

45 mm

## SIMULAÇÕES DE ONDAS OCEÂNICAS EXTREMAS PARA A CIDADE DO RIO DE JANEIRO, BRASIL.

**Eduardo Bulhoes**<sup>1</sup>

eduardomrbulhoes@mac.com

<sup>1</sup> Laboratório de Geografia Física. Universidade Federal Fluminense.

Rua José do Patrocínio, 71. Centro. Campos dos Goytacazes. RJ.

**Resumo.** Ondas de tempestade são fundamentais na configuração atual da linha de costa não somente como agentes erosivos poderosos mas também como modeladores do relevo na escala dos depósitos transgressivos que hoje apoiam as praias oceânicas da cidade do Rio de Janeiro. Os valores estatisticamente extremos para o Atlântico Sul foram simulados para o litoral carioca no contexto da onda retorno e do vento retorno em 100 anos. Os resultados gerados pelo modelo Mike21 Spectral Waves, para três direções distintas, permitiram elevar as ondas de tempestade a um patamar médio 35% superior ao que atualmente aparece como tempestade excepcional. Além disto foi permitido localizar os setores do litoral mais expostos a estes efeitos de ondas de tempestade.

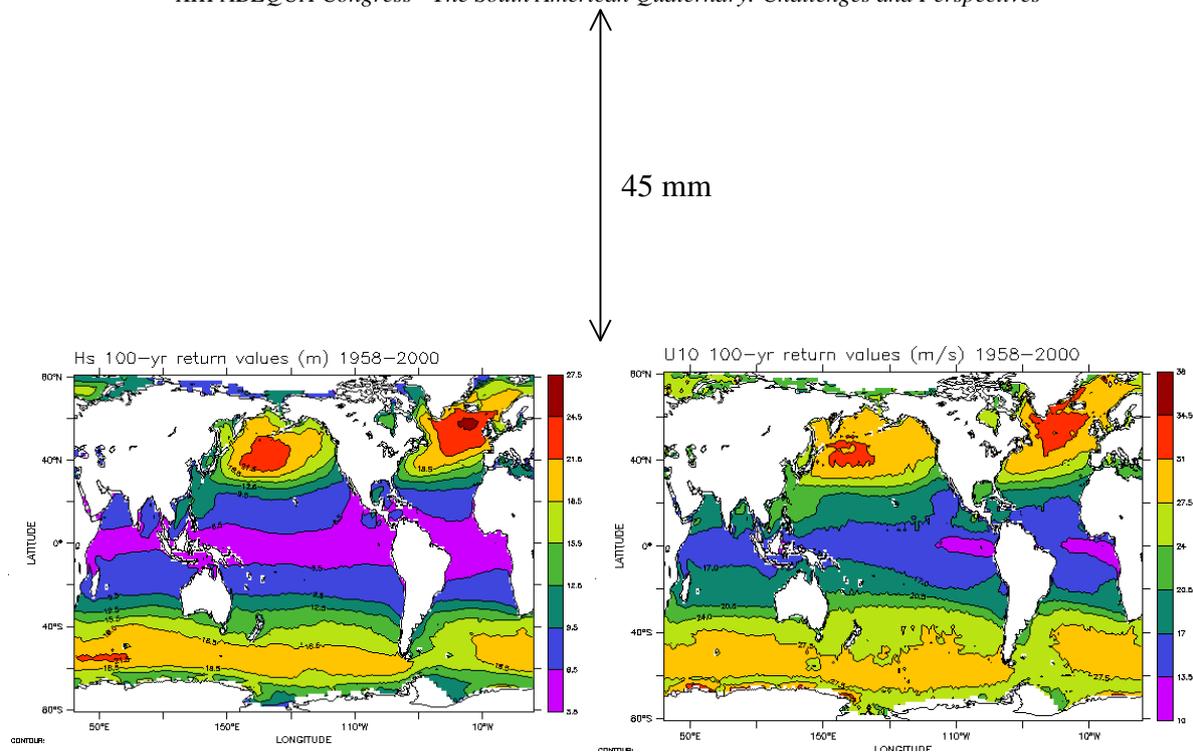
**Palavras-chave:** Onda retorno em 100 anos, Costa do Rio de Janeiro, Modelo de Refração de Ondas.

### 1. INTRODUÇÃO

Os estudos em clima de ondas são normalmente elaborados através de estatísticas globais e regionais de dados atmosféricos modelados em campos de ventos sobre os oceanos.

Padronizações e trabalhos de longo termo foram elaborados por instituições como a Organização Meteorológica Mundial (WMO) e o Centro Europeu de Previsão do Tempo em Média Escala (ECMWF). Este último destaca-se pelo trabalho com uma série histórica de 45 anos de dados de ondas no oceano global (Sterl & Caires, 2005), publicado na forma de um atlas. Segundo a WMO (1998) o conhecimento da climatologia de ondas para uma determinada área é importante para o estudos de dimensionamento, planejamento e operação de portos, marinas, estruturas de engenharia costeira, aquicultura, construção de plataformas e navios, erosão costeira, estimativas do transporte de sedimentos, estudos ambientais e para estimativas do potencial energético gerado por ondas.

Modelos estatísticos de ondas oferecem a vital vantagem da previsão e da projeção de cenários de ondas mais fortes no oceano. Dados gerados pelo KNMI/ERA-40 Wave Atlas para águas profundas, simulados para todo o litoral global estimam o valor da onda-retorno e do vento-retorno em 100 anos, utilizando para tal projeções com o modelo WAM (médias mensais, desvio padrão, quartis 90% e 99%, tempo anual de excedência a certos limites), o método estatístico POT (*Peak Over Threshold*) e ainda, correções lineares com os dados de bóias oceânicas e satélites visando excluir os efeitos de sub e sobre estimação dos valores de Altura Significativa de Ondas (Hs) e Período de Pico (Tp). As informações direcionadas para o Atlântico Sul podem ser visualizadas para as condições de Hs e U<sub>10</sub> (velocidade do vento à 10 m da superfície), respectivamente nas figuras a seguir.



Valores da Onda Retorno em 100 anos e do Vento Retorno em 100 anos para todo o oceano global. Fonte: The KNMI/ERA-40 Wave Atlas.

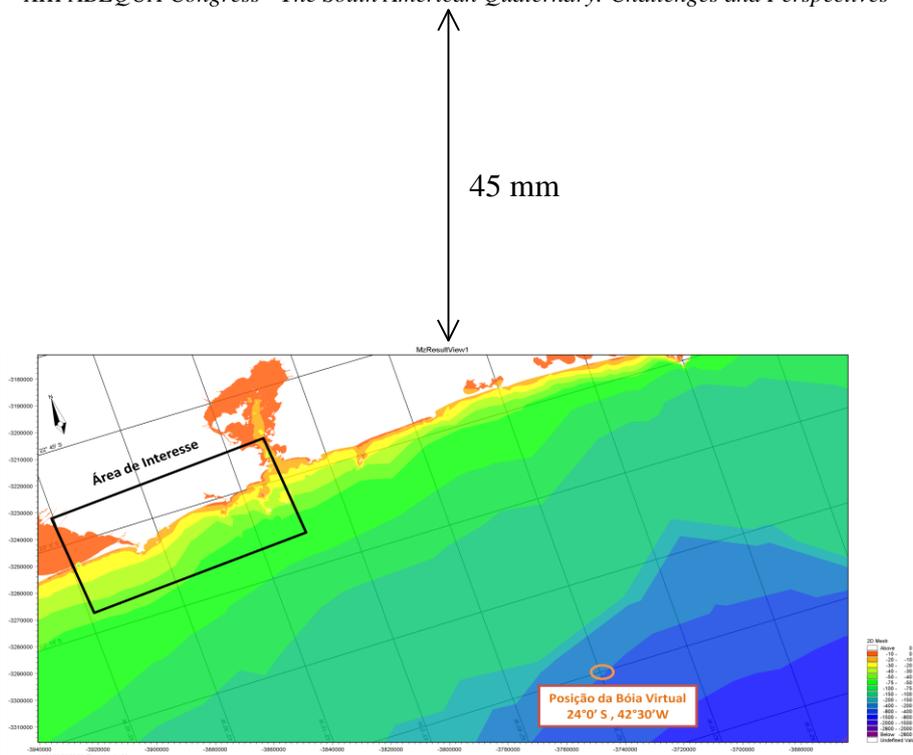
Para o litoral sudeste brasileiro podem-se extrair os valores entre 6,5 e 9,5 metros para Hs e os valores entre 17 e 23,5 m/s para U<sub>10</sub>. Este modelo não inclui a passagem de ciclones tropicais o que certamente projetaria estes valores de ventos para velocidades maiores resultando em Hs também maiores.

De acordo com o sugerido por Muehe e Neves (2008) são cada vez mais necessárias a elaboração de simulações e cenários para tempestades mais severas no oceano e a identificação de áreas mais ou menos vulneráveis aos efeitos de erosão costeira, transposição de ondas e inundação, pois o principal risco está associado a um aumento da magnitude e da frequência destes eventos extremos.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é simular três cenários distintos de ondas, utilizando os valores máximos das projeções estatísticas para o litoral sudeste brasileiro em vias de identificar a distribuição desta energia de ondas em pontos selecionados no litoral da cidade do Rio de Janeiro, Brasil. Adicionalmente foi feita uma comparação com um evento de tempestade forte que atingiu o litoral carioca, provocando supressão de faixa de areia e destruição de benfeitorias públicas na orla.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo estende-se entre a Ponta de Guaratiba (oeste) e a Ponta do Leme (leste) incluindo ainda a porção SW da Baía de Guanabara. A orientação geral desta porção da linha de costa é exposta frontalmente às ondas de tempestade do quadrante sul, mais especificamente entre as direções Su-Sudoeste e Su-Sudeste.



Na classificação proposta por Muehe (1998), a área de estudo está inserida no litoral sudeste brasileiro, no macro-compartimento dos Cordões Litorâneos. Tratam-se de estreitos e extensos cordões arenosos, que aparecem de forma dupla, de idade pleistocênica e holocênica com sua gênese associada às duas últimas transgressões marinhas. Não raro, os ambientes transgressivos se configuram através de mecanismos de transposição de ondas como o modelo já apresentado para este compartimento do litoral fluminense por Muehe, 1984. Adicionalmente, de acordo com Bulhoes, 2006 as praias desta porção do litoral são compostas por areias quartzozas médias, classificadas como intermediárias, com significativos ajustes de bancos arenosos na zona de surfe e sujeitas ao regime de micromaré.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - Batimetria

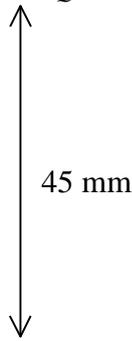
Inicialmente foram compiladas informações batimétricas a partir de sondagens elaboradas pela Marinha Brasileira na década de 80 e posteriores atualizações, dados estes disponibilizados na forma de Cartas Náuticas (CN) e Folhas de Bordo (FB), visando ser a base sobre a qual o modelo de ondas em águas rasas funciona.

#### 3.2 – Simulações de Ondas em Águas Rasas

Os efeitos de refração, difração (parametrizada), reflexão e interações hidrodinâmicas não lineares com correntes, interações do tipo onda-onda dentre outras são simuladas através do módulo SW (*Spectral Waves*) do pacote de modelagem *Mike21* do DHI (*Danish Hydraulic Institut*) versão 2009. O módulo SW é um modelo oceânico de terceira geração baseado em malhas irregulares. O modelo simula o crescimento, o decaimento e a transformação de ondas do tipo vagas e do tipo marulhos e resolve a equação do balanço de energia de ondas formuladas tanto no plano de coordenadas cartesianas quanto no plano esférico.

#### 3.3 – Condições de Ondas Simuladas

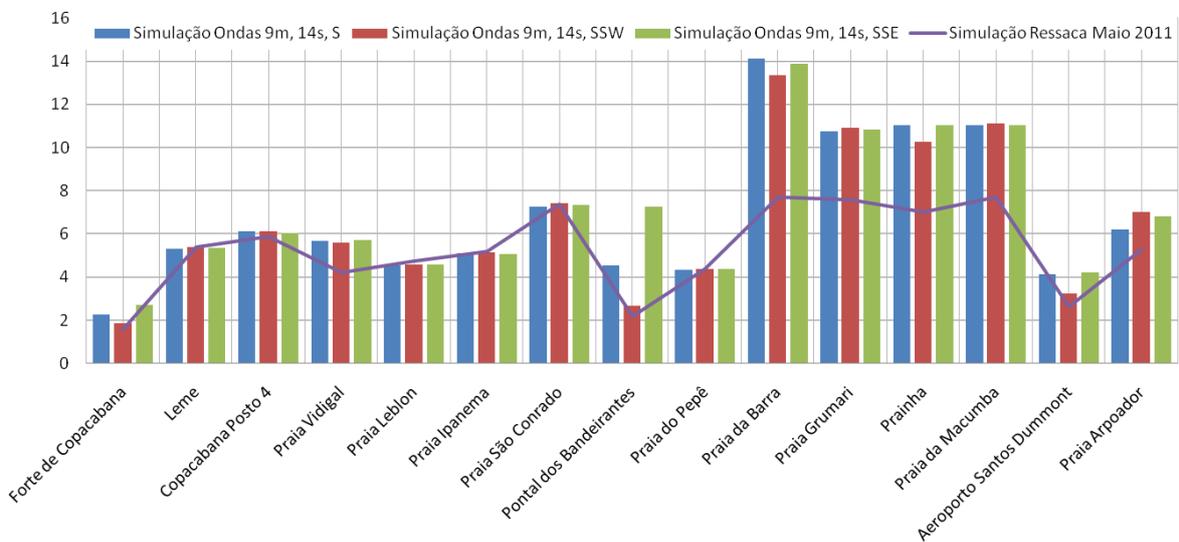
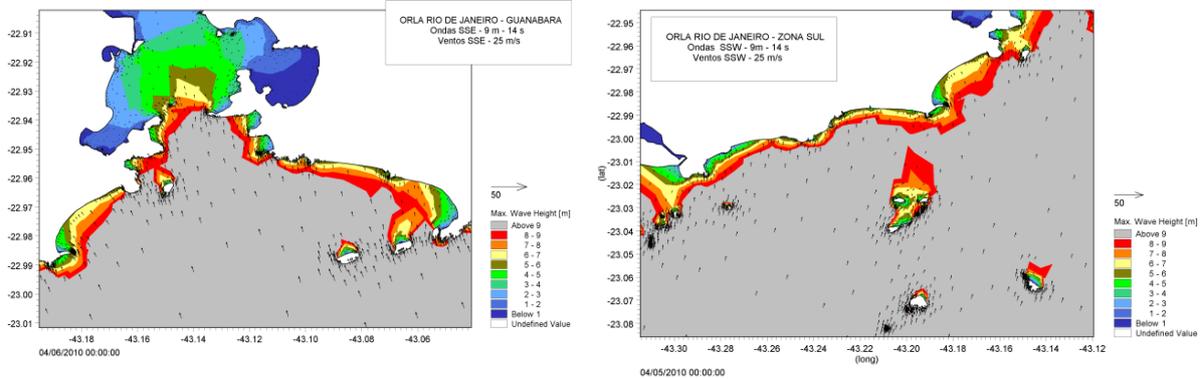
Foram simuladas para este estudo quatro condições distintas de ondas. Nas três primeiras foram utilizados os valores máximos projetados pelo ECMWF ( $H_s=9,5$  e  $U_{10}=23,5$  m/s). Outro dado em comum utilizado foi o período de pico ( $T_p$ ) de 14 segundos. As condições foram simuladas durante 24 horas para as direções Su-Sudoeste ( $202,5^\circ$ ), Sul ( $180^\circ$ ) e Su-Sudeste ( $157,5^\circ$ ) sendo estas as direções mais comuns de ondas de tempestade no

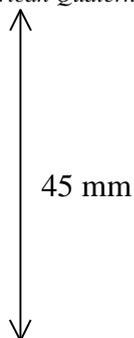


itoral do Rio de Janeiro. Para a simulação da ressaca que atingiu o litoral em questão nos últimos dias de maio de 2011 foram utilizados dados de ondas e ventos, simulados de três em três horas, entre as 00 hs do dia 28/05 e as 15 hs do dia 31/05. A altura significativa máxima de onda durante o evento atingiu 4.9 m, proveniente de Sul em intervalos de 11 segundos. Já os ventos, neste auge, sopravam com 12 m/s vindo de direção Oeste Sudoeste.

#### 4. RESULTADOS

Dos resultados, exemplificados nas figuras a seguir, foram extraídos valores de Altura Máxima de Ondas, além da Direção de Incidência e Desvio Padrão da Direção de Incidência, para quinze pontos representativos da orla de estudada. Estes valores foram comparados com os obtidos a partir da simulação do evento maio de 2011 e os resultados estão no gráfico subsequente.





## 5. CONCLUSÕES

- As variações direcionais nas simulações utilizadas neste estudo, intervalos de 22,5°, se mostraram diagnósticas de alterações nos padrões direcionais das frentes de ondas que expõem determinadas áreas e protegem outras de ondas extremas, através dos parâmetros de altura máxima de ondas; direção de ondas e desvio padrão da direção.
- A altura máxima de ondas pode atingir 11 metros nas áreas mais expostas do litoral carioca. Os valores médios da altura máxima de ondas, sob o efeito da onda retorno, são superiores ao padrão atual em 34% para ondas de Sul, 22% para SSW e 35% para SSE.
- Para ondas extremas vindas de Sul têm se exposição dos segmentos; Copacabana, Posto 4 e Posto 5; Arpoador (toda a faixa murada); Leblon (posto 11 e até a extremidade oeste); Joatinga; Barra Posto 4, Posto 8; Praia da Macumba, Prainha e a porção central da praia de Grumari. Os efeitos seriam supressão total da faixa de areia e destruição de estruturas posicionadas na orla.
- As variações de direção e intensidade de vento de tempestade, somadas às alturas máximas de ondas podem intensificar os efeitos em alguns segmentos da linha de costa, estas condições têm sido simuladas e serão consideradas em nova publicação.

## 6. REFERÊNCIAS

- Bulhoes, E., 2006. Condições Morfodinâmicas Associadas a Riscos aos Banhistas. Contribuição à Segurança nas Praias Oceânicas da Cidade do Rio de Janeiro, RJ. *Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ*. Rio de Janeiro, 92 p. e anexos.
- Muehe, D., 1984. Evidências de Recuo dos Cordões Litorâneos em Direção ao Continente no Litoral do Rio de Janeiro. In: Lacerda *et al.* (orgs.) *Restingas: origem, estrutura, processos*. Anais do Simpósio sobre Restingas Brasileiras. UFF. Niterói, 10-14 dezembro 1984. p. 75-80.
- Muehe, D., 1998. O Litoral Brasileiro e sua Compartimentação. In: Guerra, A. J. T. & Cunha, S.B. (org). *Geomorfologia do Brasil*. Cap. 7. Ed. Bertrand Brasil
- Muehe, D e Neves, C.F., 2008. Impactos Possíveis da Elevação do Nível do Mar e Eventos Climáticos Extremos na Cidade do Rio de Janeiro. In: Gusmão, P.P; Carmo, P.S.; Vianna, S.B. (orgs.) *Rio Próximos 100 anos. Instituto Municipal de Urbanismo IPP / SMU*. Rio de Janeiro.
- Sterl, A. and Caires, S., 2005. Climatology, Variability and Extrema of Ocean Waves: The Web-Based KNMI/ERA-40 Wave Atlas. *International Journal of Climatology*. Vol. 25. pp 963-977.
- WMO - World Meteorological Organization. 1998. Guide to Wave Analysis and Forecasting. *WMO. no. 702*. Second Edition.168pp. Geneva.