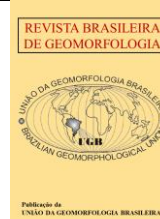




<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664



Artigo de Pesquisa

Dinâmica da abertura de canais de maré no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul - RJ utilizando imagens orbitais PlanetScope

Dynamics of tidal inlets opening on the northern flank of the Paraíba do Sul river delta - RJ

André Paulo Ferreira da Costa ¹, Thaís Baptista da Rocha ² e Sílvio Roberto Oliveira Filho ²

¹ Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-graduação em Geociências - Geoquímica, Niterói, Brasil. costa_andre@id.uff.br.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5783-3271>

² Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-graduação em Geografia, Niterói, Brasil. thaisbaptista@id.uff.br.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5268-8009>

³ Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-graduação em Geografia, Niterói, Brasil. silviooliveira@id.uff.br.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8923-285X>

Recebido: 17/03/2022; Aceito: 26/01/2023; Publicado: 14/03/2023

Resumo: Os canais de maré são feições litorâneas comuns, as quais promovem fluxo de água entre corpos hídricos costeiros e o oceano. A abertura desses canais está associada a eventos meteo-oceanográficos de maior energia que condicionam processos transversais, erosão e rompimento das barreiras arenosas. Trabalhos anteriores apontaram que a abertura de canais de maré associados aos pontais arenosos que ocorrem no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul é um processo comum que faz parte da evolução dessas feições. No entanto, a dinâmica de abertura desses canais, bem como a influência das forçantes flúvio-oceanográficas, ainda não são bem conhecidas. Diante disso, objetiva-se analisar a dinâmica e as condições flúvio-oceanográficas que propiciam a abertura de canais de maré no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro-Brasil. Os resultados obtidos apontam que a abertura de canais de maré na área de estudos ocorre através de dois processos distintos: A formação de leques de transposição e a migração lateral de meandros. Tais processos resultam das condições morfológicas criadas pelo próprio crescimento dos pontais em conjunto com condições flúvio-oceanográficas capazes de aumentar o fluxo na foz norte do delta. As condições oceanográficas de moderada a alta energia e maiores amplitudes de maré se mostraram mais influentes que a vazão do rio.

Palavras-chave: imagens Planet; pontais arenosos, condições flúvio-oceanográficas

Abstract: Tidal inlets are common coastal features that promote the flow of water between coastal water bodies and the ocean. The opening of these inlets is associated with higher-energy meteo-oceanographic events that foment transversal processes, erosion and the breaking of sand barriers. Previous works have shown that the opening of tidal inlets in sandy spits that occur on the northern flank of the Paraíba do Sul river delta is a common process that is part of the evolution of these features. However, the opening dynamics of these inlets and the influence of fluvio-oceanographic conditions are still not well known. Therefore, the objective of this work is to analyze the dynamics and fluvio-oceanographic conditions that favor the opening of tidal channels on the northern flank of the delta of the Paraíba do Sul river, Rio de Janeiro-Brazil. The results obtained show that the opening of tidal inlets in the study area is a result of the morphological conditions created by the growth of the spits together with fluvio-oceanographic conditions capable of increasing the flow at the northern mouth of the delta. Moderate to high-energy oceanographic conditions and larger tidal ranges proved to be more influential than the river flow.

Keywords: Planet images; sandy spits; fluvio-oceanographic conditions

1. Introdução

Os canais de maré (*inlets*) representam aberturas da linha de costa que sustentam o intercâmbio entre as águas do oceano e corpos d'água costeiros, como baías e lagoas, durante os ciclos de maré (BECK, 2019; HAYES; FITZGERALD, 2013). Os canais de maré desempenham papéis importantes para a navegabilidade entre as águas interiores e de mar aberto, estando frequentemente localizados em áreas densamente povoadas ou alteradas pelas atividades humanas (BECK, 2019). Essas feições representam sistemas hidrodinâmicos complexos refletindo as condições de amplitude de maré, energia de ondas, propriedades sedimentares e geometria do canal (FITZGERALD; KRAUS; HANDS, 2000; HAYES; FITZGERALD, 2013; PINET, 2009). São feições muito comuns em regiões de mesomaré atreladas a sistemas de ilhas-barreira e pontais, como em parte da costa leste americana. Não raro esses canais de maré coincidem com a desembocadura de rios (BECK, 2019; FITZGERALD; MINER, 2013).

Um canal de maré que possui um prisma completo é constituído por um delta de enchente, um delta de vazante, um canal principal e canais secundários, onde a morfologia de cada parte é dependente do balanço sedimentar derivado da energia de ondas, velocidade de fluxo pelos canais e das características dos sedimentos que compõe o acamamento do canal (BECK, 2019; DE SWART; ZIMMERMAN, 2009). Em regiões dominadas por micromaré, principalmente onde o canal de maré coincide com uma desembocadura fluvial, os deltas de vazante são bem desenvolvidos enquanto os deltas de enchente são pouco desenvolvidos ou inexistentes (FITZGERALD; MINER, 2013; HAYES; FITZGERALD, 2013). Sob condições de micromaré se formam barras submarinas no delta de vazante as quais tendem a obstruir rapidamente o canal. Por esse motivo, canais de maré formados em regiões de micromaré dominadas por ondas costumam ser pequenos e sazonalmente transitórios (RANASINGHE; PATTIARATCHI, 2003).

Grande parte dos trabalhos que versam sobre canais de maré associa a abertura dessas estruturas a ondas de tempestade ou oscilações da coluna d'água em lagoas ou baías frente a eventos pluviométricos extremos (FITZGERALD; MINER, 2013; MATTHEUS et al., 2016; PINET, 2009; RANASINGHE; PATTIARATCHI, 2003). Parte desses estudos também cita a contribuição de ondulações geradas no interior dos sistemas lagunares frente a condições excepcionais de ventos de terra para mar. Isto é especialmente bem descrito para regiões do atlântico norte influenciadas pela passagem de furacões (FITZGERALD; MINER, 2013; FITZGERALD; KRAUS; HANDS, 2000; HAYES; FITZGERALD, 2013).

O trânsito de sedimentos e o comportamento morfodinâmico de canais de maré é variável. FitzGerald e Miner (2013) reproduzem 3 de 9 modelos propostos por FitzGerald et al. (2000) no que tange o transporte de sedimentos através de canais de maré naturais ou mantidos artificialmente por estruturas rígidas. Um desses 3 modelos está diretamente envolvido com o comportamento morfodinâmico de pontais. Este modelo prevê a formação de canais de maré a partir da ruptura de pontais, formação de ilhas-barreira e migração dos canais de maré.

No escopo do delta do rio Paraíba do Sul (DRPS), Rio de Janeiro – Brasil, o modelo proposto pelo trabalho de Vasconcelos et al. (2016) para formação e evolução dos pontais arenosos, que ocorrem no flanco norte do delta, considera o rompimento eventual e abertura de canais de maré como parte da evolução morfodinâmica dos pontais. O trabalho de Costa et al. (2020) registrou diversos momentos de abertura de canais de maré entre 1984 e 2017 nos mesmos pontais estudados por Vasconcelos et al. (2016).

Embora a abertura de canais de maré nos pontais do flanco norte do DRPS já esteja demonstrada na literatura, resiste como lacuna científica, a compreensão das condições flúvio-oceanográficas que condicionam o rompimento e evolução dessas estruturas. Nessa perspectiva, o objetivo desse trabalho é analisar a dinâmica e as condições flúvio-oceanográficas que propiciam a abertura de canais de maré nos pontais que se desenvolvem no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro-Brasil.

2. Área de Estudo

A área de estudos se encontra na margem norte da foz do rio Paraíba do Sul, localidade de Gargaú, município de São Francisco de Itabapoana-RJ (Figura 1). Em termos geológicos-geomorfológicos, a área está inserida na província norte do complexo deltaico do rio Paraíba do Sul (ROCHA et al., 2019). Província esta que está associada a sedimentação holocênica dos últimos 5.500 anos (SILVA, 1987; ROCHA et al., 2019). Na área ocorrem cristas de

praia intercaladas por depressões alongadas onde predomina sedimentação fina. É comum o desenvolvimento de manguezais e brejos nessas depressões (ROCHA et al., 2019). Vasconcelos et al. (2016) associaram a formação desse relevo ao processo de formação de sistemas pontal-laguna pelo crescimento de pontais arenosos.

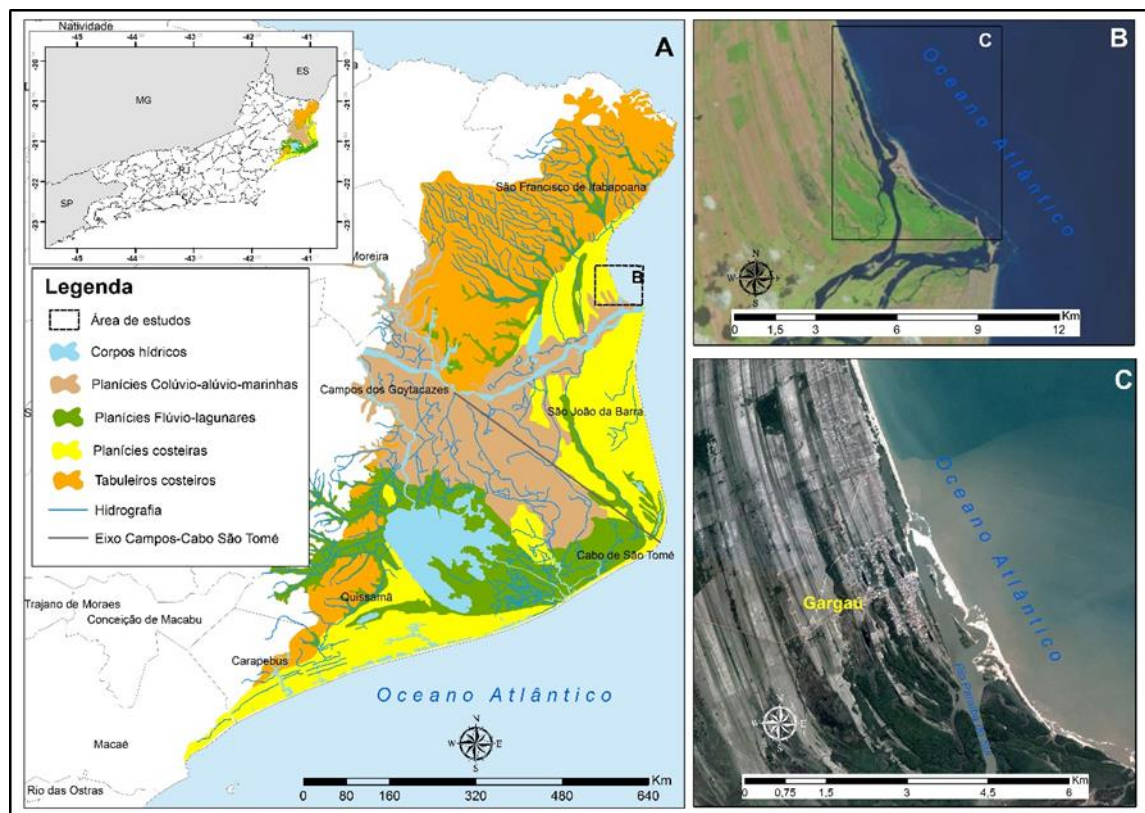


Figura 1. Localização da área de estudos. A) Mapa Geomorfológico na escala 1:250.000 (Adaptado de CPRM, 2000). B) Imagem Landsat 8 OLI do ano de 2017, composição RGB 123 (Falsa-cor). C) Imagem PlanetScope do ano de 2019, composição RGB 123 (cor verdadeira).

A área se encontra em ambiente costeiro tropical úmido com maiores índices pluviométricos e temperaturas médias entre os meses de outubro e março e menores índices pluviométricos e temperaturas médias entre os meses de maio e agosto (SOUZA; BULHÕES; AMORIM, 2016). O clima regional é influenciado pelo movimento do Anticiclone do Atlântico Sul (ACAS) e a passagem de sistemas atmosféricos transitórios como as frentes frias e os vórtices ciclônicos de mesoescala (DERECZYNSKI; MENEZES, 2015; SOUZA; BULHÕES; AMORIM, 2016). Durante o verão o ACAS se desloca para Sudeste do oceano Atlântico, intensificando a velocidade dos ventos de norte-nordeste e a atividade convectiva na região. Isso propicia, em conjunto com a formação da Alta da Bolívia (AB) e a passagem de sistemas transitórios, a organização da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que é responsável pelos maiores índices pluviométricos na região durante o verão (DERECZYNSKI; MENEZES, 2015). Por outro lado, a migração do ACAS para noroeste durante o inverno propicia maior penetração dessa massa de ar na região, gerando ventos de nordeste de menor intensidade e condições estabilidade atmosférica. Isso, em conjunto com o arrefecimento da AB, promove a diminuição das precipitações na região e em grande parte do Brasil (DERECZYNSKI; MENEZES, 2015).

Em termos oceanográficos, a área é condicionada pelos ventos de nordeste advindos do ACAS e os ventos do quadrante sul associados a passagem de frentes frias e sistemas ciclônicos impulsionados pelo Anticiclone Migratório Polar (ACMP) (SOUZA; BULHÕES; AMORIM, 2016). A influência desses ventos cria um clima de ondas com padrão bimodal, com preponderância de ondas de nordeste a sudeste. Ribeiro et al. (2016), através de

simulação de ondas no programa Mike21, mostrou que as ondas de sul e sudoeste ocasionalmente formadas em eventos de tempestade, sofrem muito efeito da refração quebrando na área de estudos com alturas mais baixas.

Há divergências na literatura quanto ao sentido das correntes de deriva litorânea no DRPS. Para alguns autores, como Martin et al. (1984) e Dominguez et al. (1983), o sentido predominante de deriva ocorre de sul para norte. Por outro lado, autores como Dias e Gorini (1981), Dias et al. (1984) e Vasconcelos et al. (2016) argumentam que o sentido predominante de deriva ocorre no sentido norte-sul. Tal embate gera divergências quanto às interpretações acerca da dinâmica evolutiva da desembocadura do rio Paraíba do Sul.

A variação de marés na área de estudo configura padrão característico de micromaré com amplitude máxima girando em torno de 1,3 m entre a preamar e a baixamar de sizígia (ROCHA, 2013; ROCHA et al., 2019). As tábuas de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para o Porto do Açú mostram duas preamares e duas baixamars de mesma magnitude, configurando comportamento semi-diúrno. Ainda de acordo com as tábuas de marés o nível médio do mar na área de estudos corresponde a 0,9 m.

O comportamento hidrodinâmico em termos de vazão do rio Paraíba do Sul apresenta sazonalidade bem demarcada com as maiores vazões ocorrendo entre os meses de dezembro a fevereiro e as menores vazões ocorrendo entre os meses de agosto a outubro (Figura 2). Alguns trabalhos vêm apontando para uma tendência de diminuição da vazão do rio Paraíba do Sul nas últimas décadas. Rocha (2009), analisando a série histórica da estação fluviométrica Campos-Ponte Municipal da Agência Nacional de Águas, aponta uma diminuição das vazões líquida e sólida do rio a partir de 1995. Costa et al. (2020), ao analisar a série histórica da mesma estação fluviométrica, mostra que entre 2013 e 2016 se registrou a seca mais persistente de toda a série histórica.

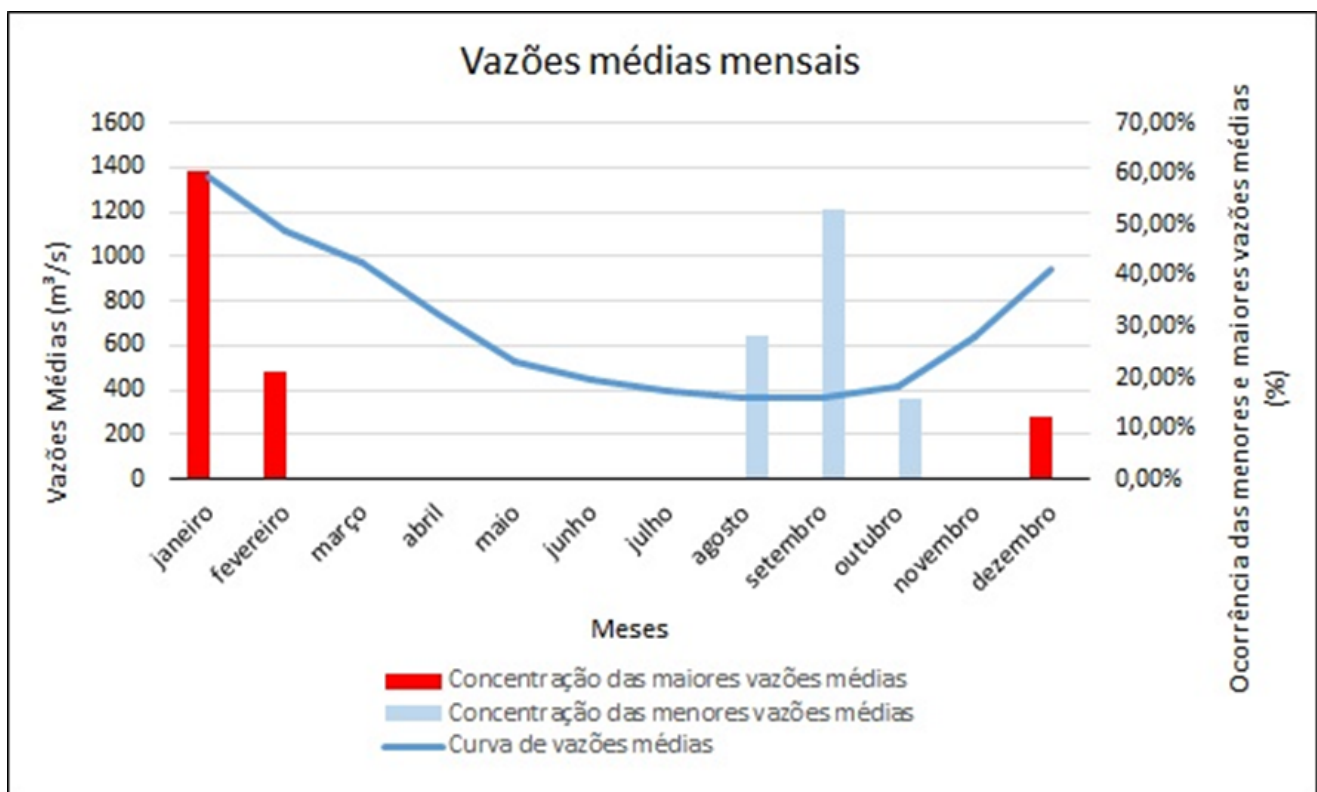


Figura 2. Curva de variação das vazões médias mensais do rio Paraíba do Sul e barras mostrando a porcentagem de ocorrência das maiores (barras vermelhas) e menores (barras azuis) das vazões médias mensais. Fonte: Costa et al. (2020).

2. Materiais e Métodos

2.1. Identificação e caracterização de rompimentos dos pontais

A identificação dos momentos de rompimento dos pontais arenosos foi realizada através da observação das imagens orbitais que fazem parte da série histórica da plataforma *Planet.com* entre os dias 01/01/2018 e 01/10/2020. A *Planet.com* fornece gratuitamente imagens de sua série histórica, com resolução espacial entre 3 a 5 m, aos inscritos em seu programa de educação e pesquisa (<https://www.planet.com/markets/education-and-research/>). Os sensores orbitais que fazem parte da constelação da *Planet.com* captam imagens diárias para a área de estudos. Após a observação sucessiva de 682 imagens organizadas por ordem de data, foram baixadas 10 imagens (tabela 1) relativas às janelas temporais onde se identificou a ruptura dos pontais arenosos e abertura de canais de maré. A identificação das janelas de ruptura e a inferência das forçantes responsáveis pelos rompimentos foi realizada mediante análise visual das imagens antes e após a ocorrência das rupturas.

Tabela 1. Datas de aquisição das imagens PlanetScope utilizadas para as análises do presente trabalho.

Figuras	Datas de aquisição das imagens
Figura 3A	12/03/2018
Figura 3B	13/03/2018
Figura 4A	12/05/2018
Figura 4B	21/05/2018
Figura 5A	19/01/2019
Figura 5B	26/01/2019
Figura 6A	11/11/2019
Figura 6B	17/11/2019
Figura 7A	19/09/2020
Figura 7B	20/09/2020

2.2. Análise das condições oceanográficas e fluviais

Além da identificação e caracterização dessas imagens, foram analisados dados de vazão fluvial, estatística de parâmetros relacionados a ondas (altura significativa, período médio de picos e direção média de picos) obtidas pelo modelo de previsão numérica *Wave Watch III* e tábua de previsão de maré para os dias que envolvem as janelas temporais onde se observou rompimento dos pontais. Os dados de vazão foram obtidos junto à plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) a partir dos dados hidrológicos da estação fluviométrica número 58974000, CAMPOS – PONTE MUNICIPAL, localizada no município de Campos dos Goytacazes, distante aproximadamente 25 km da foz do rio Paraíba do sul. Os parâmetros de ondas foram obtidos através da plataforma “*Easier access to scientific data*” (ERDDAP-NOAA, https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/NWW3_Global_Best.html) para uma área (21°S-21°30’S; 40°W-39°30’W) da Baía de Campos, ao largo da área de estudo. As tábuas de maré foram obtidas junto ao centro de hidrografia da Marinha brasileira (DHN), relativas ao Porto do Açú, Latitude 21° 48’.9 S e Longitude 40° 59’.9 W, localizado aproximadamente a 30km da área de estudos.

2.3. Aplicação do método estatístico multivariado de análise de componentes principais (PCA – Principal Component Analysis)

A aplicação do método estatística multivariado de análise de componentes principais visa corroborar a caracterização morfológica e o papel inferido das forçantes fluviais e oceanográficas descritas anteriormente. A Análise de Componentes Principais (PCA, do inglês Principal Component Analysis) é uma técnica de estatística multivariada amplamente empregada que possibilita a interpretação de inter-relações existentes entre muitas

variáveis. Essa técnica possui aplicações em diversos ramos científicos, desde estudos moleculares a estudos ambientais (SANGUANSAT, 2012). De forma simplificada, a técnica realiza uma diminuição do volume de dados mantendo a variabilidade existente na população analisada (JOLLIFE; CADIMA, 2016; REID; SPENCER, 2009). Essa diminuição no volume de dados se dá através da transformação dos valores originais das variáveis em novos valores a partir de uma série de combinações lineares (REID; SPENCER, 2009). Esses novos valores das variáveis estudadas passam a representar os componentes principais da análise PCA. Cada componente principal explica um determinado grau de variância das variáveis originais. A interpretação de cada componente principal é realizada a partir das cargas das variáveis calculadas. Cada componente possuirá uma ou mais variáveis que mais contribuíram para sua construção (REID; SPENCER, 2009; SABINO; LAGE; DE BRITO ALMEIDA, 2014).

Reid & Spencer (2009) ressaltam para a necessidade de um adequado pré-tratamento dos dados para a mitigação de erros de interpretação e obtenção de resultados confiáveis. Segundo os autores, se faz necessário testar a normalidade da distribuição dos dados, transformar os dados de distribuição não-normal, além de verificar e remover de *outliers*. De forma similar, Sabino et al. (2014) argumenta que antes da execução de qualquer método de estatística multivariada é necessário a identificação e remoção de *outliers*. Ainda nesse sentido, Jolliffe & Cadima afirmam que a PCA é sensível a presença de *outliers*.

No âmbito desse trabalho, todo o procedimento estatístico, desde o pré-tratamento dos dados a execução da análise de componentes principais, foi realizado no programa RStudio. Os pacotes Factominer, Factoshyni, Factoextra, Shyni e Tydiverse foram utilizados. A normalidade dos dados foi testada mediante aplicação do teste de Shapiro-Wilk a nível de significância de 5% e interpretação visual de qqplots. A normalização dos dados se deu segundo a transformada de Gauss (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). A identificação e remoção de outliers foi realizada pelo cálculo das distâncias de Mahalanobis (LEYS et al., 2018). Os pontos cujo as distâncias se apresentaram duas vezes maiores que a média das distâncias de Mahalanobis calculadas foram considerados outliers (LEYS et al., 2018).

Os dados de vazão são obtidos em médias diárias, enquanto os dados relacionados às estatísticas de ondas são obtidos a intervalos de 6 horas. Do mesmo modo, as alturas de maré são obtidas para os horários previstos das preamares e baixa-mares. Para compatibilização dos dados foram então obtidas médias diárias para as estatísticas de altura significativa de ondas (Hs), período médio (T) e direção média de ondas (Dir.). As maiores amplitudes de maré diárias foram utilizadas. Uma vez realizado o pré-tratamento dos dados foi realizada a análise de componentes principais.

3. Resultados

3.1. Rompimentos dos pontais arenosos e análise descritiva das condições fluviais e oceanográficas em escala interanual

A observação das imagens orbitais disponíveis na plataforma *Planet.com* permitiu a identificação de cinco períodos recentes de rompimento dos pontais arenosos ocorridos entre 2018 e 2020. Entre os dias 12 e 13 de março 2018 ocorreu o rompimento do pontal arenoso (Figura 3A e 3B). Esse rompimento ocorreu sob condições de vazão acima da média verificada para os meses de março, maré de quadratura (amplitude de máxima de 0,8m) e ondas do quadrante sul para a bacia de Campos (Figura 3C), comuns ao mês de março. No dia 13 foi identificado a ocorrência de um pico de vazão do rio (2126,24m³/s) chegando próximo a máxima identificada para o mês (2717m³/s), ondas de nordeste, com alturas significativas oscilando entre 1 e 1,5 m e amplitude máxima de maré de 0,80 m.

É possível observarmos nas imagens da figura 3, a presença de dois pontais, um pontal a leste com porção terminal em forma de gancho, que tende a reorientar o fluxo fluvial para norte, e, outro a oeste, que se conecta com o continente mais a norte. Frente a reorientação, o fluxo fluvial passa a incidir diretamente sobre o pontal oeste em sua margem voltada para o oceano. É interessante notar que o ponto de rompimento do pontal oeste se encontra mais delgado em comparação às porções desse mesmo pontal mais a sul e a norte.

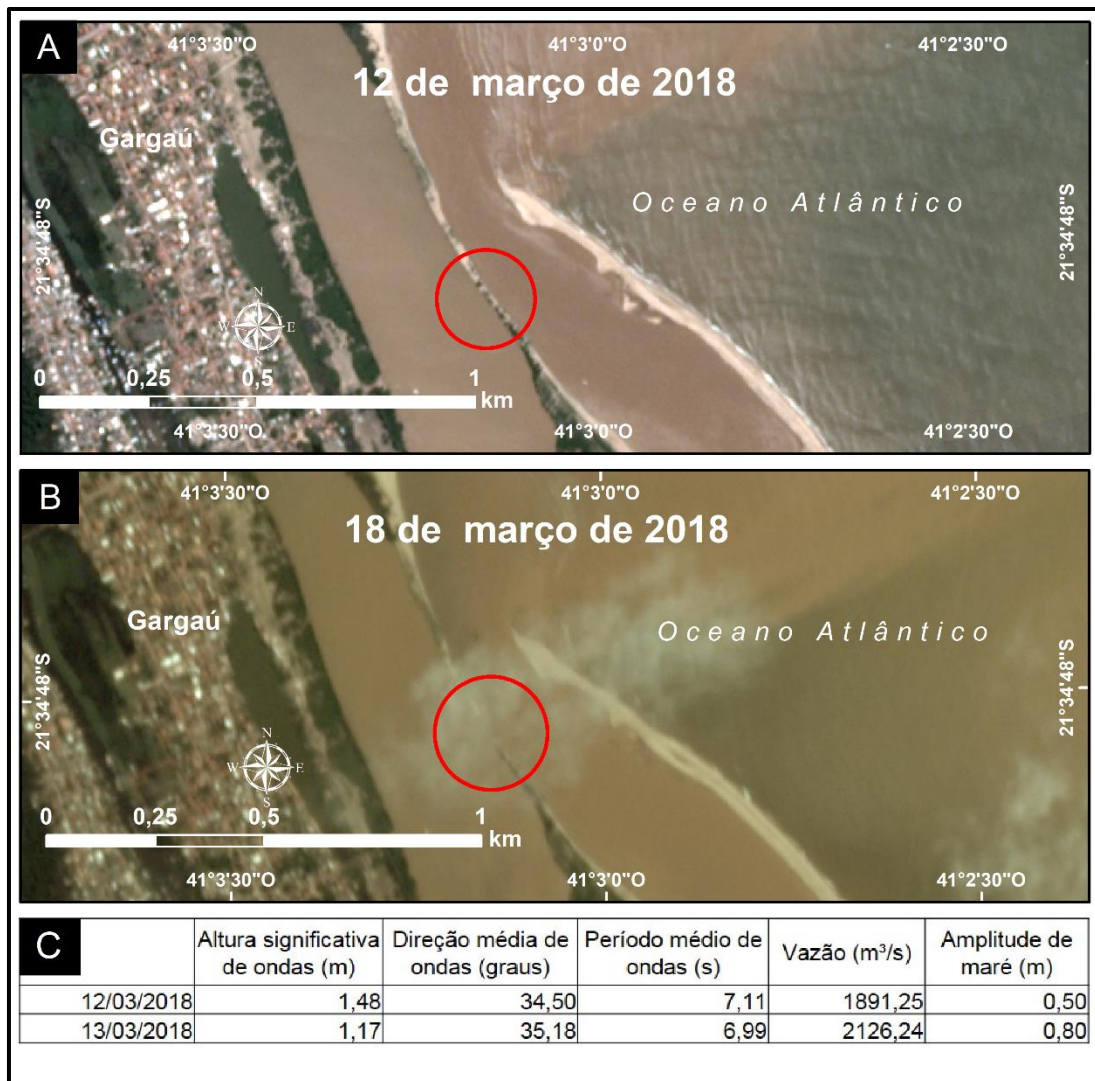


Figura 3. Identificação do rompimento de pontal e as condições fluviais e oceanográficas entre 12 (A) e 18 (B) de março de 2018. Os círculos em vermelho mostram a área de rompimento. Fonte: Imagens PlanetScope composição RGB 321 Cor verdadeira.

Entre os dias 12 e 21 de maio de 2018 ocorreu um segundo rompimento do pontal oeste (Figuras 4A e 4B). Esse rompimento ocorreu sob condições de vazão abaixo da média verificada para os meses de maio (528m³/s), maré de sizígia e ondas que variaram da direção leste para sul, com alturas significativas superiores a 1,5 m. No dia 13 de maio foi observado ocorrência de ondas de sul, com alturas próximas a 1,5 m, vazão abaixo da média e amplitude máxima de maré de 1,4 m. No dia 15 de maio se observou o início da maré de sizígia com amplitude máxima de 1,5 m, ondas de sul, com alturas significativas próximas a 2,5 m. Não foram observadas alterações consideráveis entre as vazões diárias, as quais oscilaram entre 300 e 350 m³/s durante todo o período.

Diferentemente do observado no período anterior, a porção terminal do pontal leste não se encontra diretamente sobre o ponto de rompimento do pontal oeste. Na imagem do dia 12 de maio é possível observar a presença característica de leques de transposição no reverso do pontal oeste (leques deposicionais projetados para o continente). O rompimento do pontal oeste ocorre justamente na posição dos leques de transposição, sugerindo ser as ondas a força causadora do rompimento.

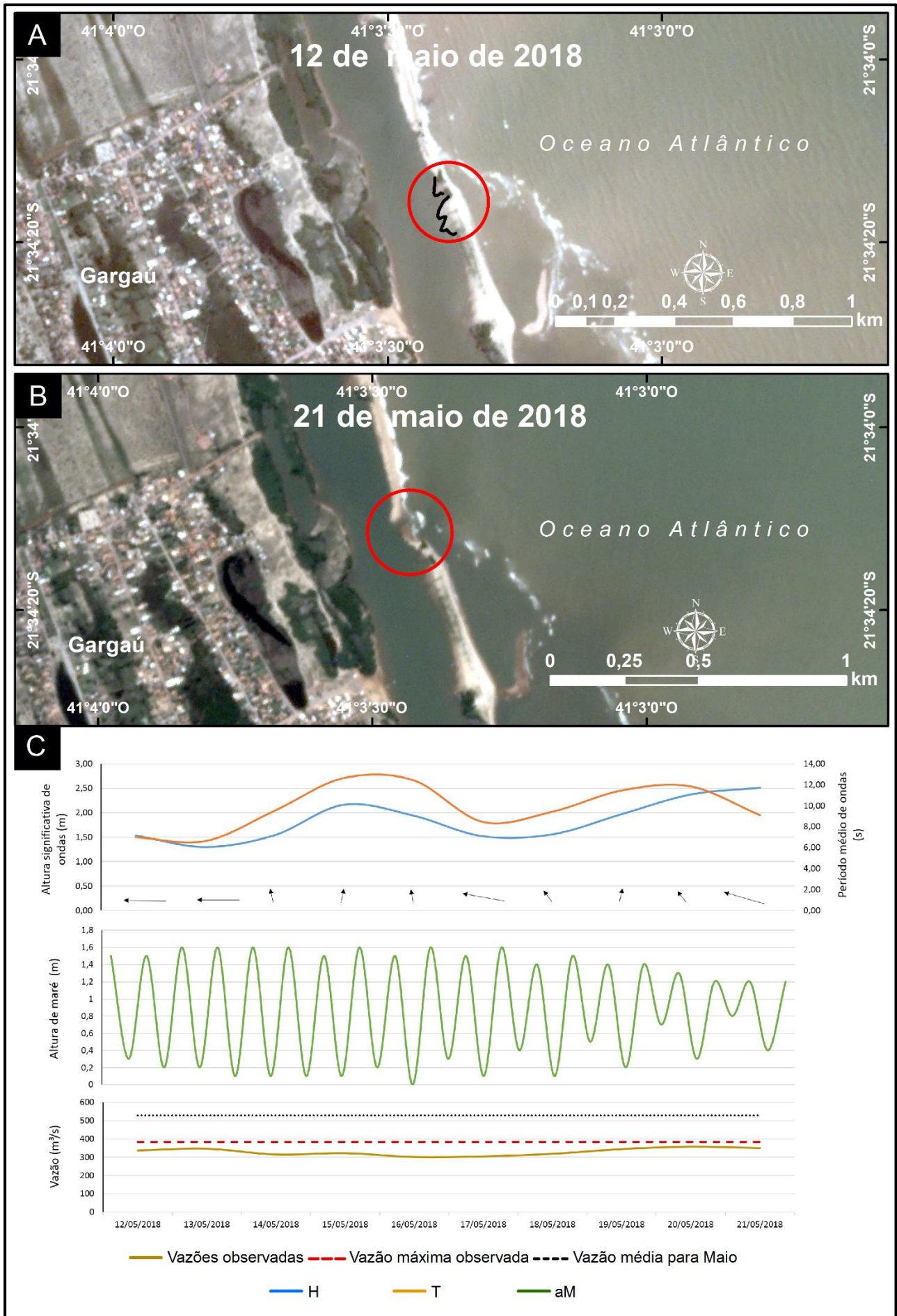


Figura 4. Identificação do rompimento de pontal e as condições fluviais e oceanográficas entre 12 (A) e 21 (B) de maio de 2018. Os círculos em vermelho mostram a área de rompimento. As setas presentes no primeiro gráfico (C) mostram a direção de ondas calculada para os respectivos dias. A linha preta mostra o contorno de leques de transposição identificados no dia 12 (A). Fonte: Imagens PlanetScope composição RGB 321 Cor verdadeira.

Entre os dias 21 e 26 de janeiro de 2019 ocorreu rompimento do pontal leste (Figuras 5A e 5B) próximo ao seu ponto de conexão a ilha da Convivência. Esse rompimento ocorreu sob condições de vazão abaixo da média para os meses de janeiro ($1357\text{m}^3/\text{s}$), maré de sizígia e prevalência de ondas do quadrante sul-sudoeste com alturas significativas oscilando entre 1,25 e 1,75 m. No dia 21 de janeiro foi observado início da maré de sizígia com amplitude máxima de 1,7 m, com direção sul e alturas significativas entre 1,5 e 2 m, e com vazão abaixo da média. No dia 23 de janeiro foi observado pequeno aumento da vazão do rio, a qual se manteve abaixo da média mensal. A partir do dia 24 de janeiro as alturas significativas assumiram tendência de queda com mudança da direção de onda para leste e, posteriormente, nordeste. O rompimento observado nessa terceira janela temporal ocorreu em um ponto de pequena largura do pontal leste. É interessante notar que esse rompimento ocorreu próximo ao ponto de ruptura da barreira norte, em março de 2018.

Em novembro de 2019, entre os dias 11 e 17, ocorreu o quarto rompimento observado no período avaliado (Figuras 6A e 6B). Esse rompimento ocorreu na ilha-barreira formada a partir do rompimento ocorrido em janeiro de 2019 sob condições de vazão abaixo da média verificada para os meses de novembro, final da maré de sizígia e prevalência de ondas variando entre os quadrantes sul-sudoeste e sul-sudeste, com alturas significativas oscilando entre 1,5 e 2,5 m. No dia 11 foi observada vazão abaixo da média para os meses de novembro ($641\text{m}^3/\text{s}$), amplitude maré máxima de 1,5 m e ondas de sul-sudeste de 1,5 m de altura. No dia 14 se observou aumento da vazão para aproximadamente $350\text{ m}^3/\text{s}$, amplitude de maré de 1,3 m e ondas de sul-sudoeste, com alturas significativas próximas aos 2,5 m. No dia 17, a vazão chegou ao patamar dos $400\text{ m}^3/\text{s}$, a amplitude de maré máxima verificada foi de apenas 0,9 m, com ondas de sudeste e alturas significativas inferiores a 2 m. Muito embora a vazão tenha apresentado tendência de aumento, manteve-se ainda abaixo da média esperada para o mês.

É importante pontuar que, de forma similar ao rompimento observado em março de 2018, é possível observar a presença de um novo pontal, mais à leste do pontal leste, com a porção terminal em forma de gancho (Figuras 7A e 7B). O fluxo fluvial é redirecionado para norte frente ao crescimento desse novo pontal, incidindo diretamente sobre a margem externa do pontal leste. Também nesse período é interessante notar que o ponto de rompimento do pontal se encontra mais delgado quando comparado as demais porções do pontal a norte e a sul.

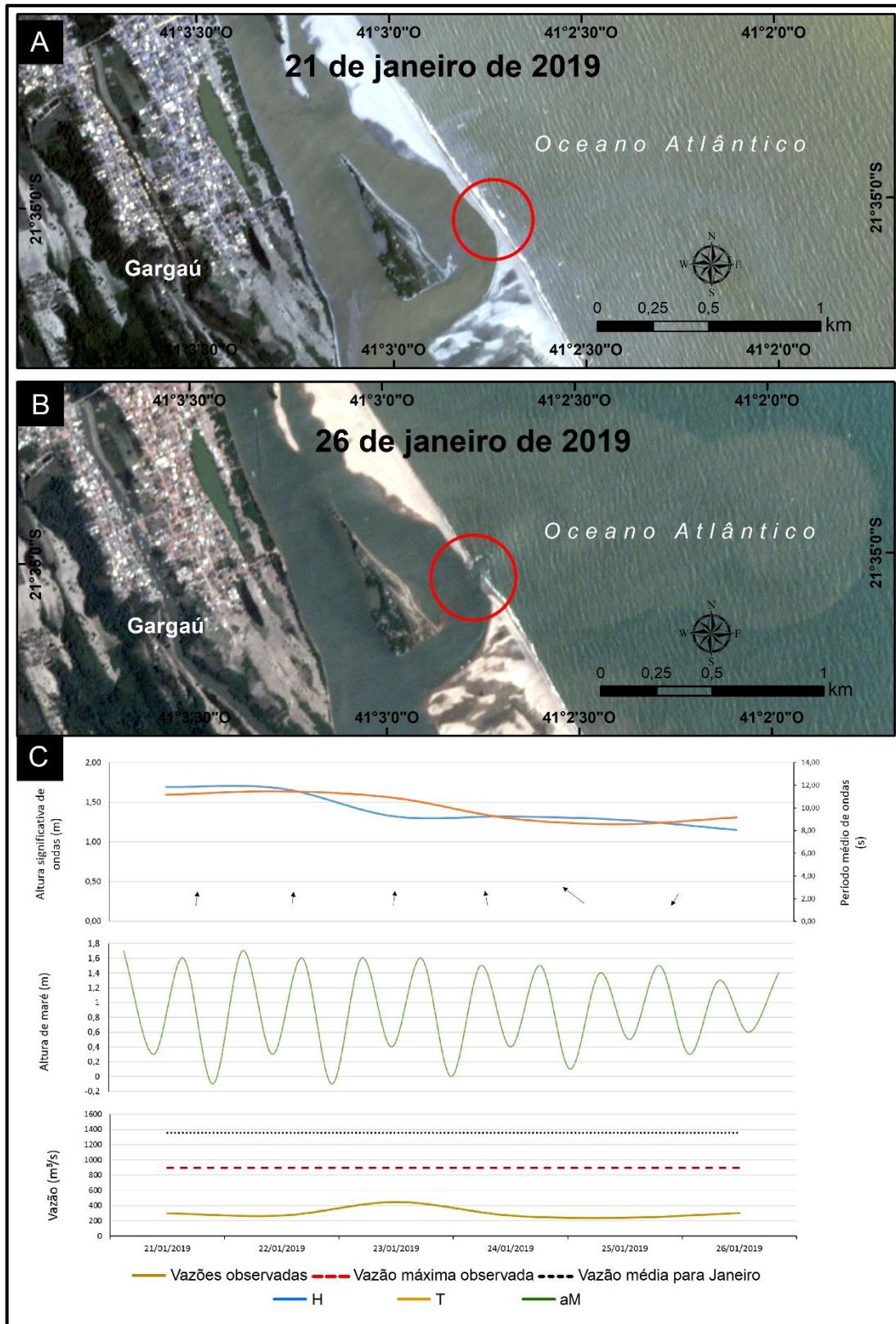


Figura 5. Identificação do rompimento de pontal e as condições fluviais e oceanográficas entre 21 e 26 de janeiro de 2019. Os círculos em vermelho mostram a área de rompimento. As setas presentes no primeiro gráfico (C) mostram a direção de ondas calculada para os respectivos dias.

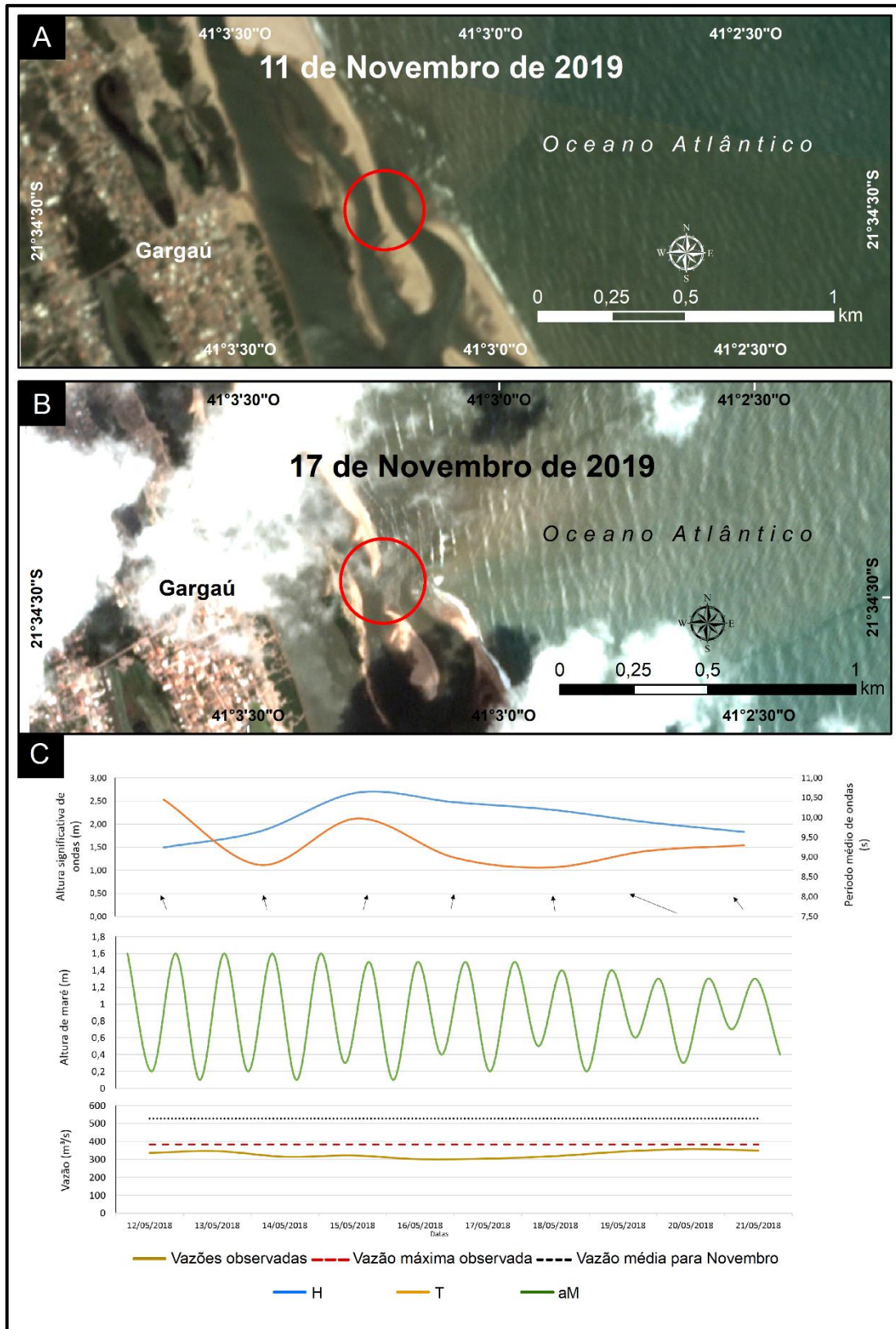


Figura 6. Identificação do rompimento de pontal e as condições fluviais e oceanográficas entre 11 (A) e 17 (B) de novembro de 2019. Os círculos em vermelho mostram a área de rompimento. As setas presentes no primeiro gráfico de (C) mostram a direção de ondas calculada para os respectivos dias. Fonte: Imagens PlanetScope composição RGB 321 Cor verdadeira.

Em setembro de 2020 foi possível observar novamente rompimento nos pontais (Figuras 7A e 7B). Entre 19 e 20 de setembro ocorreu o rompimento do pontal leste, que se encontrava em crescimento longitudinal desde o rompimento ocorrido em janeiro de 2019. O rompimento ocorreu sob condições de vazão abaixo da média esperada para o mês de setembro (368 m³/s), ondas com alturas significativas próximas aos 2,5 m, oriundas do quadrante sul-sudeste e amplitudes de maré característica de maré de sizígia (1,5 m).

De forma similar ao observado entre 21 e 26 de janeiro de 2019, o rompimento observado entre 19 e 20 de setembro de 2020 ocorreu em um ponto de menor largura do pontal conectado a extremidade norte da ilha da Convivência. Espacialmente o ponto de ruptura observado para essa quinta janela temporal é muito próximo dos pontos de ruptura observados na janela 3 (janeiro de 2019). Foi observada a presença de duas formas convexas no reverso do pontal arenoso, característicos de leques de transposição, evidenciando a ocorrência do processo de transposição de ondas na área, sugerindo as ondas, provavelmente em associação com a maior amplitude de maré (sizígia) como causadores da ruptura. Assim como na segunda janela de abertura (maio de 2018) é possível observar as margens do canal de maré, formado pelo rompimento do pontal, deslocadas em direção ao continente.

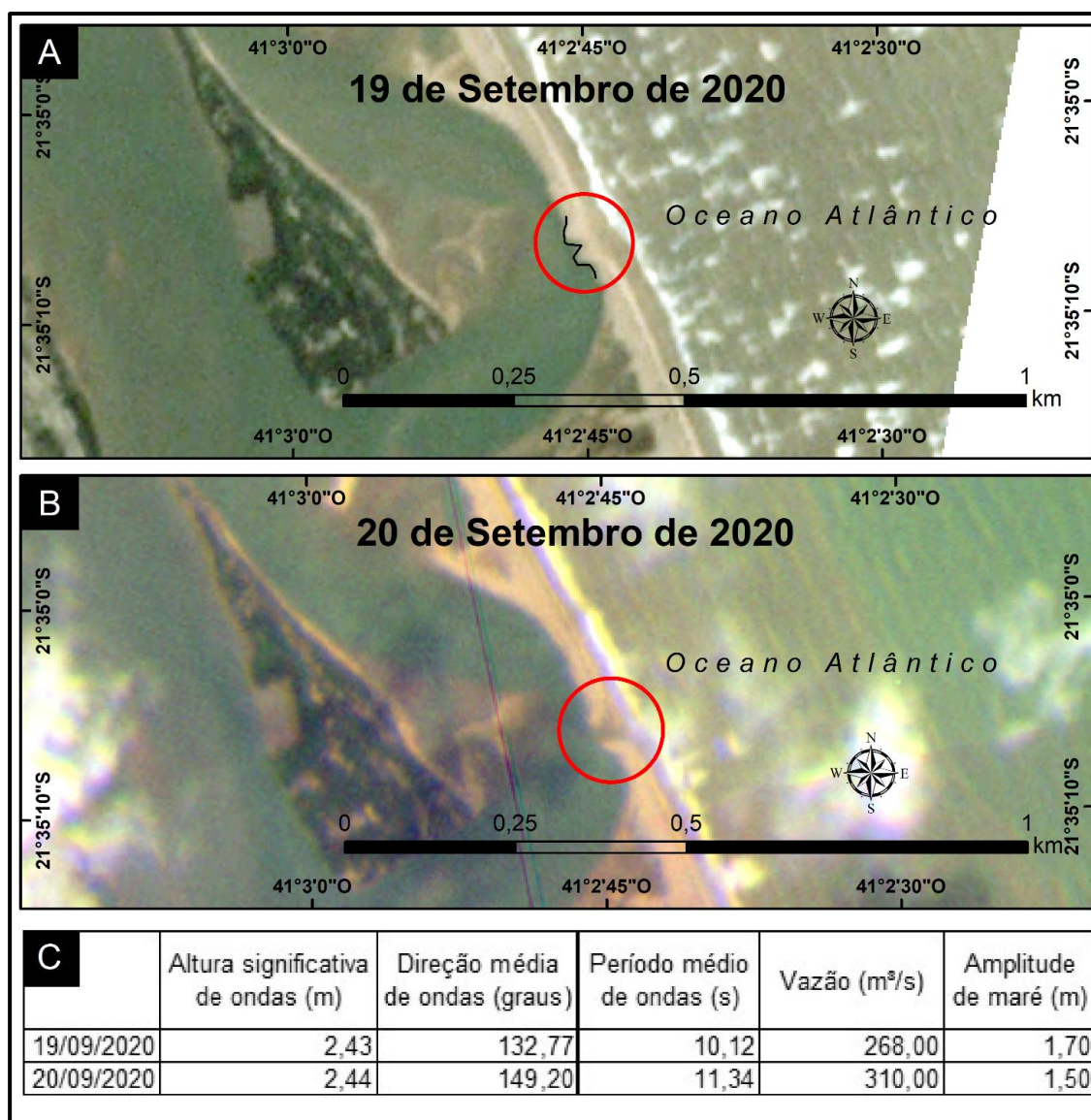


Figura 7. Identificação do rompimento de pontal e as condições fluviais e oceanográficas entre 19 (A) e 20 (B) de novembro de 2020. Os círculos em vermelho mostram a área de rompimento. A linha preta mostra o contorno dos leques de transposição na imagem do dia 19.

3.2. Análise multivariada das forçantes fluviais e oceanográficas durante as janelas de rompimento dos pontais

A matriz de covariância (tabela 2) obtida pela análise de componentes principais mostrou haver proximidade entre os valores dos parâmetros estatísticos de ondas (H, T e Dir) e os dados de maré (aM). Ao mesmo tempo, é possível observar que o valor representativo dos dados de vazão (V) destoa negativamente das demais variáveis para o componente 1 (Comp. 1) da PCA. Isto significa que as variáveis dos parâmetros de ondas e maré são mais representativas para o eixo do componente 1 enquanto a variável vazão é pouco representativa para esse eixo. Por outro lado, também é possível observar que a variável vazão assume seu maior valor para o componente 2 (Comp. 2). Isso mostra que a vazão é melhor explicada e, portanto, mais representativa através do eixo do componente 2 em detrimento das demais variáveis. A partir desses resultados é possível interpretar o gráfico biplot de acordo com o representado na figura 8.

Tabela 2. Carga das variáveis para os cinco componentes (Comp.) da PCA. Note que a variável vazão (em vermelho) destoa das demais variáveis para os dois primeiros componentes. Juntos os componentes 1 e 2 explicam a maior parte da variância do conjunto de dados analisados, 79,61%.

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5
H	0,46	0,76	-0,434	-0,1	0,12
Dir	0,84	0,32	0,07	0,41	-0,15
T	0,76	0,29	0,48	-0,32	0,03
V	-0,72	0,54	0,31	0,27	0,16
aM	0,74	-0,6	-0,01	0,19	0,22
% de variância	51,46	28,15	10,43	7,73	2,23
% de variância acumulada	51,46	79,61	90,04	97,77	100,00

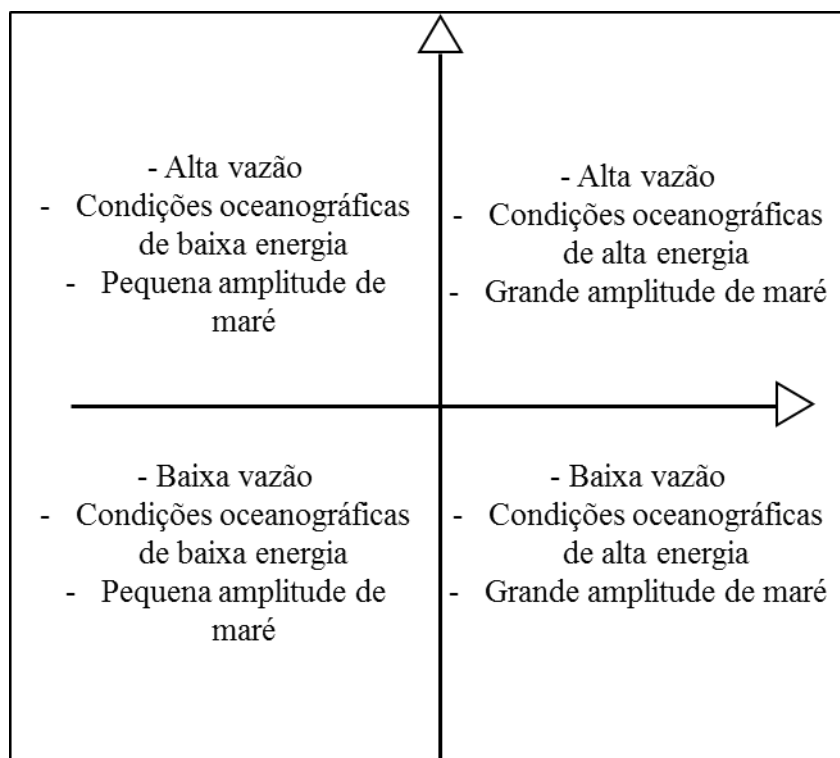


Figura 8. Esquema das condições de ordenação das variáveis estudadas.

O quadrante superior esquerdo do gráfico biplot representa, portanto, os maiores valores de vazão e os menores valores de altura significativa (Hs), direção média (Dir.) e período médio de ondas (T), bem como os menores valores de amplitude de maré (M). O quadrante superior direito representa em conjuntos os maiores valores de vazão, altura significativa, direção média, período médio de ondas e amplitude de maré. O quadrante inferior direito representa os menores valores de vazão em conjunto com os maiores valores de altura significativa, direção média, período médio de ondas e amplitude de maré. O quadrante inferior esquerdo representa conjuntamente os menores valores de todas as variáveis estudadas. É importante salientar que o meio do gráfico biplot representa valores moderados de todas as variáveis.

Diante disso, a observação do gráfico biplot (figura 9) mostra que os dias das janelas de abertura (A) dos canais de maré ocorreram sob condições diversas, havendo pontos espalhados pelos quatro quadrantes do gráfico. A observação geral do gráfico aponta, no entanto, para uma relativa concentração de pontos do meio para a direita do mapa. Os pontos de maior diâmetro, os quais representam os pontos mais significativos de cada janela de abertura, também seguem esse padrão. Os pontos mais significativos das janelas A2 e A4 encontram-se próximo ao meio do mapa, enquanto os pontos mais representativos das janelas A3 e A5 se encontram deslocados para baixo e para direita do mapa, respectivamente. O ponto mais representativo da janela A1 foi o único a fugir desse padrão, estando ordenado no quadrante superior esquerdo.

A concentração de pontos do meio para a direita do gráfico biplot nos leva a interpretar que as aberturas dos canais de maré estão possivelmente condicionadas a ocorrência de condições oceanográficas de maior energia em conjunto com maiores amplitudes de maré sob condições variáveis de vazão do rio. Os resultados nos mostram, no entanto, que também é possível a ocorrência de aberturas sob condições moderadas de todas as variáveis, dado a concentração de pontos próximo ao meio do gráfico. Por outro lado, os dados mostram ser menos provável a abertura desses canais sob condições de baixa vazão, condições oceanográficas de baixa energia e menor amplitude de maré. O posicionamento do ponto mais representativo da janela A1 no quadrante superior esquerdo mostra que a vazão do rio, embora aparentemente possua menor contribuição na abertura desses canais, pode ocasionar rompimentos mesmo sob condições oceanográficas de menor energia e menores amplitudes de maré.

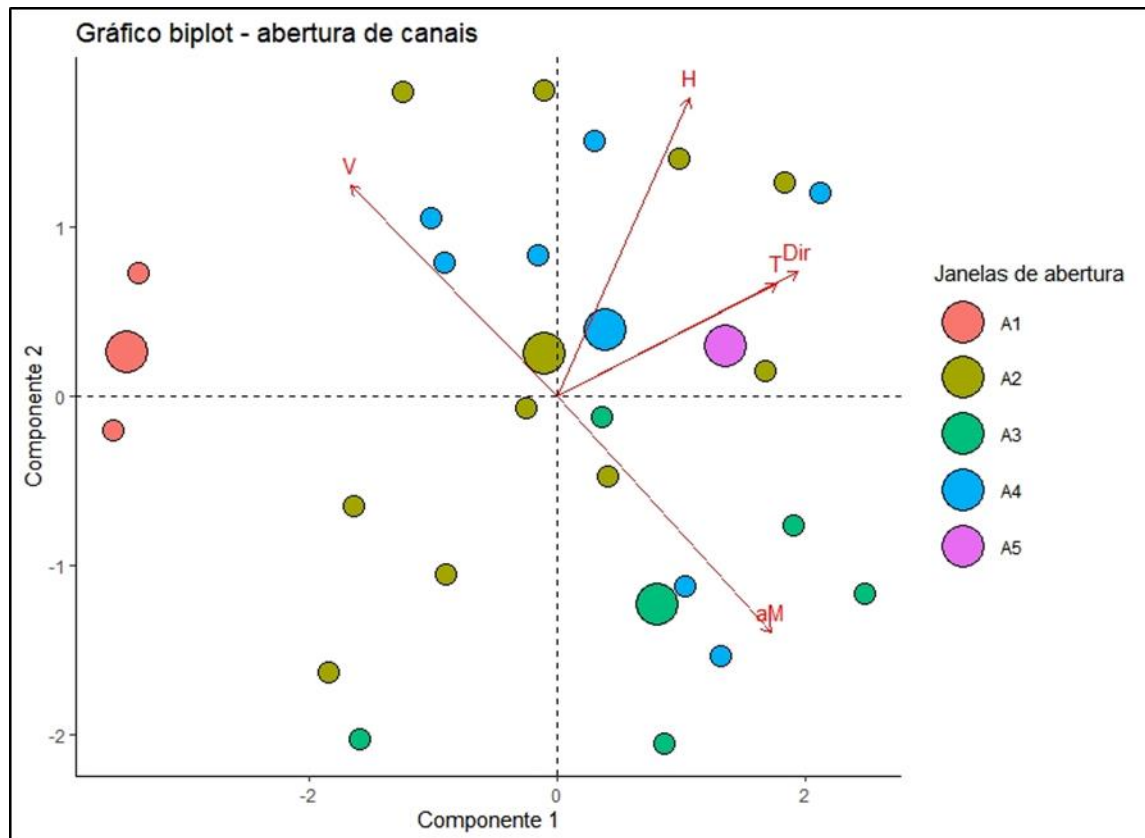


Figura 9. Gráfico biplot das variáveis estudadas. Os pontos de maior diâmetro representam os pontos mais significativos das janelas de abertura.

4. Discussão

A análise dos resultados referentes ao mapeamento das aberturas dos canais de maré no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul nos remete a ocorrência de dois processos distintos. O primeiro se encontra bem demarcado nas janelas de abertura A1 (12 – 13 de março de 2018; Figura 2), A3 (21-26 de janeiro de 2019; Figura 4) e A4 (11-17 de novembro de 2019; Figura 5). Em ambos os períodos é possível observar a porção livre de um pontal a leste próxima aos pontos de rompimento observados nos pontais a oeste. A extremidade livre assume em ambos os momentos forma de gancho, reorientando o fluxo fluvial em direção a margem externa do pontal conectada a planície mais ao norte. Essas alterações morfológicas remetem ao processo de migração lateral de meandros, que se caracteriza por deposição nas margens convexas e erosão nas margens côncavas de rios meandantes (LEOPOLD; WOLMAN, 1970). A margem externa do pontal oeste passa a se comportar como margem côncava, onde é provável que qualquer intensificação do fluxo fluvial, seja por aumento da vazão do rio ou ocorrência de marés de maiores amplitudes, leve ao aumento da remoção de sedimentos arenosos e, conseqüentemente, ao rompimento dos pontais. A obstrução do canal de maré pelo crescimento do pontal arenoso a partir da extremidade norte da ilha da Convivência também tem por consequência a incidência contínua e direta do fluxo fluvial sobre a margem interna desse pontal. Isso favorece a remoção pontual de sedimentos da margem interna gerando afinamento do pontal na área onde o fluxo fluvial incide de forma direta. A junção dessa condição com condições flúvio-oceanográficas capazes de aumentar o fluxo na foz norte do DRPS provavelmente é responsável por condicionar a ruptura desses pontais.

Por outro lado, em A5 (19-20 setembro de 2020; Figura 6) a imagem do dia 19 de setembro de 2020 mostra a silhueta de dois leques de transposição na área onde se observou o rompimento do pontal. A janela de abertura

A2 (12-18 de maio de 2018; Figura 3) se assemelha a janela A5 nesse sentido, uma vez que a imagem do dia 12 de maio mostra a silhueta de três leques de transposição na área onde se observou rompimento do pontal. A formação de leques de transposição é resultado do processo de transposição de ondas, muito comum na área de estudos devido à baixa altimetria das barreiras (VASCONCELOS et al., 2016). Em associação a formação de leques de transposição é comum a formação de canais em zonas mais rebaixadas. Sob condições hidrodinâmicas propícias esses canais facilitam a instauração de fluxos de água entre o mar e o corpo lagunar abrindo-se um canal de maré (MATTHEUS et al., 2016, DAVIDSON-ARNOTT, 2010, RANASINGHE & PATTIARATCHI, 2003).

Esse fato ressalta a influência dos aspectos oceanográficos e das diferenças morfológicas existentes no pontal sobre o processo de ruptura dessas estruturas. Zainescu et al. (2019), ao estudar os rompimentos do pontal Sahalin, delta do rio Danúbio, entre 2011 e 2012, observou que os rompimentos estavam associados a eventos meteo-oceanográficos de moderados (ondas com alturas significativas de 2- 3 m) a extremos (ondas com alturas significativas de 3 - 4 m) e à existência de pontos morfológicamente suscetíveis no pontal estudado. O ambiente estudado por esses autores se assemelha, em parte, ao do presente trabalho. O pontal Sahalin se encontra em um lobúlo assimétrico, dominado por ondas, do delta do rio Danúbio sob regime de micromaré. É importante ressaltar, contudo, que existem diferenças importantes no que se refere aos aspectos morfológicos e das condições de contorno dos pontais observados em ambos os ambientes. As ondas de maior altura significativa para a bacia de Campos raramente ultrapassam os 3 m (KLUMB-OLIVEIRA; PEREIRA; LEÃO, 2015).

A análise do estudo estatístico realizado apontou para maior contribuição das forçantes oceanográficas sobre a vazão do rio. Ao integrarmos os resultados morfológicos descritos com o estudo estatístico realizado no que diz respeito às condições flúvio-oceanográficas, chegamos a conclusões semelhantes às de Zainescu et al. (2019). Os rompimentos dos pontais na área de estudos envolvem a existência de condições morfológicas que tornam o pontal suscetível a rompimentos, condições oceanográficas de moderada a alta energia e maiores amplitudes de maré que condicionam o aumento do fluxo na foz norte do rio Paraíba do Sul. Os valores de vazão do rio mostraram-se acima das médias esperadas para os períodos observados somente em uma das janelas observadas (janela A1; Figura 2). Isso indica que a ruptura dos pontais não está relacionada diretamente a picos de vazão do rio Paraíba do Sul, podendo ocorrer sob diferentes condições de vazão.

Vasconcelos et al. (2016) já haviam considerado os rompimentos dos pontais arenosos que ocorrem na área de estudos como parte do comportamento morfodinâmico dessas estruturas. O modelo de gênese e evolução para os pontais arenosos no flanco norte do DRPS proposto por Vasconcelos et al. (2016) possui seis etapas subsequentes de desenvolvimento. Segundo o modelo, na quarta etapa de desenvolvimento ocorreria a emersão por aggradação vertical de uma barra submarina que passaria a se comportar como pontal. Vasconcelos et al. (2016) considerou a possibilidade desses pontais serem rompidos frente a eventos de tempestades. Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que os rompimentos dos pontais ocorrem com frequência estando não somente ligados às ondas de tempestade (maior altura e período), mas também a própria dinâmica de crescimento dos pontais e maiores amplitudes de maré.

5. Conclusões

Os resultados obtidos no presente trabalho mostraram que o rompimento dos pontais arenosos está associado a reorientações do fluxo fluvial criadas pelo crescimento dos próprios pontais e a processos transversais que condicionam a transposição de ondas e abertura de canais em pontos mais suscetíveis, em função da morfologia. A análise das condições flúvio-oceanográficas mostrou que a abertura dos canais de maré ocorre associada a condições de ondas de maiores alturas e períodos em conjunto com amplitudes de maré de sizígia (~1,5m) e condições variáveis de vazão do rio. Por outro lado, ficou evidente que a associação de baixas vazões, ondas de

pequena altura e períodos curtos, além de menores amplitudes de marés não geram abertura dos canais de maré. O processo de abertura desses canais possui caráter complexo e gradativo não sendo possível o associarmos isoladamente a nenhuma das forçantes estudadas.

Os resultados mostraram ainda o potencial de aplicação das imagens orbitais *PlanetScope* na investigação de processos costeiros como os verificados no presente trabalho. As altas resoluções temporal e espacial dessa série de imagens orbitais amplia as possibilidades de estudo de processos costeiros em escala temporal diária e em escala espacial métrica. Dessa forma, a série possibilita a identificação de fenômenos transitórios que ocorram na escala temporal de dias, bem como pode gerar maior detalhamento de fenômenos que ocorrem em escalas temporais maiores.

Contribuições dos Autores: Concepção, André Paulo Ferreira da Costa. e Thaís Baptista da Rocha.; metodologia, André Paulo Ferreira da Costa.; software, André Paulo Ferreira da Costa.; validação, Thaís Baptista da Rocha e Sílvio Roberto Oliveira Filho; análise formal, André Paulo Ferreira da Costa, Thaís Baptista da Rocha e Sílvio Roberto Oliveira Filho; pesquisa, André Paulo Ferreira da Costa; recursos, Thaís Baptista da Rocha; preparação de dados, André Paulo Ferreira da Costa; escrita do artigo, André Paulo Ferreira da Costa; revisão, Thaís Baptista da Rocha e Sílvio Roberto Oliveira da Rocha; Thaís Baptista da Rocha; aquisição de financiamento, Thaís Baptista da Rocha. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito".

Financiamento: Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (Capes), através da concessão de bolsa de mestrado registrado sob o processo nº 88887.351663/2019-00. A pesquisa contou ainda com financiamento concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através do projeto nº 43280820183, intitulado "Comportamento da linha de costa e vulnerabilidade à erosão costeira no Complexo Deltaico do rio Paraíba do Sul".

Agradecimentos: Agradecemos as contribuições dos professores Rodrigo Coutinho Abuchacra (Departamento de Geografia - Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Faculdade de Formação de Professores), Guilherme Fernandez (Departamento de Geografia – Universidade Federal Fluminense), Paula Maria Moura (Departamento de Geografia – Universidade Federal Fluminense) e Luís Pedro de Almeida (CoLab +Atlantic) para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflitos de interesse frente a publicação dos dados apresentados nesse manuscrito.

Referências

1. BECK, T. M. **Review of Coastal Tidal Inlet Morphodynamics in the Context of Barrier-Inlet Sustainability**. Vicksburg: U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2019. 61p.
2. DE SWART, H.E.; ZIMMERMAN, J.T.F. Morphodynamics of Tidal Inlet Systems. **Annual Review of Fluid Mechanics**, vol. 41, no. 1, p. 203–229, 2009. DOI: 10.1146/annurev.fluid.010908.165159.
3. DEREZYNSKI, Claudine Pereira; MENEZES, Wallace Figueiredo. **Meteorologia Da Bacia De Campos**. [S. l.]: Elsevier Editora Ltda., 2015. DOI 10.1016/b978-85-352-6208-7.50008-8.
4. DIAS, G.T.M.; GORINI, M. A. O complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul. In: **IV Simpósio do Quaternário**. Publicação Especial, n.2 (CTCQ/SBG), p. 58-88, 1981.
5. DIAS, G. T. M. et al. A frente deltáica do rio Paraíba do Sul – fisiografia submarina e distribuição sedimentar. In: **Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro (RJ)**, v.4, p. 1565-1576, 1984.
6. DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L. O Papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos Rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, 13(2): 98-105. 1983.
7. FITZGERALD, D. M.; MINER, M. D. Tidal Inlets and Lagoons along Siliciclastic Barrier Coasts. In: SHRODER, J.; SHERMAN, D. J. (eds.). **Treatise on Geomorphology**. San Diego: Academic Press, 2013. vol. 10, p. 150–164. DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00269-4.
8. FITZGERALD, D. M.; KRAUS, N. C.; HANDS, E. B. Natural Mechanisms of Sediment Bypassing at Tidal

- Inlets. **Erdc/Chl Chetn**, vol. 4, no. 30, p. 1–10, 2000. <https://doi.org/ERDC/CHL CHETN-IV-30>.
9. HAYES, M. O.; FITZGERALD, D. M. Origin, Evolution, and Classification of Tidal Inlets. **Journal of Coastal Research**, vol. 69, p. 14–33, 2013. DOI:10.2112/si_69_3.
10. JOLLIFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: A review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, vol. 374, no. 2065, 2016. DOI: 10.1098/rsta.2015.0202.
11. KLUMB-OLIVEIRA, L. A.; PEREIRA, N. E. D. S.; LEÃO, R. R. Morfodinâmica Multitemporal Em Praia Refletiva No Litoral Centro-Norte Do Rj, Em Resposta Ao Clima De Ondas Regional. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 16, no. 1, 2015. DOI:10.20502/rbg.v16i1.599.
12. LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. River channel patterns. In: DURY, G. H. (ed.) **Rivers and river terraces**. London: Macmillan, cap. 7, p. 197-236, 1970.
13. LEYS, C.; KLEIN, O.; DOMINICY, Y.; LEY, C. Detecting multivariate outliers: Use a robust variant of the Mahalanobis distance. **Journal of Experimental Social Psychology**, vol. 74, no. September 2017, p. 150–156, 2018. DOI 10.1016/j.jesp.2017.09.011.
14. MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; DOMINGUEZ J. M. L. & AZEVEDO, A. E. G. Evolução da planície costeira do Rio Paraíba do Sul (RJ) durante o Quaternário: influência das flutuações do nível do mar. In: **ANAIS DO XXXIII CONG. BRAS. DE GEOLOGIA**, Rio de Janeiro (RJ), V.1, p.84-97.1984.
15. MATTHEUS, C. R.; FOWLER, J. K.; DIGGINS, T. P.; ALLEN, D. F. Barrier-spit geomorphology and inlet dynamics in absence of tides: evolution of the North Pond system, eastern Lake Ontario, New York State. **Earth Surface Processes and Landforms**, vol. 41, no. 10, p. 1386–1398, 2016. DOI:10.1002/esp.3915.
16. PINET, P. R. The dynamic shoreline. In: PINET, P. R. (ed.). **Invitation to Oceanography**. 5th ed. [S. l.]: Jones and Bartlett Publishers, 2009.
17. RANASINGHE, R.; PATTIARATCHI, C. The seasonal closure of tidal inlets: Causes and effects. **Coastal Engineering Journal**, vol. 45, no. 4, p. 601–627, 2003. DOI: 10.1142/S0578563403000919.
18. RIBEIRO, M. G.; GOMES, T. B.; BULHÕES, E. M. R. Respostas Morfodinâmicas E Fisiográficas Da Zona Costeira Ao Norte Da Bacia De Campos Frente À Eventos De Tempestade. **Revista Tamoios**, vol. 12, no. 2, p. 91–111, 2016. DOI: 10.12957/tamoios.2016.16832.
19. REID, M. K.; SPENCER, K. L. Use of principal components analysis (PCA) on estuarine sediment datasets: The effect of data pre-treatment. **Environmental Pollution**, vol. 157, no. 8–9, p. 2275–2281, 2009. DOI: 10.1016/j.envpol.2009.03.033.
20. ROCHA, T. B. da. **A planície costeira meridional do complexo deltáico do rio Paraíba do Sul (RJ): arquitetura deposicional e evolução da paisagem durante o Quaternário Tardio**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense (Niterói), p. 1–178, 2013.
21. ROCHA, T. B. da; DE VASCONCELOS, S. C.; PEREIRA, T. G.; FERNANDEZ, G. B. Optically stimulated luminescence (OSL) dating of the beach ridges in the Paraíba do Sul River delta (RJ): Considerations about the geomorphological evolution between Upper Pleistocene and Holocene. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 20, no. 3, p. 563–580, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i3.1620.
22. SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; DE BRITO ALMEIDA, K. C. Use of robust statistical methods to analyze environmental data. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, vol. 19, p. 87–94, 2014. DOI: 10.1590/S1413-41522014019010000588.
23. SANGUANSAT, P. **Principal Component Analysis - Multidisciplinary applications**. IntechOpen, 2012.
24. SILVA, C. G. **Estudo da evolução geológica e geomorfológica da região da Lagoa Feia, RJ**. Rio de Janeiro, 116 p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1987.

25. SILVEIRA PEREIRA, N. E. da; KLUMB-OLIVEIRA, L. A. Analysis of the influence of ENSO phenomena on wave climate on the central coastal zone of Rio de Janeiro (Brazil). **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, vol. 15, no. 3, p. 353–370, 2015. DOI: 10.5894/rgci570.
26. SOUZA, T. A. de; BULHÕES, E.; AMORIM, I. B. da S. Ondas de Tempestade na Costa Norte Fluminense. **Quaternary and Environmental Geosciences**, vol. 6, no. 2, p. 10–17, 2016. DOI: 10.5380/abequa.v6i2.41139.
27. VASCONCELOS, S. C. de; ROCHA, T. B. da; PEREIRA, T. G.; ALVES, A. R.; FERNANDEZ, G. B. GÊNESE E MORFODINÂMICA DAS BARREIRAS ARENOSAS NO FLANCO NORTE DO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL (RJ) ORIGIN AND MORPHODYNAMICS OF SANDY BARRIERS IN NORTHERN FLANK OF THE PARAIBA DO SUL RIVER DELTA (RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 3, p. 481–498, 2016.
28. YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de textos, 2013. 215p.
29. ZĂINESCU, F. I.; VESPREMEANU-STROE, A.; TĂTUI, F. The formation and closure of the Big Breach of Sacalin spit associated with extreme shoreline retreat and shoreface erosion. **Earth Surface Processes and Landforms**, vol. 44, no. 11, p. 2268–2284, 2019. DOI: 10.1002/esp.4639.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.