

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE ONDAS DO CABO DE SÃO ROQUE (RN, BRASIL) ATRAVÉS DO USO DO SMC-Brasil

*Caio Marcel Fonseca Peixoto¹; Ada Cristina Scudelari²; Mattheus da Cunha Prudêncio³ &
Venerando Eustáquio Amaro⁴*

RESUMO – O ambiente costeiro pode ser uma região de grande dinâmica sedimentar acarretando em intensos processos de erosão e deposição marinha, gerando as mais variadas modificações nas zonas costeiras (que concentram grandes populações e atividades econômicas dos estados litorâneos do Brasil). A determinação do clima de ondas atuantes é de fundamental importância para o entendimento dessa dinâmica sedimentar. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é caracterizar o clima de ondas na Região do Cabo de São Roque, RN. O clima de ondas foi obtido através do uso do Sistema de Modelagem Costeira Brasil (SMC-Brasil), desenvolvido pelo IHCantabria. Foram escolhidos pontos ao longo da costa e feito afim de determinar o ponto com maior probabilidade de ocorrência obtendo valores de dois parâmetros em diferentes situações; período de pico de onda (Tp) e altura significativa (Hs), sendo estes valores em condições de regime médio e em tempestade. Observando os resultados, verifica-se a ocorrência de ondas no sentido leste – sudeste e de leste. Obteve-se Tp de 9,50 a 6,99 segundos com Hs de 1,35 a 1,59 metros com condições de regime médio e Tp de 18,28 a 11,56 segundos com Hs de 2,30 a 2,48 metros em condições de tempestade.

ABSTRACT – The coastal environment can be a region of great sedimentary dynamics leading to intense processes of erosion and marine deposition, generating the most varied modifications in the coastal zones (that concentrate large populations and economic activities of the coastal states of Brazil). The determination of the active wave climate is of fundamental importance for the understanding of this sedimentary dynamics. Therefore, the objective of this work is to characterize the wave climate in the Cape Region of São Roque, RN. The wave climate was obtained using the Brazilian Coastal Modeling System (SMC-Brazil), developed by IHCantabria. Points were chosen along the coast and done in order to determine the point with the highest probability of occurrence obtaining values of two parameters in different situations; period of peak wave (Tp) and significant height (Hs), being these values in conditions of average regime and in storm. Observing the results, it is verified the occurrence of waves in the east-southeast and east directions. Tp was obtained from 9.50 to 6.99 seconds with Hs of 1.35 to 1.59 meters with mean regime conditions and Tp of 18.28 to 11.56 seconds with Hs of 2.30 to 2.48 meters in stormy conditions.

Palavras-Chave: Cabo de São Roque, SMC, Clima de ondas.

¹) UFRN: Campus Universitário - Lagoa Nova, s/n, CEP 59078-970, Natal-RN, Brasil, fonseccaio@gmail.com

²) UFRN: Campus Universitário - Lagoa Nova, s/n, CEP 59078-970, Natal-RN, Brasil, adaufn@gmail.com

³) UFRN: Campus Universitário - Lagoa Nova, s/n, CEP 59078-970, Natal-RN, Brasil, mattheus.prudencio@gmail.com

⁴) UFRN: Campus Universitário - Lagoa Nova, s/n, CEP 59078-970, Natal-RN, Brasil, venerando.amaro@gmail.com

INTRODUÇÃO

O ambiente costeiro é uma faixa de intensa modificação. Em consequência aos seus processos que ocorrem no encontro do continente com o oceano (Tessler & Goya, 2005), a formação e manutenção da ampla linha de costa brasileira é associada a três fatores principais que atuaram e ainda atuam em várias escalas temporais e espaciais. Esses fatores são relacionados à formação geológica, ao nível relativo do mar e à ação da dinâmica sedimentar atual. Conforme Muehe (1998): “A principal variável indutora dos processos costeiros de curto e de médio prazo é o clima de ondas, responsável pelo transporte nos sentidos longitudinal e transversal à linha de costa”.

A região costeira frontal ao Cabo de São Roque, RN vem apresentando processos erosivos significativos. Porém, em função da carência ou inexistência de dados *in situ*, referentes as ondas atuantes na região, faz-se necessário lançar mão de modelos que sejam capazes de fornecer o clima de ondas na região.

Simulações numéricas de longo prazo do clima de ondas, utilizando como dados de entrada os ventos sobre a superfície do oceano, constituem um Banco de Dados confiável de Reanálises de Onda, possibilitando a obtenção de informações particularmente importante para regiões com escassez desse tipo de registro, podendo ser utilizadas, sobretudo, como dados de entrada em modelos capazes de transferir essas informações até a costa (Scudelari et al., 2017).

Uma base de dados de reanálise de ondas em águas profundas e intermediárias se encontra disponibilizada no software Sistema de Modelagem Costeira do Brasil (SMC-Brasil), IH-Cantabria, 2013. Tais informações de ondas estão distribuídas por todo o litoral brasileiro, e podem ser obtidos através da seleção de pontos específicos que compõem o banco de dados DOW (Downscaled ocean waves) do SMC-Brasil. Estes pontos podem ser propagados, pontos POI, permitindo assim a caracterização do clima de ondas incidentes nas regiões de interesse. Em estudos que se deseja realizar a propagação de ondas até uma praia específica, a escolha do ponto DOW representa uma etapa fundamental, uma vez que, a partir deles são geradas as informações de entrada necessárias para aplicação do modelo. Sendo assim, esse trabalho tem como objetivo avaliar o clima de ondas incidente na praia de São Roque, RN, a partir do uso do SMC-Brasil.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Localização

A área de estudo corresponde a zona costeira frontal ao Cabo de São Roque, limitada pelas coordenadas ao norte: latitude 5,47° S, longitude 35,27° W, e sul pelas coordenadas: latitude 5,52° S,

longitude $35,25^{\circ}$ W (Figura 1). Está localizada no município de Maxaranguape no setor oriental do estado Rio Grande do Norte (RN) a 51 km de distância da capital Natal.

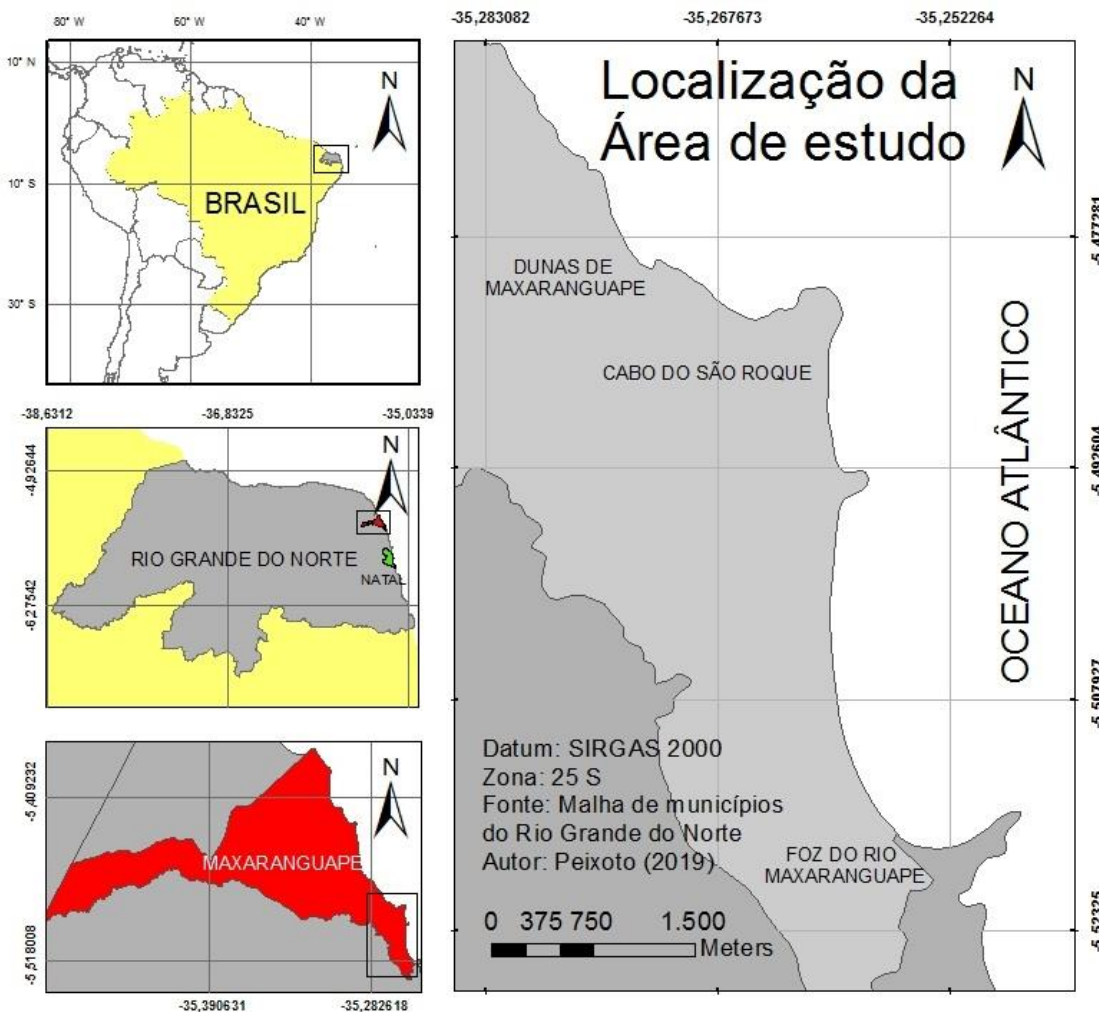


Figura 1 – Localização da área de estudo

Aspectos climáticos

A área de estudo enquadra-se na região litorânea do RN, cujo clima, segundo Alvares *et al.* (2014), é Tropical de verão seco. De acordo com os dados disponíveis pelo INMET (2018), a precipitação média anual é de 1.500 mm com baixa nebulosidade, forte insolação e alta umidade relativa (cerca de 79% em média) e temperatura média do ar de $25,3^{\circ}\text{C}$.

Como a área de estudo é próxima a Natal os dados do regime de maré foram baseados nos dados do regime de marés da Praia de Ponta Negra, de acordo com Amaro *et.al* (2015) e Almeida *et.al* (2015), é predominante de mesomarés semidiurnas, com amplitudes médias de marés de sizígia em torno de 2,2 m. De acordo com Peterson & Stramma (1991) e Stramma & England (1999) a principal corrente atuante no nordeste brasileiro é a Subcorrente Norte do Brasil, essa corrente se direciona à linha do Equador com velocidade de 0,9 m/s. já as correntes de deriva costeira,

responsáveis pelo transporte efetivo de sedimentos, ocorrem paralelamente a linha de costa e com velocidades média de 0,05 a 0,8 m/s no sentido sul para o norte, Amaro *et.al* (2015).

Geologia e geomorfologia

A praia do Cabo de São Roque é arenosa, possui uma faixa de 2,4 km de dunas e apresenta falésias no pós-praia. Localiza-se na bacia potiguar, limitada à oeste por tabuleiros costeiros com suporte geológico de Arenito do grupo Barreiras e solo do tipo Neossolo Quartzarênico.

Segundo Tessler & Goya (2005), a área de estudo está compreendida no segmento Litoral Nordeste ou também chamado “segmento das Barreiras” é marcado por duas direções de linha de costa, o trecho ao Norte do Cabo de São Roque apresenta uma direção de linha de costa leste-oeste no geral enquanto o trecho ao Sul do Cabo possui uma mudança de direção muito brusca para nordeste-sudeste. Além disso o trecho não possui consideráveis influências de dinâmica sedimentar que provoquem grandes alterações da plataforma continental até o Rio São Francisco.

MATERIAIS E MÉTODO

Modelagem no SMC-Brasil

As informações a respeito dos processos hidrodinâmicos da região estudada foram obtidas por meio do Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil), IHCantabria, 2013. Nele encontra-se uma série de modelos numéricos que seguem uma organização estrutural baseada em escalas temporais e espaciais dos processos costeiros gerenciados pelo SMC-Tools.

A modelagem no SMC-Brasil necessita de informações referentes ao clima de ondas ao largo da área de estudo para simular através do Modelo de propagação de onda, corrente e evolução morfodinâmica de praias – MOPLA, programa responsável por simular a propagação de ondas em profundidade até a linha de costa, é a partir desse programa que o software executa modelos parabólicos de propagação de onda (OLUCA), cálculos para correntes induzidas na zona de arrebentação (COPLA) e modelos de erosão (EROS) que permite ao usuário a análise da evolução morfodinâmica das praias. Os parâmetros de onda característicos de zonas intermediárias são fundamentais para modelagem de processos hidrodinâmicos incidindo sobre a costa.

Ponto DOW

A série Downscaling Ocean Waves–DOW compõe a base de dados do SMC–Brasil, ela é o resultado do Downscaling aplicada a série Global Ocean Waves–GOW, com informações características globais, para parâmetros de zonas de profundidade intermediária que fornecem

informações referentes à parâmetros de onda por todo litoral brasileiro, tais como: direção média (θ m), altura de onda significativa (H_s) e período de pico (T_p) e podem ser acessadas por meio da seleção de pontos DOW na área de interesse do estudo.

Nesse trabalho, a escolha do ponto DOW foi feita com base nos trabalhos de Almeida *et.al* (2015) e Araújo *et.al* (2015). Na figura 3, foram pré-selecionados 12 pontos dispostos em cruz, 9 pontos em paralelo ao longo da costa do Cabo do São Roque de batimetria entre 18 e 20 metros de profundidade enumerados de 1 a 9 e mais 3 pontos transversais a essa linha com fim de analisar o efeito do aumento de profundidade nomeados de A, B e C. Sobre os dados desses 12 pontos foram postos em tabelas e analisados os parâmetros de H_s e T_p para duas situações: regime médio ($H_{s50\%}$ e $T_{p50\%}$) e eventos extremos (H_{s12} e T_{p12}).

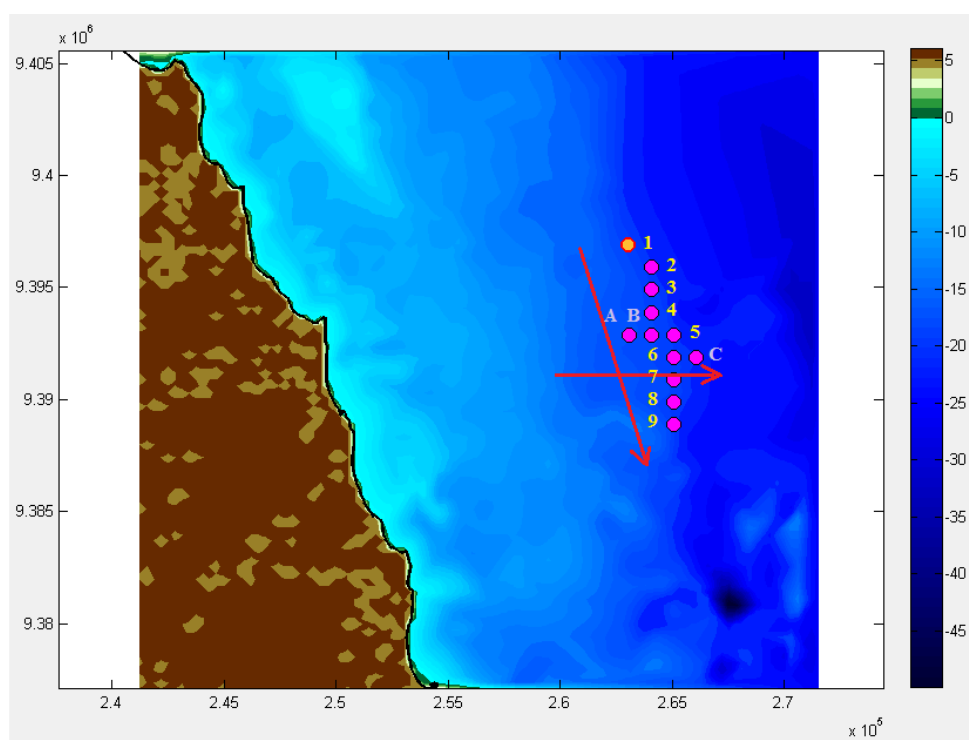


Figura 2 – localização dos pontos DOW

Diante dos dados obtidos, foram levados em consideração apenas as direções com maior probabilidade de ocorrência de eventos, 99,85% dos estados de mar prevalecem nas direções sudeste (SE), leste (E), leste-nordeste (ENE) e leste-sudeste (ESE), sendo esta a direção mais comum com mais de 70% de probabilidade de ocorrência. O ponto DOW de maior representatividade foi por possuir os maiores valores de H_s e menores valores de T_p , posto isso, o ponto 1 foi escolhido como mais representativo.

Malhas de propagação

A partir da análise do ponto DOW obtêm-se o parâmetro batimétrico para fixar o vértice de orientação das malhas na mesma cota do ponto escolhido (dispostos em A, B, C e D como mostra a figura 4). A intercessão entre as malhas é denominada de ROI – “*Region of interest*” e está representada pela linha verde na figura 4. O SMC-Tools permite a construção de malhas de propagação de ondas no MOPLA, que simula as correntes com magnitude, direção e intensidade. Os vetores de corrente utilizam-se de Pontos de Interesse (POI) para fornecer o comportamento das ondas próximo à costa por meio da modelagem dos efeitos físicos das ondas, como a refração, difração e arrebentação, eles são pontos dispostos ao longo da costa em áreas de possíveis mudanças pontuais no regime de ondas causadas por variações peculiares no leito oceânico e na geomorfologia da praia. Foram analisados 7 pontos de interesse, em geral na mesma cota de 5 metros com exceção ao ponto 4 que foi dividido em 4a e 4b para investigação de uma possível corrente de retorno na região, distribuídos em função das peculiaridades geomorfológicas da praia. A figura 4 mostra também os pontos 1 e 2 na região mais próxima à Ponta, os outros pontos seguem variações identificadas no fundo.

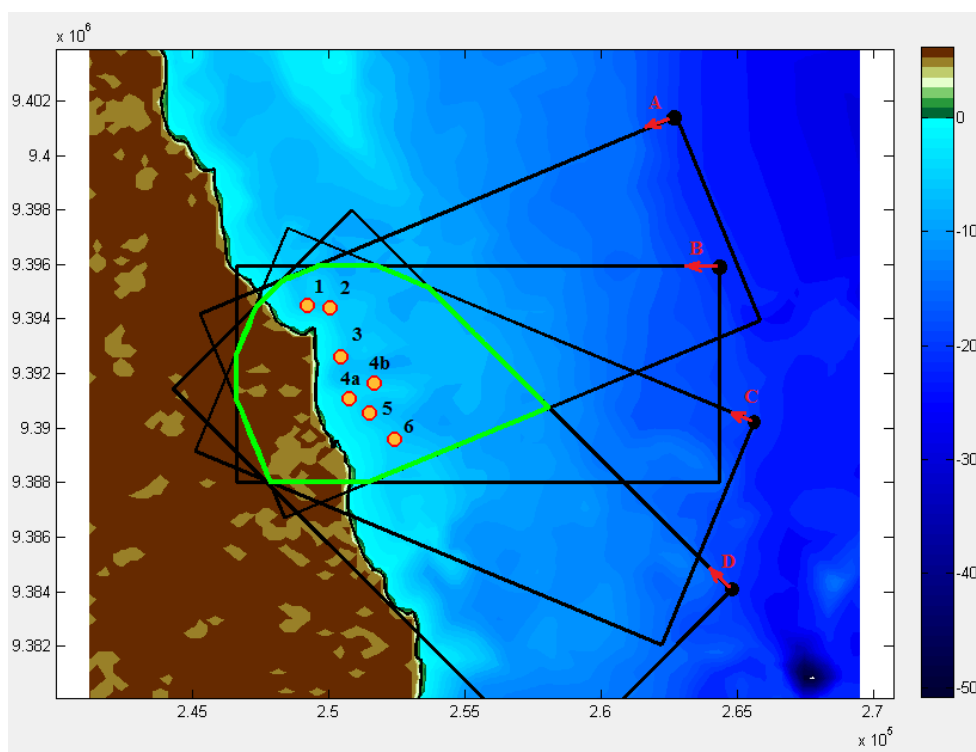


Figura 3: Pontos POI inseridos na região de interesse

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ponto DOW

Os dados do ponto 1 apresentados na Tabela 1 apontam os parâmetros de onda Hs e Tp com maior frequência tanto em média quanto em eventos extremos para representar o pior cenário possível na costa, ele foi utilizado como base para a propagação ondas pressupondo o maior risco.

Tabela 1 – Tabela de dados dos pontos DOW com destaque para Altura de onda significativa em metros e Período de pico em segundos.

	direções	prob.direção	Hs50%	Hs90%	Hs99%	Hs12	Tp50%	Tp90%	Tp99%	Tp12
PONTO 1	ENE	0,0274	1,3459	1,6467	2,0667	2,3497	9,4969	13,3493	17,0223	18,2776
	E	0,2073	1,4232	1,7322	2,0398	2,3021	7,7305	9,7584	13,7793	16,4500
	ESE	0,7306	1,5557	1,9257	2,3186	2,5991	7,6175	9,0591	10,7621	12,1953
	SE	0,0332	1,5870	1,9372	2,2758	2,4799	6,9910	8,4106	10,3988	11,5643

Pontos POI

Os pontos de interesse próximos a costa forneceram o comportamento das ondas que variam em altura significativa de 0,95 a 2,40 metros em geral na direção Leste, com exceção do ponto 3 que apresentou maior porcentagem de incidência na direção leste-sudeste (Figura 4). Os pontos 4a e 4b não apresentaram resultados significativamente diferentes, então o ponto 4a foi utilizado como representativo dos dois.

Correntes

Em análise ao sistema de correntes que incidem sobre a área de interesse foi percebido que a região mais extrema do Cabo sofre com maior intensidade de correntes, a ponta da estrutura está mais sujeita às ações abrasivas das ondas justamente por possuir um prolongamento mar a dentro, como mostrado na figura 5. Em resultado a isso é notado que alguns vetores aumentam sua magnitude, pois, segundo VENÂNCIO (2018), a onda que incide sobre um obstáculo sofre difração e sua propagação passa a ser radial. Na região mais ao sul nota-se o choque entre duas correntes opostas que, devido à limitação da linha de costa, são refletidas para maiores profundidades onde são dissipadas.

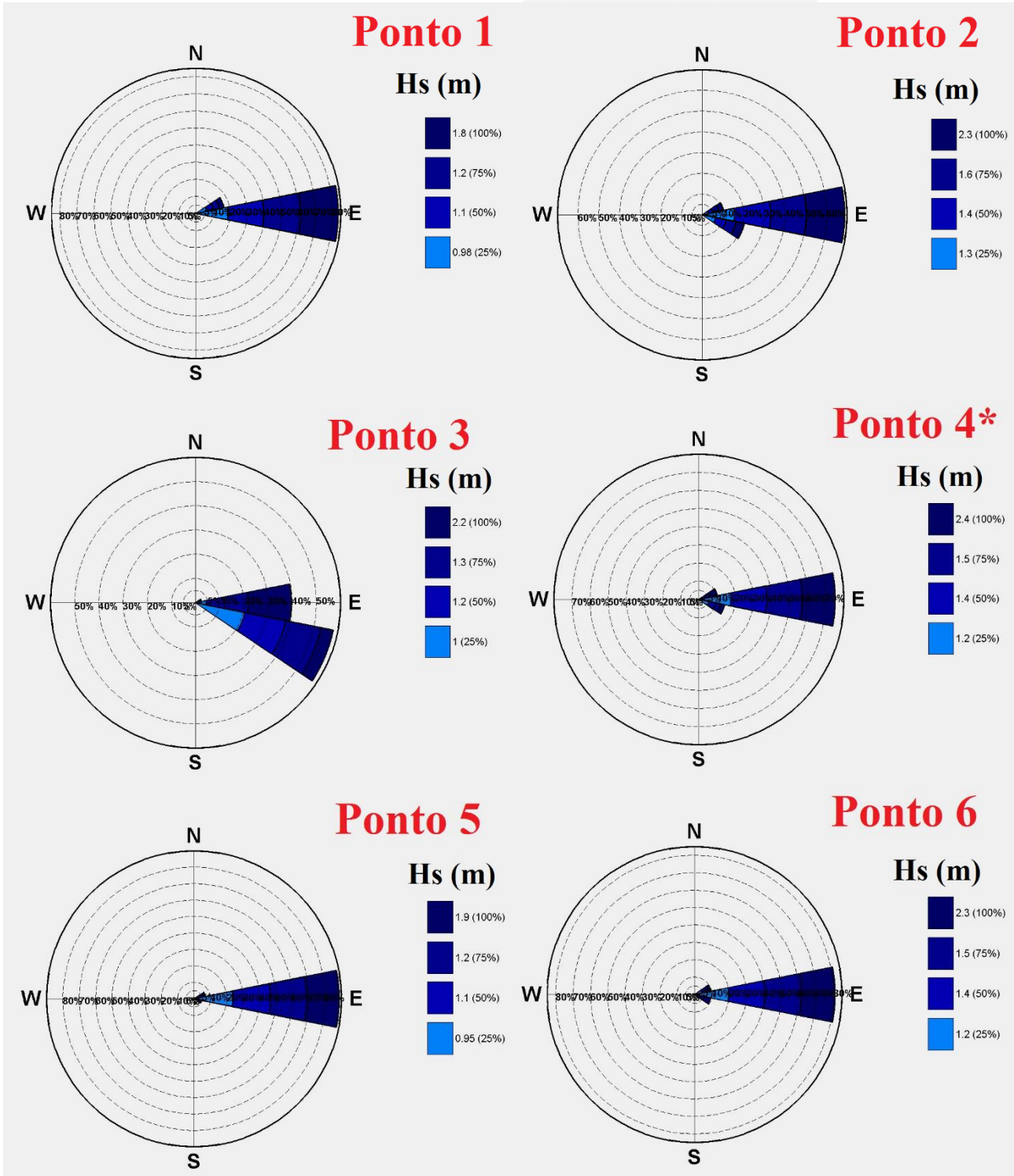


Figura 4: Rosas de direções dos Pontos de Interesse (POI)

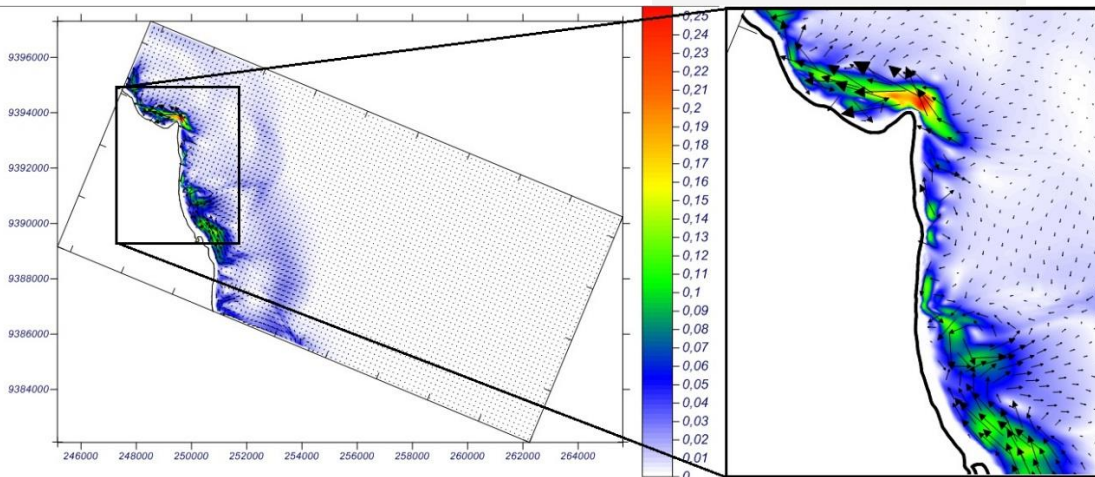


Figura 6: Magnitude, direção e intensidade de correntes

CONCLUSÃO

As ondas de maior relevância, que chegam à plataforma continental da Praia de Cabo de São Roque - RN, são as provenientes de sudeste e leste, considerando que o clima de onda considerado no ponto DOW representativo para o pior cenário forneceu incidência de ondas de mais de 70% na direção Leste-sudeste.

. O promontório existente, promove a difração das ondas e propagando-a de forma radial. Quanto a interferência da morfologia nas correntes sabe-se que os vetores de corrente da figura 5 mostraram uma zona de convergência entre duas correntes e gerando uma aparente reflexão de retorno para o oceano.

AGRADECIMENTO:

Ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD, projeto n. 88881.068511/2014-01, Edital 071/2013), pelo auxílio financeiro através da bolsa de IC concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. R. D., AMARO, V. E., MARCELINO, A. M. T. & SCUDELARI, A. C. **Avaliação do clima de ondas da praia de Ponta Negra (RN, Brasil) através do uso do SMC-Brasil e sua contribuição à gestão costeira.** Revista de Gestão Costeira Integrada, 15(2), 135-151, 2015.

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J. & SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711-728, 2014.

AMARO, V. E., GOMES, L. R. S., DE LIMA, F. G. F., SCUDELARI, A. C., NEVES, C. F., BUSMAN, D. V. & SANTOS, A. L. S. **Multitemporal analysis of coastal erosion based on multisource satellite images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil.** *Marine Geodesy*, 38(1), 1-25, 2015.

ARAÚJO, D. J. C., SCUDELARI A. C. & AMARO V. E. **Evolução decadal da taxa de transporte longitudinal de sedimento em praias urbanas da zona costeira de Natal/RN.** In: VIII Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Aveiro: APRH, 1-15, 2015.

IH-CANTÁBRIA (2013). **Sistema de Modelado Costeiro** - Manual de Referência. Instituto de Hidráulica Ambiental da Universidade de Cantábria. Santander.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa: Estação meteorológica automática Natal-A304.** Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 05/11/2018.

MARIN, F. D. O. **A Subcorrente Norte do Brasil ao largo da Costa do Nordeste.** Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física) – Instituto de Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 140p, 2009.

MUEHE, D. **Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação.** São Paulo, *Revista Brasileira de Oceanografia*, 46 (2): 157-169; 1998.

PETERSON, R. G. & STRAMMA, L. **Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean.** *Progress in oceanography*, 26(1), 1-73, 1991.

SCUDELARI, A. C.; GURGEL, D. F.; OLIVEIRA, D. S.; MATOS, M. F. A.–**Avaliação de interpoladores espaciais e sua influência na modelagem de ondas e correntes, RN-Brasil.** In: XXII Congresso Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis. XXII ABRH. Porto Alegre: ABRH, 2017. v. 1. p. 1-10

STRAMMA, L., & ENGLAND, M. **On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean.** *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(C9), 20863-20883, 1991.

STRAMMA, L., FISCHER, J., & REPPIN, J. **The North Brazil Undercurrent.** *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 42(5), 773-795, 1995.

TESSLER, M.G., GOYA, S.C. – **Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro** publicado em *REVISTA DO DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA*, 17 (2015) 11-23.