

# Geomorfologia dos depósitos marinhos pleistocênicos submetidos a ação eólica: exemplo da planície costeira da Massambaba, estado do Rio de Janeiro

da Cruz, G. (LAGEF - UFF) ; Coutinho, I.P. (LAGEF - UFF) ; Fernandez, G.B. (LAGEF - UFF)

## RESUMO

As planícies costeiras em parte do Sudeste e Sul do Brasil não raramente apresentam registros de oscilações do nível do mar (NM), marcados pela disposição paralela de barreiras arenosas costeiras separadas por sistemas lagunares. Neste padrão morfológico a barreira mais interiorizada está associada ao último máximo relativo do NM no Pleistoceno e a barreira posicionada frontalmente ao oceano está relacionada ao máximo relativo Holocênico. Em determinadas áreas, ocorre o retrabalhamento da sedimentação das barreiras, resultando em feições eólicas a partir de depósitos pretéritos e sob atuais depósitos marinhos. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo principal identificar a morfologia de dunas formadas sobre terraços pleistocênicos distribuídos ao longo da planície costeira da Massambaba, utilizando dados de aerofotogrametria de alta definição processadas por técnicas de Structure from Motion (SfM).

## PALAVRAS CHAVES

*Dunas costeiras; Dunas parabólicas; Cortes eólicos; Variações do nível do mar; Processos eólicos*

## ABSTRACT

The coastal plains along Southeast and Southern of Brazil present records of relative sea level (RSL) oscillations, marked by coastal sandy barriers separated by lagoon systems. In this morphological pattern, the inland barrier is associated with the last relative maximum of RSL associated with Late Pleistocene, and the frontal barrier is related to the Late Holocene relative maximum. In certain coastal plains, the barriers suffer a reworking of the sedimentation, caused by aeolian process. In this sense, the main objective of this work was identifying the morphological aspects of dunes formed on Pleistocene terraces, distributed along the coast of Massambaba, using high-definition aerial photogrammetry data processed by Structure from Motion (SfM) techniques.

## INTRODUÇÃO

Parte do litoral Sul e Sudeste do Brasil apresenta como característica geomorfológica fundamental o desenvolvimento de planícies costeiras projetadas entre a Serra do Mar e o oceano (Fernandez et al., 2019). Estas planícies não raramente apresentam registros de flutuações relativas no nível do mar (NM), descritas morfológicamente por barreiras costeiras, que se ajustam às fases de NM alto relativo. As barreiras costeiras representam depósitos arenosos, com morfologia variável, mas que o substrato estratigráfico apresenta assinatura da ação oceânica, a partir de arquitetura deposicional associada a ambientes de praia (Dillenburg & Hesp, 2009). Mesmo com a assinatura marinha no pacote sedimentar, em determinadas áreas, parte da sedimentação depositada pode assumir novas formas, em função da contínua atividade eólica. Assim, a fisiografia das barreiras costeiras pode apresentar um conjunto de formas de relevo que sejam determinadas por processos eólicos, de maneira que a morfologia das barreiras costeiras derivada das flutuações do nível do mar estejam completamente mascaradas. O litoral do estado do Rio de Janeiro é um bom exemplo da ocorrência de diferentes planícies litorâneas, em que as barreiras costeiras se constituem um elemento fundamental para o entendimento de variações no nível do mar (Dias & Kjerfve, 2009). De fato, em determinadas áreas estão registradas a presença de sistemas duplos de barreiras costeiras, separadas por lagoas intracordões, de maneira que a feição mais interiorizada estaria relacionada ao último máximo relativo do Pleistoceno, que estaria ajustado ao Estágio Isotópico 5 (EI 5) e a barreira frontalmente posicionada ao oceano, seria o registro de nível de mar alto relativo ao Holoceno (Dias & Kjerfve, 2009; Fernandez & Rocha, 2015). Um vez que a barreira interna estaria ajustada ao EI 5, a assinatura morfoestratigráfica das barreiras seria de regressão forçada, ou seja, seriam formadas

cristas de praia com refletores de dunas sobre postos arquitetonicamente a depósitos praias e submarinos, conforme descreve Rocha et al. (2013) no delta do Paraíba do Sul. No caso do delta do Paraíba do Sul, os depósitos eólicos seriam relativamente superficiais, não ultrapassando 1,5 metros, e foram associados às dunas frontais. Por outro lado, em áreas em que os ventos tem maior capacidade de retrabalhamento, os depósitos pleistocênicos foram remodelados, conforme descritos por Muehe (2006) e Figueiredo et al. (2018). De fato, o resultado da ação eólica aparentemente foi determinante para a elevação máxima da barreira interna (Muehe, 2006), e resultando na identificação espacial de uma ampla área de retrabalhamento, que levou parte da sedimentação se depositar sobre os sistemas lagunares (Figueiredo et al, 2018). O interessante é que em ambos os trabalhos não houve menção se, como resultado da ação dos ventos sobre os depósitos preexistentes, seria possível a identificação de formas especificamente derivadas desta ação. Neste sentido, Fernandez et al. (2017) utilizando padrões morfológicos associados à ação eólica descrevem que as planícies costeiras localizadas entre o cabo Búzios e o Cabo Frio apresentam condições favoráveis à identificação de diferentes formas de dunas. Tais condições se devem a direção preferencial e intensidade dos ventos (Houser, 2013; Walker et al., 2009), disponibilidade de uma área de desenvolvimento de dunas (planície costeira), padrões morfodinâmicos de praia entre o intermediário e o dissipativo (Aagaard et al., 2004), diâmetros granulométricos passíveis de serem retrabalhados pelo vento (Pye, 1983; Sloss et al., 2018), e não raro, padrões vegetacionais (Hesp e Smyth, 2019). Uma vez que a Massambaba na mesma área de influência do Cabo Frio, o principal objetivo deste trabalho repousa na análise geomorfológica dos padrões eólicos na barreira interna da Massambaba.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A identificação das formas das dunas foi baseada em modelos morfológicos propostos por Pye e Tsoar (2008) para sete diferentes padrões de parabólicas, no trecho central da Massambaba, mapeado por Figueiredo et al. (2018), como representativo de retrabalhamento eólico, em terrenos pleistocênicos. As dunas parabólicas representam padrões de dunas ancoradas (P. A. Hesp & Smyth, 2019), em que o papel da vegetação é de fundamental importância na definição da morfologia. Nas dunas parabólicas, a vegetação atua na estabilização parcial dos braços ou alguns consideram as pernas da feição, de maneira que a face de evolução se projete em direção a sotavento (Hesp et al., 2010; Nield e Baas, 2008; Smyth et al., 2020). Com a parcial estabilização dos braços as dunas parabólicas assumem formato em 'V' ou 'U', de maneira que a face de avalanche (slip-face) seja sensivelmente mais íngreme, em relação à face de barlavento. Em função da ação eólica concentrada na mobilização sedimentar na face de avalanche, gradualmente as dunas parabólicas evoluem, deixando uma planície de deflação, ou seja, uma superfície relativamente plana formada entre os dois braços da duna. Não raramente, as parabólicas podem ser derivadas de dunas barcanas (Tsoar e Blumberg, 2002; Yan e Baas, 2017) em função da velocidade da sucessão ecológica da vegetação em estabilizar os braços das dunas livres. No modelo descritivo da morfologia das parabólicas elaborado por Pye e Tsoar (2008) é fundamentalmente baseado na morfologia e muitas vezes na razão de aspecto entre o eixo transversal em relação à distância do eixo longitudinal. A primeira tipologia é reconhecida por hairpin ou em formato de grampo de cabelo, que se define por um eixo longitudinal mais longo, em relação ao eixo transversal. Por outro lado, o formato lunar (lunate) descreve justamente a razão inversa ao padrão hairpin, de maneira que a distância entre as pernas é sensivelmente maior que o eixo central. Na forma hemicíclica (hemicyclic) as parabólicas apesar de apresentar uma face de avalanche principal, pernas secundárias estão identificadas fazendo com que ocorra também uma sequência de faces de avalanche secundárias. No padrão digitado (digitate) de fato as faces de avalanche se projetam em diferentes direções, ancoradas por apenas dois braços, fazendo com que a planície de deflação seja mais estreita entre os braços, aumentando em área em direção às faces de avalanche. No padrão aninhado, traduzido diretamente de nested, existe uma parabólica principal, enquanto na planície de deflação formas secundárias de parabólicas são formadas. No padrão long-walled transgressive ridge with secondary transverse dunes ou, traduzindo, seria uma duna parabólica com uma ampla face de avalanche num formato trapezoidal, com dunas transversais secundariamente formadas na planície de deflação. Por último seriam as parabólicas no formato de ancinho (rake-like), de maneira que uma série de pernas estariam ancorando uma sequência de faces de migração. Uma vez que

este trabalho está baseado em identificação morfológica, técnicas de representação morfológica baseadas em aerofotogrametria digital têm revolucionado as pesquisas em geomorfologia, em função do baixo custo das aeronaves (Cook, 2017), assim como pelo desenvolvimento de algoritmos baseados em Structure from Motion (SfM) aplicados em geografia física (Smith et al., 2016). Os planos de voo foram definidos pelo aplicativo DroneDeploy, por onde foi possível criar as rotas dos voos na área de interesse, altitude, sobreposição de imagem e resolução espacial. Para definição altimétrica do terreno foram distribuídos pontos de controle, com os altitude irradiada por meio de estação total e prisma de reflexão, a partir de referencial de nível ajustado ao NM. Os modelos tridimensionais foram gerados no Agisoft Metashape, seguindo rotinas do fabricante. A interpretação direta das formas, seguindo o modelo de Pye e Tsoar (2008), com mapeamentos realizados no ArcGis versão 10.

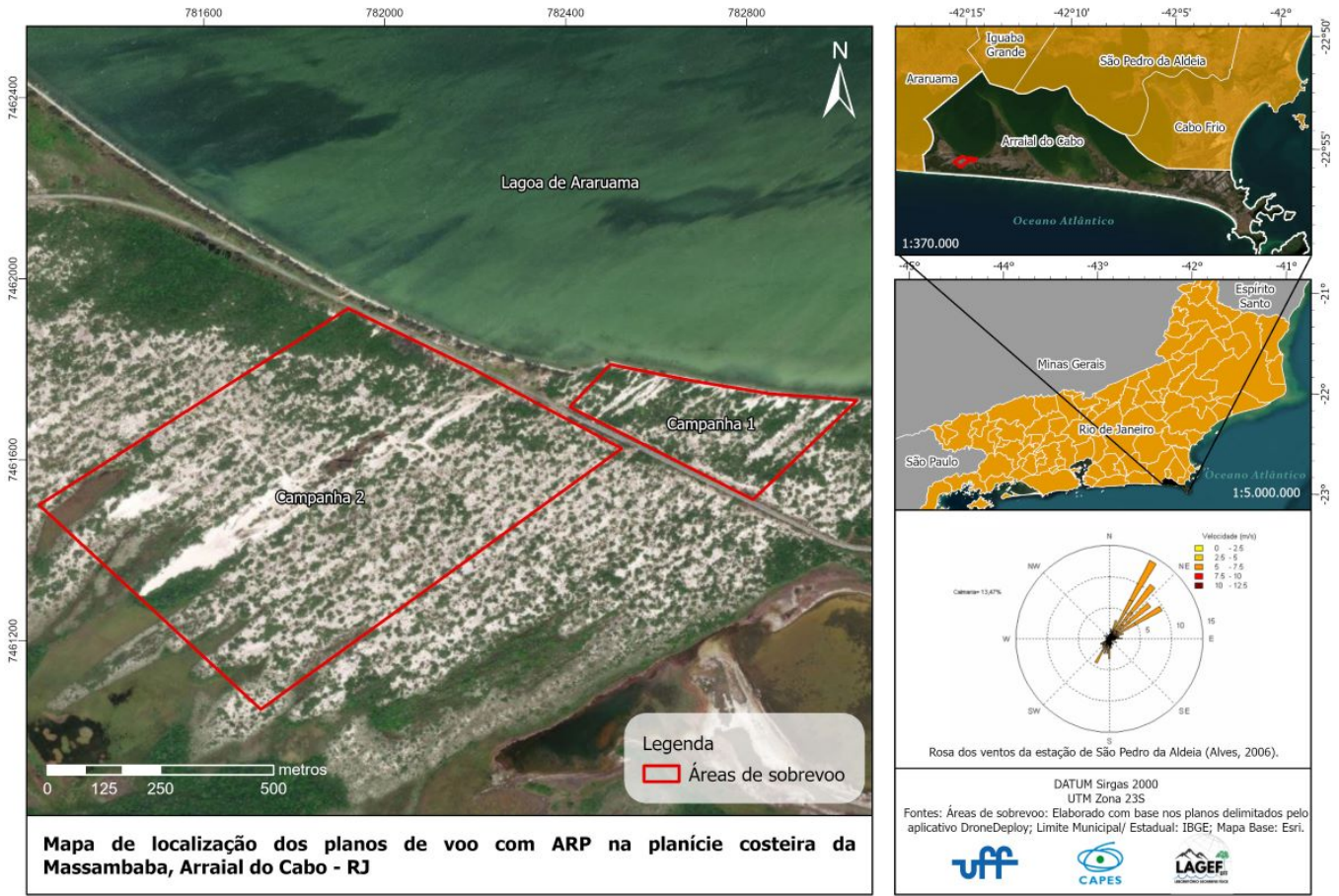
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Figura 2 mostra os resultados da interpretação sobre os diferentes tipos de dunas, analisados a partir de mosaicos aerofotogramétricos e modelos digitais tridimensionais, a partir do sobrevoo 1, que foi realizado às margens da lagoa de Araruama. A Figura 3 mostra também a interpretação direta das diferentes dunas identificadas na Massambaba, porém com dados gerados em sobrevoo sem contato direto com o sistema lagunar. As dunas formadas na margem da Araruama se mostraram conectadas ao espelho d'água. As margens da lagoa foram definidas por Muehe e Correa (1989) apresentando tendência erosiva, a partir da exposição de 'arenitos de restinga'. Os arenitos de restinga nada mais são do que areias formadoras das barreiras costeiras que estão parcialmente consolidadas em horizontes espódico ou podzois. Estes horizontes se formam a partir da decomposição da matéria orgânica criando um contraste de cores entre um horizonte B iluvial e um horizonte mais claro, de maneira que o escurecimento do horizonte B ocorre por migração lateral e vertical da matéria orgânica, que causa agregação dos grãos de areia (Vidal et al. 2023). O padrão erosivo observado pode ter exposto sedimentos previamente depositados à ação eólica, facilitando processos detonadores para a reativação destes depósitos, a partir de cortes eólicos. Os cortes eólicos são formas erosivas observadas em depósitos eólicos resultantes de ventos descendentes que apresentam energia suficiente para romperem a vegetação estabilizadora das dunas (Keijsers et al., 2015), expondo sedimentos inconsolidados presentes nas dunas (Hesp & Smyth, 2016). Em função também dos processos erosivos, além da própria exposição do pacote eólico, ocorre a formação de escarpas erosivas (Davidson et al., 2020), fato que tem sido interpretado como um elemento facilitador para que cortes eólicos tenha fluxos de vento concentrados (Piscioneri et al., 2019), favorecendo processos de reorganização morfológica, principalmente pela tendência de se evoluir para feições parabólicas (Hesp, 2002). A partir da Figura 2 foram descritos diferentes padrões de dunas dentro do conjunto de parabólicas, conforme sugerido por Pye e Tsoar (2008). As parabólicas tipo hairpin foram as mais facilmente observadas, se localizando tanto a oeste como a leste da área do voo. A interpretação deste tipo de dunas se deu pela evidente assimetria envolvendo o eixo transversal, sensivelmente projetado, comparado com o eixo longitudinal, formando o padrão alongado, típico desta tipologia eólica. Baas e Nield (2007) mostram que para este tipo de dunas se desenvolver ocorre de maneira quase simultânea um corte eólico instabilizando e removendo a vegetação, e ventos unidirecionais projetando os lóbulos deposicionais em direção à sotavento. Fernandez et al. (2027) descreve a ocorrência de hairpins na planície costeira de Cabo Frio, revelando que este padrão morfológico seria provavelmente impulsionado num primeiro momento por cortes eólicos, mas certamente o desenvolvimento dos lóbulos deposicionais estariam associados a ventos predominantes de NE. Como o padrão eólico esperado em Cabo Frio é o mesmo que atua na Massambaba, é bastante possível que cortes eólicos tenham representado a primeira remobilização sedimentar, associada aos ventos e a exposição erosiva na margem lagunar. Tal fato provavelmente ocorreu, mesmo com a relativa densidade da vegetação, marcada por padrões arbóreo e arbustivo, identificado no mosaico aerofotogramétrico, conforme a Figura 2A. Nota-se ainda, em função do empilhamento sedimentar entre os lóbulos deposicionais e a vegetação mais densa, um sensível aumento altimétrico dos depósitos, marcados por altitudes próximas de 10 metros (Figura 2B), sugerindo o efeito de escalonamento da sedimentação sobre a vegetação. Dunas com variações na direção dos lóbulos deposicionais resultantes, talvez, da geração de vórtices dentro do próprio depósito, a partir da classificação de padrões digitados. Uma

vez gerados os cortes eólicos, associados provavelmente a erosão nas margens, podem ocorrer deflexões na direção dos fluxos de ventos sobre cavidades morfológicas como, por exemplo, descrito por Hesp e Hyde (1996). Os fluxos de vento ao se defletirem no interior dos cortes alteram topograficamente a feição, não raramente mudando o vento de direção (Gares, 1992), mesmo com o baixo suprimento sedimentar podem criar ou reativar lóbulos deposicionais em diferentes direções (Barchyn e Hugenholtz, 2013). Smyth et al. (2012) mensura este padrão de deflexão dos ventos que, provavelmente, explicaria a ocorrência de dunas digitadas, ou seja, dunas parabólicas com diferentes lóbulos deposicionais às margens da lagoa de Araruama. No segundo voo se destacam três dunas parabólicas em que os lóbulos deposicionais se projetam sobre sistemas lagunares intracordões e apresentam geometria sensivelmente diferentes daquelas observadas junto ao sistema lagunar (Figura 3). O movimento dos lóbulos deposicionais permitiram a identificação da projeção dos depósitos eólicos, soterrando sedimentos lagunares, descritos por Figueiredo et al. (2018), por auréolas de colmatação. Em relação à geometria, o eixo da duna central se distribui por mais de 400 metros, com a distância entre os eixos próximo a 100 metros e altitudes superiores a 14 metros, superiores aos valores encontrados em dunas junto à lagoa, o que deve representar um tempo maior de acumulação dos lóbulos deposicionais neste trecho da planície. Nota-se ainda que a duna mais centralizada, apesar de apresentar aspectos que seriam facilmente descritos por hairpin, em função do detalhamento topográfico possibilitado pela representação tridimensional, foi possível se verificar a ocorrência de parabólicas distribuídas na planície de deflação, portanto, possível de ser atribuída a ocorrência de dunas aninhadas (nested). O desenvolvimento de dunas na planície de deflação, pode ser resultado de rastros eólicos remobilizados (Hesp & Martinez, 2008), ou mesmo a ação concentrada de ventos próximas ao solo, resultando na formação de dunas parabólicas seguindo o padrão da duna mais desenvolvida. É interessante ainda se verificar o retrabalhamento dos braços da parabólica central, dando origem a um lóbulo deposicional sobre esta área. Neste particular, provavelmente seria o caso de um corte eólico que facilitaria a remobilização sedimentar ou mesmo a ação de veículos motorizados sobre as dunas. Neste sentido, foram identificados caminhos utilizados de maneira recreativa sobre estas dunas, que, invariavelmente, alteram a capacidade de sucessão ecológica da vegetação (Durán & Herrmann, 2006). Em relação ao tema relacionando a capacidade de sucessão natural da vegetação e as perturbações associadas ao uso das dunas, Delgado- Fernandez et al. (2019) mostra que, controladas as interferências, a vegetação rapidamente estabiliza as dunas. Por outro lado, parece ser pouco provável que a interferência de veículos tenha causado as diferenças em relação ao que mostra o mosaico aerofotogramétrico em que dois lóbulos deposicionais se mostraram ativos, ou seja, sem vegetação, enquanto que o lóbulo mais ao sul apresenta-se aparentemente mais estabilizado. Variações sobre a vegetação em dunas em curtos trechos foram observados na Austrália (Moulton et al., 2019), o que foi associado a remoção de fauna invasora. Por outro lado, trabalhos que mostram que os efeitos de usos sobre as dunas podem ser mensurados e servirem de indicadores sobre impactos resultantes da utilização destas áreas (Hernández-Cordero et al., 2017; Kutiel et al., 1999). Em se tratando de uma área de preservação permanente, como é o Parque Estadual da Costa do Sol (PECS), talvez seja um tema interessante no desenvolvimento de estudos atrelando o uso das dunas e mudanças morfológicas com dados de alta definição.

*Figura 1*

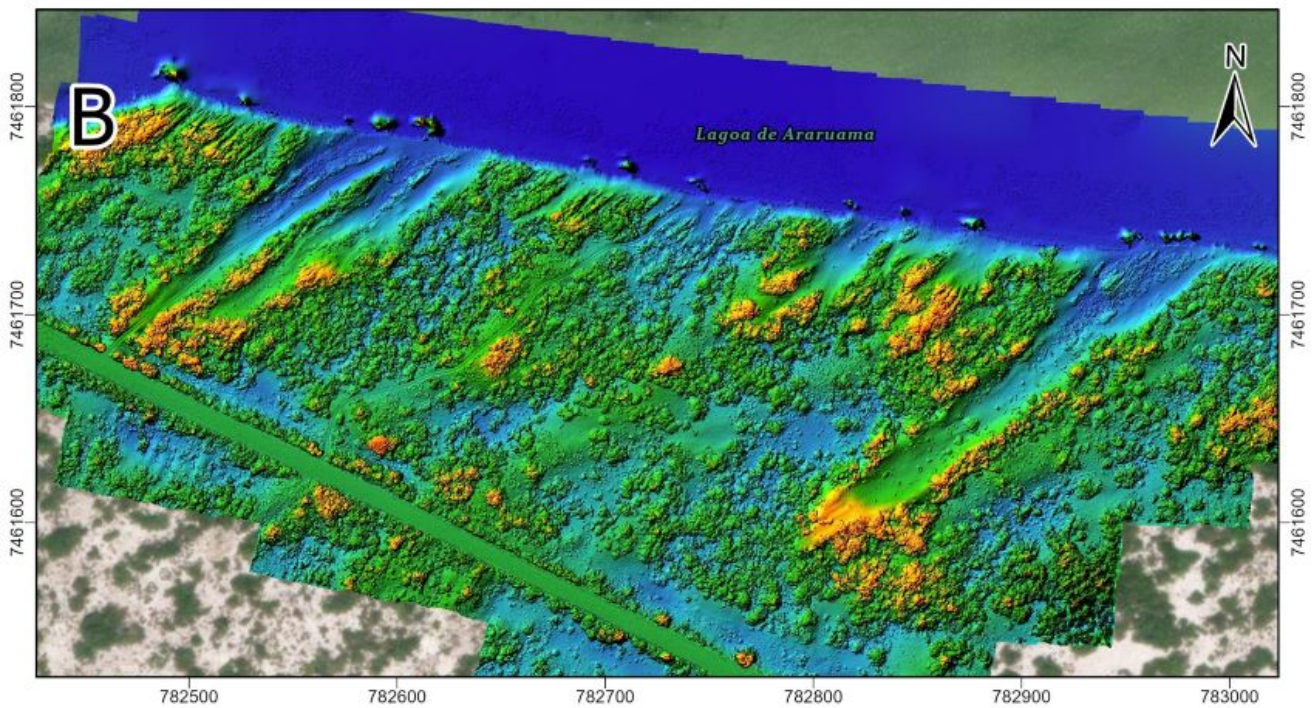




Distribuição das áreas de sobrevoo na barreira costeira pleistocênica na planície da Massambaba

Figura 2





**Ortofotomosaico e Modelo Digital de Superfície da Planície Costeira da Massambaba - Campanha 1**

**Legenda**

Feições

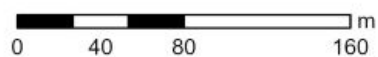
**Tipologia de dunas**

- Dunas Digitadas
- Dunas Parabólicas
- Dunas Parabólicas (hairpin)
- Limite da borda lagunar

Modelo Digital de Superfície (MDS)



Escala: 1:3.000



DATUM Sirgas 2000  
UTM Zona 23S

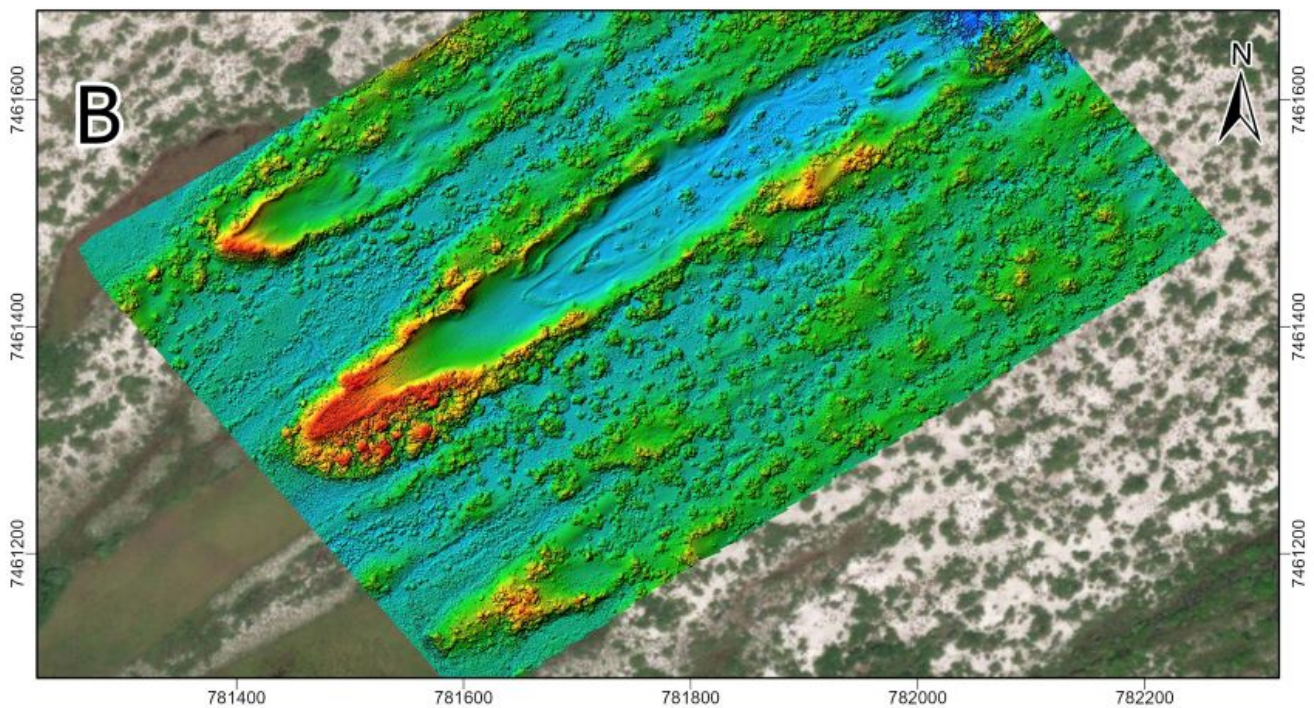
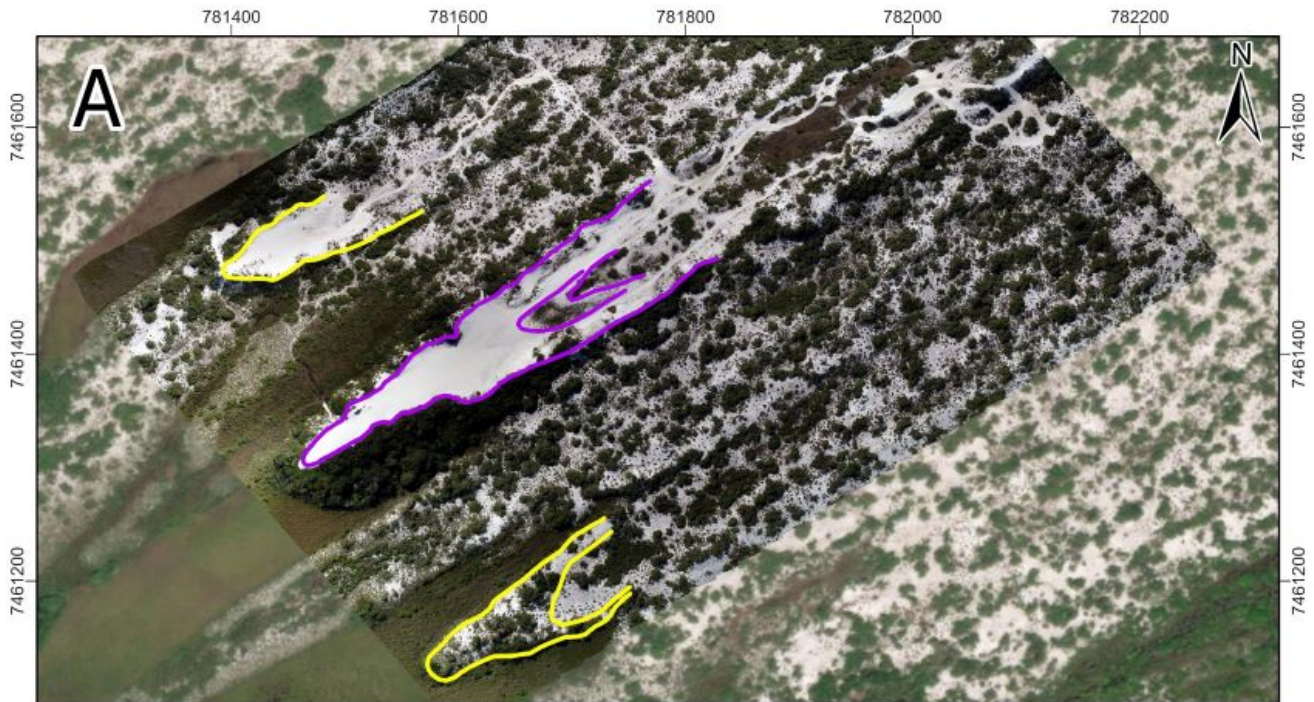
Fontes:

Ortofotomosaico e Modelo Digital de Superfície elaborados a partir do aerolevanteamento com aeronave remotamente pilotada e posterior processamento de dados em software Agisoft Metashape.  
Mapa base: Esri, Maxar, Earthstar Geographics.

*Distribuição das dunas costeiras no contato da barreira pleistocênica com a margem da lagoa de Araruama*

*Figura 3*





**Ortofotomosaico e Modelo Digital de Superfície da Planície Costeira da Massambaba - Campanha 1**

**Legenda**

Feições

**Categoria**

- Dunas "nested"
- Dunas parabólicas (harpin)

Modelo Digital de Superfície (MDS)



Escala: 1:5.500



DATUM Sirgas 2000  
UTM Zona 23S

Fontes:  
Modelo Digital de Superfície elaborados a partir do aerolevanteamento com aeronave remotamente pilotada e posterior processamento de dados em software Agisoft Metashape.  
Mapa base: Esri, Maxar, Earthstar Geographics.



*Distribuição dos diferentes padrões de dunas costeiras formada na barreira pleistocênica na planície da Massambaba*

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diferentes padrões morfológicos foram identificados na porção central da Massambaba em função do detalhamento oferecido pelos mosaicos aerofotogramétricos digitais, processados por algoritmos de interpolação derivados de técnicas de SfM. Tal fato revelou que o barateamento dos custos de aquisição de aeronaves e rotinas computacionais permitiram que se avançasse de maneira decisiva na interpretação de dados morfológicos, gerados pela ação do vento. Assim, as formas eólicas que anteriormente eram simplesmente definidas como resultado da ação do vento sobre a barreira pleistocênica, na realidade apresentam um complexo padrão de diferentes formas parabólicas. Existem ainda perspectivas interessantes em se avaliar mais detalhadamente a arquitetura deposicional, haja vista que se assumindo que o substrato pode preservar registros marinhos, a superfície apresentaria padrões completamente distintos. Uma vez que este trabalho foi desenvolvido na parte central da Massambaba, que faz parte do Parque Nacional da Costa do Sol, é mais um trabalho que auxilia cientificamente nos esforços para a consolidação do Geoparque Costões e Lagunas do Estado do Rio de Janeiro, em função do reconhecimento que este trecho apresenta particularidades sobre o Patrimônio Geológico.

## AGRADECIMENTOS

GCruz agrade à CAPES pela bolsa de mestrado. GFernandez agradece ao CNPQ pela bolsa de produtividade em pesquisa (2021/2024).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Aagaard, T., Davidson-Arnott, R., Greenwood, B., & Nielsen, J. (2004). Sediment supply from shoreface to dunes: Linking sediment transport measurements and long-term morphological evolution. *Geomorphology*, 60(1-2), 205-224. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2003.08.002>
- Araripe, D. R., Santos, E. C., & Luiz-Silva, W. (2015). Caracterização do clima e dos ventos na região de Massambaba, litoral do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, 16, 52-66.
- Barchyn, T. E., & Hugenholtz, C. H. (2013). Reactivation of supply-limited dune fields from blowouts: A conceptual framework for state characterization. *Geomorphology*, 201, 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.GEOMORPH.2013.06.019>
- Chen, Y.; Song, X.; Qiao, S.; Liu, S. A review of unmanned aerial vehicle remote sensing for urban land-use mapping. *Journal of Urban Planning and Development*, v.146, n.1, p.04019030, 2020.
- Cook, K. L. (2017). An evaluation of the effectiveness of low-cost UAVs and structure from motion for geomorphic change detection. *Geomorphology*, 278, 195-208. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.009>
- Da Rocha, T. B., Fernandez, G. B., De Oliveira Peixoto, M. N., & Rodrigues, A. (2013). Depositional architecture and absolute dating of pleistocene beach ridges in Paraíba do sul deltaic complex (RJ). *Brazilian Journal of Geology*, 43(4). <https://doi.org/10.5327/Z2317-488920130004000010>
- Davidson, S. G., Hesp, P. A., & Silva, G. M. da. (2020). Controls on dune scarping. *Progress in Physical Geography*, 44(6), 923-947. <https://doi.org/10.1177/0309133320932880>
- Delgado-Fernandez, I., O'Keefe, N., & Davidson-Arnott, R. G. D. (2019). Natural and human controls on dune vegetation cover and disturbance. *Science of the Total Environment*, 672, 643-656.
- Dias, G. T. M., & Kjerfve, B. (2009). Barrier and beach ridge systems of the Rio de Janeiro coast. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 107, 225-252. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9_7)
- Dillenburg, S. R., & Hesp, P. A. (2009). Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. 107. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9>
- Dillon, M. et al. Aeolian processes and landforms in coastal dunefields of the southeastern Brazilian coast. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 40, n. 7, p. 982-996, 2015.
- Durán, O., & Herrmann, H. J. (2006). Vegetation against dune mobility. *Physical Review Letters*, 97(18). <https://doi.org/10.1103/PHYSREVLETT.97.188001>

- Fernandez, G. B., & Da Rocha, T. B. (2015). BARREIRAS COSTEIRAS HOLOCÊNICAS: GEOMORFOLOGIA E ARQUITETURA DEPOSICIONAL NO LITORAL DO RIO DE JANEIRO. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 16(2). <https://doi.org/10.20502/RBG.V16I2.619>
- Fernandez, G. B., da Rocha, T. B., Barboza, E. G., Dillenburg, S. R., da Camara Rosa, M. L. C., Angulo, R. J., de Souza, M. C., de Oliveira, L. H. S., & Dominguez, J. M. L. (2019). Natural Landscapes Along Brazilian Coastline. 199-218. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_10)
- Fernandez, G. B., Pereira, T. G., Rocha, T. B., Maluf, V., Moulton, M., & Oliveira Filho, S. R. de. (2017). Classificação Morfológica Das Dunas Costeiras Entre O Cabo Frio E O Cabo Búzios, Litoral Do Estado Do Rio De Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 18(3). <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i3.862>
- Gares, P. A. (1992). Topographic changes associated with coastal dune blowouts at island beach state park, New Jersey. *Earth Surface Processes and Landforms*, 17(6), 589-604. <https://doi.org/10.1002/ESP.3290170605>
- Hernández-Cordero, A. I., Hernández-Calvento, L., & Espino, E. P. C. (2017). Vegetation changes as an indicator of impact from tourist development in an arid transgressive coastal dune field. *Land Use Policy*, 64, 479-491. <https://doi.org/10.1016/j.LANDUSEPOL.2017.03.026>
- Hesp, P. (2002). Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48(1-3), 245-268. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00184-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00184-8)
- Hesp, P. A., & Hyde, R. (1996). Flow dynamics and geomorphology of a trough blowout. *Sedimentology*, 43(3), 505-525. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1996.D01-22.X>
- Hesp, P. A., & Martinez, M. L. M. (2008). Transverse dune trailing ridges and vegetation succession. *Geomorphology*, 99(1-4), 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.11.001>
- Hesp, P. A., & Smyth, T. A. G. (2016). Jet flow over foredunes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(12), 1727-1735. <https://doi.org/10.1002/ESP.3945>
- Hesp, P. A., & Smyth, T. A. G. (2019). Anchored Dunes. *Aeolian Geomorphology*, 2000, 157-178. <https://doi.org/10.1002/9781118945650.ch7>
- Hesp, P., Schmutz, P., Martinez, M. L. M., Driskell, L., Orgera, R., Renken, K., Revelo, N. A. R., & Orocio, O. A. J. (2010). The effect on coastal vegetation of trampling on a parabolic dune. *Aeolian Research*, 2(2-3), 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2010.03.001>
- HESP, Patrick A. Coastal dunes: geomorphology, ecology and management for conservation. Routledge, 2018.
- Houser, C. (2013). Alongshore variation in the morphology of coastal dunes: Implications for storm response. *Geomorphology*, 199, 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.10.035>
- Huang, Y.; Yang, X.; Chen, Q. An Improved UAV Aerial Survey System Based on Multi-Sensor Collaboration. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 10, n. 2, p. 135, 2021.
- JAMES, M.R.; ROBSON, S.; SMITH, M.W. 3D uncertainty-based topographic change detection with structure-from-motion photogrammetry: precision maps for ground control and directly georeferenced surveys. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.42, n.12, p.1768-1787, 2017.
- Keijsers, J. G. S., De Groot, A. V., & Riksen, M. J. P. M. (2015). Vegetation and sedimentation on coastal foredunes. *Geomorphology*, 228, 723-734. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.027>
- Kutiel, P., Zhevelev, H., & Harrison, R. (1999). The effect of recreational impacts on soil and vegetation of stabilised Coastal Dunes in the Sharon Park, Israel. *Ocean and Coastal Management*, 42(12), 1041-1060.
- LOPES, R. M. et al. Análise da evolução do litoral e suas implicações para a gestão costeira no município de São Sebastião (SP). *Caminhos de Geografia*, v. 18, n. 64, p. 123-139, 2017.
- Moulton, M. A. B., Hesp, P. A., Miot da Silva, G., Bouchez, C., Lavy, M., & Fernandez, G. B. (2019). Changes in vegetation cover on the Younghusband Peninsula transgressive dunefields (Australia) 1949-2017. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(2), 459-470. <https://doi.org/10.1002/esp.4508>
- Nascimento, A. R. A., Nogueira Neto, D. M., Alves, J. M. B., & Cavalcante, L. A. (2020). Caracterização geológica e geomorfológica da planície costeira de Massambaba, Rio de Janeiro. *Revista do Instituto Geológico*, 41, e2019502.
- Nield, J. M., & Baas, A. C. W. (2008). Investigating parabolic and nebkha dune formation using a cellular automaton modelling approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(5), 724-740. <https://doi.org/10.1002/ESP.1571>
- Pimenta, R. S. et al. Geomorphological characteristics of the pleistocene barrier system in the north



- coast of Bahia, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 90, n. 1, p. 465-477, mar. 2018.
- Piscioneri, N., Smyth, T. A. G., & Hesp, P. A. (2019). Flow dynamics over a foredune scarp. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(5), 1064–1076. <https://doi.org/10.1002/ESP.4555>
- Pye, K. (1983). Coastal dunes. *Progress in Physical Geography*, 7(4), 531–557. <https://doi.org/10.1177/030913338300700403>
- PYE, Kenneth; TSOAR, Haim. *Aeolian sand and sand dunes*. Unwin Hyman Ltd, 1990.
- Silva Figueiredo, M., Baptista da Rocha, T., & Fernandez, G. B. (2018). Geomorfologia E Arquitetura Depositional Interna Da Barreira Costeira Holocênica Da Massambaba, Litoral Do Estado Do Rio De Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 19(3). <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i3.1374>
- Sloss, B. C. R., Shepherd, M., Hesp, P., Education, N., Sloss, C., & Dunes, P. C. (2018). Coastal Dunes : *Geomorphology*. 3(2012), 1–11.
- Smith, M. W., Carrivick, J. L., & Quincey, D. J. (2016). Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 40(2), 247–275. <https://doi.org/10.1177/0309133315615805>
- Smyth, T. A. G., Delgado-Fernandez, I., Jackson, D. W. T., Yurk, B., & Rooney, P. (2020). Greedy parabolics: Wind flow direction within the deflation basin of parabolic dunes is governed by deflation basin width and depth. *Progress in Physical Geography*, 44(5), 643–660. <https://doi.org/10.1177/0309133319899306>
- Smyth, T. A. G., Jackson, D. W. T., & Cooper, J. A. G. (2012). High resolution measured and modelled three-dimensional airflow over a coastal bowl blowout. *Geomorphology*, 177–178, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.GEOMORPH.2012.07.014>
- Tsoar, H., & Blumberg, D. G. (2002). Formation of parabolic dunes from barchan and transverse dunes along Israel's Mediterranean coast. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(11), 1147–1161. <https://doi.org/10.1002/ESP.417>
- Walker, I. J., Hesp, P. A., Davidson-Arnott, R. G. D., Bauer, B. O., Namikas, S. L., & Ollerhead, J. (2009). Responses of three-dimensional flow to variations in the angle of incident wind and profile form of dunes: Greenwich Dunes, Prince Edward Island, Canada. *Geomorphology*, 105(1–2), 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.12.019>
- Westoby, M.J. et al. "Structure-from-Motion" photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, v. 179, p. 300-314, 2018.
- Yan, N., & Baas, A. C. W. (2017). Environmental controls, morphodynamic processes, and ecogeomorphic interactions of barchan to parabolic dune transformations. *Geomorphology*, 278, 209–237. <https://doi.org/10.1016/j.GEOMORPH.2016.10.033>