

OCORRÊNCIA DE VAGAS NO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO: CASO 24 DE OUTUBRO DE 1999

VALDIR INNOCENTINI, SIMONE C. S. CUNHA PRADO, CLAUDIO SOLANO PEREIRA,
FERNANDO OLIVEIRA ARANTES E INGRID NEVES BRANDÃO

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 – 12201- 970 São José dos Campos, SP

RESUMO

Nos dias 24, 25 e 26 de outubro de 1999, uma intensa agitação marítima atingiu a Região Norte do Brasil, destruindo parte das instalações que a Marinha do Brasil mantém nos Arquipélago de São Pedro e São Paulo em apoio ao Projeto Arquipélago. A ausência de ventos intensos locais e o período das ondas superior a 15 segundos evidenciam que a agitação se propagou de regiões bastante remotas. O evento foi causado pelo furacão Irene que, quando absorvido por um ciclone extratropical, se intensificou em altas latitudes, gerando uma vasta área com ventos intensos no Atlântico Norte que provocaram a formação de uma agitação marítima com ondas de grande porte. Neste artigo, os ventos de superfície da reanálise do NCEP são utilizados em um modelo numérico de ondas de terceira geração para examinar as condições que favoreceram a ocorrência destas ondas. As simulações numéricas mostram ondas sendo formadas no Atlântico Norte, propagando-se em direção sul, cruzando a linha equatorial, e alcançando o Norte do Brasil. Portanto, eventos deste tipo podem ser simulados por modelos numéricos, e então podem ser previstos com antecedência, possibilitando a divulgação de alertas.

Palavras-chave: Atlântico Tropical; Arquipélago S. Pedro/S. Paulo; Modelo de Ondas

ABSTRACT: SWELLS IN THE ARCHIPELAGO SÃO PEDRO AND SÃO PAULO : STUDY CASE OCTOBER 24-26, 1999

In the 24, 25 and 26 October, 1999 an intense marine agitation reached the Brazilian north coast, destroying part of the facilities that the Brazilian Navy maintains in the Archipelago São Pedro and São Paulo (ASPSP), in support to the project Archipelago. The event was caused by the hurricane Irene that was absorbed by a extratropical cyclone that dominated a vast area of the North Atlantic Ocean imposing strong winds and causing high swells. In this article, the winds obtained from NCEP reanalysis are used in a third generation numeric wave model to study the conditions that propitiated the occurrence of those sea waves. The results show that the waves that reached the north of the Brazil were well simulated by the numerical model and, therefore, events of this type can be forecasted in advance.

Key-words: Tropical Atlantic; Archipelago S.Pedro/S.Paulo; Sea waves model

1. INTRODUÇÃO

A agitação marítima observada no litoral brasileiro é altamente variável quanto aos fenômenos meteorológicos responsáveis por sua formação. Quanto ao regime de ondas incidentes, podemos classificar o litoral brasileiro em 4 regiões sucintamente descritas a seguir:

- Região Norte, do Amapá até aproximadamente Natal, no Rio Grande do Norte: as ondas incidentes são formadas pelos ventos de alísios e apresentam altura abaixo de 1-1,5 m em mar aberto. Eventualmente, chegam ondas com período de 15-20 s provenientes de tempestades formadas no extremo norte do Atlântico.
- Região Nordeste, de Natal até Vitória, no

Espírito Santo: é atingida por ondas que chegam geralmente de nordeste, formadas pelos ventos do flanco superior esquerdo do anticiclone subtropical do Atlântico Sul. Às vezes, esta região é exposta a pistas (“fetch”) enormes com ventos de sudeste formadas ao longo de frentes frias que se propagam ao largo do litoral. Ondas geradas no extremo sul da costa africana, às vezes, atingem esta região.

- Região Sudeste, de Vitória a Paranaguá, no Paraná: há uma transição entre a propagação de ondas de nordeste e aquelas formadas pelos ciclones extratropicais vindos do sul do País. Algumas vezes ciclones formados nesta região agitam a superfície do mar. Também ocorre de esta região ficar exposta a amplas e longas pistas, provenientes de ciclones que se intensificam no Atlântico Sul, com velocidades de vento

acima de 18 m.s^{-1} capazes de gerar ondas com altura significativa de 5 a 6 m em mar aberto. No litoral do Rio de Janeiro, devido a sua característica geográfica, ocorrem ressacas (1 ou 2 por ano) devido a ondas provenientes deste tipo de ciclone.

▪ Região Sul, de Paranaguá ao extremo Sul do País: também recebe ondas de nordeste, mas a influência dos ciclones é marcante durante todo o ano. Nos meses de inverno, os navegantes desta região e a população litorânea vivem em constante alerta. Devido à proximidade das pistas com o litoral, ocorre aumento do nível médio do mar provocado pelo empilhamento ("storm surge") em algumas áreas desta região.

Neste artigo, será apresentado um estudo da agitação marítima que atingiu a Região Norte no período 24-26 de outubro de 1999, devido à intensificação de um ciclone extratropical após encontrar um ciclone tropical (furacão).

A temporada dos furacões de 1999 foi bastante ativa no Atlântico, ocasionando muita destruição, prejuízos e acidentes fatais nas ilhas do Caribe e no litoral do Golfo do México. O furacão Irene deslocou-se em direção nordeste ao longo do litoral da costa leste da América do Norte, e fortaleceu um ciclone extratropical, provocando uma agitação marítima fantástica em latitudes acima de 40° N . As ondas propagaram-se por todo o Atlântico Norte e atingiram o Brasil. A mídia reportou a ocorrência de períodos de 20 s e altura acima de 3 m no litoral norte, em particular em Fortaleza, nos dias 24, 25 e 26 de outubro. O Diário do Nordeste de Fortaleza, em sua edição de 27 de outubro, trouxe a manchete: "Ressaca continua seu rastro de destruição". Sabe-se que o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (próximo a 0.5° N e 30° W) foi inundado pelas ondas durante, pelo menos, 2 dias, danificando vários equipamentos oceanográficos mantidos no local pela Marinha do Brasil (comunicação pessoal de Fábio Hazin, coordenador do Projeto Arquipélago). O farol foi o único ponto inatingível do arquipélago.

Neste trabalho, o evento será reconstituído por um modelo de ondas alimentado com dados de vento de superfície fornecidos pela reanálise do NCEP. O objetivo é testar a habilidade do modelo de ondas em reproduzir a propagação para o litoral norte, e verificar se o campo de vento contém informações suficientes para simular a intensa agitação marítima.

As discussões limitar-se-ão a uma análise especulativa e qualitativa. Embora não haja disponibilidade de dados de ondógrafos no Norte para comparar e avaliar os resultados dos modelos, observações de altura de

ondas extraídas de satélite poderiam ser utilizadas, mas esta tarefa será realizada em futuros estudos.

2. CICLONES TROPICAIS NO ATLÂNTICO NORTE EM 1999

Ciclones tropicais originam-se sobre o oceano ao longo da região dos ventos alísios quando a temperatura da superfície sofre uma elevação. São chamados de furacões no Atlântico, tufões no Pacífico e ciclones no Índico. No Atlântico, originam-se geralmente como tempestades tropicais nos cavados das ondas atmosféricas de leste, e adquirem a forma de intensos vórtices no setor oeste do oceano acompanhados dos mais intensos ventos que a natureza consegue sustentar por vários dias. A pressão em seu centro chega a exibir valores de 880 hPa com ventos de 100 m.s^{-1} .

Em baixos níveis, ocorre um fluxo de ar quente e úmido em forma ciclônica e espiralada para seu interior, onde se formam convecções com grande desenvolvimento vertical. Em altos níveis e próximos à tropopausa, os fluxos são para fora, formando uma espiral anticiclônica. Apresenta um movimento descendente em seu centro, denominado olho do furacão, caracterizado como uma região sem nuvens e com ventos bastante fracos. O fato de o ciclone se manter vertical, sem inclinação, é importante para manter a pressão baixa em níveis inferiores e os fluxos continuarem transportando ar quente e úmido, mantendo o ciclone ativo. Com o aumento do cisalhamento vertical do vento horizontal, o ciclone tende a enfraquecer.

A frequência de ocorrência dos ciclones no Atlântico é bastante variável de ano para ano, mas a maioria ocorre entre agosto e outubro, com pico em setembro.

Uma descrição da ocorrência e principais características dos furacões no Atlântico Norte de 1996 e 1997 podem ser encontradas em Pasch e Avila (1999) e Rappaport (1999), respectivamente. Ambos os artigos foram produzidos baseando-se no acompanhamento realizado pelo National Hurricane Center, nos Estados Unidos da América, onde são concentradas todas as informações relativas a este tipo de fenômeno. Nos 2 anos, pode-se observar que muitos ciclones adquirem um movimento em direção ao pólo, e depois para leste, em latitudes acima de $30 - 40 \text{ N}$, quando passam a apresentar características de ciclones extratropicais (ventos mais fracos, área maior e inclinação para oeste com a altura). Em 1996, o furacão Lili (de 14 - 27 de outubro) evoluiu para um ciclone extratropical que chegou a atingir a

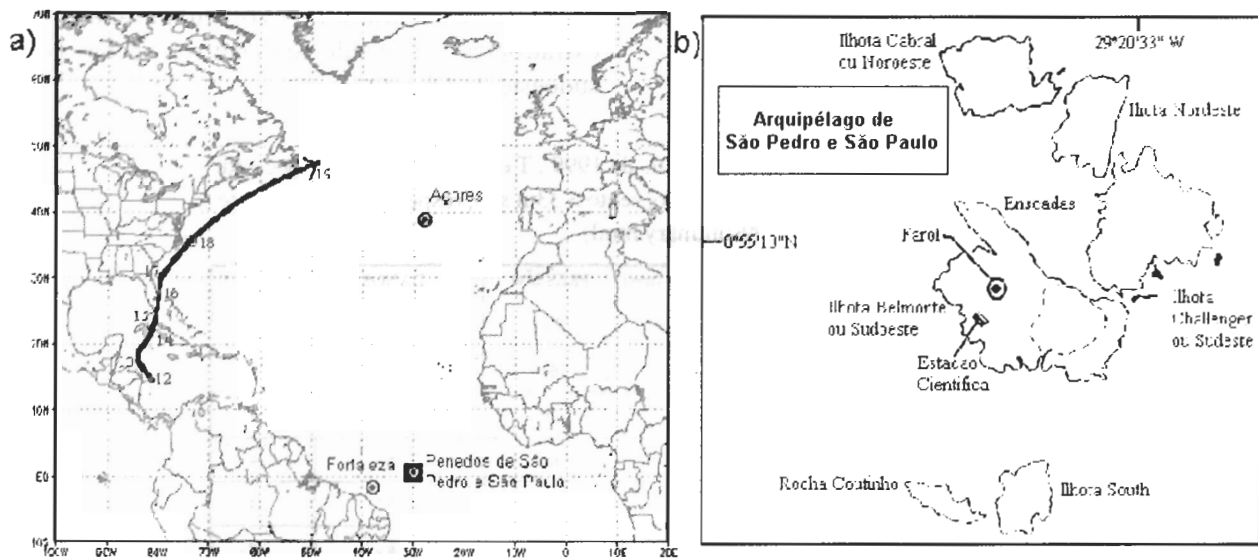


Figura 1: (a) Trajetória do ciclone tropical Irene de 12 a 19 de outubro de 1999 e (b) Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Os pontos assinalados em (a) indicam localizações cujo espectro de ondas é apresentado nas Figuras 4, 5 e 6.

3.2 - Características climatológicas da região

A confluência dos ventos de nordeste e sudeste, originados dos anticiclones subtropicais do Atlântico Norte e do Atlântico Sul, caracteriza uma região de baixa pressão atmosférica, de convecção profunda e alta nebulosidade, associada com altos índices pluviométricos. Esta estreita banda, com convergência de ventos alísios superficiais e de fluxo de umidade, espalha-se pela bacia oceânica inteira, com uma orientação SW para NE na sua maior parte, definindo a Zona de Confluência Intertropical (ZCIT) (Hastenrath, 1985). Esta ZCIT apresenta uma migração meridional sazonal a partir de uma posição aproximadamente equatorial, em fevereiro/março, para até 8°N, em agosto/setembro, no setor oeste do Atlântico, e de 14°N no setor leste (Hastenrath e Lamb, 1977). Este deslocamento meridional da ZCIT no Atlântico é o principal responsável pelo estabelecimento do regime de chuvas no arquipélago, ainda que este regime possa apresentar alguma influência de outros sistemas atmosféricos, como as ondas de leste, mas sem grande participação na variação média sazonal.

Desta forma, refletindo a migração e intensidade da ZCIT, a estação chuvosa no arquipélago está centrada em fevereiro/março, coincidindo com seu posicionamento mais ao sul, próximo ao equador, e com o enfraquecimento dos ventos alísios de SE e NE (de 3 a 4 m.s⁻¹, conforme Servain e Lukas, 1990). O início da migração para o norte da ZCIT, em abril/maio, está associada à intensificação dos ventos alísios de SE,

atingindo seu auge em agosto/setembro (de 5 a 7 m.s⁻¹, conforme Servain e Lukas, 1990), período característico da estação *seca* no arquipélago.

Sob a direta influência do sistema de ventos superficiais, a direção da corrente marítima e das ondas predominantes no arquipélago é de SE a NE.

Os campos médios de temperaturas tanto do ar próximo à superfície (Tar), como da superfície do mar (TSM) permanecem numa faixa estreita de variação, com valores de Tar mínimo de 25° C, máximo de 34° C, e de TSM igual a 27,5° C, no período de fevereiro/março, e de 26° C, no período agosto/setembro (Servain e Lukas, 1990).

Ainda que os padrões de variabilidade temporal da TSM, da localização da ZCIT e, conseqüentemente, da precipitação, possam apresentar escalas interanuais ou decadais de flutuações, o sinal sazonal é uma característica muito forte e preponderante do Oceano Atlântico Tropical (Blanke e Delecluse, 1993). É por essa razão que somente são citados os valores entre as duas estações extremas do ano (fevereiro/março e agosto/setembro) para caracterizar a faixa de variação dos campos de ventos, da localização da ZCIT e da TSM.

3.3 - O Evento de outubro de 1999

O evento oceanográfico ocorrido no arquipélago, objeto de análise deste trabalho, iniciou-se na madrugada de 24-10-99 e teve uma duração aproximada de 30 h, até a noite do dia 25-10-99. Vagas (swell) propagando-

se de NNW provocaram fortíssimas arrebentações contra os rochedos e uma elevação do nível do mar bem acima da variação normal do ciclo da maré, que é de 2,5 m de amplitude.

Para proteger a estação científica da incidência de ondas, cuja direção de propagação predominante é SE, foi construída uma estrutura de cimento no lado oeste da Ilha Sudoeste. Entretanto, contrariando as expectativas de que as ondas chegariam pelo lado frontal da Ilha Sudoeste, as ondas invadiram a enseada, propagando-se de NNW. Isto provocou a destruição de parte da infra-estrutura da estação científica, e de instrumentações instaladas na ilha, forçando os quatro pesquisadores que estavam no local a procurarem abrigo no ponto mais alto da ilha, onde se situa o farol (comunicação pessoal de Fábio Hazin).

As condições meteorológicas durante o evento eram absolutamente normais, com ventos leves, sem nebulosidade, e sem nenhuma indicação da existência de algum sistema atmosférico próximo que pudesse provocar tão intensa ressaca. Estas vagas atingiram também o Atol das Rocas, deixando-o totalmente submerso.

4. MODELO DE PREVISÃO DE AGITAÇÃO MARÍTIMA UTILIZADO

Para diagnosticar o estado da superfície do mar neste trabalho, poderiam ser utilizados diversos modelos numéricos, como o modelo de segunda geração (Innocentini e Caetano Neto, 1996) ou o modelo de terceira geração WAM-4 (Komen et al., 1994). Ambos têm sido empregados em vários estudos de casos (e. g., Porfírio da Rocha et al., 1998) e estão operacionalmente implementados nas previsões diárias do estado do mar conduzidas no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), em São José dos Campos (veja <http://www.atlasul.inpe.br>). Um estudo recente, confrontando os resultados destes modelos com observações para o Mar Mediterrâneo (Innocentini e Caetano Neto, 1999), mostrou que as diferenças entre eles eram insignificantes, sendo que, em certas ocasiões, ambos divergiam das observações. A conclusão foi que a deficiência maior estava nos valores no campo dos ventos. Entretanto, estes experimentos foram realizados para o Mediterrâneo, oceano fechado e de dimensões muito menores que o Atlântico, e provavelmente as vagas (swell) não desempenharam papel muito relevante na formação do espectro nos pontos onde as observações foram obtidas. Sabendo-se que a maior deficiência do modelo de

segunda geração, em relação ao de terceira, é no tratamento das vagas (The Swamp Group, 1985), e como, no caso apresentado, estamos interessados em reproduzir a propagação de vagas no Norte do Brasil, a utilização do modelo de terceira geração é recomendável. No momento, este trabalho poderia utilizar o modelo de terceira geração WAM-4 ou WWATCH. Uma série de experimentos, comparando os resultados destes modelos, está sendo realizada. No presente trabalho, utilizaremos o WWATCH com o objetivo de testar sua habilidade em reproduzir o fenômeno.

O WWATCH é um modelo de terceira geração utilizado operacionalmente no NCEP. Atualmente, está sendo testado no Navy Fleet Oceanographic Center (FNOC) e no The Corps of Engineers, através de comparações com o WAM-4 e observações. Basicamente, toda física do WWATCH segue o WAM-4, com algumas modificações na propagação, o que parece fornecer melhores resultados em simulações de vagas (Tolman, comunicação pessoal).

O modelo de ondas WWATCH está sendo desenvolvido no Ocean Modeling Branch do NCEP. É um modelo espectral de terceira geração, isto é, as interações não lineares de 4 componentes do espectro estão incorporadas. A equação básica utilizada é a de conservação de energia, escrita na forma

$$\frac{dE}{dt} = S_{in} + S_{nl} + S_{bot} + S_{ds}$$

onde:

S_{in} : fonte de energia fornecida pelo vento

S_{nl} : interações não lineares entre os membros que compõem o espectro

S_{ds} : dissipação tipo “whitecapping”

S_{bot} : dissipação devido ao fundo do oceano

Modelos de segunda e terceira geração são idênticos, exceto pela forma com que as interações não lineares são computadas. Neste trabalho, utilizamos a formulação apresentada em Tolman e Chalikov (1996) para os termos do lado direito da equação.

O domínio do modelo é constituído por uma grade regular com espaçamento de 1 grau sobre o Atlântico de 70°S a 70°N. A batimetria foi obtida trabalhando-se em um arquivo, cuja resolução é de 1/12°, capturado da área pública do site do NOAA (veja ngdc.noaa.gov/ngg/global/seldobo.html). Para construir a batimetria a ser utilizada nos experimentos, a profundidade em cada ponto foi obtida computando-se a média da profundidade dos pontos

que compõem um quadrado com 13 X 13 pontos, centrado no ponto em questão. O ângulo de separação entre 2 direções é de 15°, o que fornece 24 direções. As frequências são dadas por:

$$(0,04) \times (1,3)^{i-1}; i = 1, 2, \dots, 13.$$

Nos resultados das simulações, serão apresentados a altura significativa

$$H_s = 4\sqrt{E^*}$$

e o espectro em alguns pontos selecionados, a fim de se obter uma avaliação da distribuição da energia. Na equação acima, E^* é o espectro integrado em todas as direções e frequências,

5. SIMULAÇÃO DO CASO 24-26 DE OUTUBRO DE 1999

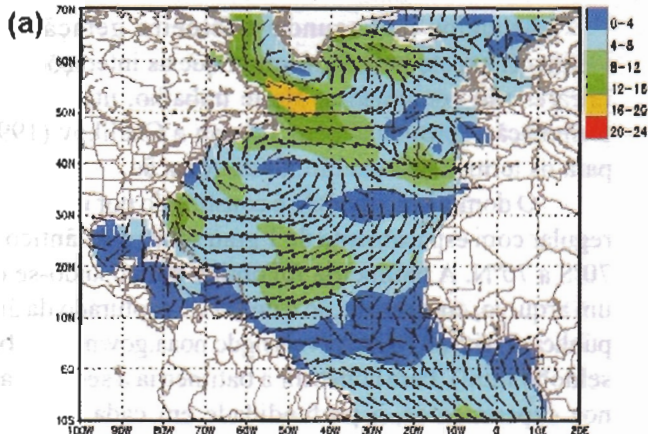
A trajetória do furacão Irene, de 12 a 19 de outubro, pode ser acompanhada na Figura 1a. No dia 15 de outubro, o furacão estava em 20°N - 80°W, próximo a Cuba. No dia 16, deslocou-se e alcançou a latitude 30°N ao norte da Flórida. O ciclone continuou deslocando-se para NE nos dias 17, 18 e 19.

A Figura 2a representa os ventos de superfície (10-m acima da superfície) de 17 de outubro 00 UTC, onde se pode inferir que o furacão estava posicionado ao largo da costa leste dos EUA, ao norte de Cuba. Nota-se um anticiclone a nordeste do furacão, e, no litoral norte do Canadá, um ciclone com ventos acima de 16 m.s⁻¹. Ambos desempenharam um papel importante no

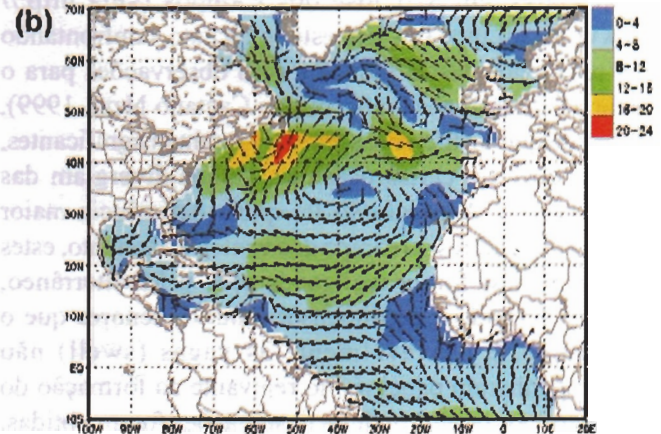
desenvolvimento da intensa agitação marítima. No dia 18 (figura omitida), o furacão avançou para nordeste ao longo do litoral, e o flanco superior do anticiclone se fortaleceu, apresentado velocidades acima de 12 m/s⁻¹, enquanto o ciclone extratropical se manteve na mesma posição. No dia 19, o furacão foi absorvido pelo flanco oeste do anticiclone que o empurrou em direção norte, conforme Figura 2b. Note que o ciclone extratropical continuou ao norte do Canadá, sem mostrar sinais de intensificação.

A partir do dia 20, o furacão deixou de existir, estando totalmente absorvido pelo ciclone extratropical. Os ventos de superfície estavam acima de 24 m/s⁻¹ em uma região muito vasta, formando ótimas condições para geração de ondas e propagação para sudeste, conforme mostra a Figura 2c. No dia 21, a região com ventos acima de 20 m/s⁻¹ dirigidos para sudeste abrangia uma área gigantesca, conforme Figura 2d. No dia 22 (figura omitida), os ventos continuavam soprando para SE em uma vasta área que atingia a Península Ibérica e o norte da África. A partir do dia 23, os ventos ainda estavam intensos, mas a área com ventos acima de 16 m/s⁻¹ se distanciava da costa, e os ventos mais intensos sopravam de NNW, conforme mostra a Figura 2e. Nesta figura, nota-se que, ao longo da trajetória unindo o ciclone e o norte do Brasil, não havia ventos fortes em sentido contrário a uma possível propagação de ondas para o sul. O anticiclone no centro do Atlântico Norte formava uma passarela pronta para conduzir agitações marítimas em direção sul. Nas próximas 24 e 48 horas, o ciclone se desintensifica, enquanto a pista se torna parte do flanco este do anticiclone subtropical e ainda permanecia ativa e com ventos soprando de norte, continuando a conduzir toda a energia gerada na superfície em direção ao equador.

VALIDO PARA : 17 OUT 1999 00Z (DOMINGO) previsão 48 h vento de superficie



VALIDO PARA : 19 OUT 1999 00Z (TERÇA) previsão 96 h vento de superficie



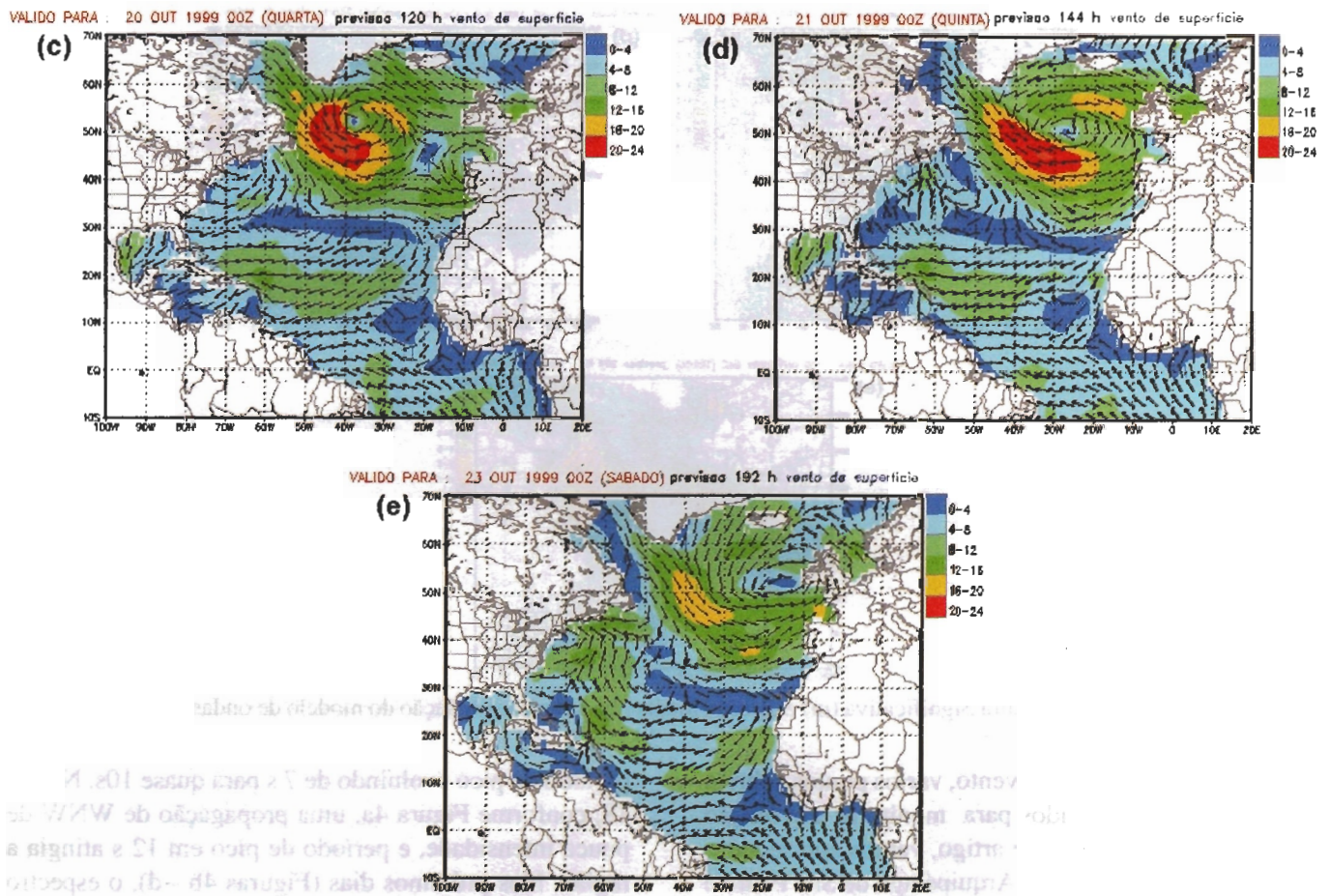
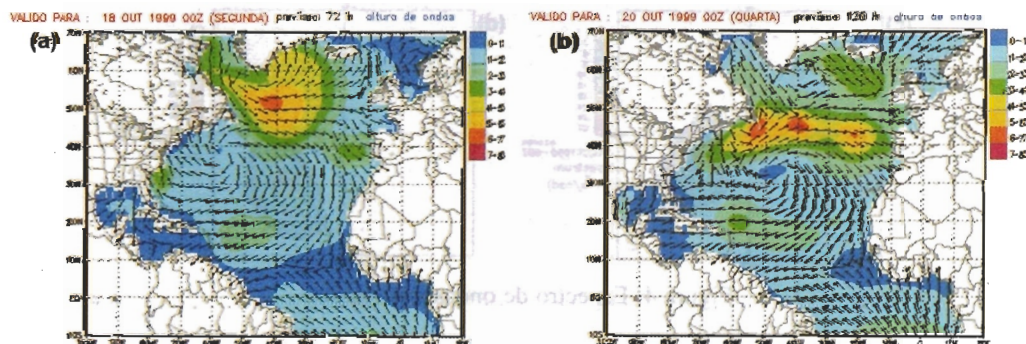


Figura 2. Ventos de superfície (10 m acima da superfície), em m/s^{-1} , fornecidos pela reanálise do NCEP.

A Figura 3a apresenta a altura significativa e direção média para o dia 18 de outubro de 1999, obtidas pela simulação do modelo de ondas WWATCH. Nota-se que havia uma região próximo à Flórida, nos EUA, com agitação marítima procedente do furacão Irene. A influência do anticiclone e do ciclone extratropical, evidentes na Figura 2, se faz notar na agitação marítima do dia 18. No dia 20, na região de confluência entre o anticiclone e o ciclone, desenvolveu-se uma intensa agitação marítima com núcleos de ondas acima de 5 metros, propagando-se para E ou NE, conforme Figura 3b. No dia 21, conforme Figura 3c, uma extensa região

com ondas acima de 11 metros estava presente no centro do Atlântico Norte. Nos dias 22 e 23, a área com ondas acima de 11 m se expandia, e uma região com ondas acima de 7 metros se aproximava da Península Ibérica (figura omitida). No dia 24, ocorreu uma diminuição da altura das ondas, mas a energia se espalhava pelo Atlântico Norte, conforme Figura 3d. Nota-se que ondas com altura acima de 2 m se aproximavam da região Norte do Brasil. No dia 26, a região com ondas acima de 2 m, propagando-se de sul, era bastante abrangente e atravessava a linha equatorial, segundo a Figura 3e.



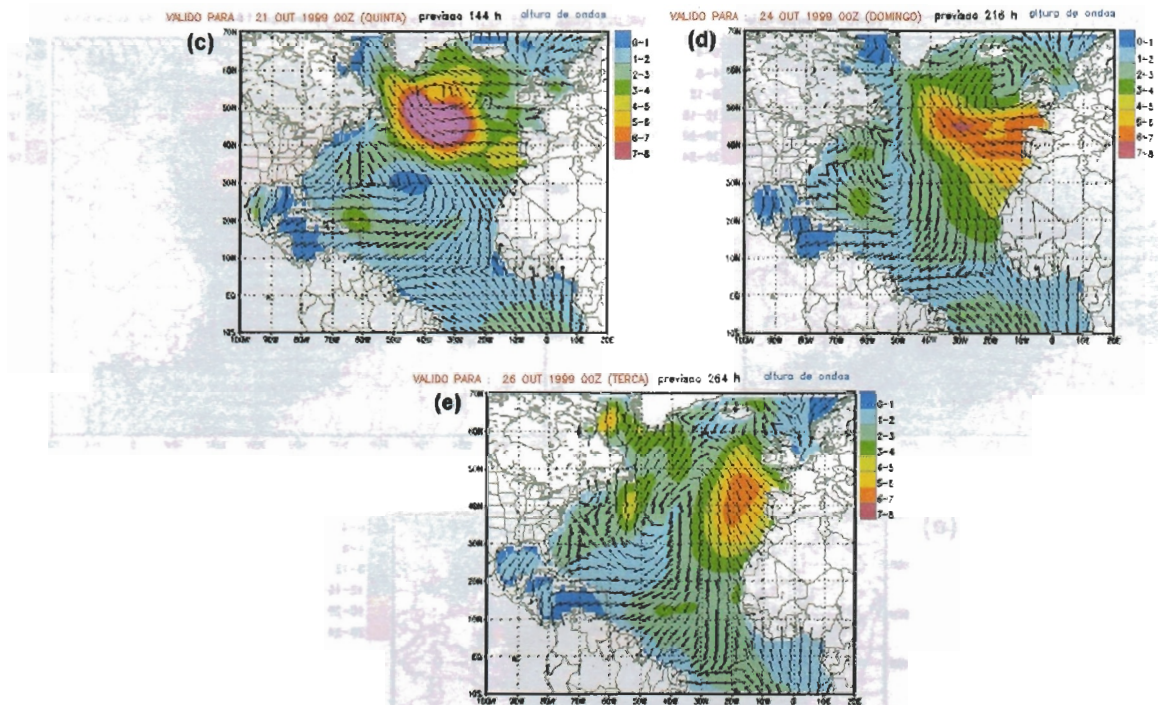


Figura 3 - Altura Significativa (m) e direção média obtidas pela simulação do modelo de ondas.

Na simulação deste evento, vários pontos sobre o oceano foram selecionados para monitorar a evolução do espectro de ondas. Neste artigo, vamos apresentar o espectro obtido em Açores, Arquipélago de São Pedro e São Paulo e Fortaleza, com localizações indicadas na Figura 1a.

A Figura 4 representa o espectro de ondas para Açores, em 18, 20, 21 e 22 de outubro de 1999 00 UTC. Os espectros anteriores ao dia 18 (figuras omitidas) apresentam energia propagando-se de N ou NNW com

período de pico evoluindo de 7 s para quase 10s. No dia 18, conforme Figura 4a, uma propagação de WNW de pouca intensidade, e período de pico em 12 s atingia a região. Nos próximos dias (Figuras 4b - d), o espectro evolui, apresentando máxima energia no dia 22, com período de 15 s. Esta localidade representa um ponto onde o espectro se formou, enquanto os outros dois pontos, descritos a seguir, receberam esta energia em forma de vagas, isto é, energia gerada em regiões remotas.

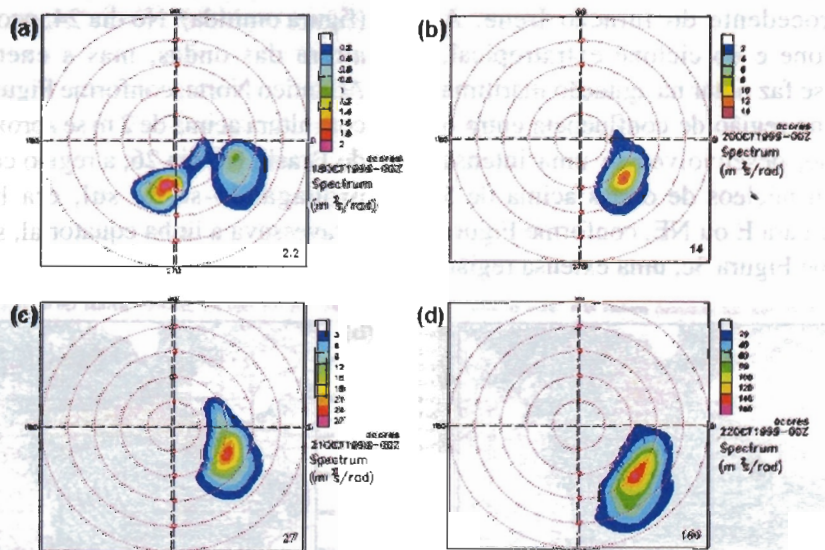


Figura 4: Espectro de ondas nos Açores

No Arquipélago de São Pedro e São Paulo antes do dia 22, o espectro de ondas mostra propagação de SE com período de pico em 10 s (figuras omitidas). A partir de 23 de outubro, alguma propagação de N ou NNW era recebida nesta localidade. A propagação intensificou-se nos próximos dias. No dia 25, a Figura 5a mostra

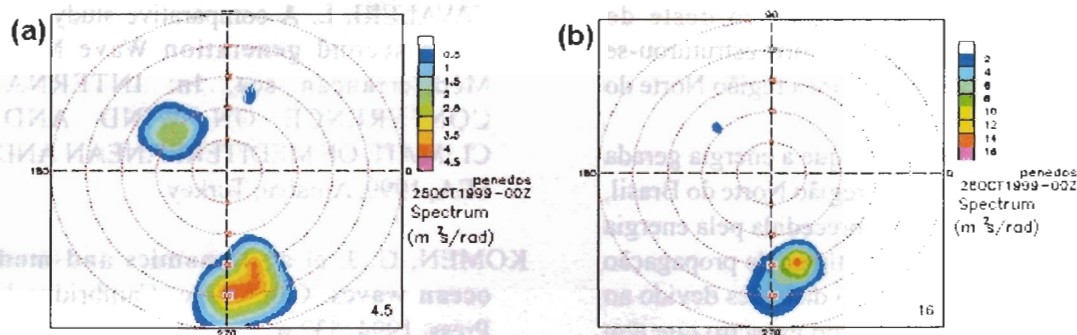


Figura 5: Espectro de ondas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo.

Em Fortaleza, similar ao que ocorreu no arquipélago, o espectro de ondas mostra energia propagando-se de ESE com período abaixo de 10 s antes do dia 23. No dia 23, alguma energia de NNE atingiu a região com pico em 10 s, conforme Figura 6a. A

propagação de norte atingiu esta localidade no dia 25, propagando-se de N com pico em 20 s (Figura 6b). A propagação máxima ocorre no dia 26, com energia em torno do período de 15 s, conforme Figura 6c.

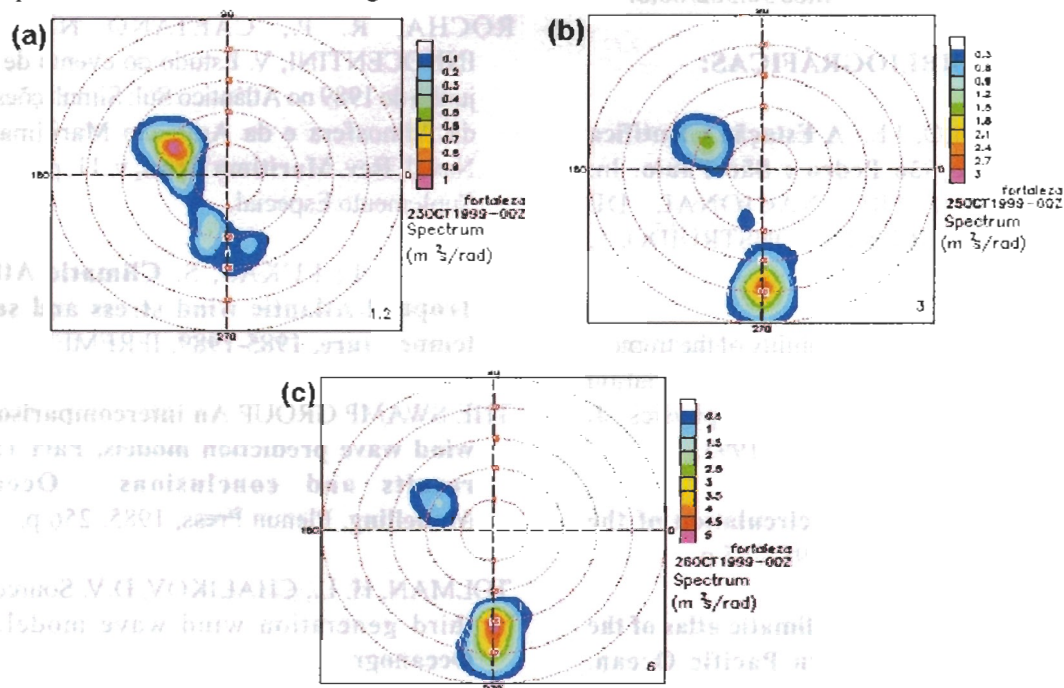


Figura 6 – Espectro de ondas em Fortaleza

6. CONCLUSÕES

As condições que propiciaram a propagação de ondas com período de pico em torno de 20 s, na região Norte do Brasil, foram geradas por um ciclone extratropical responsável por uma enorme e intensa pista

com ventos acima de $24 m/s^{-1}$. As ondas no Atlântico Norte atingiram alturas superiores a 14 m.

O ciclone extratropical evoluiu graças a uma combinação entre o ciclone tropical Irene, o anticiclone subtropical do Atlântico Norte e um ciclone extratropical no norte do Canadá. O anticiclone conduziu o ciclone

tropical Irene ao ciclone extratropical, que gerou uma imensa região com ventos acima de 24 m/s^{-1} .

Durante e após a geração de ondas gigantes no Atlântico Norte, os ventos entre a zona de geração e o litoral norte do Brasil não mostravam direção e intensidade que possibilitassem o desvio ou dissipação da energia que se propagava. O flanco oeste do anticiclone subtropical do Atlântico Norte estruturou-se de forma a facilitar a propagação para a região Norte do Brasil.

O espectro de ondas mostra que a energia gerada é máxima no período de 15 s. Na região Norte do Brasil, a chegada da energia em 15 s foi precedida pela energia em 20 s, mostrando uma situação típica de propagação de ondas geradas em regiões muito distantes devido ao desacoplamento das componentes do espectro que têm velocidades de grupo distintas.

7. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi realizada, graças ao apoio concedido pela FAPESP, auxílios 95/4573-5, 99/10012-7, e 99/10013-7, e pelo CNPq, auxílios 30.382/86.0.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALAVAREZ, C.E., MELO, J.E. **A Estação Científica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo**. In: ENCAC – ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, 1999, Fortaleza.
- BLANKE, B., DELECLUSE, P. Variability of the tropical Atlantic ocean simulated by a general circulation model with two different mixed-layer physics. **J. Phys. Oceanogr.**, v. 23, p. 1363-88, 1993.
- HASTENRATH, S. **Climate and circulation of the tropics**. Dordrecht: D. Reidel, 1985, 45 p.
- HASTENRATH, S., LAMB, P. J. **Climatic atlas of the tropical Atlantic and Eastern Pacific Ocean**. Madison: University of Wisconsin Press, 1977. 15 p.
- INNOCENTINI, V., CAETANO NETO, E. S. A case study of the 9 August 1988 South Atlantic Storm: Numerical simulations of the wave activity. **Wea. Forecast.**, v.11, p.78-88, 1996.
- INNOCENTINI, V., CAETANO NETO, E. S., CAVALERI, L. A comparative study of the WAM and a second generation Wave Model in the Mediterranean sea. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND AND WAVE CLIMATE OF MEDITERRANEAN AND BLACK SEA, 1999, Antalya, Turkey.
- KOMEN, G. J. et al. **Dynamics and modelling of ocean waves**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994, 532 p.
- PASCH, R. J., AVILA, L. A. Atlantic Hurricane Season of 1996. **Mon. Weath. Rev.**, v. 127, p. 581-610, 1999.
- RAPPAPORT, E. N. Atlantic Hurricane Season of 1997. **Mon. Wea. Rev.**, v. 127, p. 2012-26, 1999.
- ROCHA, R. P., CAETANO NETO, E. S., INNOCENTINI, V. Estudo do evento de 09 a 13 de junho de 1989 no Atlântico Sul: Simulações numéricas da Atmosfera e da Agitação Marítima. Pesquisa Naval, **Rev. Marítima Bras.**, v. 11, p. 279-97, 1998. Suplemento Especial.
- SERVAIN, J.; LUKAS, S. **Climatic Atlas of the Tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature, 1985-1989**. IFREMER, 1990, 133 p.
- THE SWAMP GROUP **An intercomparison study of wind wave prediction models, Part 1: principal results and conclusions**. Ocean Wave Modelling, Plenum Press, 1985. 256 p.
- TOLMAN, H. L., CHALIKOV, D.V. Source terms in a third generation wind wave model. **J. Phys. Oceanogr.**, v. 26, p. 2497-518, 1996.