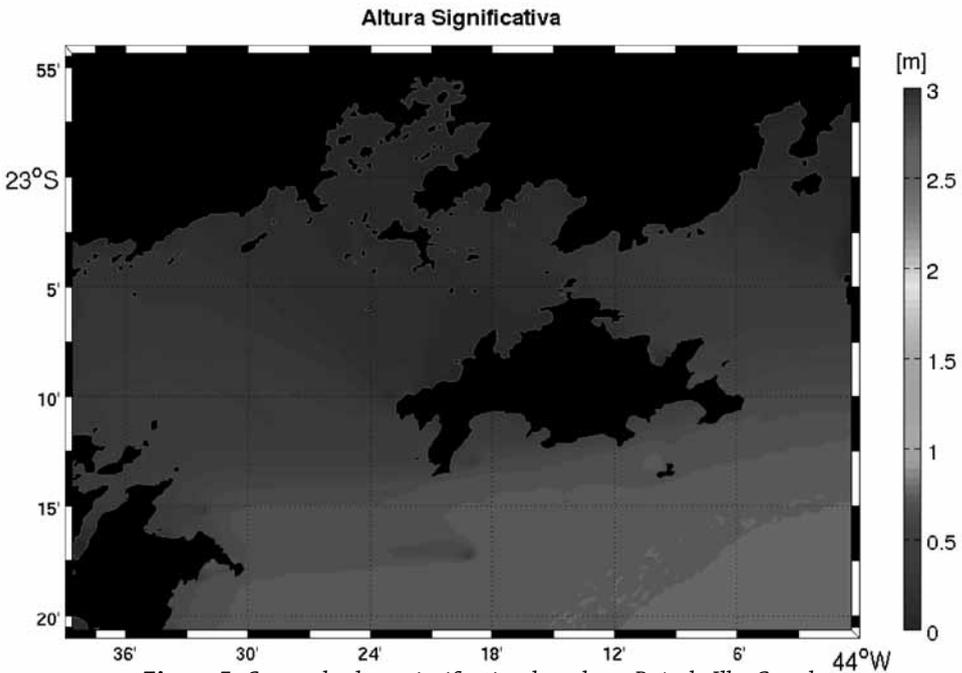


Figura 5: Campo de altura significativa de onda na Baía da Ilha Grande no dia 04/01/2009 às 04:48z

Na Figura 5, é visto um fraco gradiente de altura significativa de onda na Baía da Ilha Grande, indicando pouca variação na altura das ondas. A variação máxima se dá em torno de 0,5 m dentro da Baía, e fora dela são encontrados valores ligeiramente maiores, mas que não ultrapassam 1 metro.

Parte da Figura 5 está ampliada na Figura 6 a fim de mostrar o comportamento das alturas significativas próximas ao ponto $44,42^\circ\text{W} \times 23,00^\circ\text{S}$ (destacado pela estrela branca na figura).

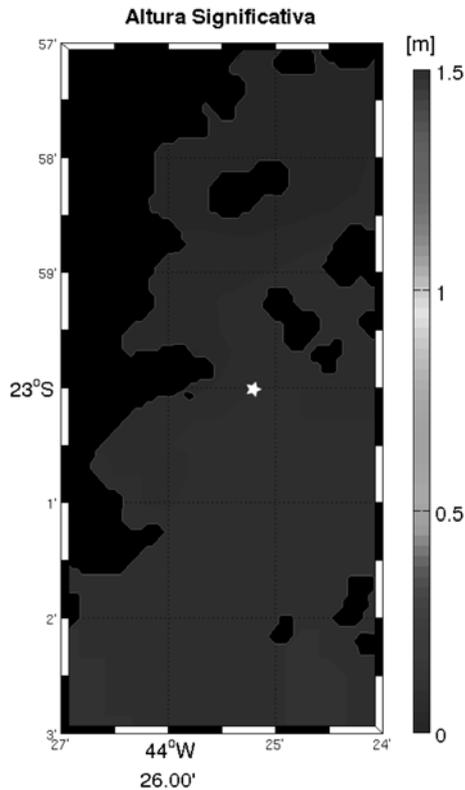


Figura 6: Campo de altura significativa de onda próximo ao ponto $44,42^{\circ}W \times 23,00^{\circ}S$ (destacado pela estrela branca) em 04/01/2009 às 04:48z

A variação do campo de altura significativa é praticamente nula na Figura 6. Ondas menores que 0,4 m foram simuladas pelo modelo em toda a região aproximada, o que já era esperado, pois diante de uma situação típica, as ondulações que atingem a região são relativamente pequenas.

Na Figura 7 é apresentado o campo de ondas do dia 08/04/2009 às 18z, data em que um intenso evento de ressaca atingiu a Baía da Ilha Grande.

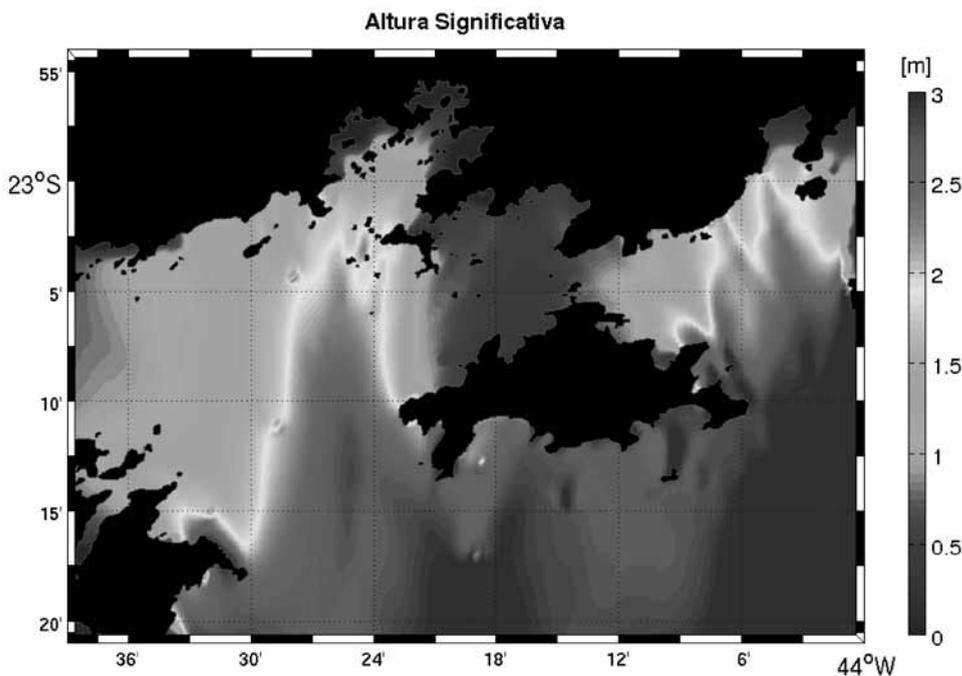


Figura 7: Campo de altura significativa de onda na Baía da Ilha Grande no dia 08/04/2009 às 18z

Na Figura 7 é visto um campo de ondas heterogêneo, com uma zona de sombra ao norte da Ilha Grande, a qual é formada em razão de a Ilha servir como anteparo. Tal anteparo abriga as praias da Ilha voltadas para a parte interna da Baía, fazendo com que a ressaca não atinja essa região, estabelecendo, portanto, locais favoráveis à construção de portos. Alturas significativas maiores são observadas nas outras bordas da Ilha Grande, demonstrando maior suscetibilidade à incidência direta de ondulações. É possível observar que as ondas diminuem gradativamente à medida que penetram na Baía, sugerindo a influência dos fenômenos não conservativos presentes em águas rasas, os quais envolvem a perda de energia.

A Figura 8 é a ampliação de parte da Figura 7, na qual é notada a chegada de ondas com, aproximadamente, 1 metro de altura significativa no ponto 44,42°W x 23,00°S (destacado pela estrela branca na figura).

A parte superior da Figura 8, ao norte de 22°58'S, sofre pouca influência da ressaca. Entre o paralelo citado e 23°1'S, um intenso gradiente da altura significativa pode ser observado, fato este que ocorre em função da perda de energia, que acontece de maneira efetiva à medida que as ondulações se propagam para a região de costa. Ao sul de 23°1'S são encontrados valores relativamente altos, próximos a 1,5 m, o que é

crítico devido à alta probabilidade de ocorrência de erosão nas praias da região, além do possível impacto em obras costeiras.

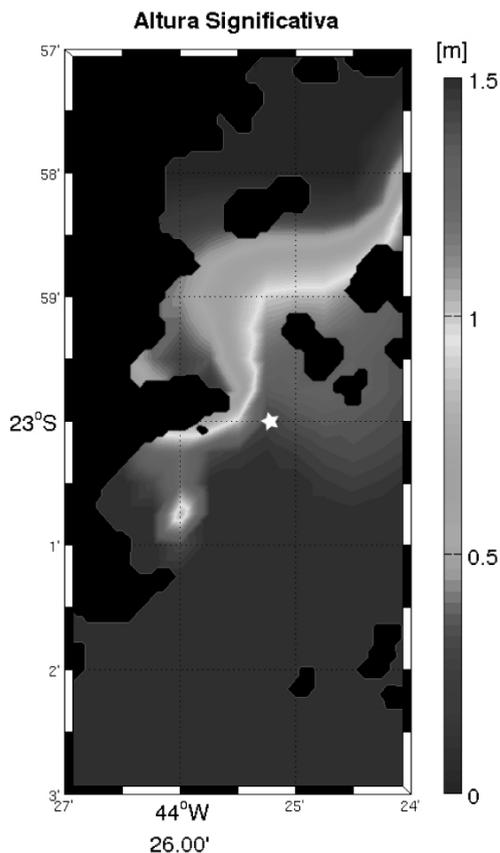
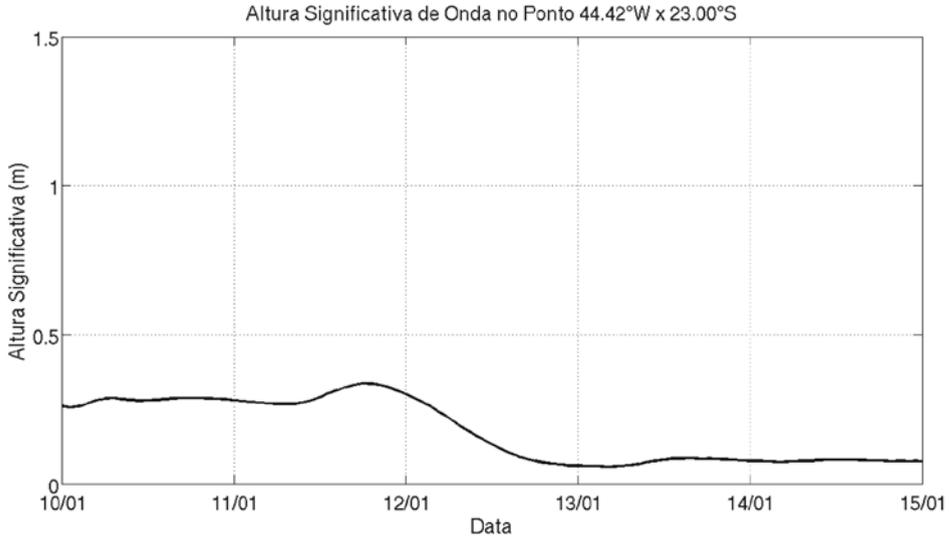


Figura 8: Figura 8 - Campo de altura significativa de onda próximo ao ponto 44,42°W x 23,00°S (destacado pela estrela branca) em 08/04/2009 às 18z

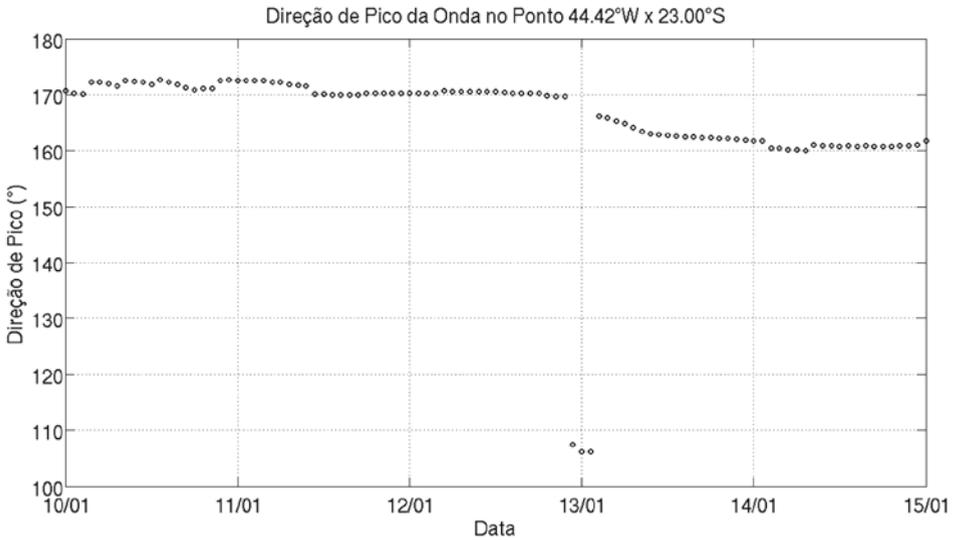
Na Figura 9 estão representadas as séries temporais para o evento de janeiro de 2009 no ponto 44,42°W x 23,00°S. Nota-se que os valores de altura significativa (Figura 9a) de onda não ultrapassam 0,5 m durante todo o período de simulação, o que indica a presença de ondas com pouca relevância em termos de impactos costeiros. Os valores da direção de pico (Figura 9b), de maneira geral, se concentram entre 160° e 175°, ou seja, entre SSE e S. Os valores de período de pico (Figura 9c) apresentam-se relativamente altos durante algumas horas dos dias 11/01/2009 e 12/01/2009, atingindo até 11,5 segundos, e nos demais dias valores mais baixos.

Apesar de as ondas terem direção sul, que é praticamente a mesma direção das ondulações da ressaca abordada a seguir, elas foram geradas pelo vento local, o que não

proporciona energia suficiente para formar ondas com alturas significativas relevantes. Isso pode ser comprovado pelo que se observou na análise meteorológica, pois o sistema atmosférico que dominava a região era um anticiclone.



(a)



(b)

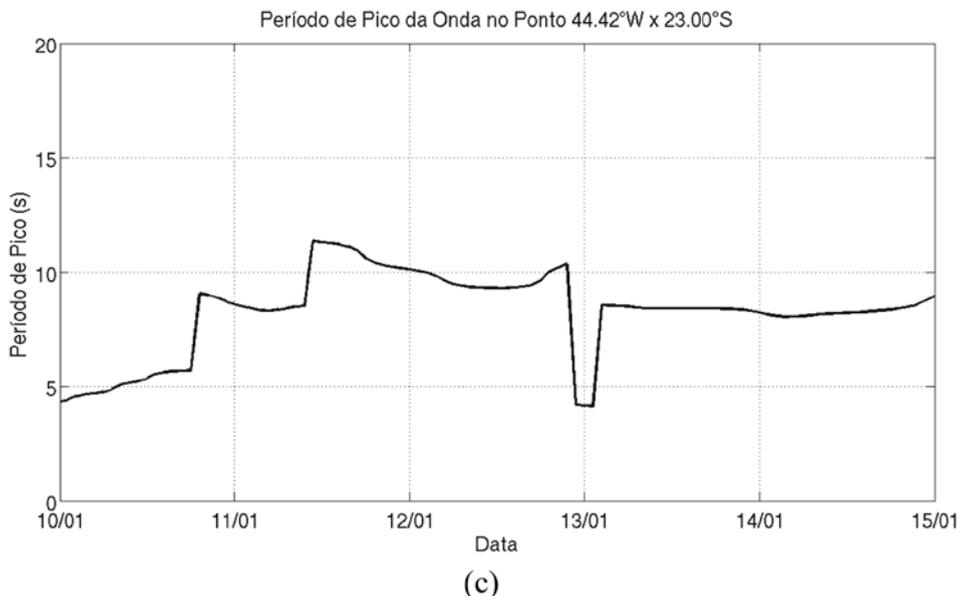
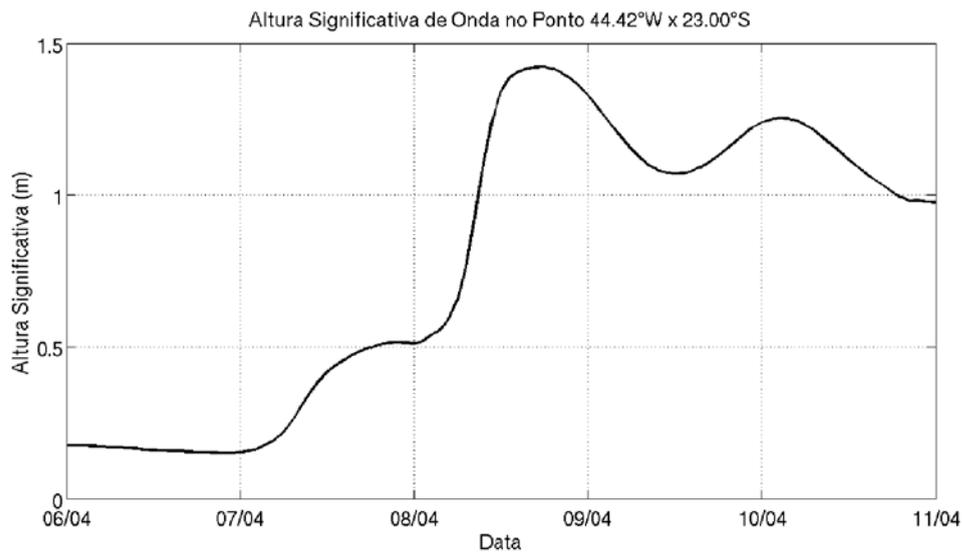
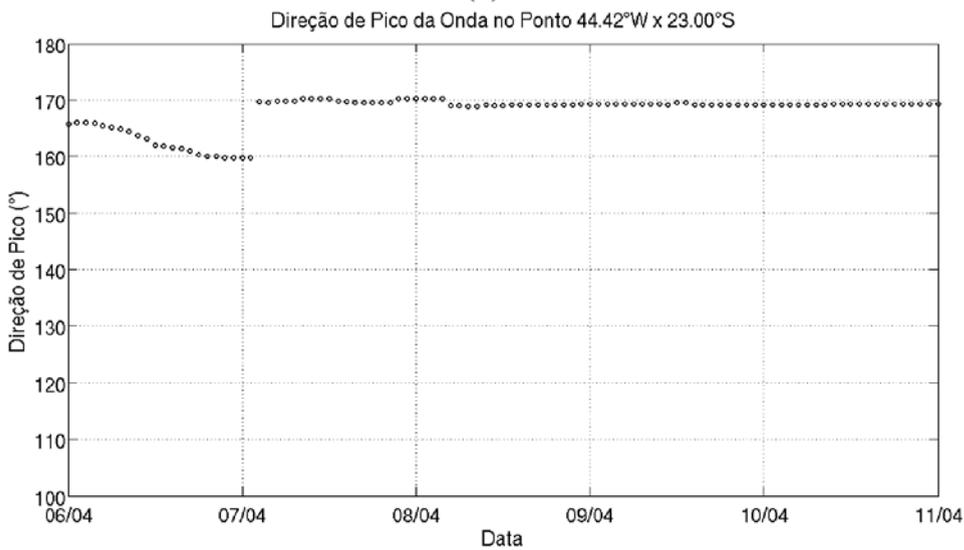


Figura 9: Séries temporais dos parâmetros médios de onda para o período entre 10/01/2009 e 15/01/2009 no ponto 44.42°W x 23.00°S: (a) Hs; (b) Dp; (c) Tp

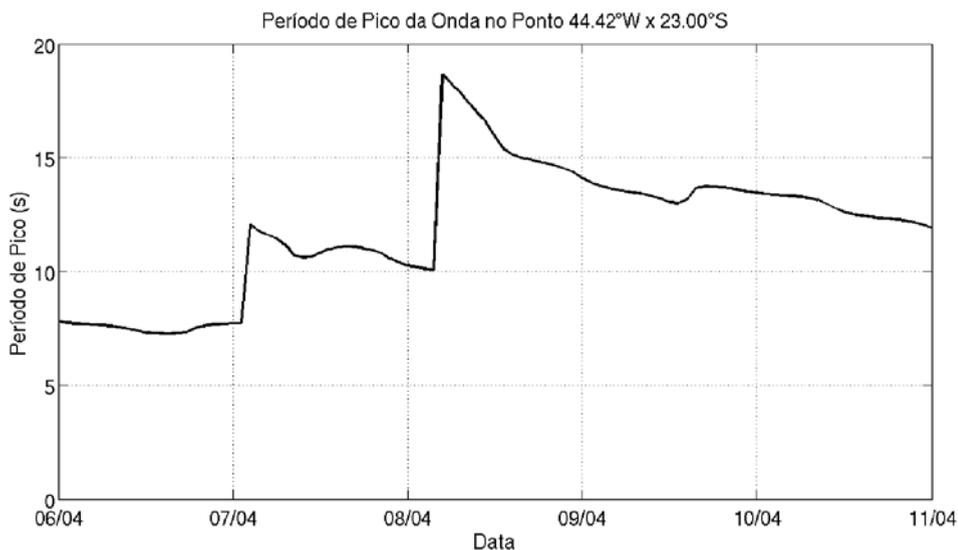
Na Figura 10 são mostradas as séries temporais de Hs, Dp e Tp simuladas no ponto 44.42°W x 23.00°S para o evento extremo de onda ocorrido em abril de 2009. Nela é possível observar a evolução da altura significativa ao longo dos dias, apresentando uma taxa de crescimento de mais de 1,25 m em menos de 48 horas, entre os dias 07 e 09 de abril (Figura 10). Os valores de Hs se mantêm superiores a 1 metro até o final da simulação. Neste caso, fica claro que ondulações proeminentes atingiram a região, mostrando a possibilidade de grande impacto costeiro. Os valores da direção de pico variam em apenas dez graus durante todo o período, se concentrando em 170° a partir do dia 07 de abril. Tal concentração está relacionada à persistência do sistema atmosférico sobre a mesma posição. Os valores de Dp, mostrados na Figura 10b, corroboram o sistema gerador das ondulações discutido na análise do campo de pressão (Figura 4), através da direção da pista do ciclone. Como citado por Amorim e Nunes (2006), pode ser observado na Figura 10b que S-SE é a direção sensível às tempestades. Tanto no dia 07, quanto no dia 08, existem duas taxas de crescimento acentuadas de Hs, seguidas por um lento declínio. Essas taxas revelam ondas mais energéticas presentes na região. Fica clara a relação entre Hs e Tp na Figura 10, pois os dois parâmetros se acompanham em termos de evolução. No dia 08, dia em que o valor de Hs atinge seu ápice, o período de pico ultrapassa os 18 segundos (Figura 10c).



(a)



(b)



(c)

Figura 10: Séries temporais dos parâmetros médios de onda para o período entre 06/04/2009 e 11/04/2009 no ponto 44.42°W x 23.00°S: (a) Hs; (b) Dp; (c) Tp

Na Tabela 1 estão dispostos os valores médios de Hs, Dp e Tp relativos às séries temporais dos períodos de simulação, 10/01/2009 a 15/01/2009 e 06/04/2009 a 11/04/2009.

Tabela 1: Valores médios dos parâmetros médios de ondas obtidos a partir das simulações no ponto 44,42°W x 23,00°S

Data dos Eventos	Hs média (m)	Dp média (°)	Tp médio (s)
Janeiro/2009	0,1759	165,6257	8,2469
Abril/2009	0,7765	167,9297	11,8646

Pode ser notado (Tabela 1) que o valor médio de altura significativa durante o evento de ressaca foi, em torno de 4,4 vezes maior que na situação típica, o que indica uma grande variação entre os estados de mar de uma situação para outra. É visto também, que a direção predominante das ondulações que levam a maior quantidade de energia é praticamente a mesma em ambas as simulações, ~165° (SSE), a qual não apresentou relação com o estado de mar. Como era de se esperar, o período de pico médio foi maior quando ondas com maiores alturas estiveram presentes na região, sendo, aproximadamente, 3,5 segundos superior.

Conclusão

Os campos de pressão atmosférica ao nível do mar foram analisados a fim de observar os sistemas geradores das ondulações na Baía da Ilha Grande durante os períodos selecionados para o estudo, janeiro e abril de 2009. Tais campos foram suficientes para identificar a região em que as ondas foram geradas, uma vez que a presença dos sistemas ciclônico e anticiclônico foi claramente percebida.

As análises dos campos de onda e das séries temporais apresentaram relevante distinção entre as situações abordadas, com e sem ressaca. Sem eventos extremos, situação típica, ondas com pouca energia adentram a Baía da Ilha Grande sem causar qualquer tipo de dano. Por outro lado, na presença de ressacas, as ondulações atingem regiões que normalmente são preservadas da ação das ondas, podendo acarretar em impactos sobre estruturas costeiras. A oscilação da onda de maré exerce efeito no alcance da linha d'água, e no caso mais crítico, em que a ressaca ocorre com a maré de sizígia, a energia transportada pelas ondas pode trazer impactos ainda maiores sobre essas estruturas. Mesmo diante do cenário de ressaca, algumas partes da Baía da Ilha Grande não são afetadas, como por exemplo, a zona de sombra formada ao norte da Ilha.

A falta de dados oceanográficos no local escolhido para o desenvolvimento da presente pesquisa inviabilizou a realização de tratamentos estatísticos a fim de corroborar os resultados simulados pelo modelo WAVEWATCH III. Apesar disto, os valores dos parâmetros avaliados se mostraram coerentes com o que se pode esperar para região diante de situações extremas e de situações típicas, ressaltando a importância da utilização da modelagem numérica como mais uma ferramenta na previsão de eventos de ressaca.

Referências

ALVES, A. R. Correntes associadas à propagação de ondas longas. Aplicação ao canal da Baía da Ilha Grande (RJ). Anais Hidrográficos: Revista Anual da Diretoria de Hidrografia e Navegação, Niterói, RJ, Brasil, 2003.

AMORIM, H. B.; NUNES, W. H. Plano de Manejo da Estação Ecológica de Tamoios: Fase 1 Programa de Apoio a Gestão municipal, 2006. 242 p.

BASTOS, M. P. Avaliação do efeito da biodeposição da malacocultura sobre a comunidade bentônica na Baía da Ilha Grande: subsídio à sustentabilidade ambiental da maricultura no Estado do Rio de Janeiro. 2006. 156 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. Programa de Pós-graduação em Oceanografia. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. IOUSP, São Paulo, 2006. 156 p.

BASTOS, M. P.; CALLADO, C. H. (Org.). O ambiente da Ilha Grande. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro: UERJ-CEAD: Editora Imprinta Express, 2009. 562 p.

CAVALCANTE, S. L. S. Estudo da Influência da Dinâmica da Plataforma Continental nas Baías da Ilha Grande e Sepetiba Via Aninhamento de Modelo Numérico Costeiro a Modelo Numérico Oceânico. 2010. 129 p. Tese (Doutorado). - UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2010. 129 p.

CORREA, M. A. Análise das oscilações das correntes observadas na Baía da Ilha Grande (RJ). 1994. 116 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. 116 p.

FRAGOSO, M. R. Estudo numérico da circulação marinha da região das baías de Sepetiba e Ilha Grande (RJ). 1999. Dissertação (Mestrado) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. IOUSP, São Paulo, SP, Brasil, 1999.

KALNAY, et al. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., v. 77, p. 437-470, 1996.

MAHIQUES, M. M. Considerações sobre os sedimentos de superfície de fundo da Baía da Ilha Grande (RJ). 1987. Dissertação de (Mestrado) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico, USP. São Paulo, 1987.

MARTINS, F. C. Influência de Correntes na Plataforma Adjacente na Hidrodinâmica das Baías da Ilha Grande e Sepetiba, RJ. 2008. Dissertação de (Mestrado),- Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. RJ, Brasil, 2008.

MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: CUNHA, S.B. da; GUERRA, A.J.T. Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

SALLES, F. J. P.; BENTES, F. C. M.; SANTOS, J. A. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. 1 ed. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar – FEMAR, 2000.

SIGNORINI, S. R. A study of the circulation in bay of Ilha Grande and bay of Sepetiba. Part I: a survey of the circulation based on experimental field data. Bol. Inst. Oceanográfico, v. 29, n.1, p. 41-55, 1980a.

TOLMAN, H. L. User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III version 3.14. [s.l]: [sn], 2009. 194 p + appendices (NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 276”).