

## Imageamento Acústico da Plataforma Interna Adjacente à Praia de Ponta Negra – RN

*Acoustic Imagery of the Inner Shelf Adjacent to Ponta Negra Beach – RN*

Úrsula Martin Damasceno, Moab Praxedes Gomes  & Helenice Vital 

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal, RN, Brasil

E-mails: [ursula-martin@hotmail.com](mailto:ursula-martin@hotmail.com); [gomesmp@geologia.ufrn.br](mailto:gomesmp@geologia.ufrn.br); [helenicevital2004@yahoo.com.br](mailto:helenicevital2004@yahoo.com.br)

### Resumo

Processos erosivos na praia de Ponta Negra em Natal (RN), têm sido relacionados ao baixo suprimento de sedimentos terrígenos e ao substrato predominantemente carbonático que favorecem as condições de plataforma faminta. Neste trabalho o mapeamento de padrões e feições do substrato marinho foi aplicado a análise da dinâmica sedimentar costeira-plataformar. Utilizou-se um mosaico de imagens acústicas adquiridas por um sistema de varredura multifeixe numa área de 31 km<sup>2</sup> entre as profundidades de 10 e 14 m. O processamento dos dados hidroacústicos consistiu na aplicação de filtros, ganhos e correções geométricas. Adicionalmente, foram processadas imagens LANDSAT 8 com correção atmosférica, composição de bandas e realce de histogramas. Foram reconhecidos dois padrões acústicos, um homogêneo e outro heterogêneo, distribuídos em quatro níveis de intensidade acústica associados às diferenças texturais dos sedimentos de fundo. As feições morfológicas observadas nas imagens acústicas são em geral associadas as dunas transversais ao fluxo com espaçamento variando entre 0,6 e 100 m. A imagem LANDSAT 8 ETM+ revelou a presença de *sand ribbons* paralelas a costa com comprimento de onda entre 500 m e 710 m, sobrepostas por dunas transversais observadas nos padrões acústicos. As dimensões das dunas transversais indicam que o suprimento sedimentar na área é baixo, implicando no baixo desenvolvimento da altura dessas feições. Embora haja diversidade nas características da plataforma leste e norte do RN, os regimes hidrodinâmicos produzem feições semelhantes associadas aos processos erosivos costeiros adjacentes.

**Palavras-chave:** Batimetria; *Backscatter*; Plataforma rasa

### Abstract

Erosive processes at the Ponta Negra beach in Natal (RN), have been related to the low supply of terrestrial sediments and the predominantly carbonate substrate that favor the conditions of the starving shelf. In this work, the mapping of patterns and marine substrate features was carried out for the analysis of coastal and shelf sedimentary dynamics. A mosaic of acoustic images acquired by a multibeam scanning system in an area of 31 km<sup>2</sup> between the depths of 10 and 14 m was used. The processing of hydroacoustic data consisted of applying filters, gains and geometric corrections. In addition, LANDSAT 8 images were processed with atmospheric correction, band composition and histogram enhancement. Two acoustic patterns were recognized, one homogeneous and the other heterogeneous, distributed in four levels of acoustic intensity associated with the textural differences of the bottom sediments. The background morphological features observed in the acoustic images are generally associated with cross-flow dunes with spacing varying between 0.6 and 100 m. The LANDSAT 8 ETM + image revealed the presence of sand ribbons parallel to the coast, with 500 m to 710 m of wavelength, overlaid by the cross-flow dunes observed in the acoustic patterns. The dimensions of the cross-flow bedforms indicate that the sedimentary supply in the area is insufficient and implies in low growth of these features. While its spatial arrangement demonstrates the efficiency of coastal drift currents in transporting sediments in shallow regions near the coastline. Although there is diversity in characteristics on the eastern and northern platform of RN, hydrodynamic regimes produce similar features associated with adjacent coastal erosion processes.

**Keywords:** Bathymetry; *Backscatter*; Shallow shelf

# 1 Introdução

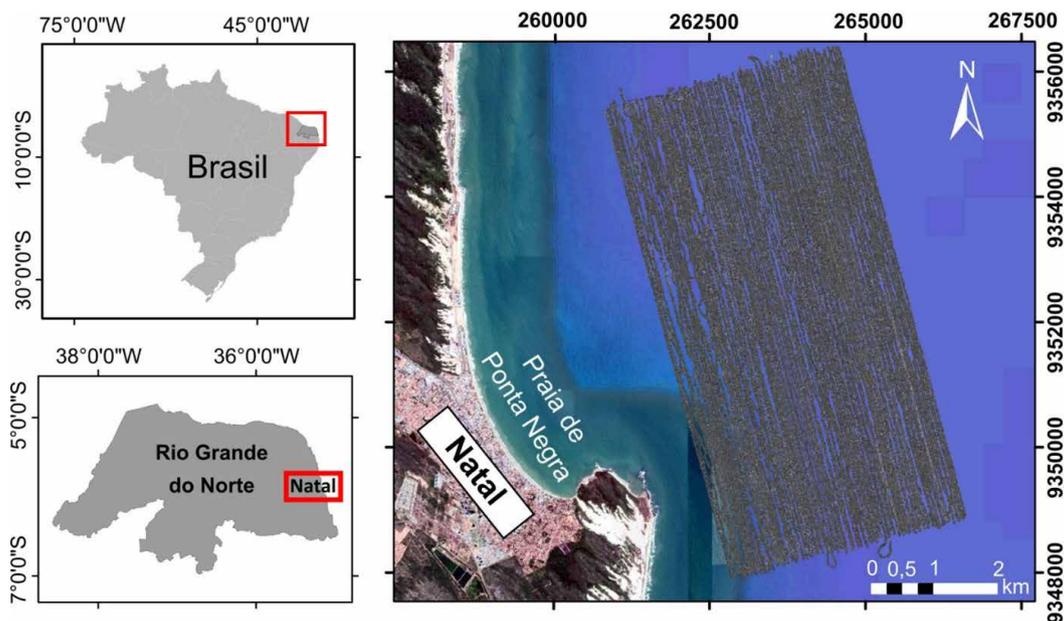
Os ambientes costeiros são zonas de transição entre o ambiente terrestre e o marinho, com complexa configuração geológica, ambiental e socioeconômica, com espaços do litoral ocupados por 27% da população brasileira (IBGE, 2011). Esta zona engloba diversos habitats bentônicos, recifes de corais, regiões de prospecção de recursos naturais, pesca, logística de navios, construções civis, e turismo como uma das principais atividades econômicas (Ferreira & Maida, 2006). Por ser uma área sensível às interferências antrópicas e às mudanças climáticas, torna-se necessário a realização de estudos em zonas costeiras para compreender suas características específicas e dinâmica, e fornecer subsídios para a gestão ambiental.

Os efeitos das mudanças climáticas, como, por exemplo, a elevação do nível do mar, em conjunto com os impactos provenientes da ocupação urbana em ambientes costeiros, tem gerado preocupação acerca dos cenários futuros nestas regiões (Martins *et al.*, 2017). Os processos de erosão na costa do Brasil se intensificaram nos últimos anos (Muehe, 2018) e são foco de diversos estudos multidisciplinares, incluindo geofísicos (*e.g.*, Medeiros *et al.*, 2014) geológicos (Barboza & Rosa, 2014), ecológicos (Addad & Martins-Neto, 2000) e socioeconômicos (Lins de Barros, 2005; Silva *et al.*, 2007) que visam compreender suas causas e implicações, e fornecer informações que contribuam para a mitigação do problema. Segundo Muehe (2018), apesar de haver erosão e em quase toda a extensão da costa brasileira, as áreas sob efeito deste fenômeno no Norte e Nordeste são maiores (60-65% da orla) que em

outras regiões do país como, por exemplo, no Sul (~15% da orla). Ainda de acordo com este autor, entre os estados mais afetados estão o Rio Grande do Norte, Pará e Amapá (El-Robrini *et al.*, 2018; Torres *et al.*, 2018; Vital *et al.*, 2018).

A praia de Ponta Negra, localizada na cidade de Natal (RN) vem sofrendo intensa erosão nas últimas décadas que ainda causam impactos socioeconômicos e arquitetônicos para a cidade, fazendo com que a prefeitura decretasse estado de calamidade pública no dia 13 de julho de 2012 (Decreto 9.744, Diário Oficial do Município) e iniciasse obras de contenção com estruturas de enrocamento. Entretanto os problemas de erosão persistiram induzindo a necessidade de projetos alternativos de proteção. Diversos trabalhos tem contribuído para a compreensão dos cenários de erosão costeira e estudos de processos incluindo simulações sobre as forças hidrodinâmicas, como ondas, correntes e marés (Ribeiro *et al.*, 2018), morfodinâmicos (Maciel *et al.*, 2016; Vital *et al.*, 2016), da cobertura sedimentar (Oliveira, 2017), sensoriamento remoto (Amaro *et al.*, 2014), morfologia de detalhe por batimetria interferométrica e sonografia (Pereira *et al.*, 2019), biológicos (Eichler *et al.*, 2017), estratigrafia rasa (Moreira *et al.*, 2020) e geográficos (Lima & Maciel, 2014; Lima *et al.*, 2018).

O presente trabalho tem por objetivo o mapeamento morfológico dos diferentes tipos de fundo da plataforma interna e média adjacente à Praia de Ponta Negra (PN), no litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (RN) (Figura 1) por meio de imageamento acústico com um sistema batimétrico multifeixe e imagens de satélite LANDSAT8.



**Figura 1** Área de estudo na plataforma continental leste do RN, adjacente à praia de Ponta Negra na cidade de Natal, e mosaico do imageamento acústico por sistema batimétrico multifeixe.

## 2 Características Gerais da Área

A plataforma continental do Rio Grande do Norte (Figura 1) está dividida em dois setores: setentrional, que abrange toda a costa norte do estado na direção E-W, desde a divisa com o estado do Ceará, até o município de Touros. E o setor oriental, que se estende desde o município de Touros, ao norte, até o município de Baía Formosa, na divisa do Rio Grande do Norte (RN) com Paraíba (Vital, 2014). A plataforma continental do RN é estreita com largura média de aproximadamente 40 km, com larguras entre 14 e 30 km na região adjacente à Natal (Vital *et al.*, 2010a; Vital, 2014). A plataforma continental do RN pode ser compartimentada em plataformas interna, limitada pela isóbata de 15 m; **média**, entre as isóbatas de 15 e 25 m; e externa, a partir da isóbata de 25 m até a quebra da plataforma entre 60 e 80 m (e.g. França *et al.* 1976; Coutinho, 1995; Vital *et al.*, 2010a; Vital, 2014). Sendo a zona costeira do setor norte dominada por onda e maré, e a região oriental dominada por ondas (Vital, 2014; Ribeiro *et al.*, 2018).

A plataforma é constituída por sedimentos carbonáticos, siliciclásticos e mistos (Vital *et al.*, 2005, 2008; Gomes *et al.*, 2015; Nascimento Silva & Gomes, 2019). A distribuição de sedimentos e a formação das diversas geomorfologias em diferentes escalas indicam processos morfo-sedimentares durante os últimos eventos de regressão e transgressão marinha (Bezerra *et al.*, 2003; Caldas *et al.*, 2006; Stattegger *et al.*, 2006; Boski *et al.*, 2015) e modificados por processos físicos, biológicos e sedimentares atuais (Gomes *et al.*, 2016; Eichler *et al.*, 2017; Barbosa *et al.*, 2018; Ribeiro *et al.*, 2018; Eichler *et al.*, 2019; Gomes *et al.*, 2019; Rovira *et al.*, 2019). Feições com expressão morfológica em diferentes escalas distribuem-se ao largo dos compartimentos da plataforma (Vital *et al.*, 2010a; Gomes *et al.*, 2014), como dunas gigantes longitudinais (Nascimento Neto *et al.*, 2019), dunas de menores escalas (Pereira *et al.*, 2019) na plataforma interna, vales incisos e cânions submarinos (Vital *et al.*, 2010b; Almeida *et al.*, 2015; Gomes *et al.*, 2015 & 2016), recifes bioconstruídos (Nascimento Silva *et al.*, 2018) e *beachrocks* afogados (Cabral Neto *et al.*, 2013).

O litoral leste do RN é marcado por praias arenosas planas, dunas, *beachrocks*, falésias da Formação Barreiras, e baías em forma de zeta (Vital *et al.*, 2006; Vital, 2009), como ocorre na praia de Ponta Negra. A parte da plataforma interna correspondente à região de Ponta Negra é marcada por um relevo relativamente plano, bancos sedimentares e aglomerados rochosos (Pereira *et al.*, 2019). A região proximal há maior heterogeneidade de feições e cobertura sedimentar, indicando a influência hidrodinâmica de ondas e correntes litorâneas, com aumento da granulometria nas regiões distais a praia. As correntes nessa plataforma é principalmente na direção norte, embora haja padrões

significativos de correntes no quadrante noroeste, sendo mais intensas no verão ( $\sim 0,13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), bem como uma forte correlação entre essa direção das correntes de fundo e a componente do vento paralela à costa (Ribeiro *et al.*, 2018) Rio Grande do Norte state (Brazil). Segundo Almeida *et al.* (2014), as ondas incidentes na praia de Ponta Negra são predominantemente de leste-sudeste (ESE), com altura significativa entre 1,3 e 1,7 m, com período em torno de 8 s. E o regime de ventos dominantes nesta área é proveniente do quadrante SE, com tensão de cisalhamento média de  $0,5 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$ , sendo mais intenso no período de primavera ao atingir  $0,9 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$  (Ribeiro *et al.*, 2018) Rio Grande do Norte state (Brazil).

## 3 Materiais e Métodos

Os dados utilizados neste trabalho consistem em dados de imageamento acústico de *backscatter* com um sistema multifeixe (Figura 2) e imagem de satélite LANDSAT 8. O levantamento hidroacústico foi realizado paralelamente à costa em uma área de  $31 \text{ km}^2$ , em outubro e novembro de 2012. Teve como meio flutuante o navio balizador Comandante Manhães, e utilizou um ecobatímetro multifeixe Reason SeaBat 8124, na frequência de 200 kHz e alcance lateral até 3,5 vezes a profundidade da lâmina d'água. Os feixes possuem um ângulo total de abertura de até  $120^\circ$ , além de emitir uma taxa máxima de pulsos de 30Hz. Os dados brutos apresentaram diversas limitações como baixo recobrimento, faixas com ganhos irregulares, distorções geométricas ocasionadas pela ineficiência de compensação de movimento durante a aquisição, que inviabilizou precisão batimétrica, e baixa resolução do espectro acústico.

As imagens acústicas foram processadas com o software *SonarWiz* da *Chesapeake Technology*. O processamento seguiu-se com a definição de parâmetros geodésicos; ganhos automáticos iniciais (TVG); filtragem de espectro de dados; e ajustes de visualização (palhetas de cores, seleção de linhas, e realce de histogramas); correção de projeção (*slant to ground range*), retirada da lâmina d'água (*bottom track*) e cortes laterais da varredura (*range*); a segunda etapa foi realizada a aplicação de ganhos (TVG definido pelo usuário) e construção do mosaico (Figura 2); a terceira etapa foi a vetorização para mapeamento de feições, padrões de fundo e a medida da profundidade batimétrica em 100 pontos regularmente espalhados ao longo de todo mosaico (Figura 3); e análise de dunas com base em Ashley (1990) e Flemming (1988 & 2013), considerando o espaçamento (E) entre as dunas (Figura 2B) para calcular a altura (H) por meio da equação de Flemming (1988) (Equação 1):

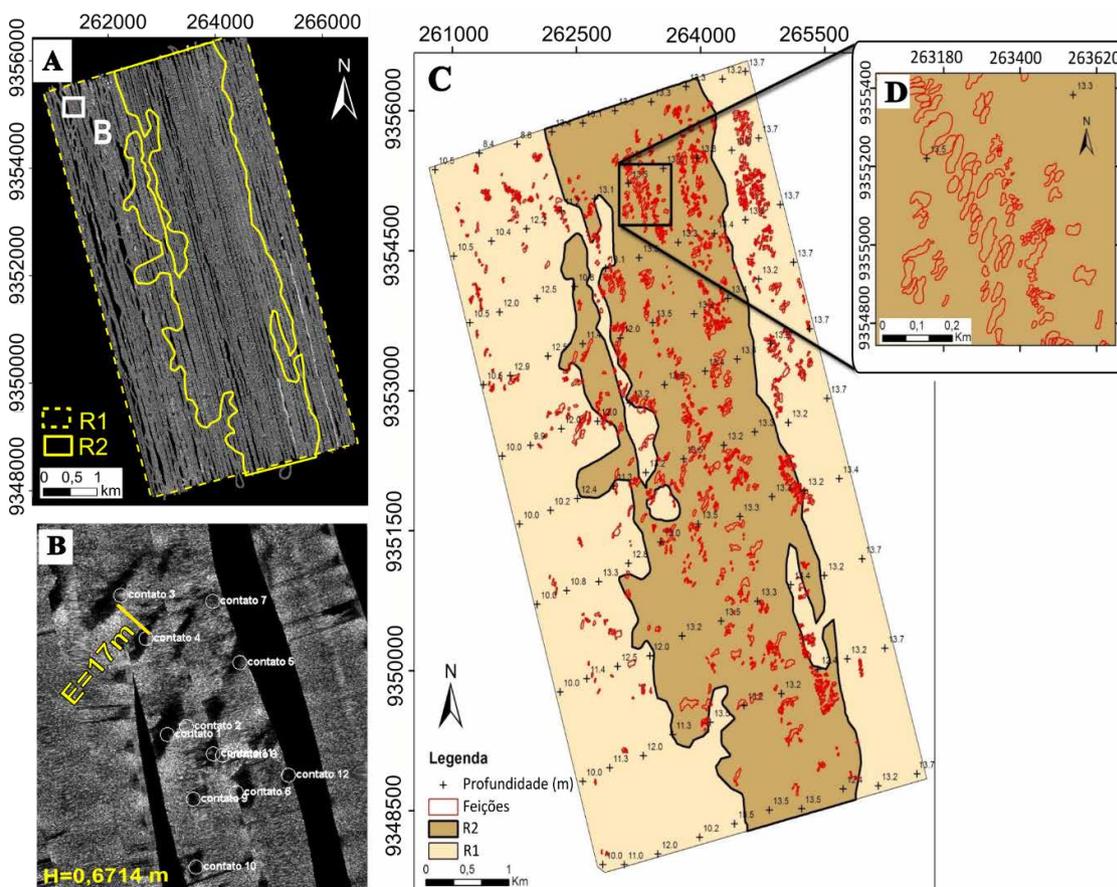
$$H = 0,677 \cdot E^{0,8098} \quad (1)$$

A imagem de satélite utilizada foi a LANDSAT 8 ETM+ com correção atmosférica, composição RGB321 e realce de contraste para correlação entre o mosaico de imagens acústicas e as áreas adjacentes da plataforma. Os resultados também foram comparados com estudos anteriores realizados na plataforma continental adjacente à praia de Ponta Negra (Ribeiro *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2019), com o objetivo de obter suporte para as interpretações realizadas neste trabalho.

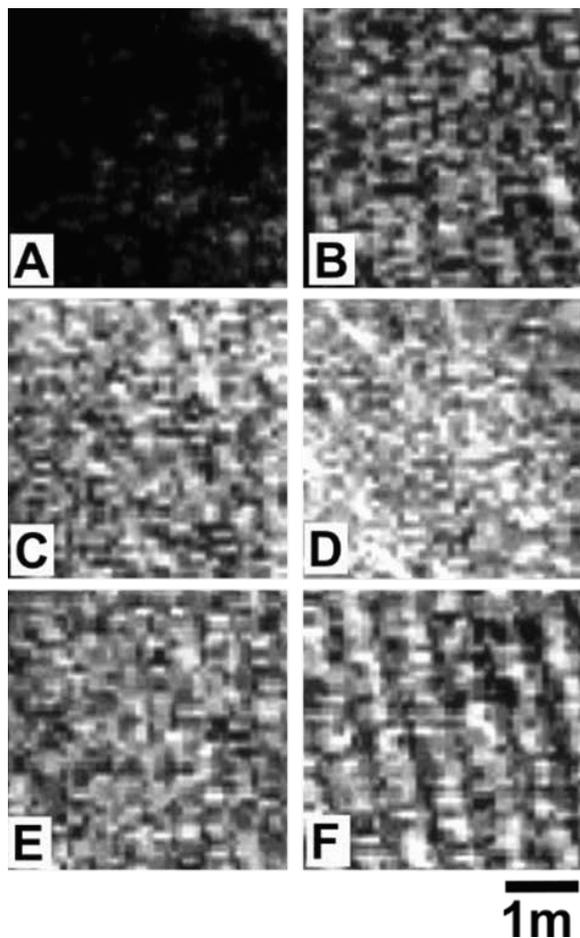
### 4 Resultados

Em escala regional foram observados apenas contrastes de *backscatter* ligeiramente diferentes que foram classificados como R1 e R2 (Figura 2). O padrão R2 concentra-se na região central da área imageada, enquanto a R1 apresenta *backscatter* mais intenso que a porção central, e está localizada nas regiões leste e oeste

da área do levantamento (Figura 2). Em escala local, foram identificadas duas texturas associadas a distribuição de *backscatter*. A primeira textura (T1) representa distribuição caótica de *backscatter* (Figura 3E), enquanto a segunda (T2) representa distribuição regular (Figura 3F). Foram observados também quatro níveis de intensidade de *backscatter* com transição gradual, não sendo possível demarcar limites bem definidos. Esses níveis de intensidade (Figura 3) foram classificados como: P1, para as regiões com *backscatter* fraco (Figura 3A); P2, para zonas com *backscatter* de intensidade média (Figura 3B), P3, para áreas com *backscatter* forte (Figura 3C); e P4, para regiões com altíssima intensidade de retorno do sinal (Figura 3D). Nas regiões com grande concentração de feições (Figura 2B e 4B) foram observados todos os níveis (P1, P2, P3 e P4) de *backscatter*. Enquanto em áreas onde essas feições eram escassas ou inexistentes (Figura 4C) predominava apenas padrões P3 e P2.



**Figura 2** Seleção de áreas para análise dos padrões de refletância em escala de detalhe e que foram usadas como parâmetro para o restante dos dados; A. Mosaico da área imageada com os limites dos padrões R1 e R2; B. Área com concentração de padrões heterogêneos, com a linha amarela representando o espaçamento “E” entre as dunas medido manualmente para calcular sua altura (H) na Equação 1; C. Área regional com os padrões R1 e R2 sobrepostos pelas feições (vermelho); D. Enquadramento das feições observadas localmente (contornos vermelhos).



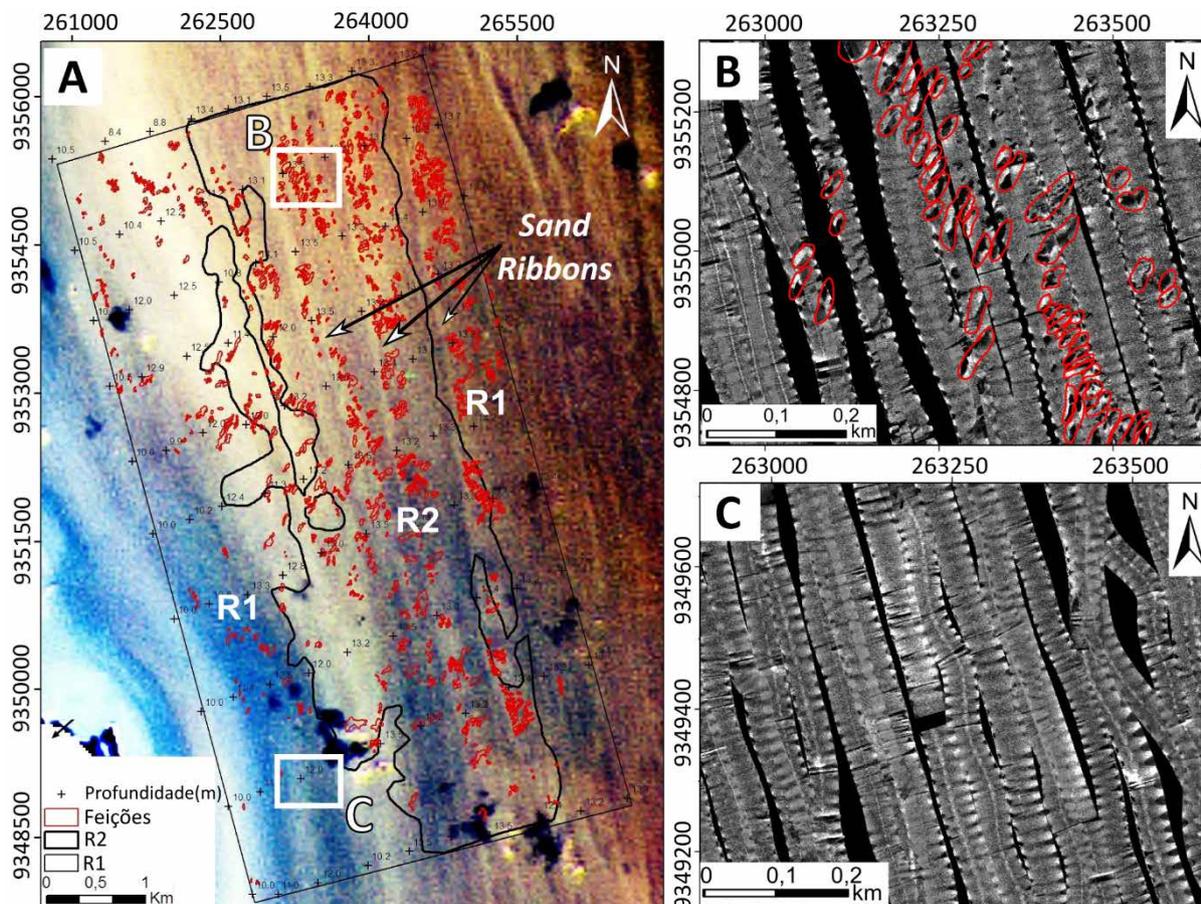
**Figura 3** Padrões e níveis de *backscatter* retirados da área da Figura 2B; A. *Backscatter* fraco (P1); B. Intermediário (P2); C. Forte (P3); D. Muito forte (P4); E. Textura associada a distribuições caóticas dos *backscatters* (T1); F. Textura associada a distribuição regular dos *backscatters* (T2).

O P1 (Figura 3A) está relacionado aos ambientes com baixa refletância, e pode ser associado à inclinação da superfície do assoalho na direção oposta ao feixe do sonar, granulometria do sedimento ou composição do meio. Desta forma, ao comparar com o estudo de Pereira *et al.* (2019), este padrão foi relacionado aos sedimentos de granulometria mais fina (i.e. areia fina, e silte) e inclinação dos flancos das dunas em relação ao feixe de energia. O padrão P2 (Figura 3B) está associado com meios com média refletância constituídos por sedimentos que apresentam granulometria média. O P3 (Figura 3C) está relacionado aos ambientes com alta refletância, e foi associado à inclinação da superfície do fundo marinho voltada para o feixe do sonar, e sedimentos grossos. E o padrão P4 (Figura 3D) representa meios de altíssima refletância, o que poderia estar associado aos sedimentos de granulometria muito grossa observados no estudo de Pereira *et al.* (2019).

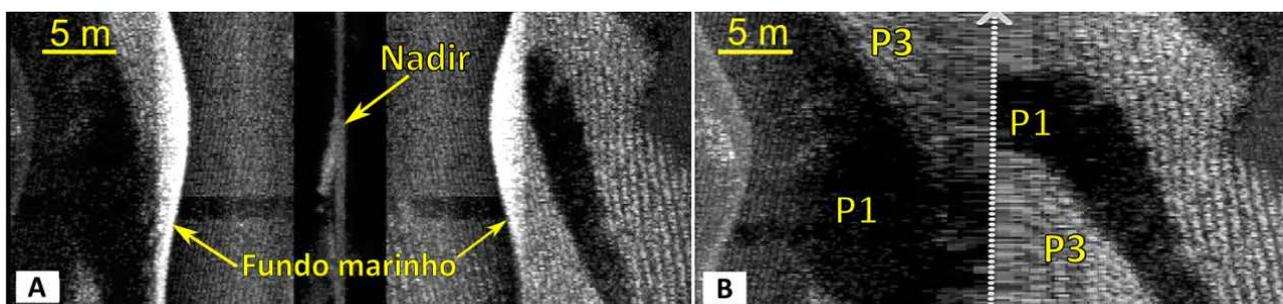
A integração dos padrões de *backscatter* com as texturas observadas e comparação com os estudos de Pereira *et al.* (2019), apesar das limitações do dado, permitiu estimar algumas hipóteses sobre a natureza do meio que poderia ter causado os diferentes padrões de refletância. A textura T1, que apresenta um padrão caótico, poderia estar relacionada a sedimentos muito finos (argila ou silte). Enquanto a textura T2, cujo padrão de forte-fraco obedece à sequência alternada representando ondulações, poderia estar relacionada a sedimentos de composição predominantemente siliciclástica. As fácies sedimentológicas apresentadas neste trabalho foram obtidas a partir da correlação com as fácies identificadas por Pereira *et al.* (2019).

Manchas acústicas alongadas ocorrem localmente com *backscatter* fraco, com comprimento longitudinal variando entre 10 m e 300 m, que produzem alternâncias entre *backscatters* fortes e fracos distribuídos em quase toda a extensão da área (Figura 2B, 4A, 4B e 4C). Essas feições de pequena escala apresentam uma tendência dominante NE-SO, que são transversais ao fluxo observado por Ribeiro *et al.* (2018). Essas feições apresentam dimensões tridimensionais, observadas pela inversão da posição dos padrões P3-P1 para P1-P3 de uma mesma feição que cruza os dois canais do sonar (Figura 5A e 5B) indicando assimetria de declives opostos. Essas estruturas submersas transversais ao fluxo foram interpretadas como dunas de pequeno a grande porte segundo o conceito de Ashley (1990). A comparação entre a interpretação imagem acústica, e a imagem de satélite mostrou que essas dunas se concentram sobrepostas às cristas de *sand ribbons* paralelas à costa. Na composição RGB321 da imagem de satélite (Figura 4A), essas feições estão representadas pela alternância de cores claras (cristas) e azul escuro (vales) que possuem aproximadamente 7000 m de comprimento, se estendendo afora da área de estudo, e espaçamentos entre 500 e 710 m (Figura 4A).

A altura média dessas dunas foi calculada através da equação de Flemming (1988) (Equação 1), a partir da medição do espaçamento de 615 dunas, representadas pela alternância dos padrões P3-P1, e em seguida classificadas de acordo com Ashley (1990) obtendo o seguinte resultado: 232 feições se enquadram na categoria de dunas pequenas (espaçamento = 0,6 - 5 m/altura = 0,075 - 0,4 m); 26 em dunas médias (espaçamento = 5 - 10 m/ altura = 0,4 - 0,75 m); e 38 se enquadram na categoria de dunas grandes (espaçamento = 10 - 100 m / altura = 0,75 - 5 m). Dentre as 615 medições feitas, 473 estavam dentro da R2 e 142 dentro de R1 (Figura 2C e 4A), isto é, 77% e 23% do total das feições medidas, respectivamente. A ocorrência de padrões P3-P1 alternados com espaçamento entre 0,4 e 0,6 m foram associados a *ripples* (Figura 3F) de acordo com a classificação de Flemming (1988).



**Figura 4** A. Composição RGB123 LANDSAT 8 mostrando os *backscatters* regionais R1 e R2 e as feições em vermelho interpretadas como dunas, sobrepondo *sand ribbons*; B. Área com concentração de dunas e heterogeneidade de padrões acústicos; C. Área com escassez de feições e distribuição homogênea de *backscatter*.



**Figura 5** Padrão de energia refletida em uma linha retirado da região da Figura 2B; A. Com lâmina d'água; B. Sem lâmina d'água (corrigido o *Bottom Track*) e linha tracejada em branco representando a trajetória do barco.

## 5 Discussões

A diferença do padrão de reflexão acústica em escala regional (Figura 2 e 4) está relacionada às zonas com maior concentração de dunas, com baixa intensidade de *backscatter*; onde 77% do total de dunas distribuídas na

porção central da área, e às áreas com alta intensidade de *backscatter* onde as dunas estão ausentes. Esses dois padrões acústicos (Figura 4B e 4C) distinguem tipos de fundo associados a mobilidade dos sedimentos (*e.g.*, Medeiros *et al.*, 2014; Nascimento Silva *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2019). Esses padrões acústicos regionais distribuídos

em profundidades entre 10 e 14 m são relativamente homogêneos (Figura 4C) e característicos das coberturas de sedimentos bioclásticos grossos a muito grossos com cascalhos previamente descritas por Oliveira (2017) e Pereira *et al.* (2019). Nessa área da plataforma de PN, os depósitos transgressivos Pleistocênicos/Holocênicos revelam ciclos erosivos e de migração de bancos de sedimentos, sem vales incisivos ou aporte continental significativo (Moreira *et al.*, 2020). Na plataforma norte do RN, nas mesmas profundidades, ocorrem formas de fundo semelhantes, porém tem-se maior variabilidade da distribuição de sedimentos, sendo abundante os sedimentos siliciclásticos retrabalhados da plataforma e da zona costeira (Testa & Bosence, 1999; Vital *et al.*, 2008; Nascimento Neto *et al.*, 2019). Portanto, a distribuição das dunas encontra-se provavelmente associada primeiramente aos processos hidrodinâmicos plataformais e sobre a linha de costa da área, enquanto os tipos de sedimentos influenciam secundariamente.

Embora a quantidade de feições medidas que se enquadraram na classificação de Ashley (1990) seja aproximadamente 48% (296) do total (615), Flemming (2000a, 2013) afirma que isso é comum acontecer devido a fatores que limitam o crescimento das dunas como, por exemplo a velocidade do fluxo e o baixo suprimento de sedimentos na plataforma (Flemming, 2000a, 2013). Entretanto os dados medidos se enquadrariam na tendência proposta por Flemming (2013) indicando a presença de sedimentos com granulometria maior permitindo a formação de dunas maiores em profundidades maiores e a velocidades de corrente suficientemente altas.

Apesar das dunas transversais observadas neste trabalho estarem entre as isóbatas de 10 e 14 m, a mediana da componente total de velocidade da corrente de fundo é baixa, com valores entre 0,08 a 0,13 m.s<sup>-1</sup>, e atingindo o máximo de 0,3 m.s<sup>-1</sup> (Ribeiro *et al.*, 2018). Essas velocidades estão significativamente abaixo do intervalo associado à formação de dunas em 10 m de profundidade observado em Costello & Southard (1981) (0,6 – 1 m.s<sup>-1</sup>) e em Feldens *et al.* (2015) (> 0,4 m.s<sup>-1</sup>). No entanto, os sedimentos da área são predominantemente fragmentos carbonáticos de mais fácil mobilidade, o que facilita a formação dessas dunas sob fluxos menos intensos. Esse regime hidrodinâmico parece também limitar o crescimento das feições de fundo e contribuir para a predominância das dunas pequenas que se enquadraram na classificação de Ashley (1990). Enquanto as feições classificadas como médias e grandes poderiam ter sido formadas pela sobreposição de dunas menores (Flemming, 2000a, b).

Na plataforma setentrional do RN, onde há maior distribuição de sedimentos siliciclásticos (Vital *et al.*, 2008), apesar de ocorrer dunas maiores, observa-se discrepância da relação altura versus espaçamento entre essas feições

(Nascimento Neto *et al.*, 2019). As dunas na plataforma norte do RN apresentam espaçamento médio de 895 m e todas as feições se enquadram como dunas muito largas (> 100 m) seguindo a classificação de Ashley (1990). No entanto, Nascimento Neto *et al.* (2019) observaram que ao classificarem utilizando apenas a altura, todas as dunas se enquadravam como ‘grandes’ (0,75 – 5 m) ao invés de ‘muito grandes’ (> 5 m), indicando que o desenvolvimento da altura das dunas não estaria acompanhando o espaçamento.

O baixo suprimento de sedimentos na área, no contexto de plataforma faminta (Oliveira, 2017; Moreira *et al.*, 2020), dificulta o aumento da altura das dunas transversais (Flemming, 2013). Na região de Touros, as dunas transversais são compostas predominantemente por sedimentos mistos, e apresentam baixa altura (3 – 8 m) para seus espaçamentos (1300 - 5600 m) (Vianna *et al.* 1991), indicando também serem dunas “famintas” devido à redução de suprimento siliciclástico e o aumento da produção carbonatos (Testa & Bosence, 1999). Esse cenário é semelhante a plataforma interna de Ponta Negra com cobertura predominantemente de sedimentos carbonáticos (Oliveira, 2017; Pereira *et al.*, 2019) e com suprimento limitado de sedimentos da zona costeira (Vital *et al.*, 2018), o que contribui para o desenvolvimento de dunas “famintas” na região.

As dunas transversais de menor porte estão dispostas em cima das cristas das dunas longitudinais a corrente de deriva paralelas à linha de costa (Figura 4A). Embora a formação destas feições de maior porte seja geralmente associada aos ambientes de maior energia hidrodinâmica (Belderson *et al.*, 1982), Testa & Bosence (1999) observaram uma cobertura dominante de sedimentos carbonáticos de granulometria grossa em ambientes rasos na plataforma de Touros, que são menos densos e mais fáceis de serem transportados do que os siliciclásticos (Prager *et al.*, 1996). E, portanto, não seriam necessárias maiores velocidades de fluxo na plataforma interna para formar ou erodir essas feições. Além disso, ainda de acordo com Testa & Bosence (1999), os sedimentos carbonáticos aumentam a rugosidade do leito marinho, contribuindo para a instabilidade do fluxo e formação de fluxo tridimensional, necessários para o surgimento de *sand ribbons* (Testa & Bosence, 1999), que são as dunas longitudinais formadas pela ação da corrente de deriva e de marés (Stride *et al.*, 1972; Belderson *et al.*, 1982). Essas dunas longitudinais na plataforma de Ponta Negra ocorrem em profundidades semelhantes da plataforma de Touros e da plataforma norte do RN e também são compostas por sedimentos carbonáticos grossos (Oliveira, 2017; Pereira *et al.*, 2019; Nascimento Neto *et al.*, 2019). Entretanto, a corrente de fundo é fraca na plataforma de natal (0,08 a 0,13 m.s<sup>-1</sup>) (Ribeiro *et al.*, 2018), indica uma formação de longo termo controlada

pela profundidade, regime hidrodinâmico variável e o predomínio da sedimentação carbonática.

Essa divergência das dimensões das dunas na área de estudo segundo as classificações de Ashley (1990) e Flemming (2000a, 2013) seria um indicativo de que a plataforma interna adjacente à praia de Ponta Negra apresenta deposição sedimentar insuficiente, e, portanto, se encontra no estado de plataforma “faminta”. Essas observações na plataforma corroboram com os estudos de erosão na linha de costa (Vital *et al.*, 2018) que mostraram que cerca de 60% da linha de costa do RN está sob processos erosivos, com Ponta Negra entre as praias mais afetadas, além de ser um dos estados brasileiros mais afetados pela erosão costeira (Muehe, 2018).

## 6 Conclusões

Os resultados permitiram obter informações acerca da natureza da distribuição e morfologia dos diferentes tipos de fundos a partir do processamento do *backscatter*. Diferentes padrões hidrodinâmicos atuam na área em escala local e regional, resultando em diferentes geomorfologias. Foram observadas dunas transversais ao fluxo com *trend* NE-SO sobrepostas às *sand ribbons* paralelas à costa. Feições similares a estas são observados na plataforma interna de Touros e Norte do RN, indicando que, embora haja diversidade nas características sedimentares na plataforma leste e norte do RN, os regimes hidrodinâmicos produzem feições semelhantes associadas aos processos erosivos costeiros adjacentes. A divergência da altura das dunas em relação aos seus espaçamentos na classificação de Ashley (1990) na maior parte das medições indica que a plataforma é *faminta*, resultando em baixo desenvolvimento da altura das formas de fundo. No entanto, relações entre a migração de sedimentos, formação de dunas de diversas escalas e correntes na região da plataforma interna adjacente à praia de Ponta Negra ainda carecem da aquisição e integração de dados geológicos e geofísicos que permitam quantificar no espaço e temporalmente.

## 7 Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq através dos Projetos SOS Ponta Negra (Edital Universal Processo no. 486451/2012-7) e Margem Equatorial Brasileira: Da Fonte a Deposição (Aux. PQ Processo no. 311413/2016-1) pelo apoio financeiro para desenvolvimento da pesquisa. A Marinha do Brasil (SECIRM/SSN-3) pelo combustível e disponibilização do Navio Balizador Comandante Manhães para aquisição dos dados batimétricos. Ao CNPq pelas bolsas de Produtividade em Pesquisa a MPG (Processo

no. 302483/2019-5) e HV (Processo no. 315742/2020-8). A UFRN através do GGEMMA-PPGG pela infraestrutura necessária a realização da pesquisa. A Equipe de bolsistas GGEMMA pelo auxílio na aquisição de dados em campo. Esta é uma contribuição ao INCT AmbTropic II (CNPq-FAPESB-CAPES).

## 8 Referências

- Addad, J. & Martins-Neto, M.A. 2000. Deforestation and coastal erosion: a case from east Brazil. *Journal of Coastal Research*, 16(2): 423-431.
- Almeida, L.R.; Amaro, V.E.; Marcelino, A.M.T. & Scudeleri, A.C. 2014. 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 da Gestão Costeira Integrada*, 15: 135-151.
- Almeida, N.M.; Vital, H. & Gomes, M.P. 2015. Morphology of submarine canyons along the continental margin of the Potiguar Basin, NE Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 68: 307-324.
- Amaro, V.E.; Gomes, L.R.S.; Lima, F.G.F.; Scudeleri, A.C.; Neves, C.F.; Busman, D.V. & Santos, A.L.S. 2014. Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil. *Marine Geodesy*, 38: 1-25.
- Ashley G.M. 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Research*, 60: 160-172.
- Barbosa, M.E.F.; Boski, T.; Bezerra, F.H.R.; Lima-Filho, F.P.; Gomes, M.P.; Pereira, L.C. & Maia, R.P. 2018. Late Quaternary infilling of the Assu River embayment and related sea level changes in NE Brazil. *Marine Geology*, 405: 23-37.
- Barboza, E.G. & Rosa, M.L.C.C. 2014. Indicadores geológicos e geomorfológicos de setores em erosão na costa do Rio Grande do Sul. In: GOSO, C. (org.). *Nuevas Miradas a la Problemática de los Ambientes Costeros*. Montevideo, DIRAC - Facultad de Ciencias, p. 83-98.
- Belderson, R.H.; Johnson, M.A. & Kenyon, N.H. 1982. Bedforms. In: STRIDE, A.H. (ed.). *Offshore Tidal Sands, Processes and Deposits*. London, Chapman & Hall, p. 27-57.
- Bezerra, F.H.R.; Barreto, A.M.F. & Suguio, K. 2003. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. *Marine Geology*, 196: 73-89.
- Boski, T.; Bezerra, F.H.R.; Fátima, L.; Souza, A.M.; Maia, R.P. & Lima-Filho, F.P. 2015. Sea-level rise since 8.2 ka recorded in the sediments of the Potengi - Jundiá Estuary, NE Brazil. *Marine Geology*, 365: 1-13.
- Cabral Neto, I.; Córdoba, V.C. & Vital, H. 2013. Morfologia, microfaciologia e diagênese de beachrocks costa-afora adjacentes à costa norte do Rio Grande do Norte, Brasil. *Geociências*, 32(3): 471-490.
- Caldas, L.H.O.; Oliveira, Jr J.G.; Medeiros, W.E.; Stattegger, K. & Vital, H. 2006. Geometry and evolution of Holocene transgressive and regressive barriers on the semi-arid coast of NE Brazil. *Geo-Marine Letters*, 26: 249-263.

- Costello, W.R. & Southard, J.B. 1981, Flume experiments on lower-flow-regime bed forms in coarse sand: *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 849-864.
- Coutinho, P.N. 1995. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil. Programa REVIZEE/MMA e Recursos Hídricos e da Amazônia Legal.
- Eichler, P.P.B.; Nascimento Silva, L.L.; Andrade, A.U.; Martins, J.F.O.; Farias, C.L.C.; Moura, D.S.; Amorim, A.; Marinho, L.; Vital, H. & Gomes, M.P. 2019. Organically enriched sediments and foraminiferal species from the Açu Reef, indicators of upwelling in NE Brazil? *Marine Geology*, 417:106016.
- Eichler, P.P.B.; Barcellos, R.; Santos, L.; Vital, H. & Gomes, M.P. 2017. Sediment characteristics and foraminiferal assemblages in the nearshore benthos at Ponta Negra, RN, Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*, 47(3): 258-267.
- El-Robrini, M.; Silva, P.V.M.; Guerreiro, J.S.; Ranieri, L.A.; Alves, M.A.M. Da S. & Silva, M. Do S.F. Da. 2018. Panorama da Erosão Costeira do Estado do Pará. In: MUEHE, D. (org.). *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília, MMA, p. 65-166.
- Feldens, P.; Diesing, M.; Schwarzer, K.; Heinrich, C. & Schlenz, B. 2015. Occurrence of flow parallel and flow transverse bedforms in Fehmarn Belt (SW Baltic Sea) related to the local palaeomorphology. *Geomorphology*, 231: 53-62.
- Ferreira, B.P & Maida, M. 2006. *Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil*. Brasília – DF.
- Flemming, B.W. 2013. Comment on “Large-scale bedforms along a tideless outer shelf setting in the western Mediterranean” by Lo Iacono et al. (2010) in *Continental Shelf Research* vol 30, pp. 1802–1813. *Continental Shelf Research*, 52: 203-207.
- Flemming, B.W. 2000a. The role of grain size, water depth and flow velocity as scaling factors controlling the size of subaqueous dunes. In: MARINE SANDWAVE DYNAMICS, INTERNATIONAL WORKSHOP, Lille, France, Proceedings, p. 23-24.
- Flemming, B.W. 2000b. On the dimensional adjustment of subaqueous dunes in response to changing flow conditions: a conceptual process model. In: MARINE SANDWAVE DYNAMICS, INTERNATIONAL WORKSHOP, Lille, France, Proceedings, p. 61–67.
- Flemming, B.W. 1988. Zur klassifikation subaquatischer, stromungstransversaler Transportkörper. *Bochumer geologische und geotechnische Arbeiten*, 29: 44-47.
- França, A.M.C; Coutinho, P.N. & Summerhayes, C.P. Sedimentos superficiais da margem continental nordeste brasileira. 1976. *Revista Brasileira de Geociências*, 6(2): 71-88.
- Gomes, M.P.; Vital, H.; Bezerra, F.H.R.; De Castro, D.L. & Macedo, J.W.D.P. 2014. The interplay between structural inheritance and morphology in the equatorial Continental Shelf of Brazil. *Marine Geology*, 355: 150-161.
- Gomes, M.P.; Vital, H.; Eichler, P.P.B. & Gupta, B.K.S. 2015. The investigation of a mixed carbonate-siliciclastic shelf, NE Brazil: side-scan sonar imagery, underwater photography, and surface-sediment data. *Italian Journal of Geosciences*, 134(1): 9–22.
- Gomes, M.P.; Vital, H.; Statterger, K. & Schwarzer, K. 2016. Bedrock control on the Assu Incised Valley morphology and sedimentation in the Brazilian equatorial Shelf. *International Journal Sediment Research*, 31(2): 181–193.
- Gomes, M.P.; Vital, H.; Nascimento Silva, L.L.; Eichler, P.B.; Rovira, D.T. & Longo, G.O. 2019. Nature and condition of outer shelf habitats on the drowned Açu Reef, NE Brazil. In: HARRIS, P. & BAKER, E. (eds.). *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat GeoHab Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats*, Elsevier Science, p. 571–585.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*. Ministério do planejamento, orçamento e gestão. Rio de Janeiro, IBGE, 176p.
- Lima, Z.M.C.; Maciel A.B.C.; Ferreira J.C.V. & Araujo I.S. 2018. Identificação de serviços ecossistêmicos na praia de Ponta Negra, Natal - RN. *Revista de Geociências do Nordeste*, 4: 298-313.
- Lima, Z.M.C. & Maciel, A.B.C. 2014. Uso e ocupação de ponta negra, Natal/RN: uma análise multi-temporal. *Sociedade e Território*, 26: 127-147.
- Lins de Barros, F. M. 2005. Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada de Maricá, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6: 83-90
- Maciel, A.B.C.; Silva, R.V.M. & Lima, Z.M.C. 2016. Processo Erosivo E Gestão Costeira: Estudo De Caso Da Praia De Ponta Negra, Natal/RN. *Okara: Geografia em Debate (UFPB)*, 10: 429-452.
- Martins, K.A.; Pereira, P.S.; Silva-Casarin, R. & Neto, A.V.N. 2017. The influence of climate change on coastal erosion vulnerability in northeast Brazil. *Coastal Engineering Journal*, 59: 1-25.
- Medeiros, N.; Dias, M.S.; Neto, A.A. & Muehe, D. 2014. Mapeamento acústico de areias submersas para recuperação de praias do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 14: 149-158.
- Moreira, D.A; Gomes, M.P. & Vital, H. 2020. Shallow sedimentation of Natal shelf and coastal erosion implications, NE Brazil. *Geo-Marine Letters*, 40: 843–851.
- Muehe, D. 2018. *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília, MMA, 759p.
- Nascimento Neto, F.C.; Vital, H.; Araújo, I.R.F. & Gomes, M.P. 2019. Sand ridges field in the north inner shelf of Rio Grande do Norte, adjacent to Galinhos-Guamaré, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 42: 50–58.
- Nascimento Silva, L.L.; Gomes, M.P. & Vital, H. 2018. The Açu Reef morphology, distribution, and inter-reef sedimentation on the outer shelf of the NE Brazil equatorial margin. *Continental Shelf Research*, 160: 10–22.
- Nascimento Silva, L.L. & Gomes, M.P. 2019. Statistical approach on mixed carbonate-siliciclastic sediments of the NE Brazilian outer shelf. *Geo-Marine Letters*, 40: 1001–1013.
- Oliveira, C.A. 2017. *Heterogeneidade espacial do substrato plataforma adjacente a Ponta Negra, Natal-RN*. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado, 109p.

- Prager, E.J.; Southard, J.B. & Vivoni-Gallart, E.R. 1996. Experiments on entrainment threshold of well-sorted and poorly sorted carbonate sands. *Sedimentology*, 43: 33-40.
- Pereira, T.R.B.; Vital H.; Silva A.G.A. & Oliveira C.A. 2019. Comparison of automatic and semi-automatic methods for classification of side scan sonar imagery. *Revista Brasileira de Geofísica*, 37: 1-10.
- Ribeiro, F.; Pimenta, F.M. & Vital, H. 2018. Inner shelf currents off Ponta Negra beach, Natal, RN, Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 36(1): 43-58.
- Rio Grande do Norte. 2012. Decreto nº 9744, de 13 de julho de 2012. Decreta estado de calamidade pública em toda a orla do calçadão da praia de Ponta Negra, ocasionado pelas altas das marés além da normalidade. Diário Oficial do Município, Natal, RN.
- Rovira, D.P.T.; Gomes, M.P. & Longo, G.O. 2019. Underwater valley at the continental shelf structures benthic and fish assemblages of biogenic reefs. *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*, 224: 245–252.
- Silva, I.R.; Bittencourt, A.C.S.P.; Dominguez, J.M.L. & Silva S.B.M. 2007. Potencial de danos econômicos face à erosão costeira relativo às praias da costa do descobrimento - litoral sul do estado da Bahia. *Pesquisas em Geociências*, 34: 35-44.
- Stattegger, K.; Caldas, L.H.O. & Vital, H. 2006. Holocene coastal evolution of the Northern Rio Grande do Norte coast, NE, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39: 151–156.
- Stride, A.H.; Belderson, R.H. & Kenyon, N.H. 1972. Longitudinal furrows and depositional sand bodies of the English Channel. *Mémoire du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 79: 233-240.
- Testa, V. & Bosence, D.W.J. 1999. Physical and biological controls on the formation of carbonate and siliciclastic bedforms on the north-east Brazilian shelf. *Sedimentology*, 46(2): 279–301.
- Torres, A.M.; El-Robrini, M. & Costa, W.J.P. 2018. Panorama da erosão costeira no Brasil: Amapá. In: MUEHE, D. (Org.). *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília, MMA, p. 19-63
- Vianna, M.L.; Solewicz, R.; Cabral, A. & Testa, V. 1991. Sandstream on the northeast Brazilian Shelf. *Continental Shelf Research*, 2: 509-524.
- Vital, H. 2006. Erosão e progradação no litoral do Rio Grande do Norte. In: MUEHE, D. (org.). *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Brasília, MMA, p. 159-176.
- Vital, H.; Da Silveira, I.M. & Amaro, V.E. 2005. Carta sedimentológica da plataforma continental brasileira - área Guamaré a Macau (NR Brasil), utilizando integração de dados geológicos e sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23: 233–241.
- Vital, H. 2009. The mesotidal barriers of Rio Grande do Norte. In: DILLENBURG S. & HESPP. (eds) *Geology of Brazilian Holocene Coastal Barriers*. Heidelberg, Springer-Verlag, p. 289–324.
- Vital, H.; Gomes, M.P.; Tabosa, W.F.; Frazão, E.P.; Santos, C.L.A. & Plácido Junior, J.S. 2010a. Characterization of the Brazilian continental shelf adjacent to Rio Grande do Norte state, NE Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58: 43-54.
- Vital, H.; Furtado, S.F.L. & Gomes, M.P. 2010b. Response of Apodi Mossoró Estuary-Incised Valley System (NE Brazil) to Sea-Level Fluctuations. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58: 13–24.
- Vital, H.; Stattegger, K.; Amaro, V.E.; Schwarzer, K.; Frazão E.P.; Tabosa, W.F.A. & Silveira, I.M. 2008. Modern high-energy siliciclastic-carbonate platform: continental shelf adjacent to northern Rio Grande do Norte State, NE Brazil. In: HAMPSON G.; STEEL R.; BURGUESS P. & DALRYMPLE, R. (eds.). *Recent Advances in Models of Siliciclastic Shallow-marine Stratigraphy*. SEPM Special Issue 90, p. 175–188.
- Vital, H. 2014. The north and northeast Brazilian tropical shelves. In: CHIOCCI F.L. & CHIVAS, A.R. (eds.). *Continental Shelves of the World: Their Evolution During the Last Glacio-eustatic Cycle*, 41, Geological Society, London, Memoirs, p. 35–46
- Vital, H.; Silveira, I.M.; Tabosa, W.F.; Lima, Z.M.C.; Lima Filho, F.P.; Souza, F.E.S.; Chaves M.S.; Pimenta, F.M. & Gomes, M.P. 2016. Beaches of Rio Grande do Norte. In: SHORT, A.D. & KLEIN, A.H.F. (org.). *Brazilian Beach Systems*. Springer International Publishing, p. 201-209.
- Vital, H.; Silveira, I.M.; Lima, Z.M.C.; Tabosa, W.F.; Silva, A.G.A.; Souza, F.E.S.; Chaves, M.S. & Gomes, M.P. 2018. Rio Grande Do Norte. In: MUEHE, D. (org.). *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília, MMA, p. 289-326.

Recebido em: 19/06/2020

Aprovado em: 23/03/2021

**How to cite:**

Damasceno, Ú.M.; Gomes, M.P.; & Vital, H. 2021. Imageamento Acústico da Plataforma Interna Adjacente à Praia de Ponta Negra - RN. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44: 42626. DOI 1982-3908\_2021\_44\_42626