

Estimativa dos cenários característicos de agitação marítima para a região oceânica do RS utilizando dados de reanálise do modelo WW3

Marco A. R. Romeu¹, José A. S. Fontoura², Elói Melo³, Guilherme Hammes⁴

¹Laboratório de Engenharia Costeira - FURG, Rio Grande, RS - mar7surf@hotmail.com

²Laboratório de Engenharia Costeira - FURG, Rio Grande, RS - josefontoura@furg.br

³Escola de Engenharia - FURG, Rio Grande, RS - melo.eloi@gmail.com

⁴Academico do Curso de Engenharia de Controle e Automação - UFSC, Florianópolis, SC - guihammes@gmail.com

RESUMO: Neste trabalho, utilizou-se o modelo de geração WW3 para reconstituir 30 anos de dados de agitação marítima da região oceânica Sul brasileira. Aplicando-se a rotina Wsplit do próprio modelo numérico aos espectros calculados, cada estado de mar foi decomposto nas suas componentes primárias e secundárias. Os histogramas de Altura e Período de ondas por direção de incidência destes 30 anos de dados evidenciaram dois sistemas de ondas bem característicos da região: vagas do quadrante Leste e ondulações do quadrante Sul. Para uma caracterização mais detalhada, os histogramas feitos a partir dos 30 anos de dados foram comparados com histogramas anuais no intuito de se identificar o ano que melhor representava a totalidade dos dados. Para o ano identificado, aplicou-se a técnica de agrupamentos e 6 cenários característicos de agitação marítima para a região Sul do estado do RS foram encontrados: (A) ondulação de Leste, (B) vagas de Leste, (C) vagas de Oeste, (D) vagas de Sul, (E) ondulação de Sul e (F) ondulação distante de Sudeste.

PALAVRAS-CHAVE: Regime de ondas, histogramas, análise de agrupamentos.

ABSTRACT: In this study, 30 years of sea state data reconstructed by means of the wave generation model WW3 for the oceanic area were used to investigate wave regimes in southern Brazil. By applying a splitting routine (WW3's Wsplit) to the spectra generated by WW3, each sea state was decomposed into its primary and secondary wave systems. Histograms of wave height and period against direction of incidence constructed for the 30 year period, showed that the region possesses two different characteristic wave systems: seas from the East quadrant and swell from the South quadrant. In a more detailed characterization, histograms constructed with 30 years of data were compared with annual histograms and the results were used to identify the year that best represented the totality of the data. For this representative year identified, the technique of clusters analysis was applied and six typical scenarios of wave system in the Southern RS state were found. (A) Easterly swell, (B) Easterly sea, (C) Westerly sea, (D) Southerly sea, (E) Southerly swell e (F) SouthEasterly ground swell.

KEY WORDS: System of wave, histograms, cluster analysis

1. INTRODUÇÃO

As ondas superficiais oceânicas são a principal fonte de energia para a zona costeira e, portanto, um bom conhecimento do clima de ondas num trecho de costa é condição primordial para o sucesso de projetos de engenharia que envolva o mar, a costa e estudos do ambiente costeiro. No entanto, informações sobre o regime de ondas são escassas e baseadas em campanhas de medições de curto período.

Porém, com a evolução dos modelos de geração de onda pelo vento, a previsão do estado de mar já é feita operacionalmente por varias instituições no nosso país, o modelo numérico normalmente utilizado é o Wave Watch III forçado com ventos obtidos via Internet do NCEP/NOAA. O WW3 é um modelo de domínio público com código aberto e acessível via Internet. Além disto, também já é possível obter dados pretéritos de ventos reanalisados, ou seja, ventos que já foram corrigidos por medições. Desta forma, além da previsão, este tipo de modelo pode ser usado para simular as condições do estado de mar de um longo período.

Com o objetivo de identificar os cenários característicos de agitação marítima para a região oceânica em questão, as condições do estado de mar foram reconstituídas para um período de 30 anos e utilizando-se de histogramas de altura e de período de onda por setor de direção de incidência das ondas e pela análise de agrupamentos pode-se estimar as principais características do clima de ondas da região.

2. METODOLOGIA

2.1 Reconstituição do Estado do Mar

O modelo de geração de ondas a ser utilizado no presente estudo é o modelo “Wave Watch 3”, (WW3) na versão 2.2, utilizado pela NCEP/NOAA americana cujo código, de domínio público, encontra-se acessível via internet. Uma descrição detalhada do modelo, incluindo suas equações e o método numérico utilizado, pode ser encontrada em Tolman [11]. Considerando a ausência de correntes (como no caso deste trabalho), o WW3 resolve a equação de conservação da densidade espectral de energia em termos do número de onda e da direção de onda como funções que variam lentamente no espaço e no tempo. Implicitamente, o modelo admite que as escalas espacial e temporal das ondas em si sejam muito menores que as escalas de variação correspondentes do espectro e das profundidades (e correntes, quando consideradas). Portanto, o WW3 (e todos os demais modelos de geração) determinam a evolução do Espectro Direcional do campo de ondas, o qual mostra como a energia presente na superfície do mar se distribui em termos de frequência e direção das componentes.

Os campos de vento utilizados foram obtidos diretamente do banco de dados de domínio público da NOAA via internet. Utilizou-se ventos de reanálise os quais são corrigidos a partir de dados medidos. O campo de ventos é fornecido com resolução espacial de 1.00° de latitude x 1.25° de longitude. O modelo WW3 foi executado em duas grades numéricas aninhadas, a primeira, uma grade global que usa o campo de ventos global para fazer previsões de onda igualmente globais, isto é em todos os oceanos da Terra com resolução de 1° x 1.25° e em uma grade local focalizando o Oceano Atlântico Sul com resolução de 0.25° x 0.25° .

A reconstituição do estado do mar foi iniciada no dia 1º de janeiro de 1979 e conduzida ininterruptamente até o dia 31 de dezembro de 2008, sendo o campo de ventos utilizado nos cálculos atualizado a cada 3 horas. Observa-se que o modelo WW3, versão 2.2,

foi executado com todos os seus parâmetros no modo padrão (“default”) o qual discretiza o espectro em 24 setores direcionais (i.e. $\Delta\theta = 15^\circ$) juntamente com batimetria ETOPO Melo [8]. A metodologia descrita acima possibilitou recriar (sem lacunas) as condições de agitação marítima ao largo por um período de 30 anos com resultados a cada 3 horas, totalizando 29225 saídas do modelo.

O local de obtenção dos dados de onda foi um ponto de grade da região oceânica do litoral Sul do Rio Grande do Sul em águas de aproximadamente 100 metros (figura 1), para esta profundidade a grande maioria das ondas ainda não está sendo afetada pelo fundo e, portanto, as características do campo de ondas ainda dependem quase que exclusivamente da ação dos ventos sobre o oceano. Como os sistemas atmosféricos que geram as ondas tem tipicamente dimensões da ordem de centenas de quilômetros é razoável supor que o estado de mar ao largo não apresente variações significativas nesta ordem de grandeza e que as características do mar encontradas para este único ponto também devem ser encontradas na maior parte da região ao largo do litoral do Rio Grande do Sul.

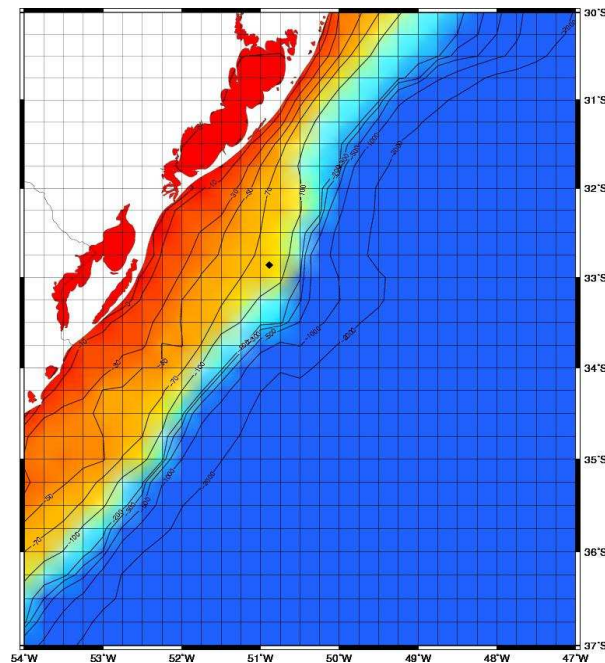


Figura 1 - Local de obtenção dos dados calculados pelo modelo WW3, (32°54'S; 50° 48' W), em águas de profundidade de aproximadamente 100 metros.

2.2 Comparação com medições de campo em Santa Catarina

O Laboratório de Hidráulica Marítima (LaHiMar) da UFSC realizou medições na costa de SC no período de 2002 a 2005, estas medições fizeram parte do Programa de Informação Costeira (PIC), que disponibilizava os dados em tempo real pela Internet. O instrumento utilizado nesse caso foi um ondógrafo direcional Datawell Waverider que ficou fundeado a 35 km da costa em águas cuja profundidade era de cerca de 80 m. Informações sobre o PIC podem ser encontradas em Melo [7] e Melo et al [9].

As figuras a seguir, extraídas da ref. [8] mostram, para um período de medições de cerca de 2 meses do ano de 2004, séries temporais dos 3 parâmetros básicos Hs, Tp e Dp, medidos pela bóia e obtidos da reconstituição feita pelo WW3 para um ponto próximo ao local de fundeio do ondógrafo em SC.

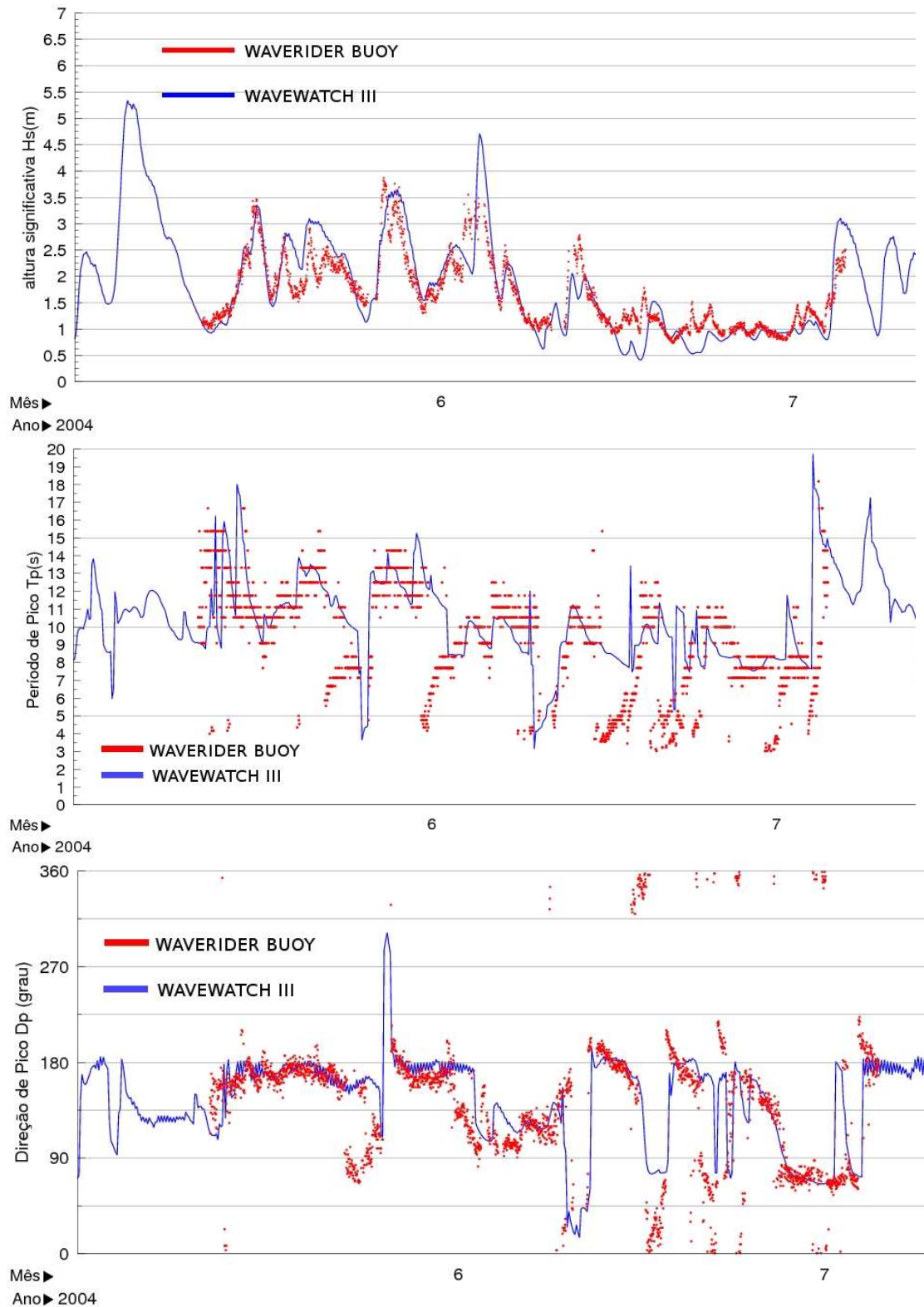


Figura 2 - Comparação de medições de H_s , T_p e D_p feitas pela bóia UFSC-PIC e resultados do modelo WW3 para Santa Catarina.

Uma análise estatística detalhada dos resultados do modelo *versus* medições de campo em SC feitas por Melo et al. [8] mostra que, de maneira geral o modelo WW3 conseguiu reproduzir razoavelmente bem os parâmetros medidos. Conforme mencionado em [8], o nível

de precisão da reconstituição é comparável a de outras similares encontradas na literatura, como, por exemplo: Lalbeharry [6], Tolman et al [12], Gorman et al [4], Janssen et al [5] e Bidlot et al [2]. Nas comparações feitas por Melo et al. [8], os resultados mostraram que o modelo, em média, tende a superestimar em cerca de 10% as observações de altura significativa do mar. Já o parâmetro período de pico foi bem estimado na modelação.

Num outro artigo a ser apresentado nesse Seminário, Melo et al. [10] comparam saídas do modelo WW3 (mesma reconstituição usada em SC) para um ponto ao largo do RS com medições de uma bóia oceanográfica do PNBÓIA fundeada no local, obtendo resultados bem similares aos de SC, acima apresentados. Portanto, ambos os trabalhos referendam a qualidade da reconstituição feita a partir do WW3 com ventos do banco de dados da NOAA.

2.3 Análise de Agrupamentos

Resumidamente, a análise de agrupamentos é um processo de partição de uma população heterogênea em vários subgrupos mais homogêneos. No agrupamento, não há classes pré-definidas, os elementos são agrupados de acordo com características estatísticas similares com base em critérios de seleção pré-estabelecidos.

A abordagem adotada nesta análise foi toda baseada no trabalho de Araujo et al [1], os grupos foram construídos a partir da técnica de Ward para conectar pontos similares, descrito em Bijnen [3] e também se utilizou o critério de Mahalanobis como medida de distância entre pontos.

3. RESULTADOS

A maneira mais utilizada para se apresentar as características estatísticas do clima de ondas de uma região é através das chamadas rosas de ondas: histogramas dos parâmetros básicos (Hs e Tp) por setor de direção (Dp) apresentados em coordenadas polares. Para a montagem dessas rosas, o estado de mar é representado por um único trio de parâmetros Hs, Tp e Dp, onde Hs corresponde a altura significativa calculada a partir de toda a energia presente no espectro, enquanto Tp e Dp são o período e a direção do pico mais energético do espectro (quando houver mais de um pico).

Inicialmente são mostradas as rosas de **Alturas Significativas** (em metros) e de **Períodos de Pico** (em segundos) para a totalidade dos 30 anos de dados. Todos os histogramas deste trabalho foram confeccionados com 24 setores direcionais (i.e. $\Delta\theta = 15^\circ$), mantendo a discretização original dos dados calculados pelo modelo WW3.

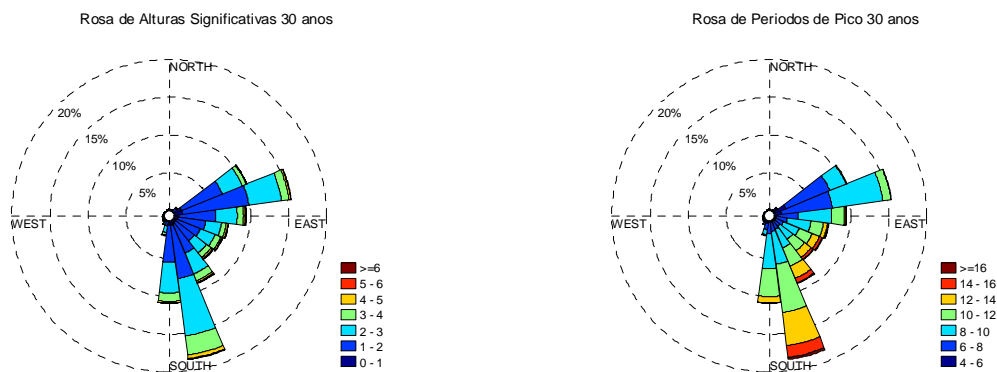


Figura 3 - Rosa de Alturas Significativas e de Períodos de Pico para os 30 anos de dados.

As duas rosas, de Hs e Tp mostram a existência de dois sistemas de ondas principais no clima de ondas local: ondas do quadrante Sul, as mais energéticas e frequentes, seguidas pelas ondas do quadrante Leste. A rosa de Tp indica claramente que as ondas do quadrante Sul têm períodos relativamente longos, acima de 10 s., típicos de ondulações, enquanto as do quadrante Leste tendem a ter períodos mais curtos, abaixo de 10 s., típicos de vagas.

Sabe-se que os ventos dominantes (em termos de porcentagem de ocorrência) são os de NE Tomazelli [13], sendo que os mais intensos são os do setor WSW Tomazelli [13]. As ondas do quadrante Leste que aparecem na rosa de ondas indicam uma correlação com os ventos de NE, portanto, pelo menos uma parte desse sistema de ondas deve ter geração local. Já a forte presença de ondas do quadrante Sul nas rosas de ondas indica que o grosso dessas ondas sejam ondulações geradas em latitudes mais altas, portanto, sem relação com o vento local. Já a direção WSW, que possui os ventos mais intensos na região está pouco representada no histograma, obviamente pela limitação de pista para essa direção causada pela presença do continente.

Em geral, no litoral do Rio Grande do Sul e na região Sul do Brasil, dois tipos de mar costumam estar presente simultaneamente. O que frequentemente ocorre são ondas geradas por vento local e ondulações geradas por tempestades longínquas, interferindo um sobre o outro, com predominância ora das vagas, ora das ondulações Wainer [14]. Esta sobreposição de mares caracteriza os mares bi-modais, de fato, medições feitas pela UFSC em Santa Catarina, Araujo et al [1] indicam a presença simultânea de vagas de NE e ondulações do quadrante Sul em pelo menos 30 % dos mares medidos, para estas condições, os marés secundários não podem ser desconsiderados, principalmente em estudos de processos litorâneos e/ou projetos de engenharia costeira.

Para melhor avaliar essa questão, incluiu-se na presente análise uma rotina de separação de “mares” (chamada WSplit) própria do modelo WW3. A rotina identifica picos independentes no espectro direcional e calcula, para cada pico, o trio de parâmetros: Hs, Tp e Dp correspondentes. Com esse procedimento foi possível separar vagas e ondulações ou mesmo diferentes ondulações que porventura estivessem presentes simultaneamente no mar.

Na confecção dessas rosas, os sistemas de ondas identificados foram considerados como independentes, o resultado das novas rosas de altura de onda e período feitos com os mares separados está mostrado nas figuras abaixo, porém foram desconsiderados os mares cuja a altura fosse menor do que 0.5 metros ou que o período fosse menor do que 4 segundos.

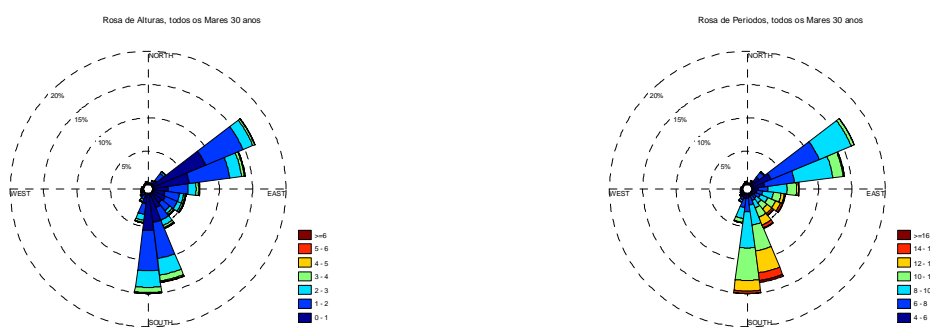


Figura 4 - Rosa de Altura e Períodos com separação para os 30 anos de dados (Jan/79 –Dez08).

Analisando-se as novas rosas de onda, pode-se verificar que a separação de mares reduziu a percentagem de ocorrências de mares do setor SSE e aumentou a percentagem de ocorrência de mares de S e de NEE. A separação mostrou, portanto, que uma parte dos mares de SSE na verdade continham mares secundários nos setores S e/ou NEE. Com isso, a rosa de ondas após a separação de mares passou a mostrar uma distribuição de ocorrências mais equilibrada entre os 2 setores de direção dominantes: S-SSE e NEE-ENE com percentuais de ocorrência de cerca de 30% cada.

Com a inclusão dos mares secundários, percebe-se que a altura de onda média no histograma diminuiu devido à redistribuição de altura de onda entre as direções, que pode ser visualizada pela mudança de cores nas rosas de altura de onda. De fato, a cor azul para alturas entre 0 e 1 metro passou a dominar o histograma.

As rosas de altura de onda e de período trazem informações importantes sobre o clima de ondas, porém para melhor classificar os estados de mar segundo suas características direcionais e de geração pode-se também recorrer à técnica de agrupamentos utilizada por Araujo et al [1] para medições realizadas em SC. No entanto, este tipo de análise exige um enorme esforço computacional, pois requer o cálculo de uma medida de similaridade entre os elementos a serem agrupados, o que impede a sua utilização para os 30 anos de dados.

Porém, a solução adotada foi identificar o ano que melhor representa a totalidade dos dados e assim como foi feito para as medições do ondógrafo em Santa Catarina aplicar esta técnica para um ano de dados. A análise de agrupamentos utiliza as informações de período e de direção das ondas para encontrar grupos similares, razão esta, que na comparação feita entre histogramas anuais e o histograma do total dos 30 anos de dados considerou-se apenas os histogramas de período por setor de direção.

De modo a permitir a comparação entre os histogramas, todos foram confeccionados com 24 setores de direção e 7 classes. Desta forma, foram calculadas matrizes equivalentes de desvio padrão das frequências relativas para cada histograma anual utilizando-se como referência o histograma dos 30 anos de dados, assim, a partir destas matrizes de desvio padrão pode-se determinar o desvio padrão médio anual.

Apresenta-se a seguir uma tabela com os valores de desvio padrão médio encontrados para cada um dos histogramas anuais, já com a indicação do ano que apresentou menor desvio padrão médio e o ano cujo o respectivo valor foi o maior encontrado.

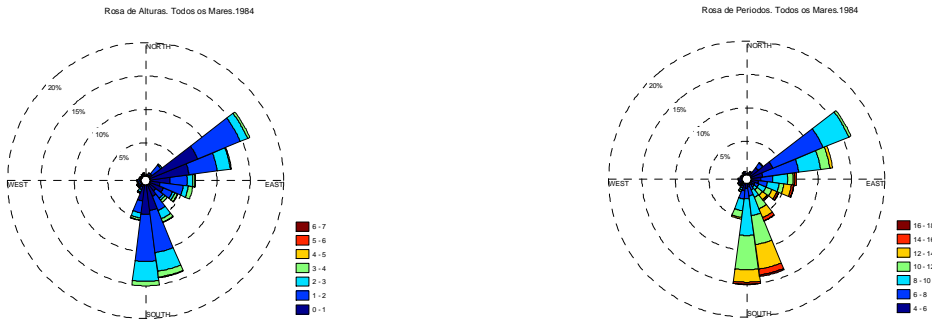
Tabela 1 - Valores de desvio padrão médio para as frequências relativas anuais.

Ano	Desvio médio Hist. Períodos
1979	0.0089
1980	0.0101
1981	0.0105
1982	0.0112
1983	0.0093
1984	0.0082
1985	0.009
1986	0.0103
1987	0.009
1988	0.0113
1989	0.0112
1990	0.0091

1991	0.0094
1992	0.0104
1993	0.0106
1994	0.0103
1995	0.0116
1996	0.0111
1997	0.0096
1998	0.0103
1999	0.0098
2000	0.0084
2001	0.01
2002	0.0101
2003	0.0106
2004	0.009
2005	0.0092
2006	0.0092
2007	0.0095
2008	0.0115

Apresentam-se a seguir as rosas de onda para o ano identificado (1984) e intencionalmente repetem-se as rosas de onda dos 30 anos com todos os mares para uma melhor comparação visual.

a)



b)

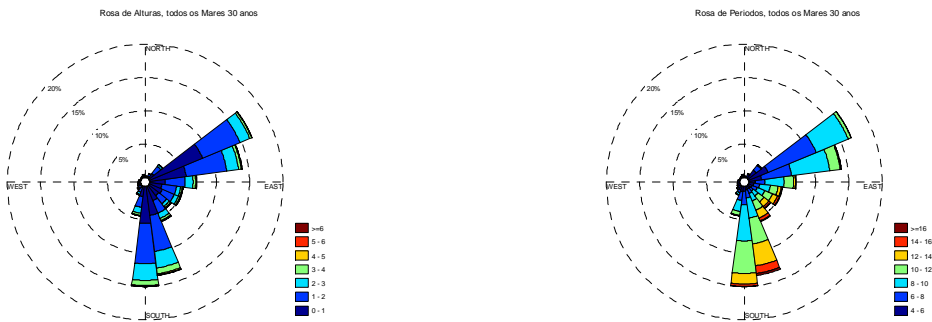
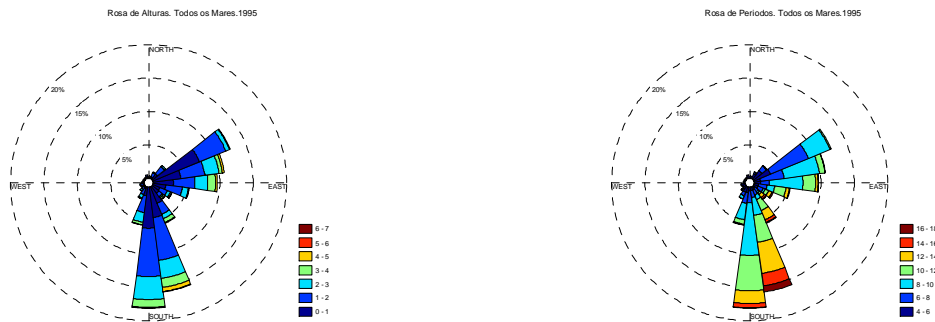


Figura 5 - Rosa de Períodos de Onda: a) para o ano de 1984 e b) para os 30 anos de dados.

A Similaridade entre os histogramas é evidente; percebe-se que os histogramas do ano de 1984 também apresentam uma distribuição de ocorrências equilibrada entre os 2 setores de direção dominantes com percentuais de ocorrência de cerca de 30% e com padrão de altura de ondas também bastante parecido com o observado para os 30 anos de dados.

Da mesma forma que foi possível identificar o ano que melhor representa os 30 anos de dados, também foi possível identificar o ano que apresentou o histograma com características mais divergentes, conforme pode ser visto na figura a seguir.

a)



b)

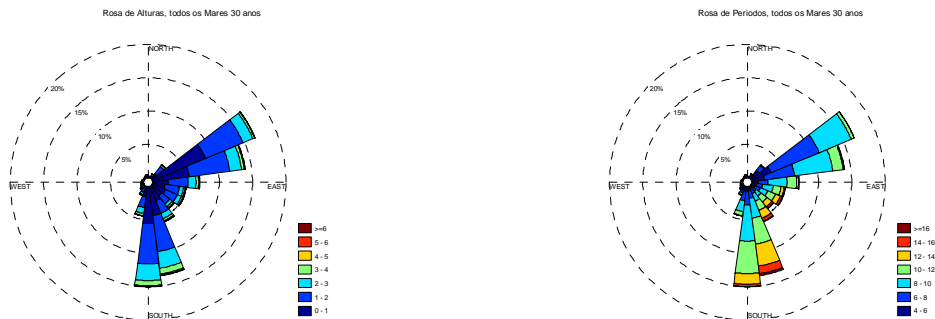


Figura 6 - Rosa de Períodos de Onda: a) para o ano de 1995 e b) para os 30 anos de dados.

Pode-se perceber que para o ano de 1995, a percentagem de ocorrências de mares do quadrante Sul foi bem maior do que para o quadrante Leste, mostrando um desequilíbrio entre estes dois setores, além disto, os mares de Sul mostram-se com a altura de onda média elevada e com períodos de onda maiores do que o observado nos histogramas da figura 5, o que realmente indica que este ano deve ter sido um ano atípico, principalmente pela diminuição das componentes de Leste-Nordeste no histograma, que são características da região.

3.1 Identificação dos cenários característicos

Com o ano de 1984 identificado entre os demais, pode-se então aplicar a técnica de agrupamento para um conjunto de cerca de 4000 pontos. O resultado da análise para 6 grupos (“clusters”) está mostrado na figura a seguir, onde: Norte=0° (↑) e Leste=90° (→).

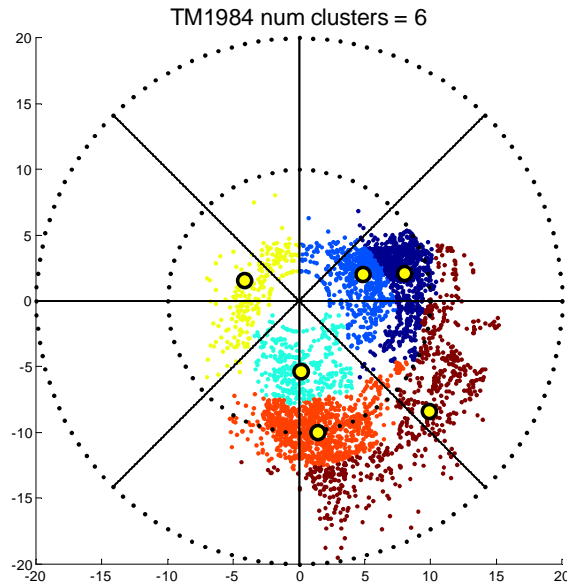


Figura 7 – Diagrama de dispersão de período por setor de incidência de onda com a identificação dos agrupamentos. Os círculos amarelos representam o centro de gravidade de cada agrupamento.

As novas informações fornecidas pela análise de agrupamentos, mais o que foi observado dos histogramas direcionais, juntamente com os resultados de Araújo et al. [1], nos permite sugerir a seguinte classificação para os cenários característicos de agitação marítima da região.

Tabela 2 – Mostra os cenários, tipos de mares, a posição do centro de gravidade em termos de direção e período e a percentagem de ocorrência de cada agrupamento.

Cenário	Tipo de Mar	Direção (°)	Período (s.)	% de ocorrência
A	Ondulação de ENE	75.5	8.3	25.8
B	Vagas de ENE	67.2	5.3	16.9
C	Vagas de W	290.4	4.4	5.6
D	Vagas de S	178.0	5.4	8.6
E	Ondulação de S	171.8	10.1	27.3
F	Ondulação de SE	130.3	13.0	15.8

É válido lembrar que em relação à porcentagem de ocorrência, os diferentes tipos de mares podem ocorrer simultaneamente.

Os cenários A e B parecem estar ligados entre si e aos persistentes ventos de ENE característicos da região. Sendo o cenário A uma evolução do cenário B, gerado com a intensificação dos ventos do quadrante Leste.

O cenário C, são ondas que se propagam do continente em direção ao alto mar, logo não tem impacto na praia. São geradas por ventos do quadrante Oeste, que normalmente ocorrem durante a passagem de uma frente fria. É interessante destacar que o modelo WW3 foi capaz de calcular a geração destas ondas devido à distancia existente entre a praia e o local de obtenção de dados.

O cenário D está relacionado aos ventos de Sul a Sudeste que ocorrem no litoral do Rio Grande do Sul, normalmente após a passagem de uma frente fria.

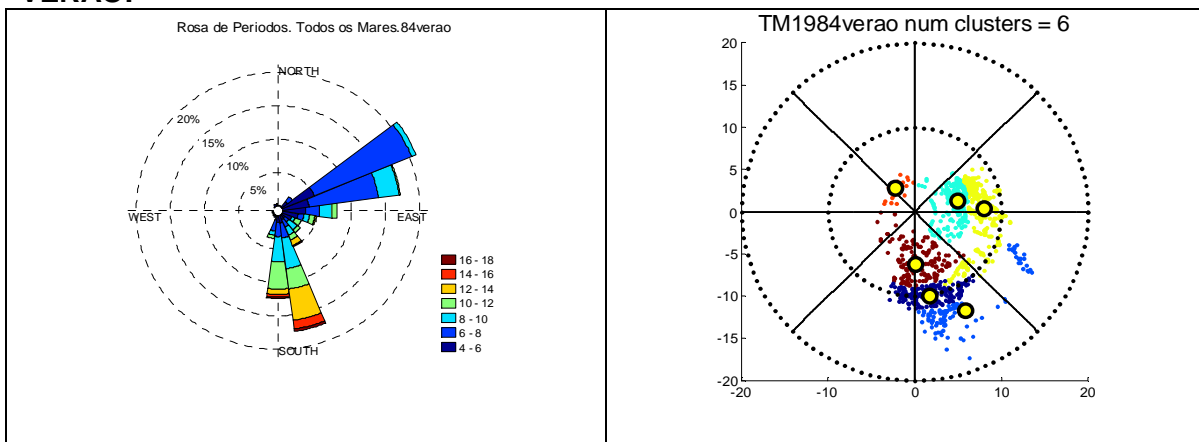
O cenário E são as ondulações geradas por ventos do quadrante Sul que ocorrem na região ao largo do litoral uruguaio e/ou argentino, normalmente associado à passagem de frentes frias pela região.

O cenário F corresponde a ondulações longínquas geradas em altas latitudes do oceano Atlântico.

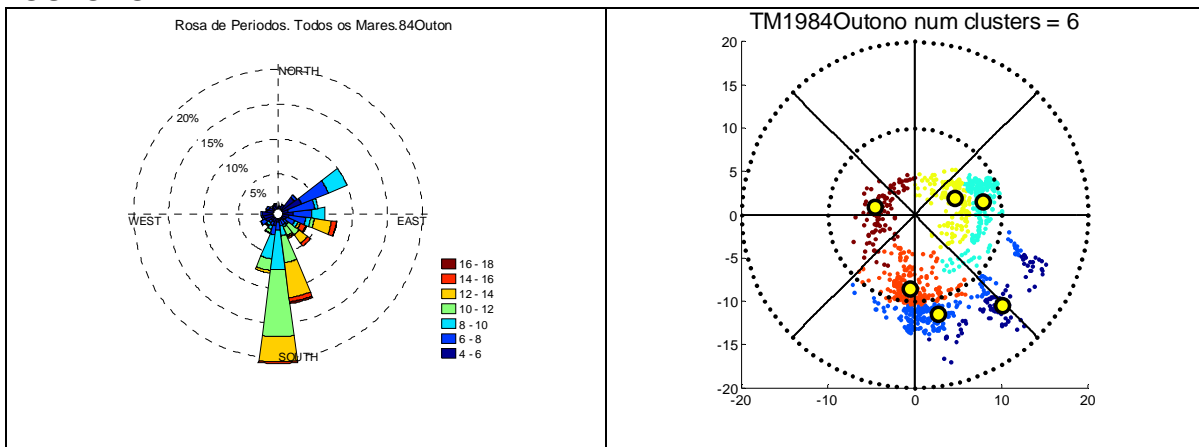
3.2 Características Sazonais

As características sazonais do clima de ondas para o ano de 1984 podem ser avaliadas pelas Rosas de Ondas e pelo diagrama de dispersão dos agrupamentos, mostrados a seguir:

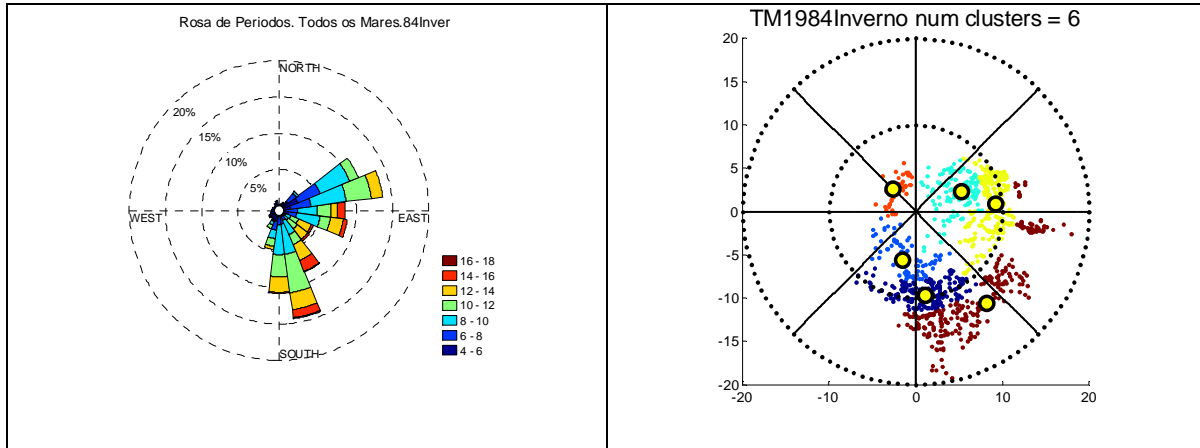
VERÃO:



OUTONO:



INVERNO:



PRIMAVERA:

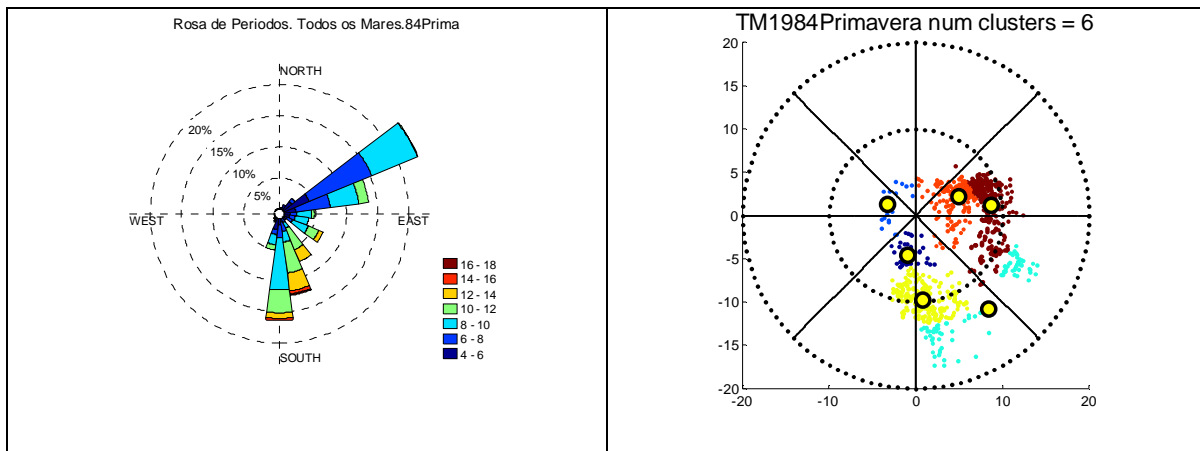


Figura 8 – Histogramas direcionais e Diagrama de dispersão com a identificação dos agrupamentos para as diferentes estações do ano. Os círculos amarelos representam o centro de gravidade de cada agrupamento.

Do ponto de vista sazonal, percebe-se que os grupos se mantiveram com estruturas semelhantes e com seus centros de gravidade em posições próximas as encontradas na análise anual, indicando que os seis cenários de agitação marítima identificados se fazem presentes nas quatro estações.

Percebe-se que as ondulações do quadrante Sul (cenário E) além de ocorrerem durante todo o ano são dominantes durante o outono e o inverno. No entanto, no inverno seu período de onda característico aumenta e o grupo se confunde com o do cenário F (das ondulações distantes de Sudeste) que também domina nesta estação junto com as ondulações de Sul.

Em relação aos cenários do quadrante Leste, estes predominam durante o verão e a primavera, com um número maior de ondulações de ENE (cenário A) na primavera e domínio das vagas de ENE (cenário B) no verão.

Pode-se perceber também que durante o inverno considerado, (ano de 1984), as ondulações superaram as vagas em todos os setores de direção, havendo períodos de ondas elevados não só de Sul e Sudeste, mas também do quadrante Leste.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, utilizou-se 30 anos de dados de onda calculados pelo modelo de geração WW3 utilizando ventos de reanálise com o objetivo de identificar os principais tipos de mares que ocorrem na região oceânica do Rio Grande do Sul. Devido à ocorrência de diferentes tipos de mares simultaneamente, utilizou-se da rotina Wsplit própria do modelo numérico WW3 para obter todos os mares secundários presentes em cada espectro calculado.

Inicialmente, a partir de histogramas direcionais, já com os mares separados, foi possível perceber um equilíbrio entre dois setores de direções dominantes; S-SSE e NEE-ENE com percentuais de ocorrência de cerca de 30% cada. Com um maior número de ocorrência de vagas do quadrante Leste e ondulações do quadrante Sul.

Para classificar os estados de mar segundo suas características direcionais e de geração pode-se também utilizar a análise de agrupamentos. Devido à impossibilidade de aplicar esta técnica para os 30 anos de dados, identificou-se o ano que melhor representa a totalidade dos dados. Os resultados da aplicação da análise de agrupamentos para seis grupos, junto com as informações obtidas dos histogramas permitiram propor a seguinte classificação para os seis tipos de mares da região: (A) ondulação de Leste, (B) vagas de Leste, (C) vagas de Oeste, (D) vagas de Sul, (E) ondulação de Sul e (F) ondulação distante de Sudeste.

Utilizou-se os dados do ano identificado para uma análise sazonal que mostrou que os cenários identificados se mantêm presentes nas quatro estações, além disto, as ondulações de Sul são dominantes durante o outono e o inverno. No entanto, os cenários do quadrante Leste, (Ondulação de ENE e vagas de ENE), predominam durante o verão e a primavera, com domínio das ondulações durante a primavera e de vagas durante o verão.

Como sugestão para trabalhos futuros, poder-se-ia realizar a análise sazonal, da mesma forma como se procedeu para a análise anual, ou seja, separando-se os dados de cada estação para todos os anos modelados, de modo a poder se identificar os anos que possuem a estação que melhor representa a totalidade de dados de uma determinada estação do ano.

5. REFERÊNCIAS

1. ARAUJO, C.E S.; FRANCO, D.; MELO, E.; PIMENTA, F.M. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. COPEDEC VI. 2003, Paper No. 097, 15 pp – Colombo, Sri Lanka.
2. BIDLOT, J-R; HOLMES, D.J.; WITTMAN, P.A.; LALBEHARRY, R. & CHEN, H.S. Intercomparison of the Performance of Operational Ocean Wave Forecasting Systems with Buoy Data; 2002. Weather and Forecasting, 17, 287-310.
3. BIJNEN, E.J. Cluster analysis: Survey and evaluation techniques. Tilburg Studies on Sociology, Vol. 1. 1973. Institute for Labour Studies of the Tilburg School of Economics, Social Sciences and Law.
4. GORMAN, R.M.; BRYAN, K.R. & LAING, A.K. Wave hindcast for the New Zealand region: nearshore validation and coastal wave data; New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 2003. Vol. 37, 567-588.
5. JANSSEN, P.A.E.M.; HANSEN, B. & BILDOT, J-R. Verification of the ECMWF wave forecasting system against buoy and altimeter data. 1997. Weather and Forecasting, 12, (4), 763-784.

6. LALBEHARRY, R. Evaluation of the CMC Regional Wave Forecasting System against Buoy Data; 2001. Atmosphere-Ocean 40 (1), 1-20.
7. MELO, E. Programa de Informação Costeira On line: Um balanço dos primeiros dois anos de funcionamento. 1º. Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. 2004. SEMENGO, FURG, Rio Grande, pp 25.
8. MELO, E.; HAMMES, G.R.; FRANCO, D.; ROMEU, M.A.R. Avaliação de Desempenho do modelo WW3 em Santa Catarina. 3º. Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. 2008. SEMENGO, FURG, Rio Grande, pp 20.
9. MELO, E.; PIMENTA, F.M.; MENDES, D.A.R.; HAMMES, G.R.; ARAUJO, C.E.; FRANCO, D.; ALVES, J.H.G.M.; BARLETTA, R.C.; SOUTO, A.M.C.; CASTELÃO, G.P.; PEREIRA, N.C. & BRANCO, F.V. A real time, on-line coastal information program in Brazil Proc. Of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka, Paper No. 104; pp 14, 2003.
10. MELO, E; ROMEU, M.A.R. & HAMMES, G.R. Condições Extremas de Agitação Marítima ao largo de Rio Grande a partir do modelo WW3. 4º. Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. 2010. SEMENGO, FURG, Rio Grande, pp 20
11. TOLMAN, H.L. User manual and system documentation of wave-watch III version 2.22. NOAA/NWS/NCEP/OB Tech. 2002. Note 222, 130 pp.
12. TOLMAN, H.L.; BALASUBRAMANYAN. B.; BURROUGHS, L.D.; CHALIKOV, D. V.; CHAO, Y.Y.; Chen, H.S & GERALD, V.M. (2002) Development and implementation os wind-generated ocean surface models at NCEP; Weather and Forecasting, 17, 311-333.
13. TOMAZELLI, L.J. O regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. 1993. Pesquisas. Porto alegre, 20(1): 18-26.
14. WAINER, I.J. Relatório Técnico – Análise e Previsão das Alturas de Onda em Tramandai. UFRGS, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, IPH. 1963. Porto Alegre. 30p.