

ANÁLISE TEMPORAL E MORFOMÉTRICA DA COBERTURA DO JUNDU NAS PRAIAS DO ARUAN E INDAIÁ, EM CARAGUATATUBA, SP

CAMILY VITÓRIA DOS SANTOS¹, GIOVANNA SZUCS¹, JÉSSIKA GOMES DE SOUZA¹,
MILENA ALVARES DE LIMA COSSANI¹, SAMARA SALAMENE²

1. Alunas do Curso Técnico em Meio Ambiente, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, santoscamily0602@gmail.com, giovannaszucs977@gmail.com, jessikagomesdesouza72@gmail.com, alvaresmilena45@gmail.com.
2. Professora Doutora, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, e-mail: salamene@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): Ecologia – 20500009

RESUMO: O estudo teve como objetivo analisar a vegetação de jundu - uma formação típica de restinga - nas praias do Aruan e Indaiá, no município de Caraguatatuba (SP), no período de 2019 e 2025. A metodologia baseou-se no uso de geoprocessamento e vetorização de imagens de satélite pelo software Google Earth Pro, com delimitação dos polígonos de vegetação jundu, presentes em cada ano de estudo. Para análise morfométrica, foram calculados o Índice de Dimensão Fractal (IDF), o Índice de Diversidade de Patton (ID) e o Índice de Circularidade (IC), que possibilitaram avaliar a forma e complexidade dos fragmentos. Houve um crescimento da vegetação, com aumento em área e número de fragmentos de jundu. O IDF e o ID decresceram, enquanto o IC aumentou no período decorrido. Os resultados mostraram uma consolidação morfológica e o avanço da regeneração vegetal, com formas mais regulares e estáveis, e os índices sugeriram melhoria na integridade e estabilidade da paisagem ao longo do tempo.

PALAVRAS-CHAVE: sucessão ecológica, regeneração natural, vegetação costeira.

TEMPORAL AND MORPHOMETRIC ANALYSIS OF JUNDU COVERAGE ON ARUAN AND INDAIÁ BEACHES, IN CARAGUATATUBA, SP

ABSTRACT: The study aimed to analyze the jundu - beach vegetation - on the Aruan and Indaiá beaches in Caraguatatuba, São Paulo State, Brazil, from 2019 to 2025. The method was based on the use of geoprocessing and vectorization of satellite images using Google Earth Pro, with delimitation of the jundu vegetation polygons presented in each year of the study. For morphometric analysis, the Fractal Dimension Index (IDF, in Portuguese), Patton's Diversity Index (ID), and Circularity Index (IC) were calculated, which allowed for evaluation of fragments shape and complexity. Vegetation growth increased, with an increase in jundu fragments area and number. IDF and ID decreased, while the IC increased over the period. The results showed morphological consolidation and advances in plant regeneration, with more regular and stable forms, and the indices suggested improvements in landscape integrity and stability over time.

KEYWORDS: ecological succession, nature regeneration, coastal vegetation.

INTRODUÇÃO

O jundu é uma vegetação costeira subarbusciva que desempenha um papel fundamental na conservação das praias, pois promove a retenção e estabilização de

sedimentos e garante a proteção contra a erosão causada pelas marés, além de contribuir na preservação da diversidade biológica (Felix et al., 2024).

Feagin et al. (2019), ao estudar o efeito da vegetação presente em dunas, descobriram que tanto a biomassa acima do solo arenoso, quanto a biomassa abaixo do solo, reduziram a erosão costeira ao atenuar o impacto das ondas. Os autores concluíram que as partes aéreas das plantas atuam como barreiras que diminuem a energia das ondas, enquanto as raízes estabilizam os sedimentos, e que a eficácia desse efeito depende da densidade e do tipo de vegetação, além das condições ambientais locais. Destacaram ainda que a vegetação costeira é essencial para proteger o litoral e manter a estabilidade dos ecossistemas.

Temmerman et al. (2013) afirmaram que o risco de desastres causados por inundações está aumentando para muitas sociedades costeiras devido às mudanças globais e regionais nas condições climáticas, à elevação do nível do mar, à subsidência do solo e ao suprimento de sedimentos. Ao mesmo tempo, em muitos locais, soluções convencionais de engenharia costeira, como muros de contenção, são cada vez mais desafiadas por essas mudanças, e sua manutenção pode se tornar insustentável. Os autores argumentaram que a proteção contra inundações por meio da criação e restauração de ecossistemas pode representar uma alternativa mais sustentável, econômica e ecologicamente correta à engenharia costeira convencional e que, em locais adequados, deve ser implementada globalmente e em larga escala.

Nesse contexto, a prefeitura municipal de Caraguatatuba iniciou um projeto de recuperação do jundu para proteger praias e biodiversidade (Caraguatatuba, 2025). Denominado Programa de Recuperação de Vegetação de Praias – Jundu, o projeto visa uma ação estratégica para revitalizar a orla e preservar a biodiversidade do litoral. Desenvolvido pela Secretaria de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca, abrange aproximadamente três quilômetros de extensão, entre o rio Santo Antônio e o rio Lagoa - região centro-sul do município.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise da cobertura do jundu nas praias do Aruan e Indaiá, situadas entre os rios Santo Antônio e Lagoa, no município de Caraguatatuba, SP, no período de 2019 a 2025. A análise utilizou índices morfométricos para avaliar a vegetação ao longo dos anos, que relacionam área e perímetro para determinar a forma, complexidade e diversidade dos fragmentos de jundu.

METODOLOGIA

A área de estudo compreendeu duas praias: a Praia do Aruan (23° 38' 36" Sul e 45° 24' 44" Oeste) e a Praia do Indaiá (23° 38' 20.9" Sul e 45° 25' 17.5" Oeste), situadas entre os rios Santo Antônio e Lagoa, numa faixa de areia contínua à margem do Oceano Atlântico, na região centro-sul do município de Caraguatatuba, Litoral Norte de São Paulo.

O mapeamento da área coberta por jundu foi realizado por meio da técnica de vetorização manual (Melo et al., 2024), com delimitação de polígonos no programa Google Earth Pro. Foram delimitados os fragmentos de jundu a cada ano, nas seguintes datas: 06/06/2019, 17/03/2020, 21/03/2021, 28/05/2022, 20/06/2023, 27/04/2024 e 10/03/2025. Esse período foi escolhido pois, de acordo com a observação das imagens de satélite disponíveis no programa, entre os anos de 2009 e 2019 não havia presença de jundu nessas praias. Uma visita de campo foi realizada para conferir os locais onde os fragmentos estavam presentes e convalidar o mapeamento realizado.

Na análise morfométrica, o Índice de Dimensão Fractal (IDF) foi calculado conforme a equação 1. Esse índice é utilizado para medir a complexidade da forma de um

fragmento (Ene; McGarigal, 2023). Quanto mais irregular for a borda do fragmento, maior tende a ser o valor do IDF (Ferreira et al., 2023).

$$IDF = \frac{2 \times \ln\left(\frac{P}{4}\right)}{\ln(A)} \quad (1)$$

Em que,

P - perímetro do fragmento (m);

A - área do fragmento (m²).

Foi calculado o Índice de Diversidade (ID) de Patton (Patton, 1975 apud Ferreira et al., 2018; Guariz; Guariz, 2020), que considera a área e o perímetro dos fragmentos de vegetação, e avalia a complexidade da forma de um fragmento em relação a um círculo (a forma geométrica com a menor razão entre área e perímetro), para quantificar o efeito de borda. Quanto maior o valor do índice, mais complexa a forma do fragmento, o que resulta em uma maior probabilidade de múltiplos micro-habitats (Ferreira et al., 2023; Guariz; Guariz, 2020). O ID foi calculado conforme a equação 2.

$$ID = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (2)$$

O Índice de Circularidade (IC) é uma métrica geométrica muito usada em geoprocessamento (Borges et al., 2020; Cardoso, 2006; Ribeiro; Pereira, 2013). O IC expressa o quão próximo o formato de um polígono (como um fragmento de vegetação) está de um círculo perfeito. Valores próximos de 1 indicam formas mais circulares, e valores próximos de 0 indicam formas alongadas e, portanto, sofrem mais com o efeito de borda (Ferreira et al., 2023). A equação 3 mostra a fórmula para calcular o IC.

$$IC = \frac{4\pi \cdot A}{P^2} \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano de 2019 havia apenas 1 fragmento de jundu na praia do Aruan, e nenhum na praia do Indaiá. Esse fragmento ocupava uma área de 687 m² (Tabela 1). Em 2025 foram encontrados 27 fragmentos distribuídos entre as duas praias, que juntos cobriam uma área de 31.675,6 m², valor que equivale a aproximadamente 10% da faixa de areia de 320 mil m², localizada entre o mar e a área urbanizada. Os mapas com a área delimitada do jundu são mostrados na Figura 1.

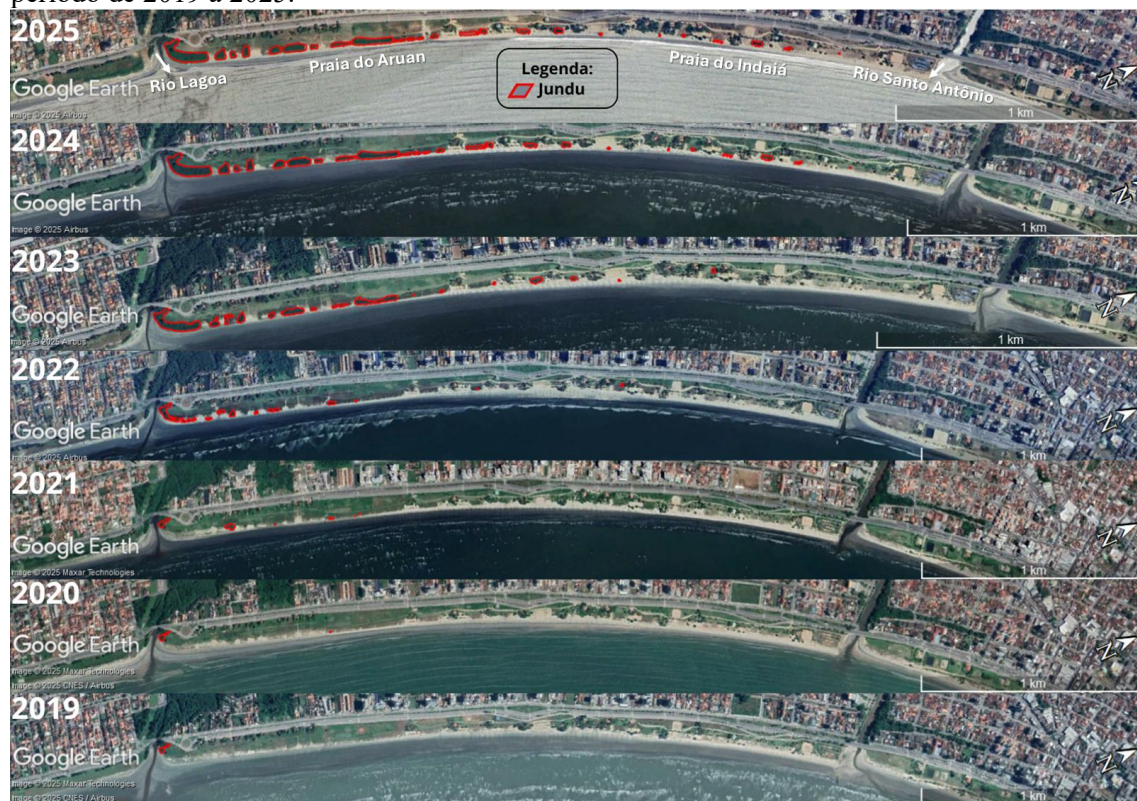
Tabela 1. Análise temporal e morfométrica da vegetação jundu nas praias do Aruan e Indaiá, em Caraguatatuba, SP, no período de 2019 a 2025.

Ano	N	Área total (m ²)	IDF	ID	IC
2019	1	678,0	1,15	1,82	0,30
2020	2	710,7	1,07±0,10	1,46±0,47	0,31±0,34
2021	6	1.801,4	1,04±0,06	1,29±0,21	0,45±0,20
2022	13	5.525,5	1,08±0,08	1,52±0,44	0,28±0,22
2023	18	14.260,8	1,06±0,06	1,40±0,33	0,26±0,20
2024	27	24.349,1	1,06±0,06	1,36±0,24	0,35±0,19
2025	27	31.675,6	1,06±0,07	1,42±0,38	0,43±0,21

Nota: N= número de fragmentos de jundu; IDF= Índice de Dimensão Fractal; ID= Índice de Diversidade de Patton; IC= Índice de Circularidade. Os valores de IDF, ID e IC se referem à média e desvio padrão dos valores calculados para os fragmentos em cada ano.

Na análise métrica da paisagem, o valor do Índice de Dimensão Fractal (IDF) caiu de 1,15 para 1,06 (Tabela 1). Nos anos iniciais do processo de regeneração da vegetação (2019 a 2022), pode-se notar uma oscilação desse índice, que chegou ao valor mínimo de 1,04 em 2021. A partir de 2023, o IDF se estabiliza no valor de 1,06. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que, nos estágios iniciais da sucessão ecológica, a vegetação está se estabelecendo e propagando novos fragmentos que possuem tamanho pequeno e formas mais recortadas. À medida que o processo de sucessão da vegetação avança, os fragmentos mais antigos vão atingindo um formato menos complexo e com bordas mais regulares (Alados et al., 2003). Um estudo recente (Ncube et al., 2025) analisou ecótonos de vegetação na África Subsaariana, e mostrou que a dimensão fractal estava correlacionada com o número de fragmentos, onde ela decrescia conforme a quantidade de fragmentos aumentava. Os autores também encontraram valores de IDF entre 1,0 e 1,2.

Figura 1. Ocupação do jundu nas praias do Aruan e Indaiá, no município de Caraguatatuba, no período de 2019 a 2025.



Fonte: Os autores.

O Índice de Diversidade de Patton (ID), relaciona a área e o perímetro de um fragmento, para analisar sua forma em comparação a um círculo ($ID=1$), e indica não só o seu arredondamento, mas também a irregularidade da forma geométrica. O decréscimo do ID de 1,82 (2019) para 1,42 (2025) (Tabela 1) sugeriu uma redução da complexidade periférica dos fragmentos, isto é, uma tendência à consolidação espacial dos fragmentos vegetais (menos bordas recortadas e formas mais arredondadas). Essa queda no ID se deve, provavelmente, ao crescimento do jundu durante estágios iniciais de regeneração. Ferreira et al. (2018), ao estudarem fragmentos florestais no estado do Paraná, obtiveram em 75% dos fragmentos um índice de Patton inferior a 1,97. Os autores também encontraram uma variação no valor de ID entre os fragmentos, e concluíram que a

pequena área encontrada na maioria dos fragmentos, associada a irregularidade da forma, pode acarretar perda de biodiversidade e vulnerabilidade da vegetação ao efeito de borda.

O Índice de Circularidade (IC) apresentou uma tendência ao aumento, ao variar de 0,30 para 0,43 em 2019 e 2025, respectivamente. Esse aumento era esperado devido a regeneração da vegetação observada, que aumentou em mais de 40 vezes o seu tamanho durante o período estudado. Ferreira et al. (2023) ao estudar a biodiversidade em vegetação de dunas do estado da Bahia, encontraram uma correlação negativa entre a dimensão fractal (IDF) e o IC, ou seja, quanto mais circular foi a forma do fragmento de vegetação, menor foi a complexidade do habitat encontrado. Isso corrobora os resultados aqui obtidos, pois o IDF diminuiu enquanto o IC aumentou no período de tempo decorrido. Segundo os autores, a correlação negativa entre IC e o IDF pode ter ocorrido devido às diferentes abordagens de cada índice. O IC mede a compactação do fragmento, variando de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1, mais arredondado. Formas menos compactas, com IC próximo de 0, aumentam a área de borda e, portanto, os efeitos de borda que comprometem a estabilidade e qualidade do interior do fragmento (Longo et al., 2018). Já o IDF, que varia de 1 a 2, indica a complexidade da forma: valores próximos de 1 refletem contornos simples e retilíneos, mais sujeitos a efeitos de borda em fragmentos pequenos; próximos de 2, indicam formas mais irregulares e complexas, que tendem a reduzir a influência da borda em fragmentos maiores (Fernandes; Fernandes, 2017).

Segundo Guariz e Guariz (2020), os efeitos de borda afetam a comunidade de plantas e vários processos ecológicos e ecossistêmicos, e estão mais presentes nos fragmentos menores e mais alongados. Os autores concluíram que a análise morfométrica é um método eficaz para estimar os impactos negativos do efeito de borda sobre os fragmentos de vegetação. Destacaram também que a delimitação da cobertura vegetal e a caracterização dos fragmentos são etapas fundamentais para orientar ações de recuperação da vegetação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se uma tendência de redução da complexidade geométrica dos fragmentos de vegetação ao longo do período analisado, o que foi evidenciado pela diminuição dos valores do Índice de Dimensão Fractal e do Índice de Diversidade de Patton, associada ao aumento do Índice de Circularidade. Esses padrões podem indicar que os fragmentos passaram por um processo de consolidação morfológica, caracterizado por formas mais compactas, menos recortadas e com bordas mais regulares. Tal comportamento é típico de áreas em estágio avançado de regeneração, nas quais a vegetação tende a estabilizar-se e a diminuir a fragmentação inicial observada nos primeiros anos da sucessão ecológica.

Os resultados sugeriram, portanto, uma melhoria na integridade estrutural e na estabilidade espacial dos fragmentos de jundu, com possível redução dos efeitos de borda e aumento das condições favoráveis à manutenção da biodiversidade. De modo geral, a convergência entre os índices analisados reforçou a eficiência do processo natural de regeneração na área de estudo e destacou a importância do monitoramento contínuo das métricas de paisagem como ferramenta para compreender a dinâmica e a resiliência dos ecossistemas em recuperação.

REFERÊNCIAS

ALADOS, C. L. et al. Quantitative characterization of the regressive ecological succession by fractal analysis of plant spatial patterns. **Ecological Modelling**, v. 163, n. 1–2, p. 1-17, 2003.

BORGES, E. F. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Grande, oeste da Bahia-BA. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 31863-3187, 2020.

CARAGUATATUBA, Prefeitura Municipal de. **Caraguatatuba inicia projeto de recuperação do jundu para proteger praias e biodiversidade**. 2025.

CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

ENE, E.; MCGARIGAL, K. **Fractal Dimension Index**. 2023. Disponível em: <https://fragstats.org/index.php/fragstats-metrics/patch-based-metrics/shape-metrics/p3-fractal-dimension-index>. Acesso em: 18 out. 2025.

FEAGIN, R. A. et al. The role of beach and sand dune vegetation in mediating wave run up erosion. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 219, p. 97-106, 2019.

FELIX, L. O. et al. Levantamento da vegetação de jundu na orla da Praia Grande no estado de São Paulo. **Unisanta BioScience**, v. 13, n. 4, 2024.

FERREIRA, D. R. et al. Ants and Restingas: the Relationship Between the Geometric Model, Vegetation Cover, and Myrmecofauna in a Dune Habitat in Bahia, Brazil. **Sociobiology**, v. 70, n. 4, 2023.

FERREIRA, I. J. M. et. al. Spatial dimension landscape metrics of Atlantic Forest remnants in Paraná State, Brazil. **Acta Scientiarum Technology**, v. 40, p. 1-8, 2018.

FERNANDES, M. M.; FERNANDES, M. R. M. Análise espacial da fragmentação florestal da Bacia do Rio Ubá, RJ. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1429-1439, 2017.

GUARIZ, H. R.; GUARIZ, F. R. Avaliação do Tamanho e Forma de Fragmentos Florestais por Meio de Métricas de Paisagem para o Município de São Roque do Canaã, Noroeste do Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 2139-2153, 2020.

LONGO, R. M. et al. Environmental indicators in forest fragments from urban watersheds. **Transactions on Ecology and the Environment**, v. 215, p. 121-132, 2018.

MELO, D. H. C. T. B. et al. **Qgis: Guia Prático - edição vetorial**. E-book, 2004, 55 p. Disponível em: <https://qgisbrasil.org/wp-content/uploads/2024/08/Ebook-QGIS.pdf>. Acesso em: 17 out. 2025.

NCUBE, T. R. L. et al. On the Fractal Dimension of Ecotones Among African Vascular Plants. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 110, p. 138-150, 2025.

RIBEIRO, G. F.; PEREIRA, S. Y. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Planalto de Poços de Caldas, MG. **Terrae**, v. 10, p. 15-20, 2013.

TEMMERMAN, S. et al. Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. **Nature**, v. 504, p. 79-83, 2013.