

08 a 11 de Outubro de 2018  
Instituto Federal Fluminense  
Búzios - RJ

## MÉTODO COMPUTACIONAL PARA SEGMENTAÇÃO AUTOMÁTICA DO DOSEL DE ÁRVORES DE MANGUE A PARTIR DE DADOS DE PERFILAMENTO TRIDIMENSIONAL A LASER

Ana Carolina Ladeira Costa Queiroz<sup>1</sup> - anacarolina@ice.ufjf.br

Gisele Goulart Tavares<sup>1</sup> - giselegoulart@ice.ufjf.br

Filipe Oliveira Chaves<sup>2</sup> - fochaves@gmail.com

Thales Rodrigues Sabino<sup>1</sup> - tluis@ice.ufjf.br

Leonardo Goliatt da Fonseca<sup>1</sup> - leonardo.goliatt@ufjf.edu.br

Priscila Capriles Goliatt<sup>1</sup> - priscila.capriles@ufjf.edu.br

<sup>1</sup>Universidade Federal de Juiz de Fora - Juiz de Fora, MG, Brasil

<sup>2</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ, Brasil

**Resumo.** O dossel é o estrato superior das florestas, sua altura é um dos maiores preditores de biomassa e carbono nos ecossistemas florestados. Além disso, os ecossistemas de mangue representam um dos reservatórios de carbono mais concentrados que se degradam rapidamente como resultado do desmatamento, desenvolvimento e manipulação hidrológica. Para quantificar o estoque de carbono presente nos troncos e galhos exige a segmentação do tronco e do dossel. As regiões de mangue estão situadas em áreas periodicamente alagadas e de solo predominantemente lamoso, essas condições o tornam de difícil acesso, e acaba se tornando inviável por vezes a obtenção dessas informações por métodos tradicionais. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um método de segmentação de tronco e dossel a partir do escaneamento a laser que fornece uma nuvem de pontos tridimensionais de maneira rápida e acurada. É uma alternativa ao trabalho manual, que é demorado e custoso, realizado por especialistas; e também uma substituição aos métodos tradicionais utilizados em campo.

**Keywords:** dossel; LiDAR; manguezal; segmentação

### 1. INTRODUÇÃO

Os manguezais estão entre os biomas marinhos com maior capacidade de sequestro de carbono, estocando significativas quantidades na biomassa das árvores, no próprio sedimento ou exportando para ambientes adjacentes via o transporte pelas marés. A forma tradicional utilizada para determinar a quantidade de carbono armazenada numa floresta consiste em realizar medições periódicas de parâmetros estruturais que estão relacionados com a biomassa. A quantificação do estoque de carbono das florestas de mangue é de extrema importância, pois são parte vital do ciclo do carbono e são classificados entre os ecossistemas mais produtivos do

planeta (Donato et al., 2011; Feliciano et al., 2014). Mas por conta do desmatamento, desenvolvimento urbano e manipulação hidrológica, sua degradação foi acelerada nas últimas décadas e a perda desses ecossistemas pode ter um considerável impacto no balanço global de carbono.

Estudos relacionados a inventários florestais normalmente necessitam da coleta direta de dados através dos métodos tradicionais de medição, com necessidade de acesso a toda área de estudo. Nos manguezais, as árvores tortuosas adaptadas à salinidade e ao efeito das marés, com raízes aéreas e localizadas em áreas tipicamente alagadas, podem representar um árduo desafio para o uso dos métodos tradicionais.

Equipamentos que utilizam tecnologia LiDAR (do inglês *Light Detection and Ranging*) de varredura, rastreamento e perfilamento a laser vêm sendo empregados para a aquisição de conjuntos de dados tridimensionais de florestas (Feliciano et al., 2014; Tavares et al., 2016). Técnicas para segmentação de árvores individuais obtidas a partir de dados de *scanner* tridimensional vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos (Wang et al., 2008; Hamraz et al., 2017).

Uma nuvem tridimensional de pontos da área escaneada é obtida, mas sem informações estruturais, de forma que métodos computacionais devem ser aplicados para o correto entendimento dos dados. Alguns parâmetros florestais podem ser previstos a partir de dados LiDAR com o desenvolvimento de modelos computacionais, como altura do dossel, biomassa acima do solo, diâmetro médio do fuste, e volume do dossel (Lim et al., 2003). A Figura 1 apresenta um trecho de área de floresta obtido através de equipamento de escaneamento a laser e uma das árvores individualizada.



Figura 1- Área de estudo, dados escaneados e árvore individualizada.

## 1.1 Revisão Bibliográfica

Os modos de operação de equipamentos de escaneamento tridimensional podem ser classificados em duas categorias principais: em modo de única varredura e modo de múltiplas varreduras. No modo de única varredura o *scanner* é colocado no centro da região, criando apenas uma varredura completa do campo de visão. No modo de múltiplas varreduras são realizados vários escaneamentos dentro e fora da área a ser mapeada para coletar dados mais detalhados para a representação da amostra. Os dados são consolidados utilizando alvos de referência artificiais que são colocados manualmente em toda a área. O modo de uma única varredura é considerado mais simples devido à rápida obtenção dos dados em comparação com o de múltiplas varreduras. Um dos problemas é que apenas as árvores do centro da plotagem são escaneadas corretamente devido aos efeitos de oclusão de outros objetos, como ramos e arbus-

tos, na direção dos raios laser. O uso de múltiplas varreduras oferece mais dados em relação ao formato das árvores, mas exige um tempo maior para a aquisição, e por consequência causa um aumento no custo operacional. Por este motivo, o estudo de dados derivados de única varredura se mostra importante para determinar sua viabilidade em prover informações de uma floresta, reduzindo os trabalhos em campo (Liang et al., 2016).

As abordagens baseadas em laser aerotransportado (ALS, do inglês *Aerial Laser Scanning*) têm sido mais empregadas do que as abordagens que utilizam árvores individuais (Hyypä, 1999; Persson et al., 2002; Koch et al., 2006). As árvores são delineadas de acordo com as características das coroas, de modo que as árvores individuais na camada de dossel inferior (sub-bosque) cujas coroas são cobertas pela camada superior não podem ser detectadas pela dificuldade dos sensores penetrarem essa camada do solo (Latifi et al., 2015). Um dos benefícios de usar escaneamento terrestre a laser (TLS, do inglês *Terrestrial Laser Scanning*) é a ausência deste problema, por conta de termos uma visão vertical da árvore ao invés da horizontal. Além disso, a utilização de algoritmos baseados em escaneamento terrestre utilizando árvores individuais podem tornar o inventário mais intuitivo (ou seja, assemelhar-se a inventários florestais tradicionais baseados em campo, mas em escalas muito maiores), classificar mais facilmente de espécies arbóreas e resultar em inventários mais precisos que incluem atributos listados de cada árvore, como altura e largura da coroa (Ayrey et al., 2017).

Entretanto, para obter as propriedades de árvores individuais como diâmetro da copa, altura da árvore, volume e biomassa das camadas do dossel, é necessário a segmentação, que pode separar o dossel tanto verticalmente quanto horizontalmente (Wang et al., 2008; Hamraz et al., 2017).

O objetivo desse trabalho é desenvolver um método computacional automático para a segmentação dos componentes de árvores individuais como dossel, fuste e rizoma através do uso de dados de escaneamento terrestre a laser, utilizando informações verticais da árvore para a separação. A Figura 2 apresenta uma esquematização para a separação dos componentes de um indivíduo.

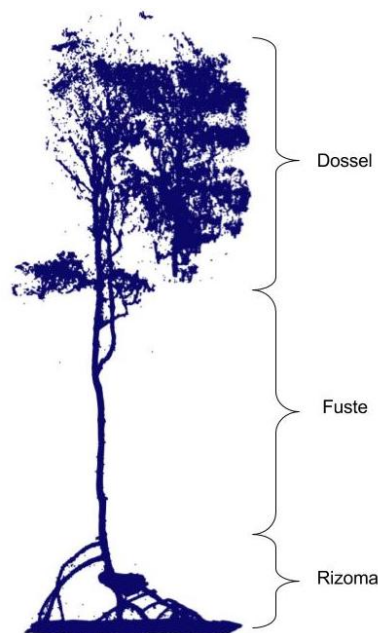


Figura 2- Árvore de mangue obtida por escaneamento a laser. Esquematização da separação dos componentes dossel, fuste e rizoma em um indivíduo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

A área utilizada para aquisição dos dados é a Reserva Biológica de Guaratiba (RBG), mostrada na Figura 3, uma unidade de conservação que engloba um conjunto de florestas de mangue com área total de 28,3 km<sup>2</sup>, sendo 20,9 km<sup>2</sup> de florestas de mangue e 7,4 km<sup>2</sup> 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. Neste complexo situa-se o campo experimental do laboratório NEMA/UERJ que possui diversos estudos desenvolvidos ao longo dos últimos 20 anos em ecologia de manguezais.



Figura 3- Visão geral da área estudada. Fonte: GOOGLE (2017)

### 2.2 Aquisição dos Dados

Equipamentos de escaneamento tridimensional têm sido utilizados para a obtenção de informações de florestas em razão de representarem de forma acurada a estrutura das árvores e mapearem grandes áreas de forma rápida (Feliciano et al., 2014).

Florestas de mangue possuem características morfológicas distintas em relação a outros biomas, de forma que o equipamento para escaneamento tridimensional deve ser adequado para a aquisição dos dados. Neste estudo, o FARO Laser Scanner Focus 3D foi utilizado por apresentar bons resultados em estudos que envolvam florestas (Maas et al., 2008), capturando a estrutura das árvores de forma adequada, em tempo hábil e possuindo facilidade para locomoção, diferenciais em estudos envolvendo manguezais.

O *scanner* realiza uma leitura de  $360^\circ$  em torno de seu eixo horizontal e  $305^\circ$  em torno do eixo vertical. O alcance do *laser* é de 330m com velocidade de aquisição de 976000 pontos/segundo e  $\pm 2mm$  de precisão.

Foram escaneadas 5 árvores da Reserva Biológica de Guaratiba sendo uma da espécie *Avicennia Schaueriana* (Rótulo 7) e 4 *Rhizophora Mangle* (Rótulos 21, 22, 30 e 34). O modo de única varredura foi utilizado na área de estudo de modo a capturar informações tridimensionais dos indivíduos. Para digitalização, consolidação, processamento dos dados e individualização das árvores foi utilizado o software proprietário Scene, desenvolvido para o *scanner* FARO Focus 3D.

### 2.3 Implementação Computacional

O procedimento computacional para a segmentação do dossel é constituído de três partes principais: limpeza e translação dos dados, cálculo do histograma e derivada segunda, e por fim a separação do dossel.

Passo 1: Limpeza e translação dos dados

Foi feita uma limpeza dos dados, a fim de remover dados que não serão usados e diminuir o custo computacional. Os dados provenientes do escaneamento a laser podem possuir variações em relação à altura, por conta do georreferenciamento utilizado pelo aparelho. Deste modo, foi feita a translação dos dados antes da segmentação, trazendo a árvore para o nível do terreno. Um dos objetivos desta etapa é melhorar a visualização do resultado final e facilitar a comparação dos resultados. A translação foi realizada da seguinte forma

1. Determinação da menor altura  $z_m$  dentre os valores referentes à coordenada  $z$  para cada ponto  $\mathbf{p} = (p_x, p_y, p_z)$  do conjunto de dados;
2. Cálculo da altura  $z_n$  de cada ponto através da equação  $z_n = z_i - z_m$ , onde  $z_m$  é o menor valor dentre as coordenadas  $z$ ,  $z_i$  é o valor da altura obtido a partir do *scanner* para o ponto  $i$  e  $z_n$  é a altura atualizada do ponto.

Passo 2: Cálculo do histograma e derivada segunda

O segundo passo para a separação do dossel consiste na subdivisão da árvore ao longo de seu comprimento e ajuste de curvas distribuição e derivada segunda. O procedimento foi realizado como a seguir.

1. Divisão da árvore através de cortes transversais ao longo do eixo correspondente à altura;
2. Aproximação do histograma da altura da árvore em relação ao número de pontos a fim de processar o local de início do dossel;
3. Suavização da curva gerada pelo histograma para remoção de grandes variações que podem ocorrer em cada subdivisão da árvore. A suavização foi realizada através da aplicação de um filtro gaussiano em cada ponto do histograma.

A curva gaussiana tem a forma de uma função senoidal e pode ser definida pela média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ . A variação no valor do desvio padrão permite uma forma de seno mais alongada ou achatada. Foram verificados empiricamente os valores 0.1, 0.3 e 0.6 para o desvio padrão com o objetivo de comparar o ajuste das curvas e determinar a mais adequada para a separação de dossel e raízes.



4. Cálculo da derivada segunda em cada ponto da curva suavizada. Foi utilizada a técnica de derivação numérica de funções por diferenças finitas, através de diferenças progressivas, centrais e regressivas (LeVeque, 1998). A curva gaussiana côncava representa a negatividade da derivada segunda, enquanto a convexa indica segunda derivada positiva (Wang et al., 2008; Hamraz et al., 2017). A derivada segunda será aplicada na curva da gaussiana e vai ter a propriedade de nos dizer as regiões da árvore que possuem mais pontos.

### Passo 3: Segmentação do dossel

Após o cálculo da derivada segunda, os pontos de inflexão da curva são utilizados para a separação. Pontos de inflexão ocorrem quando a segunda derivada é zero, e indicam pontos de mudança da árvore, de rizoma para fuste e de fuste para dossel. Como os dados de cada indivíduo foram normalizados, o primeiro ponto onde a derivada apresenta valor zero é o início da árvore explicar isso melhor, considerando a análise dos dados começando no nível do terreno e seguindo no sentido do dossel. A região do rizoma termina no segundo ponto de inflexão, que indica também o início do fuste. O próximo ponto onde a derivada possui valor nulo representa o fim do fuste e início do dossel, finalizando a análise no ponto mais alto da árvore, que indica o final do dossel. Este procedimento permite a separação do indivíduo nas três partes distintas de interesse: rizoma, fuste e dossel.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada uma das cinco árvores obtidas a partir escaneamento da área estudada foram realizados testes com três valores diferentes para o desvio padrão,  $\sigma = 0.1, 0.3$  e  $0.6$  metros, a fim de determinar o melhor valor para a segmentação do dossel, fuste e rizoma. Quanto menor o valor do desvio padrão mais a curva suavizada se aproxima da gerada pelo histograma, e mais detalhes sobre a densidade de pontos da árvore são percebidos. Caso seja utilizado um valor maior, mais suave se torna a curva.

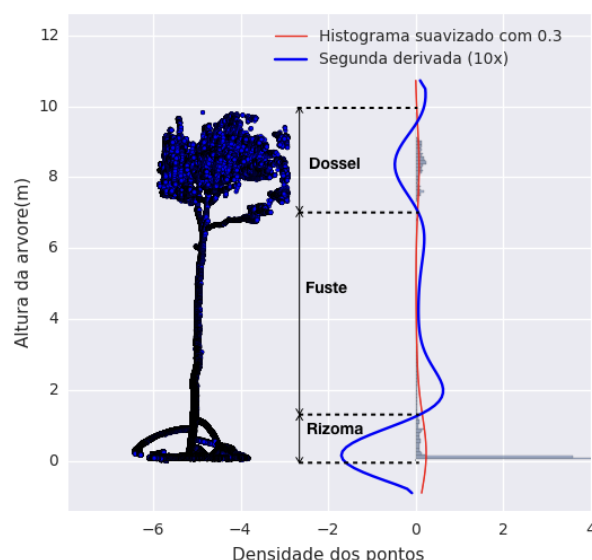


Figura 4- Demonstração do método utilizado para a segmentação dos componentes de indivíduos da área estudada. Exemplificação para a árvore de rótulo 22 utilizando desvio padrão de 0.3 metros na curva de densidade ajustada, representada pela cor vermelha.

Com o objetivo de melhorar a visualização da função derivada segunda nos gráficos gerados e facilitar a análise dos dados obtidos, o resultado da segunda derivada da curva suavizada foi multiplicado por 10. A Figura 4 demonstra o método utilizado e o seu resultado para a árvore com rótulo 22. Com o desvio padrão da curva gaussiana ajustada em 0.3 metros podemos verificar os locais onde a gaussiana se encontra concava, e por esta razão sua derivada segunda é negativa, que correspondem ao rizoma e ao dossel. Na divisão que corresponde ao fuste, podemos verificar através de análise da Figura 4 que a segunda derivada tende a se manter positiva; esse comportamento é esperado devido a pouca variação na estrutura do tronco e facilita a segmentação.

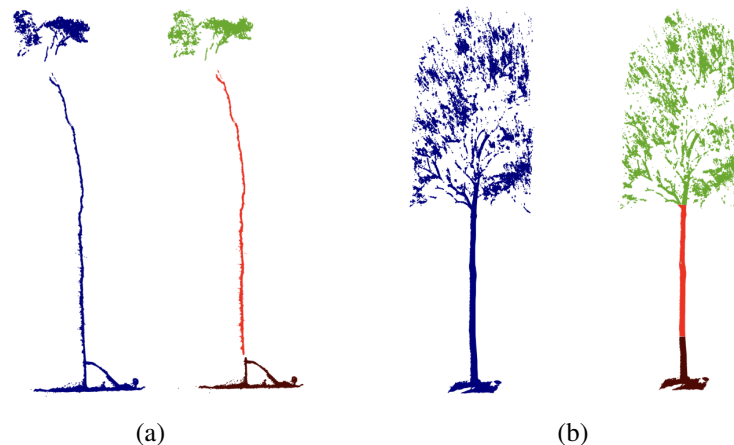


Figura 5- Comparação dos resultados obtidos para a segmentação dos indivíduos com rótulo 21 (a) e 7 (b) da área de estudo obtidos através de varredura terrestre a laser. A estrutura original da árvore é apresentada à esquerda, enquanto o resultado da segmentação de fuste e dossel é representado à direita.

Nas Figuras 4 e 5 (a) que são árvores da espécie *Rhizophora Mangle* e, conseqüentemente, possuem estrutura de sustentação, percebemos que com o valor do desvio padrão de 0.3 metros conseguimos aproximações satisfatórias para dossel e rizoma. Este resultado também pode ser verificado no indivíduo 21 onde alguns dos indivíduos testados são apresentados em sua configuração original e após a segmentação para fins de comparação e clareza nos resultados obtidos. A partir da análise é possível verificar que o *scanner* não foi capaz de capturar informações da árvore por completo, devido à realização de apenas uma varredura. Apesar da falta de informação em uma pequena parte da árvore, o método ainda apresentou o comportamento esperado na segmentação do dossel e rizoma.

Nas Figuras 5 (b) e 6 podemos verificar que os resultados obtidos para a segmentação do indivíduo com rótulo 7 não apresentaram o desempenho esperado na separação do fuste, devido a alta densidade existente no nível do solo e a rápida diminuição no volume de pontos imediatamente acima dele. Este comportamento ocorre por conta da alta concentração de galhos e folhas neste nível, fazendo com que seja capturada uma grande quantidade de pontos, e a ausência de raízes, de modo que o número de pontos diminuiu consideravelmente e a curva de densidade suavizada não consegue acompanhar tal comportamento. Apesar disso, a separação do dossel ocorreu do modo esperado.

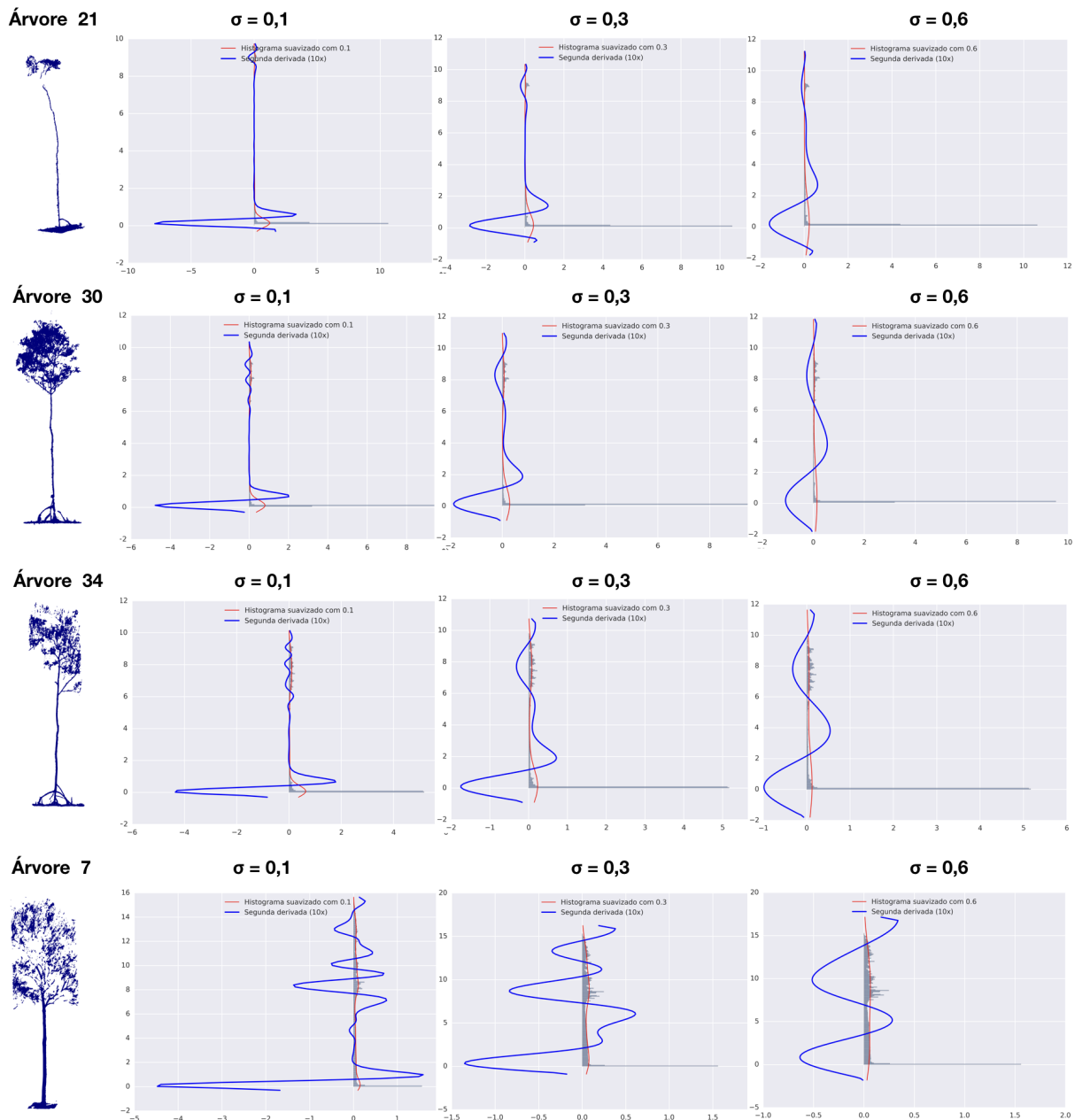


Figura 6- Histogramas obtidos para as árvores de rótulos 21, 30, 34 e 7 nos testes realizados com os três valores de desvio padrão para a suavização da curva densidade, 0,1, 0,3 e 0,6 metros. A curva vermelha aproxima a densidade de pontos ao longo do comprimento, enquanto a azul representa a segunda derivada calculada a partir da curva vermelha.

#### 4. CONCLUSÕES

Através das análises efetuadas conclui-se que o método computacional desenvolvido apresenta resultados satisfatórios, por conta de realizar a segmentação de rizoma, fuste e dossel das espécies testadas. O método apresentou melhor desempenho para a espécie *Rhizophora Mangle*, em razão da existência de estrutura de sustentação, realizando a correta separação de raízes, fuste e dossel. Na espécie *Avicennia Schaueriana* o método apresentou desempenho satisfatório na segmentação do dossel, mas a inexistência de raízes aéreas resultou em erros na detecção do



fuste. O valor de desvio padrão que melhor aproximou a curva suavizada do histograma de densidade de pontos foi de 0.3 metros. Nas árvores com rizoma, este valor permitiu o cálculo correto da derivada segunda da curva suavizada, de forma que os pontos de inflexão ocorriam nos pontos de mudança de estado da árvore, enquanto em indivíduos sem rizoma possibilitou detectar a mudança de fuste para dossel.

O algoritmo desenvolvido apresentou resultados esperados para a detecção de dossel das duas espécies de mangue testadas, mas a realização de outros testes deve ser realizada a fim de validar o método computacional. Testes também devem ser realizados em árvores de outros biomas, pois com o crescente uso de tecnologias de escaneamento tridimensional a laser, o procedimento pode vir a auxiliar em trabalhos de campo. A técnica desenvolvida pode vir a ser utilizada em conjunto com métodos de aproximação de parâmetros estruturais para inventários florestais, de modo que o tempo necessário para a aquisição de dados e os custos envolvidos possam ser diminuídos.

O aperfeiçoamento do método para a detecção de fustes em árvores que não possuem raízes aéreas é proposto como trabalho futuro, assim como o desenvolvimento de técnicas para o cálculo de área de sombra, volume do dossel, fuste e raízes, e classificação de espécies. A determinação destes parâmetros é interessante por conta de serem determinantes na aproximação da biomassa de áreas florestais, permitindo o estudo do potencial de absorção de carbono em diferentes regiões estudadas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa FARO, que por meio de seu representante Adriano Scheuer possibilitou o escaneamento das florestas de mangue de Guaratiba e a Embrapa Agroindústria de Alimentos pela disponibilização dos espaços para limpeza do material.

Os autores agradecem também às agências Capes e FAPEMIG pela concessão de bolsas de pesquisa, e ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional da Universidade Federal de Juiz de pelo auxílio financeiro e apoio na realização deste trabalho.

## Referências

- Almeida, P. (2007). Utilização de imagens de satélite para análise multi-temporal do manguezal de guaratiba-rj. *Monografia de Bacharelado. Departamento de Oceanografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 91p.*
- Ayrey, E., Fraver, S., Kershaw Jr, J. A., Kenefic, L. S., Hayes, D., Weiskittel, A. R., and Roth, B. E. (2017). Layer stacking: A novel algorithm for individual forest tree segmentation from lidar point clouds. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 43(1):16–27.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarto, D., Kurnianto, S., Stidham, M., and Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature geoscience*, 4(5):293–297.
- Feliciano, E. A., Wdowinski, S., and Potts, M. D. (2014). Assessing mangrove above-ground biomass and structure using terrestrial laser scanning: a case study in the everglades national park. *Wetlands*, 34(5):955–968.
- GOOGLE (2017). Guaratiba, Rio de Janeiro. <https://maps.google.com.br/>. Acesso em: 24/08/2017.

- Hamraz, H., Contreras, M. A., and Zhang, J. (2017). Vertical stratification of forest canopy for segmentation of understory trees within small-footprint airborne lidar point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130:385–392.
- Hyypä, J. (1999). Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. *The Photogrammetric J. Finland*, 16:27–42.
- Koch, B., Heyder, U., and Weinacker, H. (2006). Detection of individual tree crowns in airborne lidar data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(4):357–363.
- Latifi, H., Heurich, M., Hartig, F., Müller, J., Krzystek, P., Jehl, H., and Dech, S. (2015). Estimating over-and understory canopy density of temperate mixed stands by airborne lidar data. *Forestry*, page cpv032.
- LeVeque, R. J. (1998). Finite difference methods for differential equations. *Draft version for use in AMath*, 585(6):3–8.
- Liang, X., Kankare, V., Hyypä, J., Wang, Y., Kukko, A., Haggrén, H., Yu, X., Kaartinen, H., Jaakkola, A., Guan, F., et al. (2016). Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115:63–77.
- Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B., and Flood, M. (2003). Lidar remote sensing of forest structure. *Progress in physical geography*, 27(1):88–106.
- Maas, H.-G., Bienert, A., Scheller, S., and Keane, E. (2008). Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data. *International journal of remote sensing*, 29(5):1579–1593.
- Persson, A., Holmgren, J., and Söderman, U. (2002). Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(9):925–932.
- Tavares, G. G., Sabino, T. L. R., Fonseca, L. G., Chaves, F. O., and Cotrim, B. (2016). 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-RIPE*, 2(10):138–155.
- Wang, Y., Weinacker, H., and Koch, B. (2008). A lidar point cloud based procedure for vertical canopy structure analysis and 3d single tree modelling in forest. *Sensors*, 8(6):3938–3951.

## APÊNDICE A

### COMPUTATIONAL METHOD TO CANOPY AUTOMATIC SEGMENTATION OF MANGROVE TREES USING THREE-DIMENSIONAL LASER SCANNING

**Abstract.** *Canopy height is one of the greatest predictors of biomass and carbon in forested ecosystems. In addition, mangrove ecosystems represent one of the most concentrated carbon reservoirs that degrade rapidly as a result of deforestation, development, and hydrological manipulation. To quantify the carbon stock present in the trunks and branches requires the trunk and canopy segmentation. The mangrove regions are located in periodically flooded areas with predominantly muddy soil, these conditions make it difficult to access, and it is often impossible to obtain this information by traditional methods. This work aims to develop a method of trunk and canopy segmentation from laser scanning that provides a cloud of three-dimensional points quickly and accurately, is an alternative to manual labor that is time-consuming and costly and carried out by specialists, and traditional methods used in the field.*

**Keywords:** *canopy; LiDAR; mangrove; segmentation*