

Uma estratégia computacional para a segmentação automática de árvores individuais de mangue a partir de dados de varredura tridimensional a laser¹

A computational strategy for the automatic segmentation of individual mangrove trees from three-dimensional laser scan data

Gisele Goulart Tavares da Silva²

Leonardo Goliatt da Fonseca³

Filipe Chaves⁴

DOI: <https://doi.org/10.34019/2179-3700.2019.v19.29895>

Resumo

Os manguezais são as florestas com maior potencial de armazenamento de carbono e estão entre os ecossistemas mais ameaçados pelas atividades antropogênicas. Pesquisas recentes destacam a necessidade de preservação desse bioma, e as tecnologias de escaneamento a laser podem auxiliar nessa tarefa, permitindo a coleta de dados de parâmetros estruturais da floresta com rapidez e precisão. A facilidade de aquisição de dados traz a necessidade de tratar as nuvens de pontos adquiridos, tornando necessário o desenvolvimento de algoritmos para a extração de parâmetros biofísicos. Este artigo apresenta uma estratégia computacional para a segmentação de raiz, tronco e copa de árvores de manguezal. Os resultados mostram que a estratégia proposta permite a segmentação das árvores, mas seu desempenho depende da qualidade da nuvem de pontos escaneados e da estrutura dos indivíduos.

Palavras-chave: Segmentação. Manguezal. Escaneamento Tridimensional. LiDAR.

Abstract

Mangroves are the forests with the greatest potential for carbon storage and are among the ecosystems most threatened by anthropogenic activities. Recent research highlights the need for preservation of this biome, and laser profiling technologies can assist in this task by allowing data collection of forest structural parameters quickly and accurately. The ease of data acquisition brings the need to treat the clouds of acquired points, making it necessary to develop algorithms for the extraction of biophysical parameters. This paper presents a computational strategy for the root, tree trunk and canopy segmentation of mangrove forest trees. The results show that the proposed strategy allows segmentation of trees, but their performance depends on the quality of the scanned cloud of points and the structure of the individuals

Keywords: Segmentation. Mangrove. 3D Scanning. LiDAR.

¹ Trabalho premiado no Seminário de Iniciação Científica da UFJF em 2016.

² Bolsista do Programa PIBIC-AF/UFJF.

³ Professor orientador, Departamento de Mecânica Aplicada e Computacional, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora - Rua José Lourenço Kelmer, s/n - Campus Universitário - Bairro São Pedro - CEP: 36036-330 - Juiz de Fora, MG, Brasil. E-mail: leonardo.goliatt@ufjf.edu.br

⁴ Professor coorientador, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

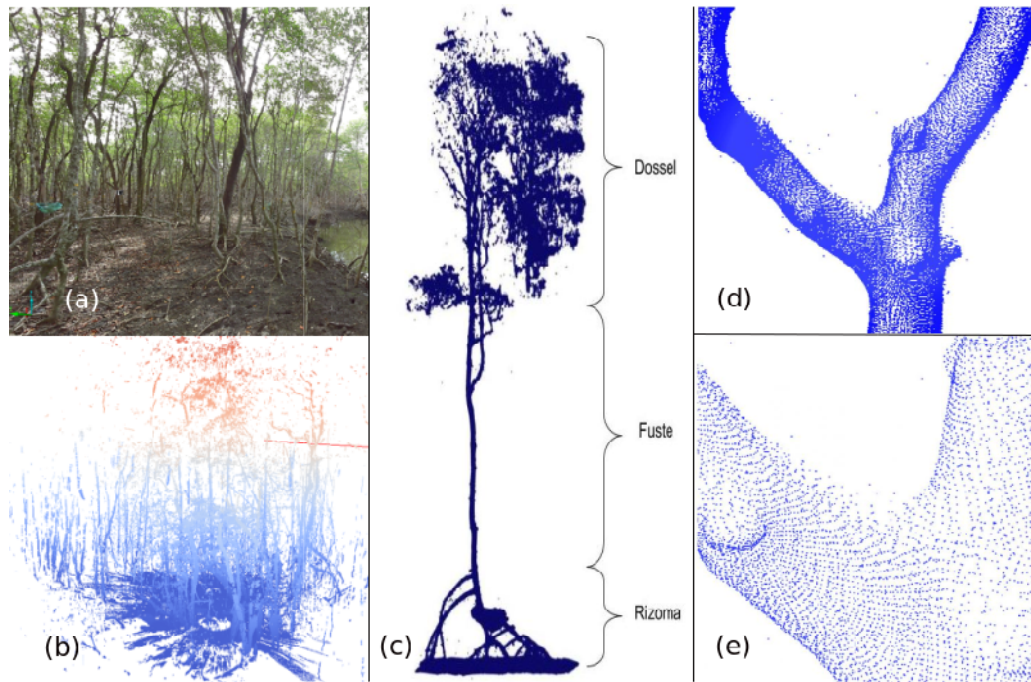


1 INTRODUÇÃO

Os manguezais, um conjunto de plantas lenhosas tropicais e subtropicais halófitas (tolerantes ao sal), são os ecossistemas mais produtivos no que se refere a absorção de CO₂ em biomassa (DONATO *et al.*, 2011), desempenhando um papel essencial na conservação da biodiversidade e prevenção da erosão e perda do solo. Apesar do crescente reconhecimento de seus benefícios socioeconômicos para as comunidades costeiras, os manguezais são identificados como os *habitats* mais ameaçados do mundo (HEENKENDA *et al.*, 2014). Pesquisas recentes relatam que os manguezais foram historicamente degradados (POLIDORO *et al.*, 2010). A causa mais comum de mudança antropogênica foi a conversão de manguezal em aquicultura/agricultura (THOMAS *et al.*, 2017), expansão imobiliária, atividades turísticas (GIRI *et al.*, 2010) e a exploração em excesso dos recursos naturais (GHOSH *et al.*, 2015). Há uma preocupação crescente entre autoridades governamentais e cientistas com o monitoramento dinâmico de mangues e a sua proteção. Informações sobre as características importantes da floresta de mangue, como a morfometria e constituição de espécies, são valiosas para o manejo sustentável de florestas de mangue e monitoramento de espécies invasivas (HEUMANN, 2011).

Usualmente, os parâmetros biofísicos relativos à área estudada ou aos indivíduos são medidos manualmente (TRAUTENMÜLLER, 2015). Este método possui alguns inconvenientes por ser demorado, exigir grande esforço de mão de obra especializada, e torna-se impraticável em grandes extensões (WANNASIRI *et al.*, 2013). Os métodos tradicionais podem inserir incertezas nas aproximações dos parâmetros estruturais (OWERS; ROGERS; WOODROFFE, 2018) e na literatura são reportados erros de medição que variam entre 10% e 15% (CHAVE *et al.*, 2005).

Figura 1– Procedimento de obtenção da dados por LiDAR: (a) foto da área escaneada (b) nuvem de pontos obtida com o aparelho de perfilamento a laser (c) vista lateral de uma árvore individualizada (d) detalhe da bifurcação do fuste de um dos indivíduos (e) aproximação com detalhes da nuvem de pontos.



Fonte: o autor.

O LiDAR, do inglês *Light Detection and Ranging* é uma técnica de varredura, rastreamento e perfilamento a laser. Uma aplicação comum do LiDAR é nos aparelhos de escaneamento tridimensional (WULDER *et al.*, 2012). O resultado do mapeamento é uma nuvem de pontos tridimensional que representa com precisão a área escaneada. Técnicas de LiDAR demonstraram grande potencial para detectar, identificar, mapear e monitorar parâmetros importantes de florestas com características regulares (TAHVANAINEN; FORSS, 2008; WANG *et al.*, 2017). Pesquisas envolvendo mangues são relativamente recentes (DONATO *et al.*, 2011; FELICIANO; WDOWINSKI; POTTS, 2014; WANNASIRI *et al.*, 2013). A Figura 1 exemplifica o procedimento de obtenção de dados empregando a técnica LiDAR aplicada a uma parcela de floresta de mangue.

Porém, mesmo com a precisão dos escâneres atuais, o resultado do processo

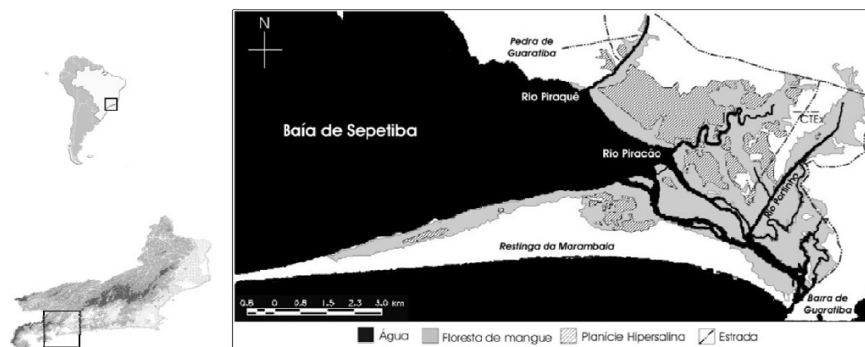
continua sendo uma nuvem de pontos desconexa, sem informação estrutural ou identificação dos objetos escaneados. O objetivo deste trabalho é investigar o potencial do uso de dados LiDAR para a segmentação raízes, fuste (tronco) e dossel (copa) a partir da nuvem de pontos de árvores individualizadas propondo melhorias no trabalho de Ladeira *et al.* (2018) e contribuindo para acelerar a obtenção desses três parâmetros morfométricos importantes da caracterização de florestas de mangue.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo e Aquisição dos Dados

A área utilizada para aquisição dos dados, mostrada na Figura 2, é a Reserva Biológica de Guaratiba (RBG), uma unidade de conservação que engloba um conjunto de florestas de mangue com área total de 28,3 km², sendo 20,9 km² de florestas de mangue e 7,4 km² de planícies hipersalinas (ALMEIDA, 2007). Estão presentes ao fundo da baía de Sepetiba, na sua porção leste, que se localiza no litoral sul, a sudoeste do Estado do Rio de Janeiro compreendida entre os paralelos 22° 53' S e 23° 05' S e os meridianos 043° 33' W e 044° 01' W.

Figura 2 – Visão geral da área de estudo



Fonte: Tavares *et al.* (2016).

A captura foi realizada com aparelho TLS FARO Laser Scanner Focus 3D, que realiza uma leitura de 360° em torno de seu eixo horizontal e 305° em torno do eixo vertical. O *scanner* foi posicionado em 2 posições distintas em torno da área de estudo, de modo a obter informações tridimensionais sobre os indivíduos sem o aumento excessivo do tempo de escaneamento. O alcance do *laser* é de 330m com velocidade de aquisição de 976000 pontos/segundo com 2 mm de precisão. Foram utilizados dados de escaneamento tridimensional de 5 árvores da área de estudo, classificadas como

Avicennia Schaueriana (Rótulos 2, 7 e 9) e Rhizophora Mangle (Rótulos 19 e 22).

2.2 Modelo Computacional

A árvores escaneadas foram individualizadas com o uso do software proprietário Scene, desenvolvido para o *scanner* FARO Focus 3D. A segmentação de dossel e raízes aéreas ocorreu através da extração de informações de função de densidade da nuvem de pontos tridimensionais. Para cada indivíduo da área de estudo, o seguinte procedimento computacional foi aplicado para separação:

1. Translação dos dados e remoção dos pontos referentes ao solo;
2. Normalização da altura dos indivíduos no intervalo [0,1];
3. Determinação do modelo matemático (M1) da função de estimação de densidade dos pontos em função de sua altura;
4. Cálculo da derivada função de densidade dos pontos a partir do modelo matemático (M2);
5. Segmentação de dossel e raízes aéreas por meio da construção de hipóteses e da análise dos pontos de máximo e de mínimo da expressão do modelo M1.

Para a determinação do modelo M1, a função de densidade de probabilidade foi estimada através do ajuste da função:

$$f_{\sigma}(x) = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{\sigma}\right)$$

onde σ é a largura de banda, x_i formam o conjunto de pontos extraídos pelo aparelho de perfilamento a laser, n é o número de pontos nesse conjunto e K é uma função gaussiana. No trabalho de Ladeira *et al.* (2018) foram testados diferentes valores de largura de banda e neste trabalho a largura de banda σ é calculada automaticamente pelo método de Scott (GLENDINNING; SCOTT, 1994) ajustado por fator multiplicador de 1.5. A expressão usada para o ajuste é dada por $\sigma = 1,5 n^{-1/(d+4)}$ onde $d = 1$ e n é o número de pontos utilizados para construção da função M1. O modelo M2, primeira derivada de M1, foi determinado usando diferenças finitas progressivas de primeira ordem.

As hipóteses usadas para delimitação das regiões de raízes, fuste e dossel foram as seguintes: (H1) o fuste inicia-se abaixo de $\frac{1}{4}$ da altura da árvore e (H2) o dossel inicia-se acima de $\frac{1}{3}$ da altura da árvore. Como consequência das hipóteses anteriores, temos para o modelo de segmentação proposto que (1) o modelo cria uma hierarquia onde o

fuste fica acima das raízes e o dossel acima do fuste, como esperado em árvores reais (2) as raízes aéreas, quando existirem, não ultrapassam 25% da altura da árvore, (3) a altura do dossel corresponderá no máximo a $\frac{2}{3}$ da altura da árvore.

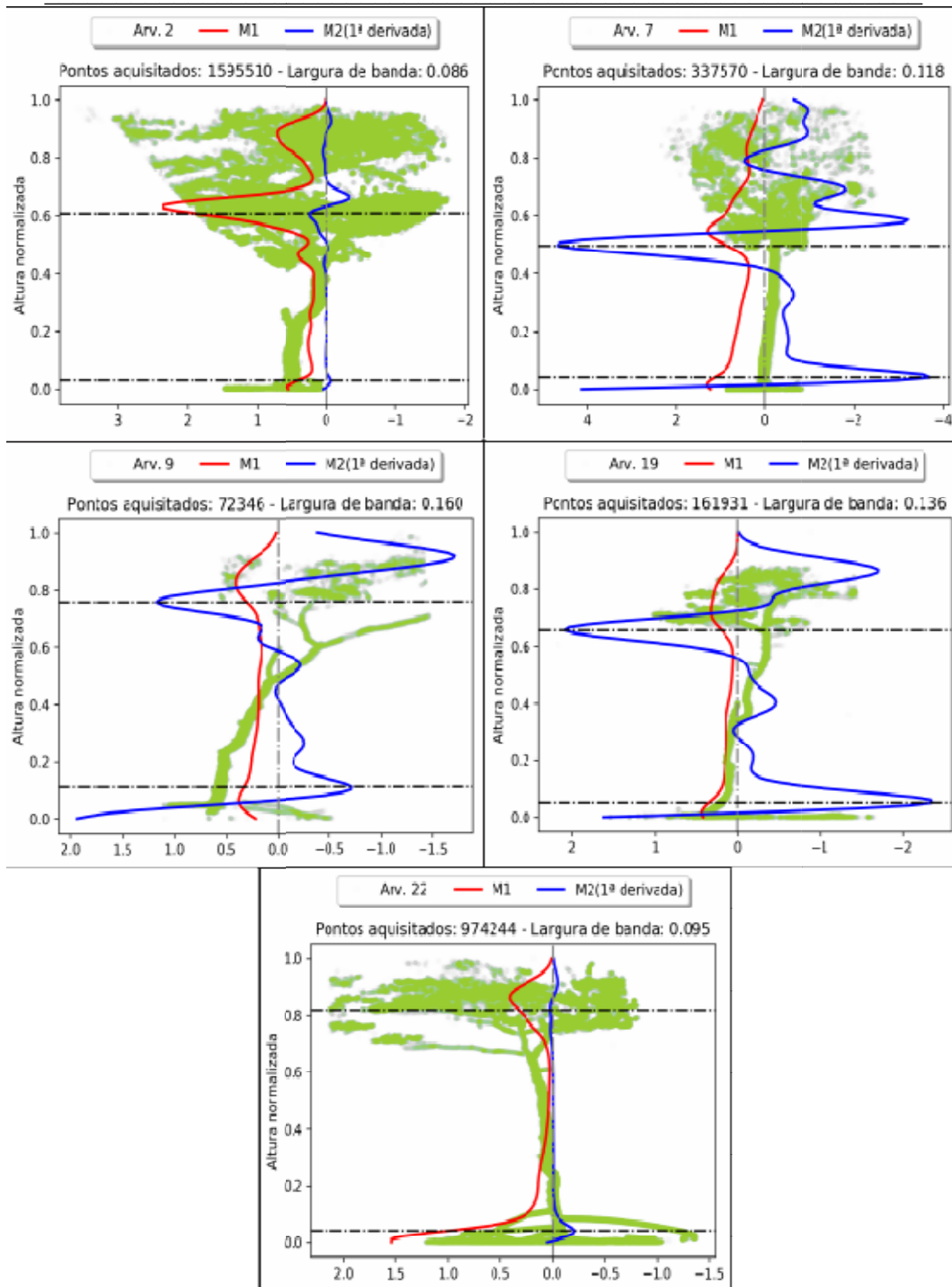
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados das árvores obtidos através de perfilamento a laser da área monitorada foram processados, e o método computacional realizou a separação dos componentes: dossel, fuste e raízes aéreas. A Figura 3 (itens (a), (b), e (c)) apresenta os resultados obtidos para a segmentação de indivíduos da espécie *Avicennia Schaueriana*, que não dispõe de estrutura de sustentação (rizoma). Na Figura 3 (a) é possível observar que o método separou os dados referentes ao solo de forma correta, mas não foi capaz de capturar o aumento da densidade de pontos na mudança de estado do fuste para o dossel. Esta diferença pode ter ocorrido em função do posicionamento do aparelho, onde visadas quase colineares podem aumentar a quantidade de dados, sem o acréscimo de informação útil. O uso de mais capturas pode ser uma solução para atenuar esse problema.

Para a separação dos componentes das árvores de rótulos 7 e 9, mostradas respectivamente nas Figuras 3(b) e 3(c), o método apresentou resultados satisfatórios para dossel e fuste. No indivíduo de rótulo 9, a separação entre solo e fuste não realizou-se corretamente por conta da existência de galhos soltos próximos à base da árvore, que alteraram a distribuição de densidade dos pontos e conseqüentemente a determinação do início do fuste.

Observa-se uma melhor segmentação do dossel nos indivíduos 7, 9 e 19, onde a transição do dossel e fuste ocorre de maneira acentuada, levando a uma variação brusca na densidade dos pontos. Nestes casos essa variação é bem captada pelo método computacional. Por outro lado, a mudança suave ao final do fuste do indivíduo 2 causou uma mudança na tendência de crescimento da curva M1, levando a uma queda na densidade de pontos próximo a altura $h = 0.4$ em função da transição suave do dossel, que se refletiu nas função M2 e conseqüentemente nos critérios de separação de fuste/dossel.

Figura 2 – Resultados do procedimento de segmentação automática para os indivíduos de rótulos (a) 2, (b) 7, (c) 9, (d) 19 e (e) 22. As curvas vermelha e azul indicam os modelos M1 e M2 e as linhas tracejadas os locais selecionados para os cortes dos componentes. As larguras de banda foram determinadas pelo método de Scott.



Fonte: o autor.

4 CONCLUSÕES

O método computacional proposto para a separação de componentes de árvores a partir de dados obtidos através de escaneamento terrestre a laser atingiu resultados satisfatórios para a segmentação dos fustes das espécies testadas. Porém, devido a limitações dos modelos, a presença de rizoma e galhos soltos no solo afetam este

processo e inserem erros nos resultados. Para a separação do dossel, o método obteve melhores resultados nas árvores onde ocorre brusca alteração na densidade de pontos, retornando boas aproximações nos casos de mudança suave.

Os resultados alcançados indicam a viabilidade do uso de dados de *scanner* terrestre em estudos de ecologia de manguezais, com potencial para auxiliar na elaboração de documentos florestais e pesquisas de campo. Para isso, o aperfeiçoamento do método apresentado é necessário, de modo a segmentar componentes de diferentes espécies adequadamente. Além disso, o estudo de métodos computacionais para o cálculo do volume das partes da árvore e a classificação de espécies são propostos como trabalhos futuros, pois a aquisição destas informações pode tornar o inventário florestal mais direto e intuitivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa FARO, que por meio de seu representante Adriano Scheuer possibilitou o escaneamento das florestas de mangue de Guaratiba, a Embrapa Agroindústria de Alimentos pela disponibilização dos espaços para limpeza do material, à agência Capes pela concessão de bolsa de pesquisa, Código de Financiamento 001, e ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional da Universidade Federal de Juiz de Fora pelo apoio na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. M. M. **Utilização de imagens de satélite para análise multi-temporal do manguezal de Guaratiba-RJ**. 91 p. Monografia (Bacharelado) – Departamento de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007.

CHAVE, Jerome *et al.* Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, Nova Iorque, v. 145, n. 1, p. 87–99, 2005.

DONATO, Daniel C. *et al.* Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. **Nature geoscience**, Nova Iorque, v. 4, n. 5, p. 293–297, 2011.

FELICIANO, Emanuelle A.; WDOWINSKI, Shimon; POTTS, Matthew D. Assessing Mangrove Above-Ground Biomass and Structure using Terrestrial Laser Scanning: A Case Study in the Everglades National Park. **Wetlands**, Nova Iorque, v. 34, n. 5, p. 955–968, 2014.

GHOSH, S. *et al.* A Review of Threats and Vulnerabilities to Mangrove Habitats: With Special Emphasis on East Coast of India. **Journal of earth science & climatic change**, v. 6, n. 4, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7617.1000270>. Acesso em

10 de dezembro de 2018.

GIRI, C. *et al.* Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global ecology and biogeography: a journal of macroecology**, Hoboken, v. 20, n. 1, p. 154–159, 2010.

GLENDINNING, R. H.; SCOTT, D. W. Multivariate Density Estimation, Theory, Practice and Visualization. **The Statistician: journal of the Institute of Statisticians**, Londres, v. 43, n. 1, p. 218, 1994.

HEENKENDA, Muditha *et al.* Mangrove Species Identification: Comparing WorldView-2 with Aerial Photographs. **Remote Sensing**, Basel, v. 6, n. 7, p. 6064–6088, 2014.

HEUMANN, Benjamin W. An Object-Based Classification of Mangroves Using a Hybrid Decision Tree-Support Vector Machine Approach. **Remote Sensing**, Basel, v. 3, n. 11, p. 2440–2460, 2011.

LADEIRA, Ana Carolina *et al.* Método computacional para segmentação automática do dossel de árvores de mangue a partir de dados de perfilamento tridimensional a laser. In: ENCONTRO NACIONAL DE MODELAGEM COMPUTACIONAL, 2018,[S.l: s.n.], 2018.

OWERS, Christopher J.; ROGERS, Kerrylee; WOODROFFE, Colin D. Terrestrial laser scanning to quantify above-ground biomass of structurally complex coastal wetland vegetation. **Estuarine, coastal and shelf science**,Amsterdã, v. 204,p. 164–176, 2018.

POLIDORO, Beth A. *et al.* The loss of species: mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. **PloSone**, v. 5, n. 4, p. e10095, 2010.

TAHVANAINEN, Timo; FORSS, Eero. Individual tree models for the crown biomass distribution of Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. **Forest ecology and management**, Amsterdã, v. 255, n. 3, p. 455–467, 2008.

TAVARES, Gisele G. *et al.* Métodos computacionais para aproximação do diâmetro à altura do peito de árvores de regiões de mangue via escaneamento tridimensional a laser. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, Brasília, v. 2, p. 138-155, 2016.

THOMAS, Nathan *et al.* Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996–2010. **PloS one**, v. 12, n. 6, p. e0179302, 2017.

TRAUTENMÜLLER, Jonathan William. Quantificação e distribuição do estoque de biomassa acima do solo em floresta estacional decidual. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

WANG, Di *et al.* Reconstructing Stem Cross Section Shapes From Terrestrial Laser Scanning. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, 2017.

WANNASIRI, Wasinee *et al.* Extraction of Mangrove Biophysical Parameters Using Airborne LiDAR. **Remote Sensing**, Basel, v. 5, n. 4, p. 1787–1808, 2013.

WULDER, Michael A. *et al.* Lidar sampling for large-area forest characterization: A review. **Remote sensing of environment**, v. 121, p. 196–209, 2012.