

Representatividade de dados na estimativa da altura do dossel da floresta de mangue

Representative data in estimating the height of the mangrove forest canopy

Datos representativos en la estimación de la altura del dosel del bosque de manglares

Guilherme Fenelon de Sena Machado ¹  <https://orcid.org/0000-0003-0854-7564>

Beatriz Ambrosio Garcia de Oliveira ¹  <https://orcid.org/0009-0000-9701-9258>

Mayara do Nascimento Ramos ¹  <https://orcid.org/0009-0007-8445-9642>

Felipe Gonçalves Amaral ¹  <https://orcid.org/0000-0003-0183-8430>

Carla Bernadete Madureira Cruz ¹  <https://orcid.org/0000-0002-3903-3147>

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro  Rio de Janeiro (RJ), Brasil

Autor de correspondência: guilherme.fenelon@hotmail.com

Recebido: 16 Jun. 2023. Aceito: 23 Ago. 2023

Editor de seção: Antônio Carlos Oscar Junior

Resumo

Introdução: O uso de Sensoriamento Remoto no planejamento e estudos ambientais nas áreas de manguezais têm auxiliado na compreensão do arranjo interno e entendimento das dinâmicas estruturais da vegetação de mangue. A motivação para tal advém das funções ambientais e sociais desse ecossistema. **Objetivo:** Diante o exposto, o objetivo deste estudo é entregar um mapeamento das espécies de mangue e suas estaturas de um recorte da Reserva Biológica de Guaratiba, relacionando dados obtidos em campo com dados do sensor LiDAR obtidos em 2019, a fim de entender a atual representatividade e significância desses dados. **Métodos:** O foco foram os remanescentes em torno da Praia de Araçatiba. Um campo expedito fora realizado vistoriando pontos previamente distribuídos, a vegetação foi catalogada segundo espécie e altura estimada em campo, divididas em quatro intervalos de estatura: E1, E2, E3 e E4. Os dados foram tratados e classificados para comparação com as estaturas obtidas pelo LiDAR, através de um Modelo Digital de Copas (MDC), e uma tabela estruturada foi elaborada com informações referentes às espécies, estatura de campo e altura obtida no MDC. **Resultados:** Três espécies foram encontradas: *Rhizophora Mangle*, *Avicennia Schaueriana* e *Laguncularia Racemosa*. A correlação entre as estaturas de campo e do MDC chegou a 85,5%. Relacionando o MDC com a microtopografia da área, Indivíduos mais desenvolvidos de *Rhizophora* e *Laguncularia* predominam em menor altitude. **Conclusão:** Os valores de MDC para a área ainda são representativos, sendo eficientes para análises das estaturas e padrões espaciais das espécies.

Palavras-chave: Manguezal. LiDAR. Guaratiba. Sensoriamento Remoto

Abstract

Introduction: The use of remote sensing in environmental studies has become increasingly promising, mainly due to its facilitating factor when dealing with inhospitable places. The study area is a small section of 4 acres located in the Guaratiba State Biological Reserve, which plays a very important role in preserving the remaining mangroves in the metropolitan region of Rio de Janeiro. This cutout was chosen due to accessibility criteria, given the need to enter the mangrove to collect data. **Objective:** The work sought to map this small area, characterizing the mangrove species and their heights, with the objective of relating the height data of the species obtained in the field with the 2019 LiDAR data, in order to understand whether these data, even after three years, are still significant. **Results:** The three species found in the area were *Rhizophora Mangle* (red mangrove), *Avicennia schaueriana* (black mangrove) and *Laguncularia racemosa* (white mangrove), which are the three predominant species in the surrounding area (ALMEIDA, 2010). Thus, when comparing the data obtained by the two surveys of canopy height, field and remote, 91 of the 106 points showed agreement in a global correlation of 85.85%. The classification was divided into heights E1, E2, E3, E4 to assist in the quick characterization in the field. In addition, the micro topography was compared in relation to the height of the trees, in which the presence of more developed individuals of *Rhizophora* and *Laguncularia* was identified in areas of lower altitude or more flooded, while those of *Avicennia* occur in the opposite process. Finally, it was possible to identify that even with the difference of three years, the height values obtained by LiDAR in the area are still representative, and that it is possible to estimate the canopy height of mangrove species using the 2019 LiDAR sensor currently.

Keywords: Mangrove; LiDAR; Guaratiba; Remote Sensing

Resumen

Introducción: El uso de la Percepción Remota en la planificación y estudios ambientales en áreas de manglar ha ayudado a comprender el arreglo interno y la comprensión de la dinámica estructural de la vegetación de manglar. La motivación para esto proviene de las funciones ambientales y sociales de este ecosistema. **Objetivo:** En vista de lo anterior, el objetivo de este estudio es entregar un mapeo de especies de manglares y sus alturas de una sección de la Reserva Biológica Guaratiba, relacionando datos obtenidos en campo con datos del sensor LiDAR obtenidos en 2019, con el fin de comprender la representatividad actual y el significado de estos datos. **Método:** La atención se centró en los restos alrededor de Praia de Araçatiba. Se realizó un expedito de campo inspeccionando puntos previamente distribuidos, se catalogó la vegetación según especie y altura estimada en campo, dividida en cuatro intervalos de altura: E1, E2, E3 y E4. Los datos fueron tratados y clasificados para su comparación con las alturas obtenidas por LiDAR, a través de un Modelo Digital de Copas (MDL), y se elaboró una tabla estructurada con información referente a la especie, altura de campo y altura obtenida en el MDL. **Resultados:** Se encontraron tres especies: *Rhizophora Mangle*, *Avicennia Schaueriana* y *Laguncularia Racemosa*. La

correlación entre las alturas de campo y MDC alcanzó el 85,5%. Relacionando el MDC con la microtopografía del área, predominan individuos más desarrollados de *Rhizophora* y *Laguncularia* en altitudes más bajas. **Conclusión:** Los valores de MDC para el área siguen siendo representativos, siendo eficientes para el análisis de las alturas y patrones espaciales de las especies.

Palabras-clave: Manglares; LiDAR; Guaratiba; Teledetección

Introdução

O manguezal é um ecossistema de transição entre o mar e o continente, com grande valor ecológico e social; típico de regiões tropicais e subtropicais, que possui diversas funções biológicas importantes, como ser um reservatório natural de carbono e servir de berçário natural para diversificada fauna e flora (ALMEIDA, *et al.* 2011; SOUZA, *et al.* 2016; BLASCO, *et al.* 1998). Mesmo com todo serviço ecossistêmico do ambiente, o manguezal ainda é visto por muitos como um ambiente malcheiroso, insalubre, inóspito e desnecessário, possuindo dessa forma uma relação complexa de gestão e planejamento. Assim, por apresentarem relação intrínseca entre o homem e suas atividades, estudos focados a esse ecossistema fazem-se necessários, assim como seu entendimento, objetivando a melhora do gerenciamento e manejo costeiro, além da mitigação de danos.

O sensoriamento remoto é um importante aliado no estudo desse ecossistema. Cada vez mais o desenvolvimento das geotecnologias tem contribuído para a realização de levantamentos de dados ambientais em áreas inóspitas, de difícil acesso. No caso dos manguezais, ecossistema que exige um planejamento e execução de trabalho de campo cuidadosos, os produtos de sensoriamento remoto têm auxiliado na compreensão do seu arranjo interno em escala de paisagem (ALMEIDA, *et al.* 2011; PHAM, 2019; HEUMANN, 2011).

As vegetações de mangue são áreas dinâmicas que apresentam variabilidade quanto ao desenvolvimento estrutural (PETRI, 2009). Para uma melhor compreensão dessa diversidade estrutural, fundamental para o entendimento das funcionalidades da floresta (SCHAEFFER-NOVELLI E CINTRÓN, 1986), o LiDAR tem se mostrado um grande aliado (PHAM, *et al.* 2010). O LiDAR (Light Detection and Ranging), é um sensor de varredura a laser aerotransportado que gera pulsos de luz para obter informações topográficas e da cobertura florestal, oferecendo resultados precisos sobre a altura do dossel e a densidade da floresta (M. GIONGO, *et al.* 2010; HEUMANN, 2011).

Dessa forma, entender a estrutura vertical do manguezal e mapear sua dinâmica possibilita realizar diversos estudos e análises, tais como: (i) entender a taxa de crescimento das árvores; (ii) identificar atividades antrópicas ilegais; (iii) entender a influência do estado de conservação no desenvolvimento da estrutura; e principalmente, (iv) levantar a diferença estrutural entre as espécies presentes.

Pesquisas nos mostram a acurácia do LiDAR na inferência da estatura da vegetação (CARIS *et al.*, 2020) inclusive para os próprios manguezais (ALMEIDA *et al.* 2020) corroborando para seu uso com maior confiabilidade. A grande problemática é a questão temporal. Como já mencionado a vegetação de mangue é bastante dinâmica, que nos dá uma variabilidade alta e rápida quanto ao seu desenvolvimento estrutural, conseqüentemente modificando as estaturas das árvores e arbustos encontrados no ambiente. Isso, aliado à baixa temporalidade de atualização dos dados LiDAR de extensa abrangência, devido ao seu custo elevado, nos leva a problemas de inconsistências de mapeamentos assertivos, por isso demanda-se entender a representatividade desses dados dentro de intervalos temporais consideráveis.

Objetivos

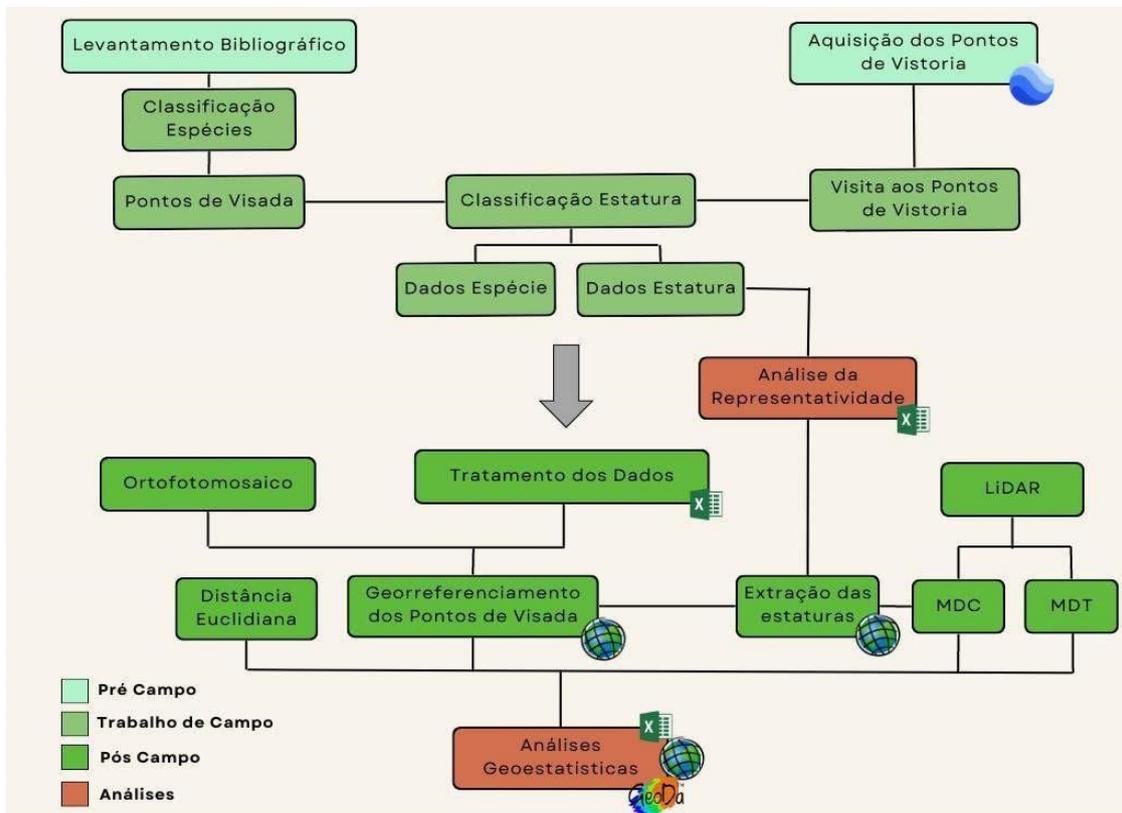
Com isso, este estudo objetiva analisar a representatividade de dados LiDAR, adquiridos no ano de 2019, na determinação da altura do dossel da vegetação dos remanescentes de mangue para um mapeamento que possui o ano base de 2022. E ainda caracterizar as estaturas frente a variáveis que possam inferir a variabilidade do mangue.

Dados de levantamentos de campo, possibilitaram entender se a diferença de 3 anos entre os dois levantamentos interfere de forma crucial na determinação das estaturas da vegetação.

Métodos

A figura 1 representa o fluxograma metodológico do estudo. Os métodos adotados consistem em três etapas bem definidas: (i) planejamento do campo (pré-campo); (ii) execução do trabalho de campo; e (iii) integração e análise dos resultados (pós-campo). Uma etapa inicial do pré-campo envolveu a análise das principais características das diferentes espécies de mangue presentes na região. Foram selecionados pontos representativos para posterior vistoria de campo, a fim de obter informações sobre a diversidade local. Durante a fase de campo, os pontos selecionados foram visitados e vistoriados. Para facilitar a caracterização rápida, os indivíduos de mangue foram agrupados em classes de estatura. Utilizando ferramentas como GPS e orientação espacial, os pontos foram georreferenciados, permitindo uma avaliação mais abrangente da região de estudo. Após a coleta de dados de campo, os pontos vistoriados foram processados e analisados em comparação com informações obtidas por meio de tecnologia LiDAR. A plotagem dos pontos em um sistema de georreferenciamento possibilitou a identificação de coordenadas explícitas para alguns dos pontos, enquanto outros pontos foram posicionados de forma relativa. Os dados obtidos no campo, como a espécie e a estatura estimada, foram comparados com as medições de altura do dossel obtidas a partir do Modelo Digital de Copas (MDC) do LiDAR. Após validar a representatividade, uma análise entre os valores de altura com os valores de Modelo Digital de Terreno (MDT) e distância euclidiana foi feita a fim de reconhecer possíveis padrões espaciais.

Figura 1. Fluxograma metodológico.



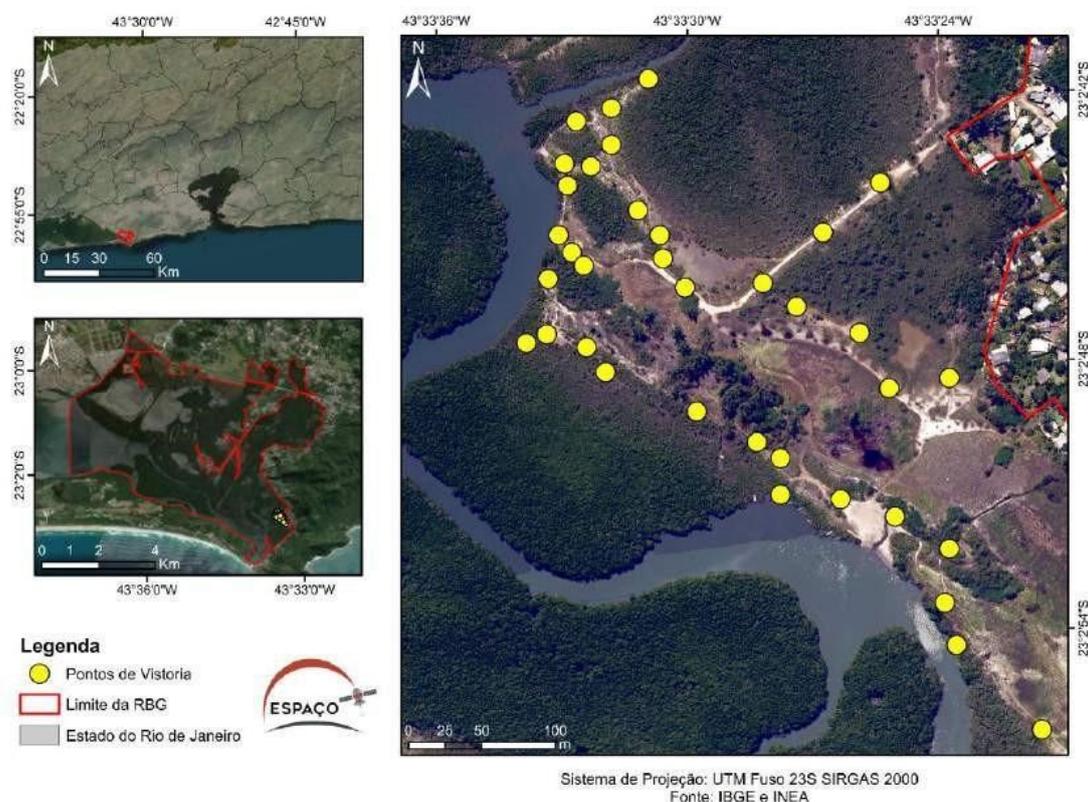
Fonte: Os autores.

Para chegarmos ao objetivo foi necessário comparar os dados adquiridos via LIDAR no ano de 2019 e dados de campo para o ano de uso final, que nesse caso foi 2022, formando um intervalo de 3 anos. A área escolhida para isso, foi um recorte da Reserva Biológica de Guaratiba (RBG) devido a disponibilidade de dados LiDAR com total abrangência pelo Instituto Pereira Passos (IPP), órgão da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, e a possibilidade de realização de levantamentos periódicos em áreas de manguezal.

A área de estudo (Figura 2) contempla um perímetro localizado próxima a Praia de Araçatiba, à margem do Canal da Varzinha, na RBG, fundo da Baía de Sepetiba, no município do Rio de Janeiro - RJ. Toda a RBG possui uma área de 3360,24 hectares, porém as análises se limitaram a um recorte de aproximadamente 4 hectares. Tal recorte foi escolhido devido a sua acessibilidade pois havia a necessidade de entrar no mangue para realização de levantamentos de campo, além da sua importância ecológica, se tratando de uma área representativa em questão de conservação ambiental da RBG.

O manguezal da RBG se encontra no extremo leste da Baía de Sepetiba, entre o rio Piraquê e a parte sul do Parque Estadual da Pedra Branca. Faz parte de um sistema que integra um conjunto de ilhas, rios e canais, que são modificados e dinamizados por um regime de marés e de micromarés, com amplitude inferior a dois metros (PELLEGRINI, 2000; ESTRADA, 2009), dando origem a sistemas geomorfológicos e ecológicos diversos. É importante frisar que cada sistema responde de uma forma específica, principalmente levando em consideração a variabilidade temporal das estaturas. O recorte específico escolhido, a praia de Araçatiba, possui diferentes sistemas ecológicos e microgeomorfológicos, que nos remete a diferentes espécies de manguezal e condições de mudança de estrutura e estatura ao longo do tempo também variáveis.

Figura 2. Mapa de localização da área de estudo e dos pontos de vistoria.



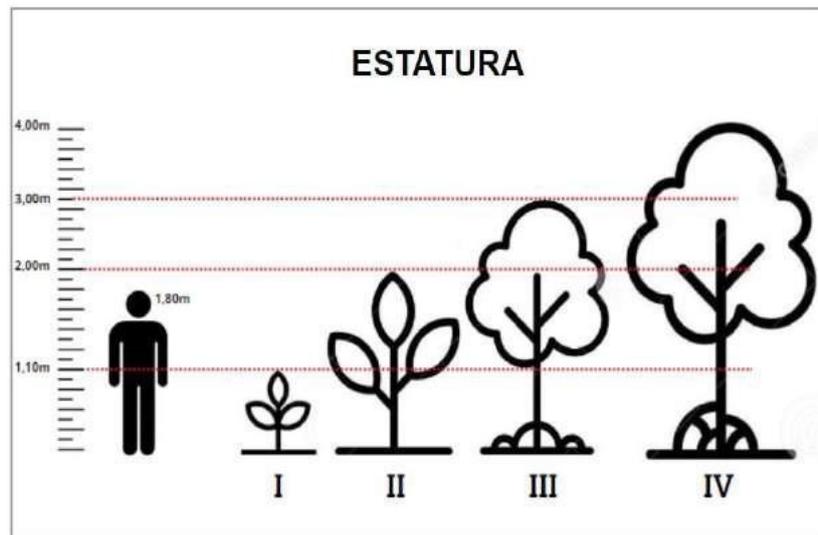
Fonte: Os autores.

Ainda na primeira etapa de pré-campo, foi realizado em paralelo um estudo das

principais características de cada espécie de mangue conhecida na região, sendo elas: *Rhizophora Mangle* (mangue vermelho), *Avicennia schaueriana* (mangue preto) e *Laguncularia racemosa* (mangue branco) (ALMEIDA, 2010; DIAS-BRITO *et al.*, 1979; SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 1990). De acordo com DIAS-BRITO *et al.* (1979) e SCHAEFFER-NOVELLI *et al.* (1990), a *Rhizophora* geralmente coloniza em solos orgânicos ou muito finos. Logo, o gênero tende a se encontrar na franja, aparecendo, dessa forma, em grande parte das margens dos rios; enquanto a *Avicennia* é encontrada em terrenos mais altos. As estaturas possuem uma elevada amplitude em relação à proximidade dos canais de maré: no interior, a altura da copa diminui para menos de 4 m, sendo que as espécies podem atingir 15 a 20 m de altura nesta região, segundo DIAS-BRITO *et al.* (1979).

A partir da delimitação das características de cada espécie, com o auxílio do Google Earth Pro, foram selecionados 35 pontos acessíveis e representativos da diversidade local para serem vistoriados. Levando em consideração o recorte de estudo e a necessidade de efetuar um levantamento expedito para caracterização rápida em campo, definiu-se 4 classes de estatura para associação à altura do dossel, a saber: Estatura 1 (E1) - que contempla indivíduos de altura menor que 1 metro; Estatura 2 (E2), com indivíduos de altura entre 1 e 2 metros; Estatura 3 (E3), com indivíduos de altura entre 2 e 3 metros; e Estatura 4 (E4), com indivíduos de altura superior a 3 metros (Figura 3). É importante salientar que as estaturas nessa área são bem inferiores às que podem ser encontradas em outras localidades da RBG, isso devido ao sistema ecológico da área de recorte.

Figura 3. Associação das estaturas medidas em campo.



Fonte: Os autores.

O trabalho de campo foi realizado no dia 7 de abril de 2022, entre 10:00 e 16:00 horas. O georreferenciamento dos 35 pontos foi obtido com auxílio do GPS Garmin GPSMAP 65 (Figura 2). Para cada um dos 35 pontos, considerados centrais, foram estabelecidos mais 4 pontos de visada, orientados ao norte, sul, leste e oeste, de forma a avaliar não apenas os pontos de vistoria mas a região como um todo. Algumas exceções surgiram a depender da visibilidade em cada caso. As características de cada visada foram catalogadas segundo o padrão: visada-espécie-estatura, de acordo com o exemplo: “Ponto 5: Leste - *Rhizophora* - 3”. Ao final de todo o tratamento e refinamento, obteve-se uma base de dados de 106 pontos de visada e 35 pontos centrais, com todas as informações citadas, dado que a área não apresentou dificuldades de acesso.

Na etapa pós-campo, os pontos foram tratados e classificados para comparação com os

dados LiDAR. Foi feita a plotagem dos pontos no sistema ArcGIS, no qual somente os 35 pontos centrais possuíam coordenadas explícitas. Os pontos de visada coletados em campo tiveram que ser posicionados de forma relativa a partir dos centrais. A base de referência adotada que auxiliou no processo de identificação destas áreas, reduzindo possíveis incertezas de posicionamento, foi uma Ortofotomosaico, de resolução espacial de 15 cm. Uma tabela estruturada com os atributos e a identificação de cada ponto foi elaborada.

A figura 4 representa a distribuição dos pontos de espécies/estaturas encontradas em campo. Em cada visada catalogada, a predominância de estatura era caracterizada pela predominância da espécie responsável por tal estatura. Alguns pontos não tiveram uma clara maioria entre as espécies nativas da região levando o ponto a nomenclatura de “mista”. Os quadrados A e B são exemplos do georreferenciamento dos pontos de visada. Na B existe um ponto rotulado como P2S-T, isso é ocorrência de casos a qual a vegetação logo a frente era baixa, possibilitando a vista da altura de dosséis mais além, sendo esses rotulados como o sufixo T (atrás) e F (frente), também entrando na tabela final. Ainda na figura é possível observar pontos que se encontram em áreas mais afastadas, nesse caso todos identificados com *Rhizophora*. Nesse caso as visadas eram mais longas e quando se foi possível identificar espécie e estatura essas visadas também foram pegas, por exemplo: P2O, ficava do outro lado do canal e era possível identificar tanto sua espécie como classificá-la em uma classe de estatura. Já o ponto P27L, não foi possível identificar a visada leste devido a dúvida sobre espécie e a possível classe de estatura do ponto.

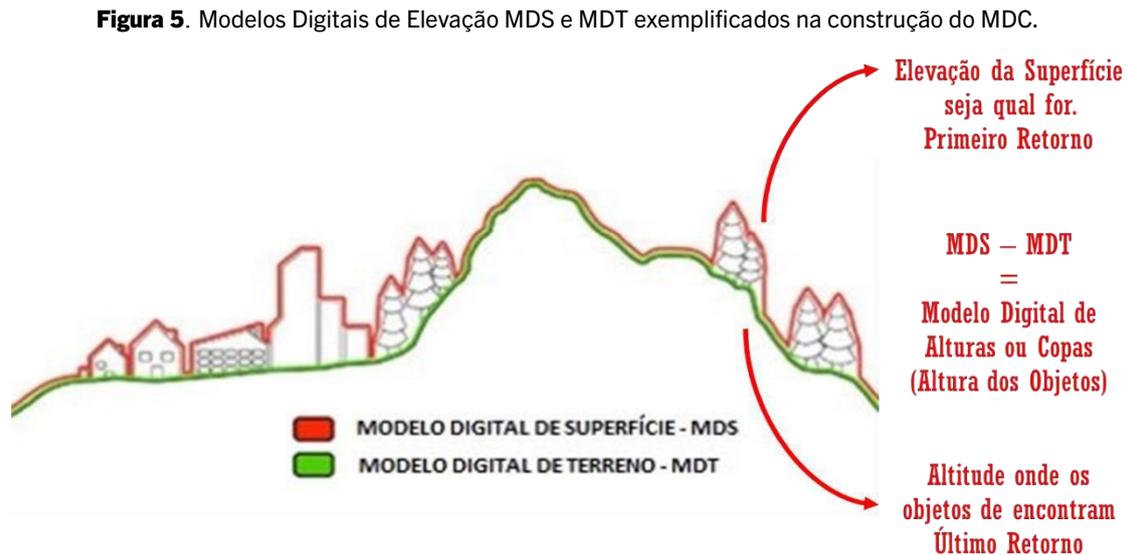
Figura 4. Pontos de espécie e marcação de visada.



Fonte: Os autores.

Para cada um destes pontos foi levantado o valor de altura do dossel com base no MDC (Modelo Digital de Copas) advindo de dados LiDAR. Considerando os produtos advindos de levantamentos feitos por LiDAR temos uma diversidade considerável. Os mais conhecidos são os dados brutos de nuvem de pontos, a nuvem de pontos classificada e os modelos digitais de elevação, esse último produto processado a partir dos primeiros. Dentre os Modelos Digitais de Elevação (MDE, do inglês DEM) podemos classificá-los de duas formas: (i) Dados do primeiro retorno, que representam a superfície dos objetos, que chamamos de Modelo Digital de Superfície (MDS, do inglês DSM); (ii) Dados do último retorno, que representam o

terreno, chamado de Modelo Digital de Terreno (MDT) (Figura 5). Ambos MDS e MDT, são modelos construídos a partir da nuvem de pontos classificados, representando respectivamente o primeiro e último retorno. Utilizando técnicas de processamento de dados, é possível extrair informações sobre a altura das copas das árvores e sua estrutura, criando o MDC. Para sua criação foi feita uma álgebra de Modelos Numéricos no sistema ArcGIS que subtraiu os valores do primeiro retorno (MDS) com os valores do último retorno (MDT), tendo como resultado os valores de altura da vegetação da área de estudo.



Fonte: Os autores.

A estrutura final da tabela incluiu informações, para cada ponto, referentes à espécie, estatura estimada em campo e valor da altura obtida no MDC. Os valores adquiridos no MDC apresentaram variação de 0 a 7 metros de altura, que foram classificados, segundo as mesmas classes usadas em campo, para facilitar a comparação entre os dois levantamentos. Foi realizada ainda uma segunda classificação dos dados do MDC considerando uma incerteza na ordem de 15 cm na determinação da estimativa de campo, pois a verificação da estatura em campo levava em consideração a predominância da altura de dossel enquanto valores extraídos da imagem pegam um único pixel de 0,15m x 0,15m.

Ao fim, o método se expande para o entendimento da variabilidade do mangue em função de características que podem nos mostrar, de forma indireta, os diferentes sistemas ecológicos e geomorfológicos de onde a vegetação se encontra. As variáveis escolhidas foram a microtopografia dada a partir do MDT advindo também do LiDAR, mas com uma menor mutabilidade dentro do período temporal, e a distância dos canais de maré, estimada a partir do canal mais próximo (Canal da Varzinha) usando a ferramenta Distância Euclidiana, que calcula a distância em linha reta dos pontos em relação à margem do canal.

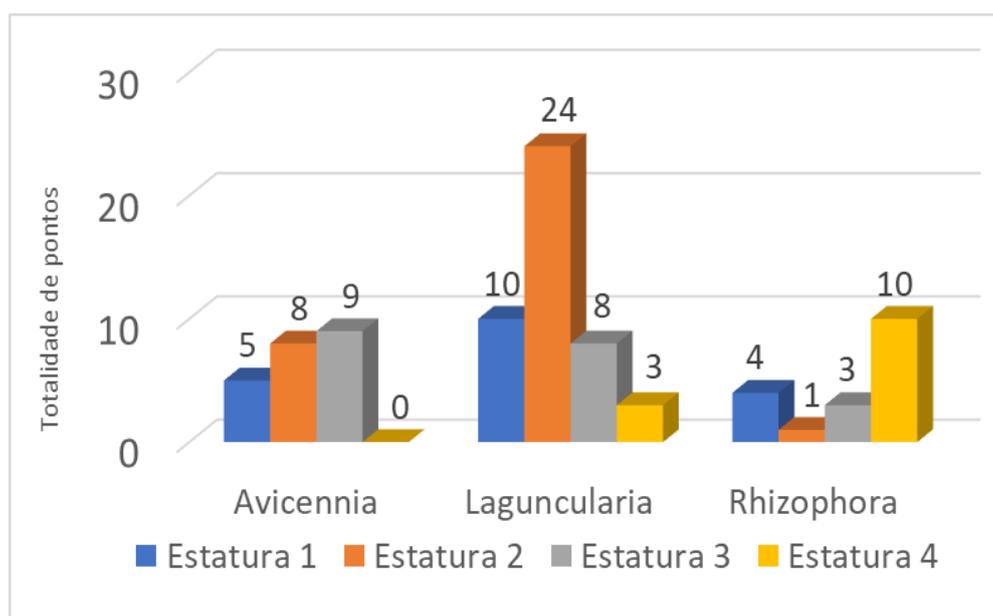
Resultados e discussão

Da totalidade dos pontos levantados em campo, 41% foram identificados como sendo da espécie *Laguncularia*, seguido por 21% de *Avicennia*, 20% associados a áreas Mistas e 17% de *Rhizophora*. Das estaturas medidas em campo, 37% são associadas à estatura E2 (entre 1m e 2m), seguido por 29% da E3 (entre 2m e 3m), 22% da E1 (menores que 1m) e 12% da E4 (maiores que 3m). Comparando os dados obtidos pelos levantamentos de estatura do dossel feitos em campo com a extração desses mesmo pontos a partir do MDC, situ e remoto

respectivamente, 91 pontos apresentaram concordância em uma correlação global de 85,85%.

As estaturas E1 e E4 apresentaram as maiores concordâncias, com 95,7% e 100%, respectivamente. A justificativa dessas altíssimas correlações para estas duas classes, é a menor incerteza na determinação em campo de estaturas inferiores à altura do observador (para o caso de E1) e pelo grande intervalo de representação de valores nas maiores alturas (o caso de E4). A figura 6 demonstra a distribuição dos valores de estatura por espécie. Os pontos de espécie rotulados como Mista não entraram nas análises por espécie, uma vez que não existe na bibliografia uma espécie “mista”.

Figura 6. Associação das estaturas medidas em campo.



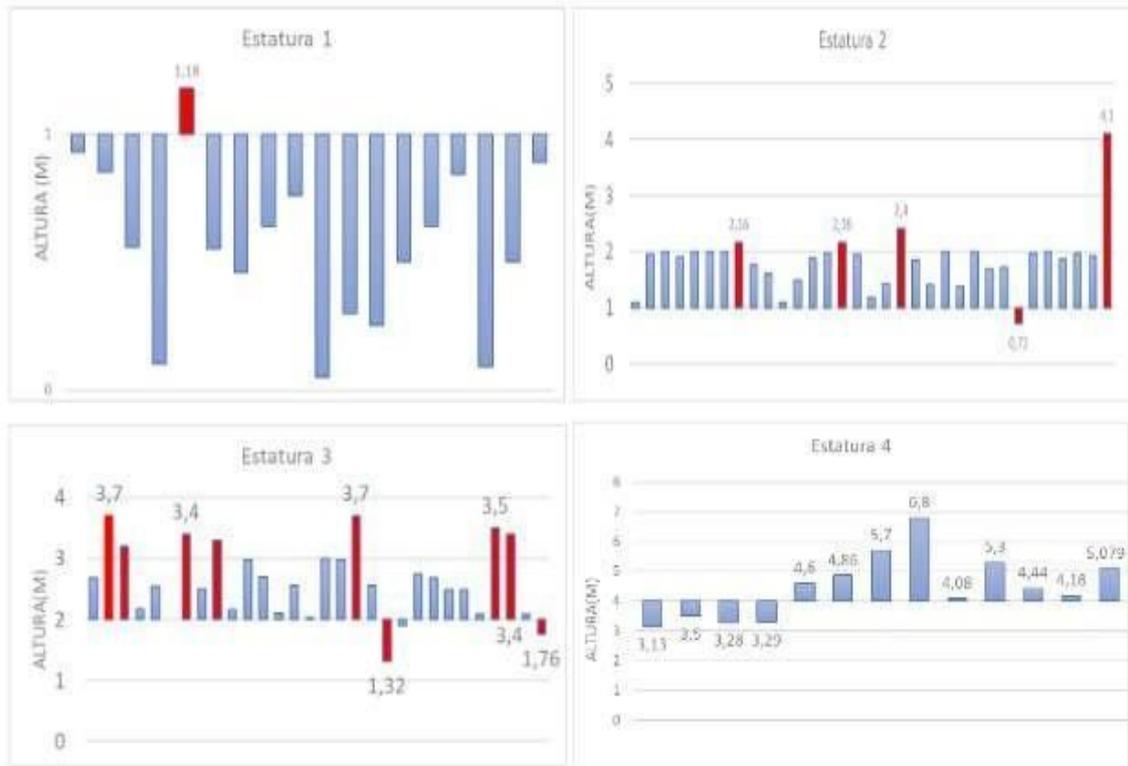
Fonte: Os autores.

As estaturas E2 e E3 apresentaram 14 dos 15 pontos não concordantes, gerando as menores correlações, de 87,18% e 70,97% respectivamente. Esses pontos não concordantes de estatura podem ser subvalorizados (receberam uma estatura de campo menor que o valor do MDC) ou sobrevalorizados (receberam uma estatura de campo maior que o MDC).

A figura 7 mostra como cada ponto de espécie se comporta nos intervalos de estatura estabelecidos em campo quando usada a altura do MDC. O recorte A da figura, nos traz o comportamento da estatura 1. Podemos entender que a maior parte das áreas vistoriadas são bem abaixo de 1m, a vegetação em seu estágio inicial. Isso ajuda a correspondência alta entre os dados em situ e os dados remotos. Há grande possibilidade, isso levantado como hipótese, é que são áreas de acreção e regressão contínua do mangue, o que pode manter os valores sempre baixos. Se levarmos em conta o ecossistema em si visto em campo, vemos muitas dessas áreas presentes.

No recorte B temos a estatura 2, observa-se que a maioria dos pontos onde encontra-se inconsistências foram subvalorizados, confundidos com estatura 3. Essa variação se dividiu bem entre os dois tipos de não-correlação, ou seja, não destoam exageradamente do limite do intervalo da E2. A análise desse recorte nos traz a perspectiva que o tempo de 3 anos entre os dados, não compromete o uso de dados se pensarmos na evolução do mangue, já que a hipótese trazida era que havia uma chance de vermos áreas de vegetação maiores em campo do que são apresentadas nos dados de MDC, o que não ocorreu e surpreendentemente vemos o contrário acontecer.

Figura 7. Pontos não concordantes das estaturas.



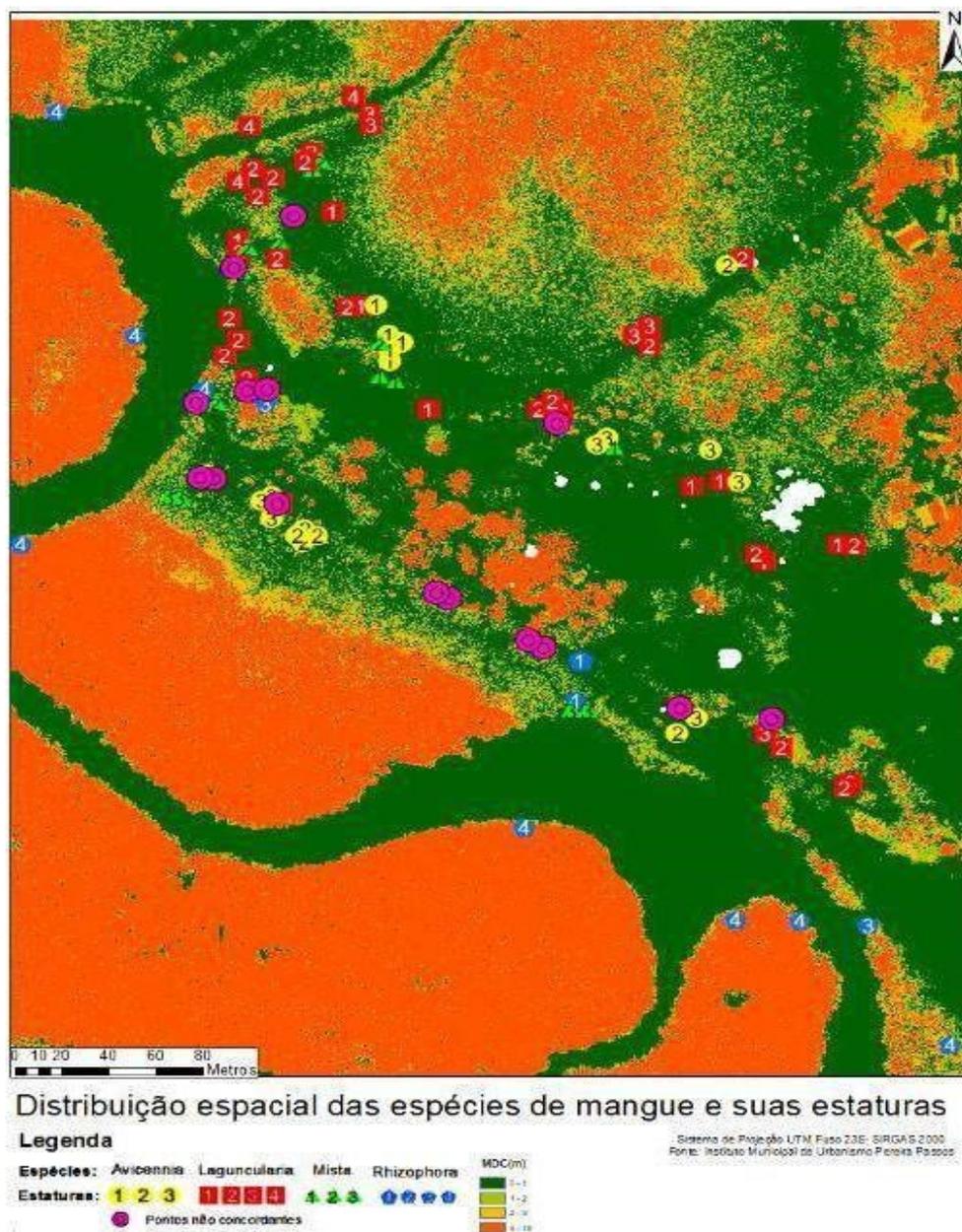
Fonte: Os autores.

O recorte C apresenta a estatura 3, que diferentemente do que acontece na E2, vemos que 7 dos 9 de seus pontos são também subvalorizados, mas com valores médios de 46 cm de distância dos limites de seu intervalo, muito maior do que o apresentado na estatura anterior. Dessa forma, é possível deixar aqui registrado que é a estatura de maior inconsistência global, onde temos valores entre o MDC e os valores encontrados em campo muito altos. Assim como a E2, a E3 ratifica a quebra de hipótese de inconsistência dos dados devido ao crescimento do mangue e corrobora na criação de muitas outras questões em função disso.

No recorte D, onde é apresentada a estatura 4 observamos que a facilidade de identificação de estaturas acima de 3m a torna a classe de correspondência 100%, já que qualquer altura maior que o limiar estaria incluída no rótulo. A análise feita para essa estatura nos mostra que como a maioria dos pontos são maiores do que 4 metros, e levando em consideração o intervalo de 1 metro entre cada estatura, uma estatura cinco deveria ter sido considerada, o que dividiria árvores muito altas (acima de 4m) de árvores altas. Essa escolha precisa ser considerada principalmente se os levantamentos forem feitos em outras áreas da RBG, já que alturas de dossel de mais de 15m podem ser encontradas.

Ainda analisando a figura 7 podemos observar a não existência de um padrão de divisão entre as espécies. Na análise das estaturas os pontos de espécie mista foram levados em consideração uma vez que o objetivo era avaliar os valores de MDC. Contudo, os pontos de dosséis de predominância mista tiveram 19% de valores inconsistentes, maior que os pontos de *Laguncularia* (15%), *Avicennia* (9%) e *Rhizophora* (11%). Como comentado anteriormente, não existe uma espécie ‘Mista’, cada espécie possui uma taxa de crescimento específica. Uma vez que entendemos a partir das análises quantitativas feitas anteriormente que o LiDAR, mesmo com 3 anos de intervalo para os dados de campo, ainda possui uma relação de acertibilidade alta com o que pretende representar, temos a figura 8 nos mostrando toda área de abrangência do mesmo com os pontos de vistoria localizados.

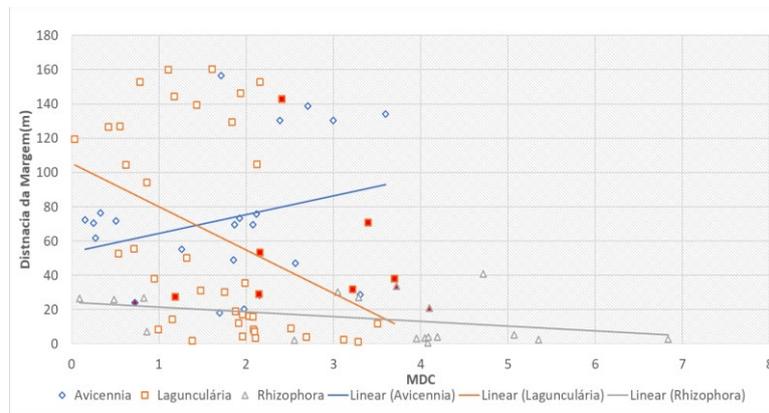
Figura 8. Associação das estaturas medidas em campo.



Fonte: Os autores.

Tendo um mapa com acertibilidade de aproximadamente 85%, passou-se a entender a dinâmica das inconsistências e das próprias estaturas frente às variáveis de microtopografia e distância de canais de maré. Cruzou-se os valores do MDC com os valores do MDT, incluindo ainda os valores obtidos com a ferramenta Distância Euclidiana, a fim de se identificar possíveis padrões de ocorrência espacial das inconsistências e das espécies, dada a sua estatura e localização. No primeiro gráfico obtido, foi possível entender o padrão espacial das inconsistências e das espécies a partir da relação entre a distância da margem do rio e a estatura obtida no MDC (Figura 9).

Figura 9. Distribuição dos pontos de espécie pelo Distance em função do MDC.



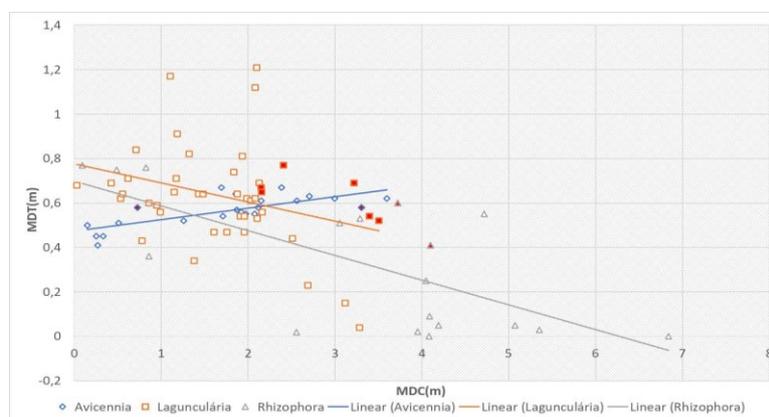
Fonte: Os autores.

O segundo gráfico representa a espacialização das inconsistências e das espécies a partir da relação entre o valor de altitude do terreno (MDT) e a estatura (MDC) (Figura 10). Neste caso, considera-se a influência do relevo na duração de alagamentos na área, o que também é um indicador de proximidade e adaptação à água.

No que diz que respeitos a totalidade das inconsistências, as mesmas não possuem um padrão de espacialização, seja em função do MDT ou da distância da margem. Os pontos apenas seguem os padrões espaciais definidos de cada espécie, exceto das espécies mistas, justamente por essas não serem espécies nativas, logo as inconsistências das áreas mistas não foram analisadas.

Levando ainda as variáveis escolhidas em consideração, analisando a *Avicennia* (em azul), observa-se uma linha de tendência que mostra que quanto maior a estatura do dossel, maior a distância em relação à margem do rio. No caso da *Laguncularia* (em verde) tem-se o inverso, ou seja, as estaturas maiores se localizam mais perto da água. Para a *Rhizophora* (em laranja) quase não se observa um padrão, embora possa identificar uma suave queda, que aponta para quanto maior a estatura, mais perto da margem. De acordo com a tendência observada no primeiro gráfico, as espécies *Rhizophora* e *Laguncularia* apresentam indivíduos mais desenvolvidos nas áreas de menor altitude, ou mais alagadas. O contrário acontece com os pontos associados à espécie *Avicennia*, em que se estabelecem em zonas com menor influência da maré (MADI, A. P. L. M. *et al*).

Figura 10. Distribuição dos pontos de espécie pelo MDT em função do MDC.



Fonte: Os autores.

Conclusões

O objetivo do trabalho foi concluído. Todos os produtos propostos foram gerados, e, de forma geral, o observado é que, mesmo com a diferença de três anos, os valores de altura obtidos pelo LiDAR na área ainda são representativos, para o nível de detalhamento desejado (leitura em classes de valores). Uma vez que o MDC se mostrou representativo, as estaturas dos pontos de espécie encontrados e toda caracterização estrutural da RBG foi exclusivamente orientada pelos valores de MDC. A validação ocorreu numa área de conservação da REBIO, mais suscetível à ações antrópicas e por consequência maior dinâmica na mudança do estado de preservação do mangue. Assim, o uso do sensor LiDAR caracteriza de forma confiável o estado atual estrutural do manguezal.

Durante a execução do trabalho novas questões vieram à tona, a primeira devido a quebra de hipótese do LiDAR sofrer uma mudança muito grande devido ao crescimento do mangue. Essa hipótese ainda precisa ser levantada e discutida pelo quesito ecológico, já que espécies em diferentes sistemas evoluem de diferentes formas. Mas com os resultados obtidos vimos a ocorrência ao contrário do esperado: a maioria dos valores de campo foram menores que os valores de MDC, oriundo do ano de 2019. Para essa questão outras pesquisas precisam ser feitas para o entendimento da regressão da estatura dos manguezais da área. Essa mesma análise precisa ser realizada para outras áreas de RBG, já que as dinâmicas são bem complexas e diferentes.

Em relação aos pontos de inconsistência, uma avaliação pode esclarecer se foram erros de medição ou áreas na qual houve um crescimento das espécies, no caso dos pontos subvalorizados, ou degradação, em pontos sobrevalorizados. Uma outra consideração realizada é a de que a metodologia precisa ser adaptada para outras áreas que possuem vegetação de maior porte. As classes utilizadas foram limitantes na metodologia usada e podem ser problemáticas para manguezais com diversidades altimétricas maiores, como foi apontado que acontece nas outras áreas da RBG.

Referências

- ALMEIDA, P. M. M.; CRUZ, C. B. M.; AMARAL, F. G.; FURTADO, L. F. A.; DUARTE, G. S.; DA SILVA, G. F.; DE BARROS, R. F.; MARQUES, J. V. F. P. A.; BASTOS, R. M. C.; ROSARIO, E. S.; SANTOS, V. F.; ALVES, A.; CHAVES, F. O.; & SOARES, M. L. G. **Mangrove Typology: A Proposal for Mapping based on High Spatial Resolution Orbital Remote Sensing**. *Journal of Coastal Research*, v. 95, (SI), p. 1-5. mai/2020
- ALMEIDA, P. M. M.; SCHMID, K.; CRUZ, C. B. M.; SOARES, M. L. G. **Dinâmica de um remanescente de floresta de mangue do município do Rio de Janeiro**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba: INPE, 2011. p.1982.
- Blasco, F., Gauquelin, T., Rasolofoharinaro, M., Denis, J., Aizpuru, M., & Caldairou, V. **Recent advances in mangrove studies using remote sensing data**. *Marine and Freshwater Research*, 1998, 49(4), 287-296.
- CARIS, E. A. P., CRUZ, C. B. M., & KURTZ, B. C. **Analysis of Altimetric Data Obtained by Lidar in an Area of Atlantic Forest in Southeastern Brazil**. *Revista Tamoios*, São Gonçalo (RJ), v. 16, n. 2, pág. 67-85, jan-jun 2020
- GIONGO, M.; KOEHLER, H. S., MACHADO, S. A., KIRCHNER, F. F., MARCHETTI, M. **LiDAR: princípios e aplicações florestais**. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Curitiba, v. 30, n. 63, p. 231-244. ago./out. 2010.
- HEUMANN, B. W. **Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities**. *Sage Journals [online]*, v. 35, n. 1, pp. 87-108. fev.201.
- MADI, A. P. L. M.; BOEGER, M. R. T.; LARCHER, L.; PELOZO, A.; SERENESKI, C.; REISSMANN, C. B.; PADIAL, A. A. **Estatura do componente de regeneração natural e arbóreo de dois manguezais no estado do Paraná**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 159-170. jan./mar. 2016.

- SCHAEFFER-NOVELLI, Y., VALE, CC., and CINTRÓN, G. **Monitoramento do ecossistema manguezal: estrutura e características funcionais**. In: TURRA, A., and DENADAI, MR., orgs. Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros – Rede de Monitoramento de Habitat Bentônicos Costeiros – ReBentos [online]. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015, pp. 62-80. ISBN 978-85-98729-25-1. Available from SciELO Books.
- SOUZA, B. B. de; MELO, J. D. de; CORREA, M.; MOURA, A. O.; SANTOS, F. F.; GUIMARÃES, M. C.; BARROS NETO, H. M. C. de. S AO MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE MANGUEZAL NO ESTADO DE SERGIPE. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 17, n. 57, p. 126–134, 2016.
- PETRI, D. J. C.; BERNINI, E.; SOUZA, L. M.; REZENDE, C. E. **Distribuição das espécies e estrutura do manguezal do rio Benevente**. *Biota Neotropica* [online], Anchieta - ES, v. 11, n. 3, pp. 107-116. set.2011.
- PHAM, T. D.; YOKOYA, N.; BUI, D. T., YOSHINO, K.; FRIESS, D. A. **Remote Sensing Approaches for Monitoring Mangrove Species, Structure, and Biomass: Opportunities and Challenges**. *Remote Sens*, MDPI, v. 11, n° 3, pp. 230. jan.2019.

Contribuição dos autores

Os Autores participaram de todas as etapas, desde a concepção do estudo até a revisão da versão final do artigo.

Base de dados

Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos – IPP e GeolNEA

Financiamento

Agradecemos a FUNBIO (Fundo Brasileiro de Biodiversidade) por financiar o projeto Observatório Socioambiental da Baía de Sepetiba, na qual os autores fazem parte e contribuem para elaborar um mapeamento das espécies de mangue na região da REBIO e Baía de Sepetiba. CAPES - Bolsa de Doutorado concedida ao Doutorando FAPERJ - Projeto suprimido devido a avaliação às cegas.

Conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Aprovação do conselho de ética

Não se aplica.

Agradecimentos

Não se aplica
