

CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O FENÔMENO DO “GREENING” NO CAMPO DE DUNAS DO PERÓ, CABO FRIO (RJ): ANÁLISE DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS E DO NDVI

Daniel Marques de Abreu ¹
Lucas Padela Girão dos Santos ¹
Matheus Marques Rodrigues Pereira ²
Thiago Gonçalves Pereira ³

INTRODUÇÃO

As dunas costeiras são feições características de processos geomorfológicos eólicos. Elas fazem parte de ecossistemas sensíveis e complexos, que necessitam de certas condições ambientais para a sua ocorrência, como planícies de deflação, disponibilidade de sedimentos arenosos e ventos frequentes e de direção de incidência bem marcada (FERNANDEZ *et al.*, 2017).

Segundo Pereira *et al.* (2010), as dunas costeiras são ambientes formados recentemente em termos geomorfológicos, durante o Cenozóico. São compostos por sedimentos inconsolidados originários tanto da zona submarina quanto da faixa de praia. A formação dessas feições é caracterizada por processos geomorfológicos e biológicos, incluindo a ação dos ventos e a cobertura vegetal, que desempenham um papel substancial na definição da topografia das dunas, como é o caso das dunas parabólicas (LUNA *et al.*, 2011).

No estado do Rio de Janeiro, percebe-se a formação de campos de dunas móveis dispostas obliquamente à linha de costa, durante grande parte da faixa litorânea entre o cabo Frio e o cabo Búzios. Essas características são únicas em toda a costa do estado. Isso se deve, em parte, à orientação dos ventos predominantes do quadrante nordeste e a um clima semiárido quente (BARBIÉRI, 1984 e ALVES, 2006). Além disso, a considerável distância desta zona de baixada litorânea à Serra do Mar, em adição ao efeito da ressurgência de águas, favorece a redução dos índices de chuvas convectivas e

¹ Graduando do Curso de **Geografia** da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - RJ, daniel.abreu1501@gmail.com; padelalucas@gmail.com

² Mestrando do Curso de **Geografia** da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - RJ, matheusmrp16@gmail.com;

³ Professor Doutor: Instituto de **Geografia**, Departamento de **Geografia** Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - RJ, thiagopereira.uerj@gmail.com.

orográficas. Esta situação propicia a criação de um enclave semiárido em pleno clima tropical predominante no estado (PEREIRA *et al.*, 2010).

Esses sistemas se favorecem da alta disponibilidade de sedimentos presente na plataforma continental interna. Os ventos que incidem de forma constante do quadrante leste e nordeste, em direção mar-terra, juntamente com a mudança de direção da linha de costa favorecem o transporte de sedimentos para o interior do continente (FERNANDEZ *et al.*, 2017). A partir da figura abaixo (figura 1), é possível visualizar que o campo de Dunas do Perú está localizado na parte central do compartimento costeiro entre o cabo Frio e o cabo Búzios, sendo o segundo maior campo de dunas da região com uma área ocupada de 214,27 ha, ficando atrás apenas do sistema de dunas no arco praial ao sul, também no município de Cabo Frio (PEREIRA *et al.*, 2010).



Figura. 1: Mapa de Localização do Campo de Dunas do Perú. Fonte: Próprios autores, 2024.

A influência antrópica é bem marcante na área, o que causa danos consideráveis a este campo de dunas. No limite do campo ao sul, está localizado o bairro residencial do Perú, além disso, a noroeste, um condomínio residencial está inserido em contato direto com a duna.

Geomorfologicamente, o sistema de Dunas do Perú pode ser dividido em três unidades: as Dunas Frontais, a Planície de Deflação e as Dunas Móveis. Diferentes tipos

de feições eólicas podem ser encontrados, dentre elas, as dunas fixas, semifixas e livres, além disso, a vegetação tem um importante papel na configuração do tipo de feição eólica, sendo a principal responsável pela fixação de sedimentos (MUEHE *et al.*, 2010).

As dunas costeiras, como ecossistemas notavelmente sensíveis e complexos, manifestam uma interligação profunda e uma interdependência marcante tanto em seus aspectos geomorfológicos quanto ecológicos. Vulneráveis às mudanças nos fatores controladores do ambiente e às atividades humanas, esses ecossistemas são suscetíveis a alterações significativas. No cerne desses sistemas, a vegetação desempenha um papel crucial nas dinâmicas das dunas costeiras. A mobilização de dunas costeiras está sujeita a três grupos de fatores principais (PETROVA *et al.*, 2023): condições do clima a partir do regime de ventos, temperatura e precipitação; fornecimento e disponibilidade de sedimentos; e a cobertura vegetal.

É importante deixar claro que estes fatores estão interconectados, por exemplo, a diminuição do regime de ventos e aumento da temperatura e precipitação provocando condições propícias para a expansão da vegetação, “*greening*” (JACKSON *et al.*, 2019), que impactam diretamente no fornecimento e disponibilidade dos sedimentos através da fixação desta vegetação sobre o campo de dunas. O *greening* pode ser compreendido como o processo de substituição da cobertura do solo composta por sedimentos livres por uma camada de vegetação, que pode se manifestar de diversas formas, como cobertura arbórea, arbustiva ou herbácea. Em outras palavras, trata-se da transformação do solo, anteriormente exposto, em áreas “verdeadas” pela presença de vegetação.

Nesse sentido, ações antrópicas, como a inserção de espécies invasoras e atividades de plantio, por exemplo, também são elementos que intensificam o impacto da vegetação no sistema em campo de dunas costeiras. Apesar de também ser influenciado por processos que ocorrem na escala local e regional, o fenômeno do *greening* em campos de dunas costeiras é recorrente em escala global (DA SILVA e HESP, 2013; JACKSON *et al.*, 2019; PETROVA *et al.*, 2023; GAO *et al.*, 2023 e GAO *et al.*, 2024).

No campo de Dunas do Perú, estudos indicam que a expansão da vegetação está impactando o estoque de sedimentos que se deslocam na planície de deflação (MUEHE *et al.*, 2010). Isso influencia significativamente a disponibilidade desses sedimentos para serem trabalhados na área das dunas ativas, fazendo com que essas dunas dependam exclusivamente de seu próprio estoque sedimentar. Além disso, a fixação das

dunas pela vegetação interfere na transgressão das dunas em direção ao continente e as torna vulneráveis à inundações e erosão devido à elevação do nível do mar e às mudanças nos padrões de tempestades (JACKSON *et al.*, 2019). Pesquisas realizadas no local (MUEHE *et al.*, 2010 e MANSUR e CARVALHO, 2011) mostraram o aumento de vegetação arbustiva por volta da metade do século passado, onde foi possível comparar imagens pretéritas e atuais, evidenciando nitidamente a expansão do *greening* ao longo do campo de Dunas do Perú.

Muehe *et al.* (2010) demonstra como as dinâmicas sazonais podem interferir em processos de expansão da vegetação. Nesse contexto, as oscilações de precipitação, regime de vento e temperatura durante o ano são fatores que definem o grau de intensidade de ocorrência do fenômeno do *greening*, e, conseqüentemente, o grau de mobilidade das dunas. Nesse contexto, variações sazonais ao longo do ano alteram a dinâmica desses fatores, definidos entre os meses quentes e os meses chuvosos. Além disso, Da Silva e Hesp (2013) registram também as dinâmicas regionais influenciando campos de dunas do Sul e Sudeste do Brasil. Neste caso, a expansão da cobertura estaria relacionada com as Oscilações Decadais do Pacífico, a partir dos efeitos de “*El Niño*” e “*La Niña*”. Dessa forma, valores negativos relacionados ao Índice de Oscilação do Sul e altos valores de intensidade do vento estão associados (porém não relacionados) com períodos de forte atuação do fenômeno “*El Niño*”, enquanto o inverso aconteceria durante períodos de atuação do fenômeno “*La Niña*” (DA SILVA e HESP, 2013). Dessa forma, ocorrendo um declínio do potencial de transporte de sedimentos (ou “*drift potential*”), relacionado a menores valores de intensidade do vento, cria-se um ambiente favorável à ocorrência do fenômeno conhecido como *greening*. Assim, é possível correlacionar períodos de atuação de “*La Niña*” com momentos de impulsão do *greening*, enquanto o contrário acontece em períodos de “*El Niño*”, quando há uma redução significativa desse fenômeno.

Reconhecendo a vegetação como um elemento crucial para o aprofundamento da compreensão dos campos de dunas, torna-se essencial entender as interações envolvidas entre eles. Além disso, a constante expansão da vegetação sobre o campo de Dunas do Perú destaca a importância de analisar como esses processos influenciam a dinâmica sedimentar e a estabilidade das dunas. Nesse sentido, esta pesquisa tem como objetivo encontrar padrões de ocorrência do *greening* na região a partir da análise dos fatores

climáticos de pluviosidade, temperatura e velocidade dos ventos, além do “*Normalized Difference Vegetation Index*” (NDVI).

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

O trabalho consiste na coleta e análise de dados climáticos e NDVI da região do campo de Dunas do Perú, no município de Cabo Frio. Dessa forma, foi possível tabular para aplicação de uma análise de tendência para séries temporais de precipitação, temperatura, velocidade dos ventos e NDVI. Para isso, primeiramente foi criado um shapefile da área de interesse para a coleta do NDVI. Os dados de NDVI foram coletados dos satélites *Landsat 5, 7, 8 e 9*, com resolução espacial de 30 metros, abrangendo o período de 1984 a 2023. Esses dados foram obtidos a partir da plataforma “*Climate Engine*”, uma plataforma de coleta de dados de sensoriamento remoto sob demanda que compartilha a base de dados com o *Google Earth Engine*.

Nesta plataforma também foram coletados os dados para as análises climáticas, utilizando a base de dados *TerraClimate*, que apresenta uma resolução espacial de 4 km, considerada bastante satisfatória para dados de reanálise climática, em comparação com outras bases como o *ERA5*, que tem uma escala de 25 km.

A partir da análise de dados do município de Cabo Frio, as bases coletadas incluem os dados de precipitação, temperatura máxima e mínima, e velocidade dos ventos dos meses chuvosos: nov/dez/jan/fev, e dos meses secos: jun/jul/ago/set, entre os anos de 1984 e 2023. A escolha desse período de análise é decorrente da disponibilidade dos dados de NDVI, e dessa forma, é possível promover uma análise integrada entre os dados climáticos e de NDVI no recorte temporal apresentado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa, que se encontra em andamento, pretendem mostrar a variação dos fatores climáticos escolhidos a partir da representação, em gráficos, das variáveis de precipitação, temperatura máxima e mínima, velocidade dos ventos e NDVI entre os anos de 1984 e 2023. Preliminarmente, foi trazido um gráfico mostrando a variação do NDVI ao longo dos anos e das estações seca e chuvosa (figura 3). Os próximos passos implicam na análise dos dados para os fatores climáticos e também

entre a relação da expansão do fenômeno do *greening* e esses fatores climáticos e o NDVI ao longo da escala temporal selecionada. A partir da figura 2, é possível verificar a expansão da vegetação em um intervalo de aproximadamente 65 anos.



Figura. 2: Imagem comparativa do campo de dunas do Perú em 1959(A) e 2024(B). Fonte: A) MUEHE *et al.*, 2010; B) Google Earth Pro.

Ao longo de um período de 65 anos, observou-se uma expansão significativa da cobertura vegetal, especialmente na região central do campo de dunas. O verdejamento é bem nítido, constituindo um problema que se intensificou muito durante as últimas décadas.

A figura abaixo (figura 3) apresenta os dados coletados NDVI, representados por meio de gráficos. Dessa forma, já foi possível perceber um aumento do NDVI ao longo do intervalo selecionado, indicando uma relação entre o aumento do NDVI e a ocorrência do fenômeno do *greening*. Sobre os dados referentes aos fatores climáticos, eles ainda se encontram sob análise. Entretanto, já foi possível notar uma tendência da redução da velocidade dos ventos em meses específicos do ano, refletindo na facilidade de fixação da vegetação na área.

Gráfico de NDVI para os meses chuvosos e secos - 1984 até 2023

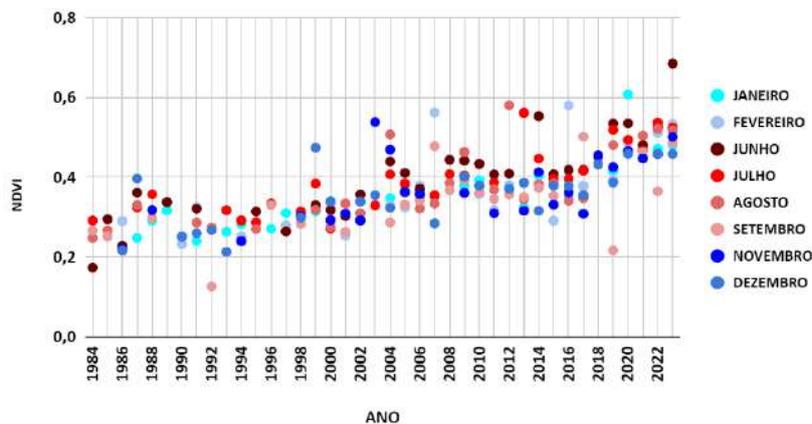


Figura. 3: Gráfico de NDVI para os meses chuvosos e secos entre 1984 e 2023. Fonte: Próprios autores, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados preliminares apresentados serão complementados com dados de reanálise para permitir uma análise estatística mais aprofundada. O objetivo é compreender as tendências indicadas pelos fatores climáticos e pelo NDVI, com o intuito de entender a expansão da vegetação no campo de dunas móveis do Perú. Uma análise preliminar já indica um aumento significativo do verdejamento na área de estudo, refletido nas taxas de NDVI. Os próximos passos envolvem uma análise mais detalhada dos dados coletados, visando verificar com maior precisão as tendências associadas ao fenômeno do *greening*. Esses estudos são essenciais para compreender as transformações e mudanças no comportamento dos campos de dunas, à medida que a intensificação desse fenômeno se torna cada vez mais evidente em diferentes partes do mundo.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. R. Modelagem numérica aplicada ao estudo da origem e evolução morfológicos dos esporões da lagoa de Araruama-rj. 2006. **Tese** (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) - Universidade Federal Fluminense. 2006.

BARBIERI, E.B. Cabo Frio e Iguaba Grande: dois microclimas distintos a um curto intervalo espacial. In Lacerda, L.D.; Araújo, D.S.D.; Cerqueira, R. & Turq, B. (Eds). **Restingas: Origem, Estruturas, Processos**. CEUFF, Niterói, 1984.

DA SILVA, G. M. ; HESP, P. A. . Increasing rainfall, decreasing winds, and historical changes in Santa Catarina dunefields, southern Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**. 38, p. 1036-1045, 2013.

FERNANDEZ, G. B; PEREIRA, T. G; ROCHA, T. B; MALUF, V; MOULTON, M.; Oliveira Filho, S. R. Classificação Morfológica das Dunas Costeiras entre o cabo Frio e o cabo Búzios, litoral do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, p. 595-622, 2017.

GAO, J.; KENNEDY, D. M.; McSWEENEY, S. Decadal changes in vegetation cover within coastal dunes at the regional scale in Victoria, SE Australia. **Journal of Environmental Management**, v. 351, 2024.

GAO, J.; KENNEDY, D. M.; McSWEENEY, S. Patterns of vegetation expansion during dune stabilization at the decadal scale. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 48, n. 15, p. 3059-3073, 2023.

JACKSON, D. W. T.; COSTAS, S.; GONZÁLEZ-VILLANUEVA, R.; COOPER, A. A global ‘greening’ of coastal dunes: An integrated consequence of climate change? **Global and Planetary Change**, v. 182, 2019.

LUNA, M. C. M. M.; PARTELLI, E. J. R.; DURÁN, O.; HERRMANN, H. J. Model for the genesis of coastal dune fields with vegetation. **Geomorphology**, 129:215-224, 2011.

MANSUR, K. L. ; CARVALHO, I. S. . Characterization and valuation of the geological heritage identified in the Perú dune field, State of Rio de Janeiro, Brazil. **Geoheritage** , v. 3, p. 97-115, 2011.

MUEHE, D.; BELLIGOTTI, F. M.; LINS-DE-BARROS, F. M.; OLIVEIRA, J. F.; MAIA, L. F. P. G. Potential vulnerability to climate change of the beach-dune system of the Perú coastal plain – Cabo Frio, Rio de Janeiro state, Brazil. **Pan American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 267-276, 2010.

PETROVA, P. G.; DE JONG, S. M.; RUESSINK, G. A global remote-sensing assessment of the intersite variability in the *greening* of coastal dunes. **Remote Sens.**, v. 15, p. 1491, 2023.

PEREIRA, T. G.; OLIVEIRA FILHO, S. R.; CORREA, W. B.; FERNANDEZ, G. B. Diversidade Dunar entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios RJ. **Revista de Geografia. Recife**. 2:15-29, 2010.