

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Segmentação automática de dossel florestal em nuvens de pontos tridimensionais

Ana Carolina Ladeira Costa Queiroz

JUIZ DE FORA
NOVEMBRO, 2017

Segmentação automática de dossel florestal em nuvens de pontos tridimensionais

ANA CAROLINA LADEIRA COSTA QUEIROZ

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Priscila Vanessa Zabala Capriles Goliatt
Coorientador: Leonardo Goliatt da Fonseca

JUIZ DE FORA
NOVEMBRO, 2017

SEGMENTAÇÃO AUTOMÁTICA DE DOSSEL FLORESTAL EM NUVENS DE PONTOS TRIDIMENSIONAIS

Ana Carolina Ladeira Costa Queiroz

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

Priscila Vanessa Zabala Capriles Goliatt
Doutora em Modelagem Computacional

Leonardo Goliatt da Fonseca
Doutor em Modelagem Computacional

Flávia de Souza Bastos
Doutora em Engenharia Mecânica

Luciana Conceição Dias Campos
Doutora em Engenharia Elétrica

JUIZ DE FORA
22 DE NOVEMBRO, 2017

A minha mãe, vó e tia Dora.

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 do mangue estão situadas em áreas periodicamente alagadas e de solo predominantemente lamoso, essas condições o tornam de difícil acesso, e acaba sendo muitas vezes inviável obter essas 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 obtidos em campo.

Palavras-chave: Manguezais, segmentação, dossel, LiDAR, escaneamento tridimensional.

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 obtained in the field.

Keywords: Mangroves, segmentation, canopy, LiDAR, three-dimensional scanning.

Agradecimentos

A minha mãe e família por todo amor, encorajamento e apoio.

Ao professor Leonardo e professora Priscila pela orientação, amizade e principalmente, pela paciência, sem a qual este trabalho não se realizaria.

Agradeço ao João Marcos por todo o apoio e ajuda durante o curso, e também nesse trabalho.

Aos professores do Departamento de Ciência da Computação pelos seus ensinamentos que durante esses anos, contribuíram de algum modo para o nosso enriquecimento pessoal e profissional.

A todos meus amigos por estarem sempre presente e dispostos a me ajudar no que fosse possível.

“Take my hand once again

We will all understand

Help you find a new plan”

Blind Melon (Wishing Well)

Conteúdo

Lista de Figuras	7
Lista de Abreviações	9
1 Introdução	10
1.1 Apresentação do tema e contextualização do problema	10
1.2 Justificativa	13
1.3 Objetivos	14
2 Revisão Bibliográfica	15
2.1 Métodos tradicionais	15
2.2 Uso de escaneamento a laser em florestas	15
2.3 Segmentação e dossel	16
3 Métodos e Resultados	20
3.1 Aquisição dos dados	20
3.2 Implementação Computacional	20
4 Discussão e Conclusões	35
4.1 Trabalhos Futuros	36
Bibliografia	37

Lista de Figuras

1.1	Elementos de uma árvore de manguezal	13
3.1	Área de estudo, dados escaneados e árvore individualizada.	23
3.2	Árvore de manguezal obtida por escaneamento a laser. Esquematização da separação dos componentes dossel, fuste e rizoma em um indivíduo.	24
3.3	Fluxo de dados na realização de estudos em ecologia envolvendo métodos computacionais. Destacado na figura encontra-se a etapa de contribuição deste trabalho, onde ocorre o tratamento de segmentação e o estudo de métodos computacionais para extração de parâmetros de interesse a partir de nuvens de pontos de florestas. Fonte: (TAVARES et al., 2016).	25
3.4	Visão geral da área estudada. Fonte: (GOOGLE, 2017).	26
3.5	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.	29
3.6	Histogramas obtidos para a árvore de rótulo 21 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.	29
3.7	Histogramas obtidos para a árvore de rótulo 30 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.	30
3.8	Histogramas obtidos para a árvore de rótulo 34 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.	30
3.9	Comparação dos resultados obtidos para a segmentação do indivíduo de rótulo 21 da área de estudo obtido 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.	31
3.10	Comparação dos resultados obtidos para a segmentação do indivíduo de rótulo 30 da área de estudo obtido 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.	31
3.11	Comparação dos resultados obtidos para a segmentação do indivíduo de rótulo 34 da área de estudo obtido 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.	31

3.12	Histogramas obtidos para a árvore de rótulo 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.	32
3.13	Comparação dos resultados obtidos para a segmentação do indivíduo de rótulo 7 da área de estudo obtido 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.	32

Lista de Abreviações

DCC	Departamento de Ciência da Computação
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
LiDAR	Light Detection and Ranging
TLS	Terrestrial Laser Scanning
ALS	Aerial Laser Scanning
VLS	Vehicle Laser Scanning
DBH	Diameter at Breast Height
ICD	Índice de Cobertura de Dossel
VCC	Cobertura Vertical de Dossel
ACC	Fechamento angular do Dossel

1 Introdução

A dendrometria é o estudo de todas as variáveis de estado que definem uma árvore, seus componentes e os produtos que se originam dela. Também inclui o estudo do crescimento das árvores através da evolução temporal de variáveis de interesse como os diâmetros, alturas ou volumes de fustes¹. Com a segmentação das árvores é possível medir ou estimar diversas variáveis dendrométricas. Medir essas variáveis por métodos tradicionais é muitas vezes inviável, pois envolve uma medição manual, através do uso de fitas, trena e escadas, e em alguns casos implica na destruição da árvore. Esses métodos de campo demandam muito tempo e recursos financeiros ou simplesmente não podem ser realizados devido as dificuldades de acesso a essas regiões de mangue que são regiões alagadas e de solo lodoso. Uma alternativa que surge aos métodos tradicionais é o uso de ferramentas que visam substituir o envio de pessoal e o trabalho manual no campo, como por exemplo o uso de *scanner* aéreo e terrestre, o uso de fotos para determinar a cobertura do dossel, entre outros. Com o uso dessas ferramentas é possível realizar a segmentação automática. Para isso é necessário desenvolver métodos computacionais como algoritmos para desempenhar determinadas tarefas nesse contexto. O LiDAR (do inglês, *Light Detection and Ranging*) aparece como uma alternativa, já que vem demonstrando ser uma ferramenta útil para obtenção de informações dendrométricas da floresta (RIBAS; ELMIRO, 2013).

1.1 Apresentação do tema e contextualização do problema

O LiDAR é uma técnica de varredura, rastreamento e perfilamento a laser (WULDER et al., 2012) que tem demonstrado bons resultados na mensuração da estrutura vertical e horizontal em ambientes florestais, auxiliando o entendimento dos ecossistemas florestais, produzindo informações com alta confiabilidade sobre variáveis-chaves no estudo de parâmetros biofísicos da vegetação (RIBAS; ELMIRO, 2013). Uma aplicação comum do

¹Pau de madeira fino e comprido; haste.

LiDAR é nos aparelhos de escaneamento tridimensional e vem sendo usado nas diversas áreas como na engenharia e outras áreas da ciência. Essa técnica consegue uma grande quantidade de informações de forma rápida, permitindo o escaneamento de uma grande área de florestas em questão de horas. Assim, obtemos uma nuvem de pontos 3D da área escaneada. Existem na forma de laser de escaneamento terrestre (do inglês, *Terrestrial Laser Scanning - TLS* - ou *Ground-Based LiDAR*), aerotransportado (do inglês, *Aerial Laser Scanning - ALS*) e transportado por veículos (do inglês, *Vehicle Laser Scanning - VLS*). O LiDAR é essencial para a extração de características florestais.

Podem ser encontrados na literatura diversos trabalhos que usam o LiDAR para quantificação de biomassa de árvores e florestas (POPESCU, 2007), por exemplo, existe um estudo envolvendo o crescimento, a qualidade da madeira e a quantificação de biomassa da espécie araucária, que são comprometidos devido a difícil obtenção de variáveis dendrométricas (SILVA et al., 2011). Essas variáveis quando coletadas por métodos de medição direta são inviáveis sem a derrubada da árvore. Os equipamentos de escaneamento a laser terrestre são uma substituição a esses métodos tradicionais obtidos em campo. Essa tecnologia permite obter inúmeras informações a respeito da árvore, sem a destruição da mesma .

Um desafio é que os dados coletados pelo equipamento são incompletos, fazendo com que a reconstrução dos mesmos não seja perfeita. Com a variação das estruturas das árvores, elas podem sobrepor umas as outras, dificultando a reconstrução (LIVNY et al., 2010). Para se conseguir um bom modelo tridimensional do tronco da árvore, objetos como galhos, folhas, e outras coisas que se encontram no campo de vista do equipamento devem ser eliminados. Uma outra dificuldade é citada em (BUCK et al., 2014), nas árvores *Pinus spp.* a alta densidade das acículas (folhas de *Pinus spp.*) impede a chegada do laser até o tronco, então ocorre uma ausência de pontos nas partes superiores das árvores.

Os equipamentos a laser podem ser operados em dois modos: no modo de única varredura e o de múltipla varredura. No modo de única varredura, o *scanner* a laser é colocado no centro da plotagem, criando apenas uma varredura completa de campo de visão (por exemplo, 360 graus), e as árvores são mapeadas a partir da nuvem de ponto de varredura única. No modo de varredura múltipla, são feitas várias varreduras dentro e fora

da área a ser mapeada para coletar nuvens de pontos mais detalhadas que representam a amostra e essas varreduras são registradas, usando alvos de referência artificiais que são colocados manualmente em toda a área.

O modo de uma única varredura é mais simples e mais rápido de obter os dados, o problema é que na maioria dos casos apenas partes das árvores do centro da plotagem são escaneadas devido aos efeitos de oclusão de outros objetos, como por exemplo ramos e arbustos na direção dos raios laser. O efeito de oclusão aumenta a medida que a escala do *scanner* aumenta, dependendo das estruturas das árvores. A abordagem de múltiplas varreduras é muito mais precisa, ela tem o potencial de mapear todas as árvores, dependendo da estrutura, e tem o potencial de fazer uma cobertura total da superfície do caule, pois as árvores são varridas de diferentes direções, mas em contrapartida requer muito mais tempo na aquisição dos dados que a varredura única, e mais esforços no processamento dos dados, aumentando o custo operacional (LIANG et al., 2016). Nesse trabalho usaremos o modo de única varredura, com o intuito de tornar o problema menos complexo computacionalmente devido a menor quantidade de dados e também menos complexo em campo, já que esse modo de escaneamento é mais simples e rápido.

A Figura 1.1 apresenta uma nuvem de pontos tridimensionais de uma árvore de manguezal escaneada através do LiDAR, no qual apresenta uma esquematização dos elementos da árvore de manguezal, dossel, fuste e rizoma.

A maioria dos algoritmos existentes para a segmentação de dossel são abordagens baseadas em ALS (HYPPA, 1999; PERSSON; HOLMGREN; SÖDERMAN, 2002; WANG; WEINACKER; KOCH, 2008). As árvores são delineadas de acordo com as características das coroas, portanto as árvores individuais na camada de dossel inferior, ou sub-bosque, cujas coroas são cobertas pela camada superior do dossel não podem ser detectadas pela dificuldade dos sensores penetrarem essa camada. A densidade da camada mais inferior está correlacionada com a taxa de penetração dos pulsos de laser, na camada do sub-bosque (LATIFI et al., 2015). Um dos benefícios de usar TLS é a ausência desse problema por conta de fornecer uma visualização da árvore na forma vertical. Nesse trabalho usaremos a abordagem TLS por conta das vantagens, e além disso a utilização de algoritmos baseados em TLS deixam o inventário mais funcional, já que

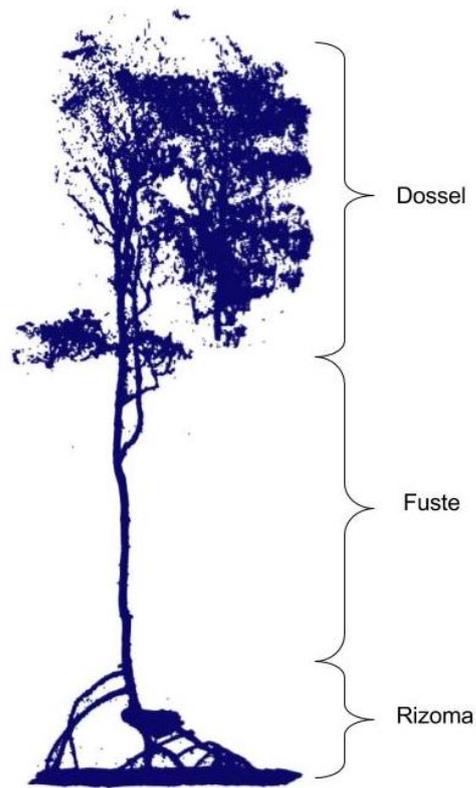


Figura 1.1: Elementos de uma árvore de manguezal

assemelha a visão aos métodos tradicionais, e resulta em inventários mais precisos que incluem atributos listados de cada árvore, como altura e largura da coroa (AYREY et al., 2017).

1.2 Justificativa

Os manguezais são um tipo de vegetação litorânea de transição entre o ambiente terrestre e marinho, é característico de regiões tropicais e subtropicais, compostos por árvores e arbustos que crescem em zonas costeiras protegidas, em planícies e praias lodosas, e em desembocaduras de rios. Com solo muito rico em material orgânico, é um dos solos terrestres com maior capacidade de sequestro de carbono. Eles retêm carbono e nutrientes na biomassa e no próprio sedimento.

A forma tradicional utilizada para quantificar o estoque de carbono presente nos troncos e galhos, consiste em realizar medições periódicas de parâmetros estruturais que estão relacionados com o cálculo da biomassa, que é a quantidade de matéria orgânica armazenada em uma determinada área.

É de suma importância determinar a quantidade de carbono presente nas florestas, já que com o sequestro de carbono, a vegetação retira o gás carbônico da atmosfera através do processo de fotossíntese, convertendo-o em compostos orgânicos utilizados no crescimento e metabolismo vegetal. Os esforços para a remoção dos gases do efeito estufa tem efeito igual em todo o globo, não importando a região em que são realizados, visto que o gás carbônico é um gás atmosférico que circula no mundo todo.

Com isso vemos a importância desses estudos ecológicos para os ecossistemas florestais, uma vez que os mangues são parte vital do ciclo do carbono e são classificados entre os ecossistemas mais produtivos do planeta, a fim de assegurar a conservação deste ambiente costeiro (MOSKAL; ZHENG, 2011).

Por conta do desmatamento, desenvolvimento urbano e manipulação hidrológica, sua degradação foi acelerada nas últimas décadas. Os manguezais brasileiros em geral vêm sofrendo um intenso e constante processo de degradação, que muitas vezes compromete os importantes serviços ambientais e econômicos que eles prestam (FONSECA; DRUMMOND, 2003). A perda destes ecossistemas pode representar um impacto considerável no balanço global de carbono. Como os manguezais são um recurso vivo eles oferecem vantagens, são renováveis, possuem capacidade de auto manutenção, e oferecem serviços ambientais referidos a nenhum custo e, além disso, quando eles sofrem danos se auto-regeneram também a nenhum custo (LIMA; TOGNELLA, 2012).

1.3 Objetivos

O objetivo desse trabalho é desenvolver um método computacional para a segmentação automática dos componentes de árvores individuais de mangues, como fuste e dossel, através do uso de dados de escaneamento terrestre a laser de única varredura, utilizando informações verticais da árvore para a separação. É esperado que a identificação do rizoma de uma árvore de mangue seja feita da mesma maneira que ocorre com o dossel por conta de possuir as mesmas características em relação a densidade de pontos.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Métodos tradicionais

Para medir a altura total da árvore em um inventário, o operador deve ver a base e o topo da árvore de um mesmo local. Em florestas densas o esforço aumenta pela dificuldade de identificar o ápice da árvore. Para a obtenção da altura total real o indicado é que a árvore seja abatida, como forma destrutiva de medição, ou que um operador capacitado escale a mesma e obtenha a medida direta da altura (PEINHOPF, 2012).

A dendrometria por métodos tradicionais de campo apesar de na maioria das vezes serem mais fiéis, demandam muito tempo e recursos financeiros ou simplesmente não podem ser realizadas, devido à dificuldade de acesso aos locais de interesse (RIBAS; ELMIRO, 2013).

2.2 Uso de escaneamento a laser em florestas

De acordo com Holmgren, Nilsson e Olsson (2003) podemos perceber a importância do posicionamento da ALS para conseguir os dados de forma precisa. Foi utilizado um modelo de simulação tridimensional para simular o efeito do ângulo de varredura ao medir a altura da árvore e o fechamento do dossel numa floresta boreal, com um *scanner* a laser. A proporção de retornos do dossel é comumente usada como uma medida de fechamento do dossel, e os percentis de altura são comumente usados para estimar a altura média da árvore.

As simulações mostraram que para espécies de coroa longa como por exemplo o abeto², a proporção de retornos do dossel e o percentis de altura mudaram mais do que para espécies de coroa curta, como por exemplo o pinho. Florestas com baixo número de troncos teve maior alteração dos percentis de altura devido ao ângulo de varredura, do que as florestas com altos números de troncos. E também a proporção de retornos

²São árvores coníferas da família das Pináceas.

do dossel que é a medida para o fechamento do dossel, foi mais afetada pelo ângulo de varredura escolhido do que os percentis de altura do laser, que estima a altura da árvore (HOLMGREN; NILSSON; OLSSON, 2003).

A escolha do ângulo de varredura pode ser muito difícil, pois depende de variáveis da floresta como densidade do haste e comprimento da copa. Para isso precisa ser bem planejado para minimizar os efeitos do ângulo de varredura. Uma alternativa é usar o ângulo de varredura a 10° , pois essa abertura obteve pouca influência nos resultados da medida de altura e densidade da copa (HOLMGREN; NILSSON; OLSSON, 2003).

Como cita Lingnau et al. (2007) a tecnologia LiDAR apresenta grande potencial para uso na área florestal para subsídio das diversas formas de planejamento (planejamento de inventários florestais, planejamento do manejo florestal, planejamento da produção florestal, e colheita florestal). A vantagem deste método é que o laser além de permitir a estimativa da biomassa permite a obtenção de variáveis dendrométricas (DAP e altura), através das quais já se podem estimar o volume de madeira.

Rodriguez et al. (2010) coletaram dados de LiDAR aerotransportado de plantações de *Eucalyptus* spp., situado em terreno suavemente ondulado. O terreno era composto por parcelas de plantios de árvores de diferentes idades. Os autores concluíram que as árvores jovens interceptam menos pulsos e já em plantios mais maduros as copas interceptam mais pulsos. Essa distribuição de pulsos não interferiu na qualidade das estimativas de altura das árvores.

Equipamentos de escaneamento tridimensional têm sido utilizados para a obtenção de informações de florestas por conta de representarem de forma acurada a estrutura das árvores e mapearem grandes áreas de forma rápida (FELICIANO; WDOWINSKI; POTTS, 2014).

2.3 Segmentação e dossel

No estudo de Fontes (1999), foram investigados padrões de formações de dosséis para diferentes tipos de floresta. Foram usadas cinco espécies arbóreas pioneiras tropicais. Foram analisadas as características de crescimento e estratégias de ocupação, e analisadas variáveis como as relações entre circunferência, altura, profundidade, volume da copa,

e grau de semelhança entre as espécies. Como resultado, encontraram-se dois padrões distintos: um padrão de crescimento com maior investimento em altura, com objetivo de conseguir mais espaço no dossel, conseguindo mais espaço vertical, e outro mais ligado ao crescimento em diâmetro da haste e copa e na ocupação do espaço horizontal.

Como cita Simonse et al. (2003), com uma identificação automática de árvores conseguimos características das árvores como as suas posições e o DBH (do inglês, *Diameter at breast height*) é o diâmetro a altura do peito da árvore, e adicionalmente conseguimos diâmetros da árvore em alturas variáveis. Esses resultados podem ser usados com base para uma posterior determinação automática de outras características únicas da árvore como definição das espécies de árvores, a altura das árvores, área de projeção da copa, bem como a localização e tipo de defeitos de madeira. É citado também que no futuro um ponto de destaque será separar as informações sobre a estrutura de coroa nas nuvens de pontos 3D, e calcular as variáveis tais como largura da copa, área de superfície, coroa, etc. E assim compará-los com os resultados obtidos através de métodos convencionais.

A partir de dados de LiDAR, Zandoná (2006) definiu as alturas individuais, área e diâmetro das copas em plantios de *Pinus sp.*. A precisão obtida foi influenciada pela densidade do povoamento. Porém as árvores individuais são bem identificadas, sobretudo as do dossel.

Um método para determinar o índice de cobertura de dossel (ICD), citado por Monte et al. (2007), foi o uso de fotografias digitais, que foi empregado em povoamentos de clone de eucaliptos. As fotografias foram processadas por meio de aplicativos. Os resultados indicaram que fotografias digitais podem ser utilizadas para estimar o ICD, e que fotografias com maior resolução são melhores, por permitir maior diferenciação entre o céu e o dossel.

Para fazer a detecção de dossel Wang, Weinacker e Koch (2008), cria um gráfico da distribuição de pontos pela altura, como ocorre um aumento na quantidade de pontos em cada camada do dossel, o problema de detectar camada do dossel é transferido para o problema da curva saliente do gráfico. Para isso é feito uma suavização do gráfico com uma função gaussiana para reduzir a influência de mudanças bruscas nos valores de amplitude

da função, então é calculado a segunda derivada da função suavizada. A magnitude da segunda derivada é um critério útil para detectar curvas salientes. Os pontos de inflexão ocorrem quando a curva da segunda derivada é zero, e as curvas salientes ocorrem quando a curva da segunda derivada é negativa.

Como cita Korhonen et al. (2011) na literatura ecológica a cobertura de dossel tem duas métricas diferentes. A cobertura vertical de dossel (VCC) e o fechamento angular do dossel (ACC). O VCC é a projeção vertical de coroas de árvores ignorando as lacunas dentro da coroa. O ACC é a proporção de céu coberto em algum intervalo angular ao redor do zênite e pode ser medido com um instrumento de campo de visão, como uma câmera. O sensoriamento remoto da cobertura florestal vem sendo bastante estudado, mas não tem sido dada atenção a qualidade dos dados. É importante reconhecer as diferenças entre as medições de campos de estrutura de dossel e as variáveis derivadas delas. Como os baixos ângulos de varredura que são aplicados em LiDAR topográficos não são adequados para a estimação ACC porque medem em geometria errada e não conseguem detectar facilmente as pequenas lacunas que ocorrem dentro da coroa.

Foram utilizados seis algoritmos diferentes para a extração das posições da copa das árvores. Os algoritmos foram desenvolvidos na Finlândia, Alemanha, Noruega e Suécia, e foram testados com dados de florestas boreais na Noruega e Suécia, florestas de coníferas e de folhosas na Alemanha, e plantações de madeira de polpa tropical no Brasil. Foram avaliadas a precisão dos algoritmos a partir da detecção de árvores e estimativa de altura. Foram analisados os pontos fortes e fracos de cada método para diferentes tipos de floresta. Foi concluído que o sucesso da detecção de árvores depende da densidade das árvores e do agrupamento. Os algoritmos mostraram desempenho muito similar, e ficaram mais nítidos as diferenças para a detecção de árvores do que na estimativa de altura. Nos resultados foram percebidos que a estrutura das florestas influencia muito mais o desempenho dos algoritmos do que o algoritmo em si. Com isso podemos escolher o método a ser utilizado de acordo com o tipo de floresta a ser trabalhada (VAUHKONEN et al., 2012).

Hamraz, Contreras e Zhang (2016) usa uma abordagem de segmentação de dossel através de laser aerotransportado. Foi utilizado um método de segmentação que separa o

dossel em camadas, e mesmo camadas do sub-bosque são identificadas. O método consiste em um procedimento de detectar a densidade de pontos e a criação de um histograma da densidade desses pontos pela altura das árvores. O histograma foi suavizado para remover as oscilações referentes a altura de uma única coroa. Para a suavização foi utilizado um filtro gaussiano. Foi aplicado o cálculo da segunda derivada em cada ponto do histograma suavizado a fim de identificar as camadas do dossel, observável quando a segunda derivada é negativa. Foi constatado que a densidade das camadas inferiores do dossel são satisfatórias para a segmentação do sub-bosque, e sugere que a aquisição de nuvens de pontos mais densas (o que é acessível devido aos avanços na tecnologia e nas plataformas de sensores) permitiria melhorias na segmentação de árvores do sub-bosque.

3 Métodos e Resultados

3.1 Aquisição dos dados

Nesse trabalho foram usados dados cedidos pelo Professor Filipe de Oliveira Chaves da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Esses dados foram escaneados da Reserva Biológica de Guaratiba que é uma região que engloba um conjunto de florestas de mangue. Cinco árvores foram escaneadas sendo uma da espécie *Avicennia schaueriana* (Rótulo 7) e 4 *Rhizophora mangle* (Rótulos 21, 22, 30 e 34).

3.2 Implementação Computacional

O método foi desenvolvido na linguagem Python, por ser uma linguagem livre e de código aberto, e principalmente, pela vantagem de ter uma variedade de bibliotecas que oferecem ferramentas para a resolução de cálculos matemáticos de forma eficiente.

Uma descrição dos métodos e dos resultados obtidos neste trabalho pode ser encontrada a seguir, no artigo que foi apresentado no *Cilamce 2017 - XXXVIII Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering*.



Técnica computacional para detecção do dossel de árvores de manguezais a partir de dados de escaneamento tridimensional a laser

Ana Carolina Ladeira Costa Queiroz, Gisele Goulart Tavares

Leonardo Goliatt da Fonseca, Priscila Capriles Goliatt

Thales Luís Rodrigues Sabino

{anacarina, giselegoulart, tluis}@ice.ufjf.br

{leonardo.goliatt, priscila.capriles}@ufjf.edu.br

Universidade Federal de Juiz de Fora

Faculdade de Engenharia. Campus Universitário, 36036-330, Juiz de Fora, MG, Brasil

Filipe O. Chaves

fochaves@gmail.com

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Faculdade de Oceanografia. Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, 20550-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Abstract. *A altura do dossel é um dos maiores preditores de biomassa e carbono nos ecossistemas florestados. Os manguezais são ecossistemas responsáveis pela absorção e estoque de grandes quantidades de carbono em sua biomassa provenientes da atmosfera, mas por conta de aterros, assoreamento e alterações hidrológicas, têm sua degradação acelerada. Para quantificar o estoque de carbono presente nos troncos e galhos a segmentação do dossel é necessária. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um método para segmentação de tronco e dossel de árvores a partir de dados provenientes de escaneamento tridimensional a laser. O equipamento fornece uma nuvem de pontos tridimensionais de maneira rápida e acurada, representando uma alternativa ao trabalho custoso realizado por pesquisadores, de forma a substituir os métodos tradicionais utilizados em campo. A partir do conjunto de dados obtido através do scanner tridimensional, as árvores são individualizadas e uma análise da densidade de pontos é realizada em cada indivíduo através de cortes transversais ao longo de seu comprimento. O método proposto se mostrou promissor devido a análise do histograma de densidade permitir a separação de tronco, dossel e raízes de forma satisfatória, possibilitando o auxílio em trabalhos de campo.*

Keywords: *Manguezal, Dossel, LiDAR, Segmentação, Escaneamento Tridimensional*

CILAMCE 2017

Proceedings of the XXXVIII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering
P.O. Faria, R.H. Lopez, L.F.F. Miguel, W.J.S. Gomes, M. Noronha (Editors), ABMEC, Florianópolis, SC, Brazil,
November 5-8, 2017

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. Como os manguezais são recursos vivos, possuem características renováveis, como capacidade de auto manutenção e regeneração a nenhum custo (Lima and Tognella, 2012).

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. Em regiões de mangue a medição desses parâmetros estruturais pode se tornar mais difícil por conta das características dos sedimentos inconsolidados. As árvores tortuosas adaptadas à salinidade e ao efeito das marés, com raízes aéreas e localizadas em áreas tipicamente alagadas, podem representar um levantamento 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 utilizados para a aquisição de conjuntos de dados tridimensionais de florestas (Wang et al., 2008; 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, área basal, diâmetro médio do fuste, perfis foliares verticais 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.

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 (por exemplo, 360 graus), e as árvores são mapeadas a partir da nuvem de pontos obtida. 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 por conta de obter os dados de forma mais rápida. Um dos problemas é que em grande parte dos escaneamentos realizados, apenas as árvores do centro da plotagem são escaneadas corretamente devido aos efeitos de oclusão de outros objetos, como ramos e arbustos, na direção dos raios laser. O uso de múltiplas varreduras oferece mais dados em relação ao



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

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; Wang et al., 2008). 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 bastante 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.

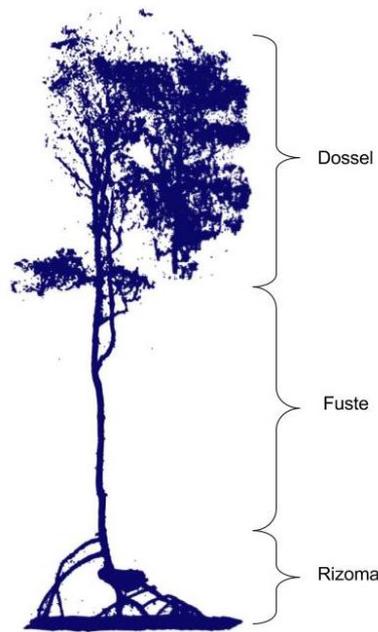


Figura 2: Árvore de manguezal obtida por escaneamento a laser. Esquematização da separação dos componentes dossel, fuste e rizoma em um indivíduo.

Esse trabalho faz parte do desenvolvimento de um método computacional que tem como objetivo extrair informações relevantes sobre a estrutura das árvores de manguezais para o auxílio em atividades de pesquisa em ecologia de florestas. O fluxograma apresentado na Figura 3 mostra em destaque a etapa do processo onde a aplicação dos resultados do presente trabalho é realizada. O estudo da segmentação de dossel e raízes faz parte de uma etapa necessária para o cálculo da biomassa de uma árvore individualizada. Diferentes técnicas devem ser desenvolvidas para o tratamento das partes da árvore por conta de suas características distintas, de modo que a segmentação de dossel, fuste e raízes se apresenta como uma importante etapa para a aquisição de informações sobre volume.

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 4, uma unidade de conservação que engloba um conjunto de florestas de mangue

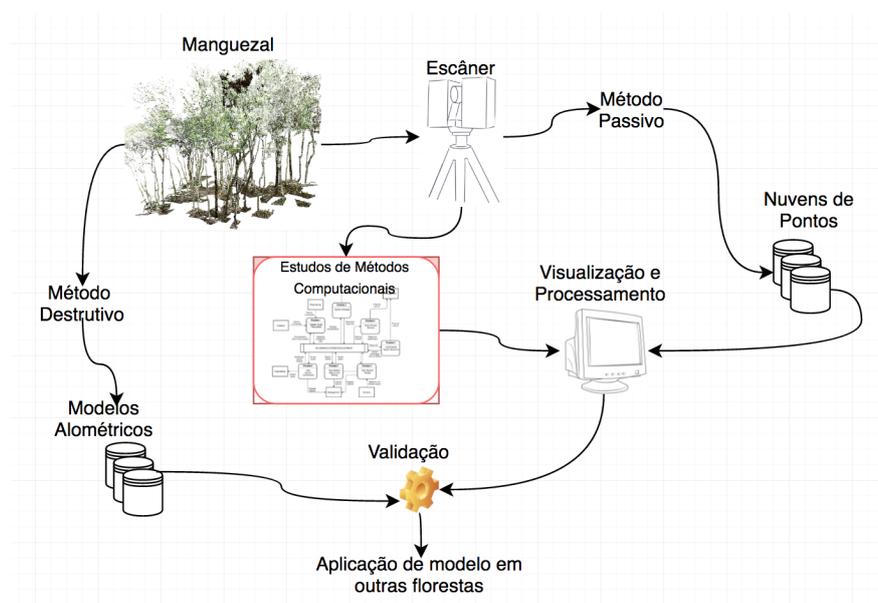


Figura 3: Fluxo de dados na realização de estudos em ecologia envolvendo métodos computacionais. Destacado na figura encontra-se a etapa de contribuição deste trabalho, onde ocorre o tratamento de segmentação e o estudo de métodos computacionais para extração de parâmetros de interesse a partir de nuvens de pontos de florestas. Fonte: Tavares et al. (2016).

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. 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.

2.2 Aquisição dos Dados

Equipamentos de escaneamento tridimensional têm sido utilizados para a obtenção de informações de florestas por conta de representarem de forma acurada a estrutura das árvores e mapearem grandes áreas de forma rápida (Feliciano et al., 2014). O equipamento realiza varreduras na área de interesse, sendo necessário que os dados sejam consolidados para a representação tridimensional dos indivíduos. O número de varreduras realizadas afeta diretamente o tempo necessário em campo, de forma que o desenvolvimento de técnicas computacionais que utilizem o número mínimo de leituras se torna importante neste tipo de aplicação.

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 do 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° em torno de seu eixo horizontal e 305° em torno do eixo vertical, realizando varreduras que possibilitam a visualização de galhos e folhas. O



Figura 4: Visão geral da área estudada. Fonte: GOOGLE (2017)

alcance do *laser* é de 330m, tornando possível o escaneamento de grandes áreas com precisão. As demais características técnicas do aparelho são apresentadas na Tabela 1.

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.

Tabela 1: Especificações técnicas do FARO Laser Scanner Focus 3D

FARO Laser Scanner Focus 3D	
Classe	Classe de laser 1
Alcance	0.6 - 330m
Velocidade de aquisição	976000 pontos/segundo
Precisão	$\pm 2mm$
Peso	5.2kg

2.3 Métodos

O procedimento computacional para a segmentação do dossel é constituído de três partes principais: normalização da nuvem de pontos, cálculo do histograma e derivada segunda, e por

fim a separação do dossel.

Passo 1: Normalização da nuvem de pontos

Os dados provenientes do escaneamento a laser podem possuir variações em relação à altura, por conta do georreferenciamento utilizado pelo aparelho. Deste modo, as nuvens de pontos foram normalizadas 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 normalização 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 o valor da altura obtido a partir do *scanner* para o ponto i e z_n 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 de 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 (Equação 1) em cada ponto do histograma.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (1)$$

Onde μ representa a média dos valores da função original, σ o desvio padrão escolhido e x o ponto do histograma onde a função será suavizada.

A curva gaussiana tem a forma de uma função senoidal e pode ser definida pela média μ e desvio padrão σ . 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 (Hamraz et al., 2017; Popescu and Zhao, 2008; Wang et al., 2008).

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, 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 suavizada se torna a curva, valendo ressaltar que o desvio padrão não pode ser inferior a 0.

Com o objetivo de melhorar a visualização e facilitar a análise dos dados obtidos, o resultado da segunda derivada da curva suavizada foi multiplicado por 10. A Figura 5 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, correspondem ao rizoma e ao dossel. Na divisão que corresponde ao fuste, podemos verificar através de análise da Figura 5 que a segunda derivada tende a se manter positiva, sendo esse comportamento esperado devido a pouca variação na estrutura do tronco, auxiliando na segmentação.

Nas Figuras 5, 6, 7, 8 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 nas Figuras 9 e 10, 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 da Figura 9 podemos perceber que o *scanner* não foi capaz de capturar informações da árvore por completo, por conta de realizar 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 11 e 12 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 diminui consideravelmente e a curva de densidade suavizada não consegue acompanhar tal comportamento. Apesar disso, a separação do dossel ocorreu do modo esperado, como podemos verificar na Figura 12.

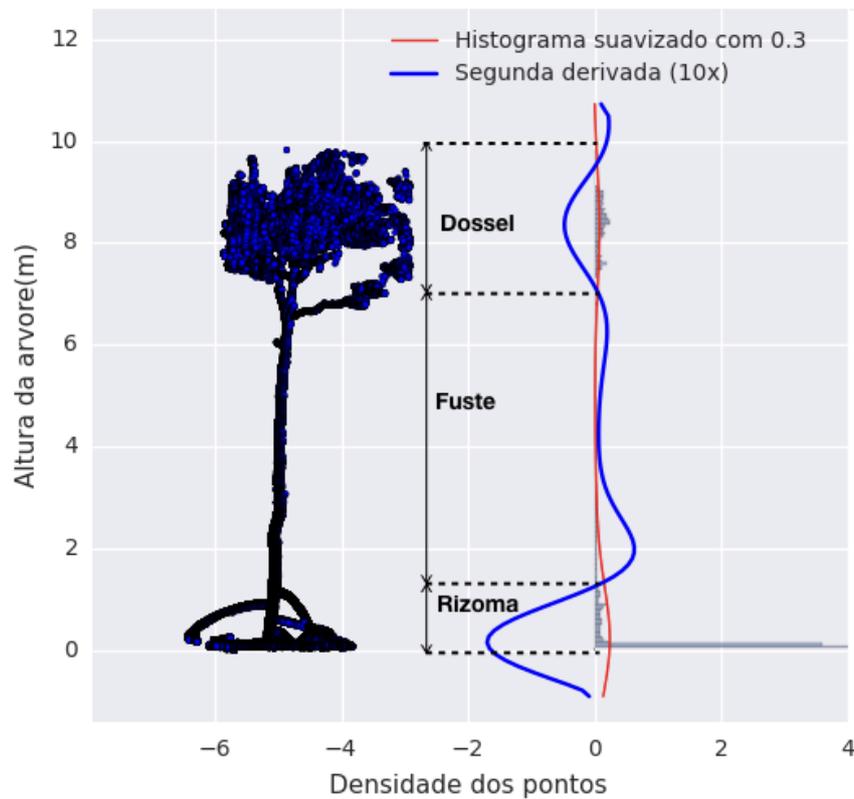


Figura 5: Demonstração do método utilizado para a segmentação dos componentes de indivíduos da área estudada. Exemplificação para a árvore de rótulo 22 utilizando desvio padrão de 0.3 metros na curva de densidade ajustada, representada pela cor vermelha.

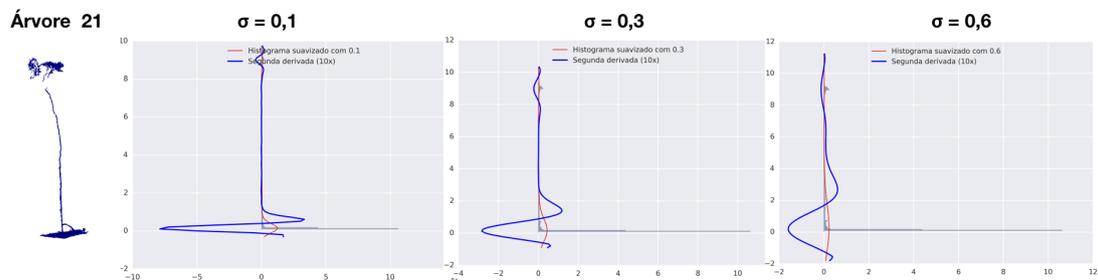


Figura 6: Histogramas obtidos para a árvore de rótulo 21 nos testes realizados com os três valores de desvio padrão para a suavização da curva densidade, 0.1, 0.3 e 0.6 metros. A curva vermelha aproxima a densidade de pontos ao longo do comprimento, enquanto a azul representa a segunda derivada calculada 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*,

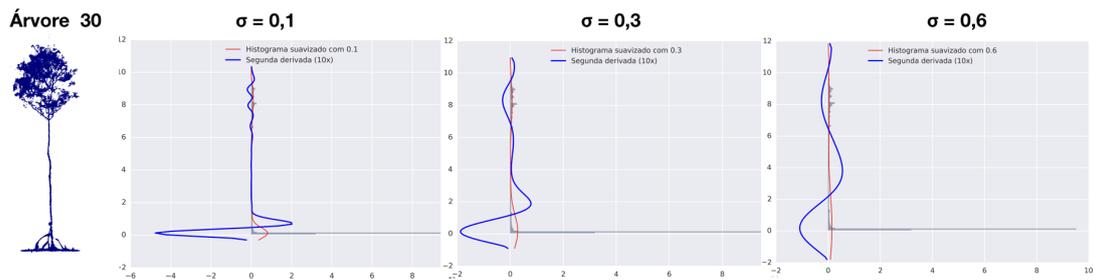


Figura 7: Histogramas obtidos para a árvore de rótulo 30 nos testes realizados com os três valores de desvio padrão para a suavização da curva densidade, 0.1, 0.3 e 0.6 metros. A curva vermelha aproxima a densidade de pontos ao longo do comprimento, enquanto a azul representa a segunda derivada calculada a partir da curva vermelha.

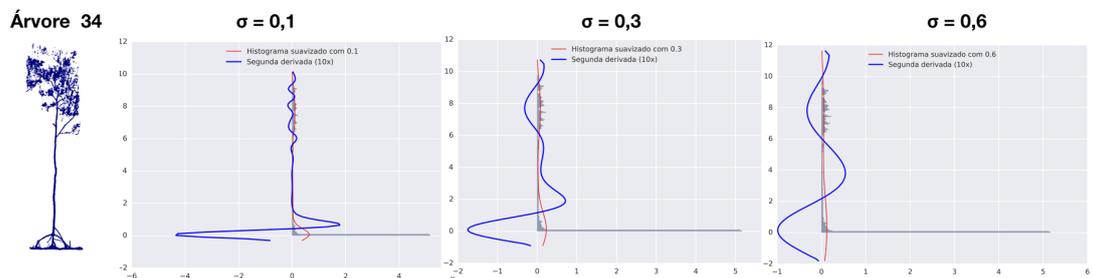


Figura 8: Histogramas obtidos para a árvore de rótulo 34 nos testes realizados com os três valores de desvio padrão para a suavização da curva densidade, 0.1, 0.3 e 0.6 metros. A curva vermelha aproxima a densidade de pontos ao longo do comprimento, enquanto a azul representa a segunda derivada calculada a partir da curva vermelha.

por conta de possuir estrutura de sustentação, realizando a correta separação das raízes, fuste e dossel. Na espécie *Avicennia Schaueriana* o método apresentou desempenho satisfatório na segmentação do dossel, mas apresentou erros na detecção do fuste por conta da ausência de raízes aéreas. 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

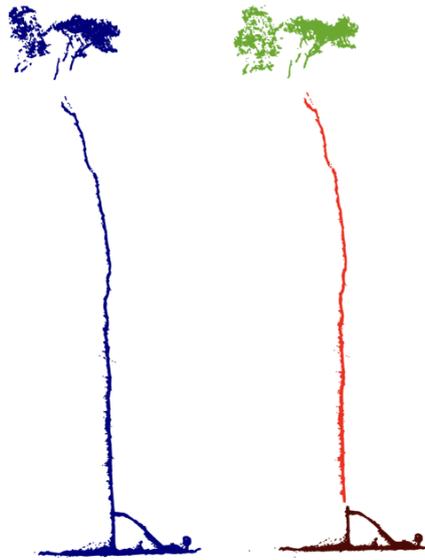


Figura 9: Comparação dos resultados obtidos para a segmentação do indivíduo de rótulo 21 da área de estudo obtido através de varredura terrestre a laser. A estrutura original da árvore é apresentada à esquerda, enquanto o resultado da segmentação de fuste e dossel é representado à direita.

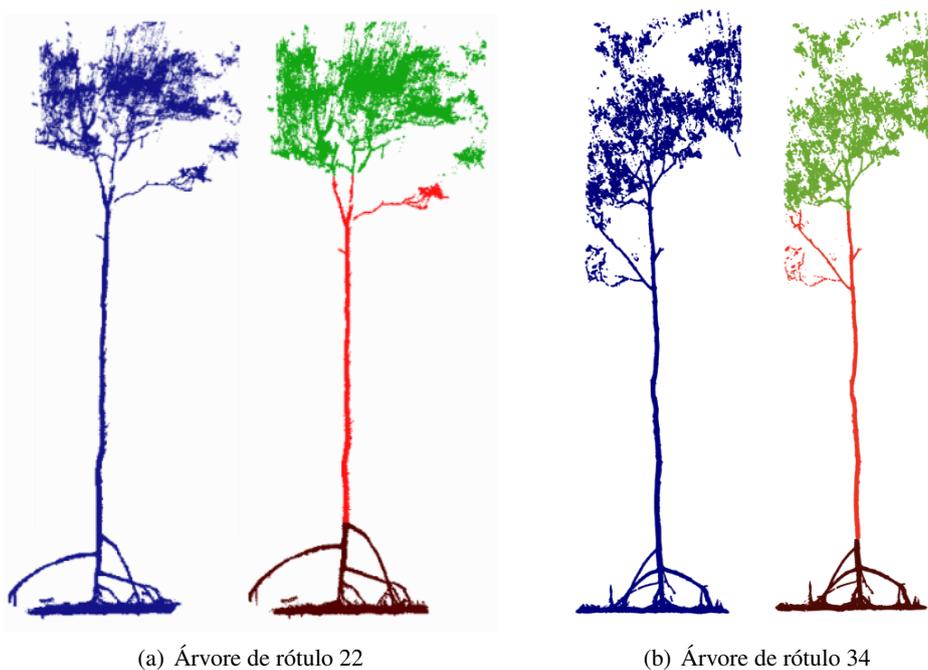


Figura 10: Comparação dos resultados obtidos para a segmentação dos indivíduos de rótulo 22 e 34 da área de estudo obtidos através de varredura terrestre a laser. Em (a) e (b), à esquerda a estrutura original da árvore e à direita o resultado da segmentação de rizoma, fuste e dossel.

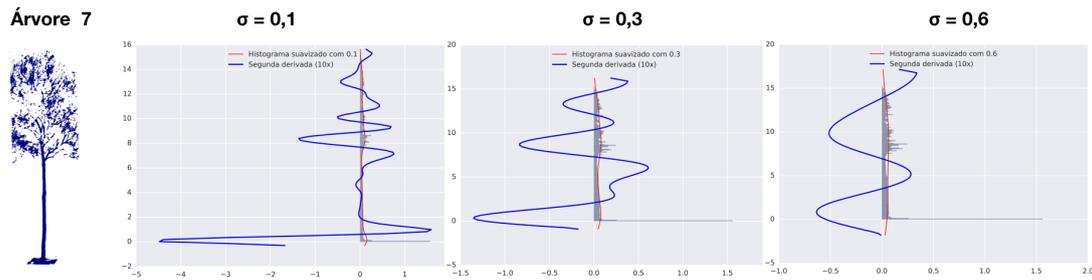


Figura 11: Histogramas obtidos para a árvore de rótulo 7 nos testes realizados com os três valores de desvio padrão para a suavização da curva densidade, 0.1, 0.3 e 0.6 metros. A curva vermelha aproxima a densidade de pontos ao longo do comprimento, enquanto a azul representa a segunda derivada calculada a partir da curva vermelha.

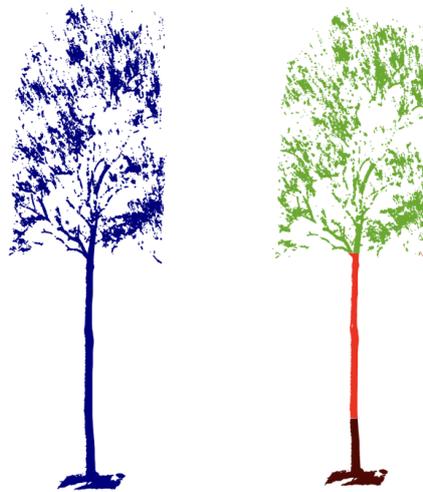


Figura 12: Comparação dos resultados obtidos para a segmentação do indivíduo com rótulo 7 da área de estudo obtido através de varredura terrestre a laser. A estrutura original da árvore é apresentada à esquerda, enquanto o resultado da segmentação de fuste e dossel é representado à direita.

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 ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (Procad) e às agências CNPq, e FAPEMIG pelo auxílio financeiro, ao Núcleo de Estudos em Manguezais da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, ao Departamento de Mecânica Aplicada e Computacional 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. (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., Murdiyarso, 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/>. Acessado 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 understorey canopy density of temperate mixed stands by airborne lidar data. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 89(1):69–81.
- 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.

- Lima, T. and Tognella, M. (2012). Estrutura e função dos manguezais: revisão conceitual. *Encicl. Biosf*, 8:1801–1827.
- 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.
- Popescu, S. C. and Zhao, K. (2008). A voxel-based lidar method for estimating crown base height for deciduous and pine trees. *Remote sensing of environment*, 112(3):767–781.
- 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.

4 Discussão e Conclusões

Nesse trabalho foi proposto uma nova abordagem para a segmentação do fuste e dossel de árvores de manguezais. Podemos perceber que o método também foi capaz de identificar o rizoma devido ao fato do rizoma e dossel possuírem as características semelhantes em relação a densidade dos pontos. Foram testadas cinco árvores sendo uma da espécie *Avicennia schaueriana* e quatro da *Rhizophora mangle*. Por meio das análises efetuadas conclui-se que o método computacional desenvolvido apresenta resultados satisfatórios com relação a segmentação de árvores de mangue.

Como subproduto do método para a identificação do rizoma o método apresentou melhor desempenho para a espécie *Rhizophora mangle*, por conta de possuir estrutura de sustentação, realizando a correta separação das raízes, fuste e dossel. Na espécie *Avicennia schaueriana* o método apresentou desempenho satisfatório na segmentação do dossel, mas apresentou erros na detecção do fuste por conta da ausência de raízes aéreas o que altera o padrão de densidade dos pontos.

O valor de desvio padrão da equação do filtro gaussiano que melhor se aproximou do resultado real foi o valor de 0.3 metros, para todas as árvores testadas. O algoritmo desenvolvido apresentou resultados esperados para a detecção de dossel das duas espécies de mangue testadas, mas a realização de mais testes com outras árvores de manguezais devem 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.

4.1 Trabalhos Futuros

Como trabalho futuro é proposto o aperfeiçoamento do método para a detecção de fustes em árvores que não possuem raízes aéreas, assim como o desenvolvimento de técnicas para o cálculo das de área de sombra, volume do dossel, fuste e raízes, cobertura do dossel(VCC) e classificação de espécies. A obtenção destes parâmetros é importante 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.

Bibliografia

- AYREY, E. et al. Layer stacking: A novel algorithm for individual forest tree segmentation from lidar point clouds. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis, v. 43, n. 1, p. 16–27, 2017.
- BUCK, A. L. B. et al. Um algoritmo para filtragem do tronco em nuvem de pontos laser terrestre de árvores de pinus spp./algorithm for filtering the trunk in terrestrial laser point cloud of pinus spp. trees. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, v. 20, n. 4, p. 806, 2014.
- FELICIANO, E. A.; WDOWINSKI, S.; POTTS, M. D. Assessing mangrove above-ground biomass and structure using terrestrial laser scanning: a case study in the everglades national park. *Wetlands*, Springer, v. 34, n. 5, p. 955–968, 2014.
- FONSECA, S. d. M.; DRUMMOND, J. A. L. Reflorestamento de manguezais e o valor de resgate para o seqüestro de carbono atmosférico. 2003.
- FONTES, M. A. L. Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1999.
- GOOGLE. *Guaratiba, Rio de Janeiro*. 2017. (<https://maps.google.com.br/>). Acessado em: 24/08/2017.
- HAMRAZ, H.; CONTRERAS, M. A.; ZHANG, J. Vertical stratification of forest canopy for segmentation of under-story trees within small-footprint airborne lidar point clouds. In: . [S.l.: s.n.], 2016.
- HOLMGREN, J.; NILSSON, M.; OLSSON, H. Simulating the effects of lidar scanning angle for estimation of mean tree height and canopy closure. *Canadian Journal of Remote Sensing*, NRC Research Press Ottawa, Canada, v. 29, n. 5, p. 623–632, 2003.
- HYPPA, J. Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. *The Photogrammetric J. Finland*, v. 16, p. 27–42, 1999.
- KORHONEN, L. et al. Airborne discrete-return lidar data in the estimation of vertical canopy cover, angular canopy closure and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, Elsevier, v. 115, n. 4, p. 1065–1080, 2011.
- LATIFI, H. et al. Estimating over-and understorey canopy density of temperate mixed stands by airborne lidar data. *Forestry*, Inst Chartered Foresters, p. cpv032, 2015.
- LIANG, X. et al. Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Elsevier, v. 115, p. 63–77, 2016.
- LIMA, T.; TOGNELLA, M. Estrutura e função dos manguezais: revisão conceitual. *Environ. Biosf.*, v. 8, p. 1801–1827, 2012.
- LINGNAU, C. et al. Obtenção de parâmetros florestais através de laser terrestre-novas perspectivas. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, v. 13, p. 3661–3663, 2007.

- LIVNY, Y. et al. Automatic reconstruction of tree skeletal structures from point clouds. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, ACM, v. 29, n. 6, p. 151, 2010.
- MONTE, M. A. et al. Métodos indiretos de estimação da cobertura de dossel em povoamentos de clone de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, SciELO Brasil, v. 42, n. 6, p. 769–775, 2007.
- MOSKAL, L. M.; ZHENG, G. Retrieving forest inventory variables with terrestrial laser scanning (tls) in urban heterogeneous forest. *Remote Sensing*, Molecular Diversity Preservation International, v. 4, n. 1, p. 1–20, 2011.
- PEINHOPF, C. *Determinação de variáveis dendrométricas de Eucalyptus urograndis com dados LiDAR aerotransportado*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO Campus de Irati, Paraná, 2012.
- PERSSON, A.; HOLMGREN, J.; SÖDERMAN, U. Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, v. 68, n. 9, p. 925–932, 2002.
- POPESCU, S. C. Estimating biomass of individual pine trees using airborne lidar. *Biomass and Bioenergy*, Elsevier, v. 31, n. 9, p. 646–655, 2007.
- RIBAS, R. P.; ELMIRO, M. A. T. Individualização de árvores em ambiente florestal nativo utilizando métodos de segmentação em modelos digitais produzidos a partir da tecnologia lidar. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 65/4, 2013.
- RODRIGUEZ, L. C. E. et al. Inventário florestal com tecnologia laser aerotransportada de plantios de eucalyptus spp no brasil. *Ambiência, Garapuava*, v. 6, p. 67–80, 2010.
- SILVA, M. N. et al. Varredura com laser terrestre para determinação das variáveis dendrométricas da araucaria angustifolia. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 15, 2011.
- SIMONSE, M. et al. Automatic determination of forest inventory parameters using terrestrial laser scanning. In: *Proceedings of the ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 2003, p. 252–258.
- TAVARES, G. 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-RIPE*, v. 2, n. 10, p. 138–155, 2016.
- VAUHKONEN, J. et al. Comparative testing of single-tree detection algorithms under different types of forest. *Forestry*, Inst Chartered Foresters, v. 85, n. 1, p. 27–40, 2012.
- WANG, Y.; WEINACKER, H.; KOCH, B. A lidar point cloud based procedure for vertical canopy structure analysis and 3d single tree modelling in forest. *Sensors*, Molecular Diversity Preservation International, v. 8, n. 6, p. 3938–3951, 2008.
- WULDER, M. A. et al. Lidar sampling for large-area forest characterization: A review. *Remote Sensing of Environment*, v. 121, p. 196–209, 2012. ISSN 0034-4257.
- ZANDONÁ, D. F. *Potencial uso de dados laser scanner aerotransportado para estimativa de variáveis dendrométricas*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2006.