

## Identificação e extração de copas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze a partir de dados LiDAR

Franciel Eduardo Rex<sup>1</sup> Ana Paula Dalla Corte<sup>1</sup> Sebastião Amaral Machado<sup>1</sup> Carlos Roberto Sanquetta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Rodovia Régis Bittencourt, 9082-9174 - Jardim Botânico, Curitiba - PR, CEP: 80050-540

\*Author for correspondence: francielrexx@gmail.com

Received: 31 October 2017 / Accepted: 30 April 2018 / Published: 30 June 2018

### Resumo

Este trabalho teve como objetivo a utilização de dados de *laser scanner* aerotransportado (ALS) para a extração de copas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em uma floresta nativa localizada em área urbana. O estudo foi realizado no Fragmento de Floresta Ombrófila Mista, pertencente a Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba-PR. Foi realizada uma adaptação de metodologias propostas por autores que já encontraram bons resultados na extração de parâmetros mensuráveis com a tecnologia LiDAR para outras espécies em plantios florestais. A nuvem de pontos foi processada pelos *softwares Lastools e ArcGis 10.4*. Primeiramente foi realizada uma classificação dos pontos, obtenção e suavização do CHM, detecção de picos, geração da máscara de lacunas e por fim, segmentação de copas utilizando o exclusivamente o *software Ecognition*. Foram necessários alguns ajustes após a obtenção das copas pela segmentação, principalmente a exclusão de polígonos. De modo geral, foram extraídas 297 copas de forma automática, representando 88,4% de identificação. A tecnologia LiDAR mostra-se muito eficiente, principalmente quando associada a outras ferramentas, como a segmentação de imagens.

**Palavras-chave:** Floresta nativa, *Laser Scanner* Aerotransportado, segmentação, Sensoriamento Remoto.

### Abstract

This work has as objective the use of airborne laser scanner data (ALS) for extraction of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze crowns in a native forest located in an urban area. The study was realized in the Fragment of Mixed Ombrophilous Forest, belonging to the Federal University of Paraná (UFPR), Curitiba-PR. An adaptation of methodologies proposed by authors who have already found good results in the extraction of measurable parameters with the LiDAR technology for other species in forest plantations was carried out. The cloud of points was processed by Lastools and ArcGis 10.4 software. Firstly it was realized a classification of the points, obtaining and smoothing of the CHM, detection of peaks, generation of the mask of gaps and, finally, segmentation of crowns using exclusively Ecognition software was performed. Were necessary some adjustments after obtaining the crowns by segmentation, principally polygons exclusion. In general, 297 crowns were extracted automatically, representing 88.4% identification. Lidar technology is very efficient, especially when associated with other tools such as image segmentation.

**Keywords:** Native forest, Airborne laser scanner, Segmentation, Remote Sensing.

### Introdução

A avaliação precisa dos recursos florestais é muito importante para o manejo florestal sustentável e preciso (Kwak et al. 2007; Chang et al. 2012). Os parâmetros florestais, como a localização da árvore, altura da árvore, contagem de árvores, diâmetro da coroa e espécies de árvores,

são essenciais para a análise quantitativa da floresta (Chen et al. 2006; Koch et al. 2006; Kwak et al. 2007).

No Brasil, a forma mais utilizada ainda para acompanhar o crescimento da floresta é pela aquisição de dados de Inventário Florestal Contínuo, porém, tem-se observado alguns erros que podem estar associados a essa forma de aquisição de dados, desta forma, culminando em uma baixa qualidade de dados obtidos, o que reflete na imprecisão dos modelos de crescimento, produção e conseqüentemente, no planejamento (Oliveira 2012). Além de que, informações detalhadas de campo, consomem muito tempo e trabalho intensivamente (Lee et al. 2010; González-Ferreiro et al. 2013).

Técnicas de Sensoriamento Remoto com capacidade de quantificar a estrutura da floresta em dimensões verticais e horizontais e extensivamente sobre as paisagens, como LiDAR (Detecção de Luz e Escala) ou RADAR (Detecção de Rádio e Escala), são considerados métodos alternativos ou complementares para contornar a dificuldade das técnicas de campo (Hall et al. 2011; Wulder et al. 2012; Ferraz et al. 2015).

Na atualidade, o LiDAR tem uma gama de aplicação em diversas áreas, tais como: planejamento costeiro, avaliação de risco de inundações, florestas, agricultura, petróleo, transportes, planejamento urbano e mineração, entre outras (Giongo et al. 2010). Em países da América do Norte e da Escandinávia a tecnologia LiDAR tem suas aplicações consolidadas para quantificação de biomassa em extensas áreas (Rodríguez et al. 2010). Ainda, com o uso de dados de LiDAR, além de observar indivíduos em um todo em uma floresta, é possível extrair informações como o diâmetro da copa, característica com alta correlação com o volume e biomassa (Nutto 2001; Nutto e Spathelf 2008).

No Brasil, essa linha de pesquisa ainda é recente, principalmente, devido ao custo para a aquisição das informações. Desta forma, a utilização de novas tecnologias e a comprovação de diversas linhas de pesquisa com o uso do LiDAR no Brasil podem em um curto período de tempo, motivar o uso desta tecnologia no setor florestal (Oliveira 2012) e de certa forma pode contribuir para diminuir custos e exaustivos trabalhos de coleta de dados.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo testar o desempenho de dados de *laser scanner* aerotransportado para identificar as copas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em um fragmento de floresta nativa em área urbana. Também fez parte do objetivo a Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos (GEOBIA) visando mensurar as respectivas copas.

### Material e Métodos

#### Área de estudo

A área de estudo está situada no estado do Paraná, entre as coordenadas 25°26'50" e 25°27'33"S e 49°14'16" e 49°14'33"W. A aproximadamente 900 m de altitude acima do nível do mar. Em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista,

localizado no Campus Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná, situado em Curitiba – PR (Figura 1).

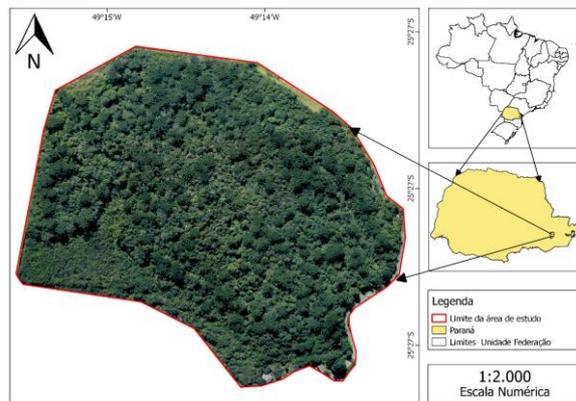


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

#### Fonte de dados laser

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes de um levantamento aéreo realizado no ano de 2012, sendo gerado como produto uma imagem aérea ortorretificada (ortoimagem) com resolução espacial de 0,20m e uma nuvem de pontos ALS com densidade de 4 pontos por m<sup>2</sup>. Outras características dos dados da nuvem de pontos e da ortoimagem são descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos dados da nuvem de pontos e da ortoimagem da área de estudo.

Critério	Referencial
Densidade média de pontos por metro quadrado	4 pontos por m <sup>2</sup>
Precisão altimétrica da nuvem de pontos	~10 cm
GSD da Ortoimagem	18 cm
Escala da Ortoimagem	1:2.000

#### Processamento básico da nuvem de pontos lidar

O processamento iniciou-se com a classificação dos pontos, obtenção do CHM (*Canopy Height Model*), o qual Waser et al. (2008) definem sendo o resultado da subtração entre MDS e MDT. Posteriormente, suavização do CHM, detecção dos picos das árvores, geração da máscara de lacunas, a segmentação das copas de *A. angustifolia* e posteriormente identificação e extração das informações referente as copas. Todo o processamento da nuvem ALS deu-se com o auxílio do *software Lastools v111216* (Isenburg 2014).

Os comandos utilizados no processamento da nuvem de pontos ALS são descritos a seguir. Primeiramente a nuvem foi avaliada, assim verificou-se a conformidade da nuvem pelo comando *lasinfo*. O comando *lastile* foi utilizado na sequência para dividir a nuvem e para acelerar o processamento. Foram utilizados os comandos *lasground* e *lasclassify*, para separar o retorno do solo do retorno da vegetação. Para o comando *lasground* foi utilizado um *Step* de 5m. O comando *lasheight* foi utilizado na redução dos ruídos da nuvem de pontos ALS. Por fim, foram utilizados os comandos *lasmerge* e *blast2dem* para unir os *tiles* da área de estudo, resultando em um único arquivo “.las”, e gerar o MDT e o MDS final, respectivamente.

Para o delineamento das copas na nuvem de pontos ALS, foi utilizada uma adaptação de 3 metodologias, sendo elas: 1) Kumar (2012) aplicada em florestas de coníferas na França;

2) Pereira (2014) aplicada em árvores isoladas de *A. angustifolia* e; 3) Martins Neto (2016) aplicada na extração de variáveis de *Pinus taeda* L. (conforme esquema ilustrado na Figura 2).

Após o processamento da nuvem de pontos LiDAR, foi utilizado o *software* ArcGis 10.4 para a realização dos demais procedimentos, exceto a segmentação das copas. Com o aplicativo foram realizados o procedimento de subtração dos modelos para gerar o CHM. Em seguida o CHM passou por uma série de filtros conforme a metodologia empregada por (Pereira 2014; Martins Neto 2016), para a redução de ruídos e para a remoção de pequenos detalhes na imagem antes da extração dos objetos (Faria and Centeno 2005). Em seguida foram utilizadas janelas de busca, que na verdade são matrizes de pixels com dimensão variável, para encontrar o pixel de maior valor referente aos topos das árvores por meio das ferramentas Calculadora *Raster* e Estatística Focal. A imagem de entrada foi o sCHM (smoothed CHM) suavizado, e como resultado foi gerada uma imagem com pixels apenas dos pontos referentes ao topo das árvores, que foi convertida para um arquivo *shapefile* de pontos.

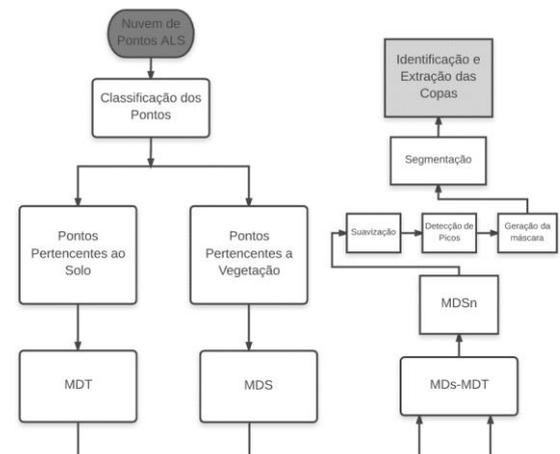


Figura 2 – Fluxograma da metodologia desenvolvida para identificação e extração das copas das *A. angustifolia*.

#### Segmentação dos indivíduos de *Araucaria angustifolia*

A segmentação dos indivíduos de *A. angustifolia* foi realizada com o uso do algoritmo de segmentação baseado em GEOBIA utilizando o *software eCognition*, que possui como principal característica uma abordagem orientada a objeto, que é de grande auxílio para a classificação e segmentação das imagens do *laser* (Miqueles e Centeno 2003).

Neste trabalho, foram testados alguns valores de segmentação de copas de árvores com a utilização do *software eCognition* encontrados por Petean (2015) que utilizou uma metodologia muito semelhante à deste trabalho na utilização do Modelo Digital de Elevação para realizar a extração das copas. Petean (2015) testou uma série de combinações possíveis dos critérios de segmentação, e por meio de uma análise visual chegou a valores de segmentação de *Scale Parameter* (SP= 20), (*Shape* = 0, 25 e *Compactness* – 075). Os intervalos testados foram: *Scale Parameter* (SP 15 a 20 (amplitude de 1). Os demais parâmetros (*Shape* e *Compactness*) foram mantidos os valores *default* do *software* (0,1 e 0,5).

Após o procedimento de segmentação, o arquivo vetorial foi importado para o ArcGis 10.4. Em sequência foi realizada uma classificação do CHM, no qual o modelo foi classificado em duas classes: Copas de Araucárias e de outros indivíduos. Com a classificação realizada, os dados vetoriais provenientes da segmentação foram filtrados, deixando apenas as copas das *A. angustifolia*, uma vez que eram conhecidos os pontos de ocorrência dos indivíduos em

campo, nas quais foram extraídos os valores correspondentes a área em metros quadrados (m<sup>2</sup>) de cada copa. Sobre a imagem ortoretificada, foi realizada uma interpretação visual das copas das *A. angustifolia* presentes na área em questão, com a finalidade de servirem de testemunhas ao presente trabalho. Para tanto, partiu-se dos pontos de localização das mesmas coletados em campo com o GPS e realizou-se a interpretação em tela no software ArcGIS 10.4.

### Resultados e discussão

Com a nuvem de pontos classificada, foram extraídos o MDT e o MDS. O MDT variou de 890,5 a 922,7 m, considerando toda a vegetação existente nele, e o MDS, variou de 894,8 a 937,9 m. A partir destes modelos foi realizado uma subtração e extraído o CHM, com este foi possível obter as alturas das árvores. O maior valor encontrado no CHM foi de 32,79 m indicando o valor da maior árvore presente na área (Figura 2).

As cores mais claras do CHM representam as maiores altitudes, ou seja, os locais que apresentam as árvores de maiores alturas. A partir do formato das copas é possível perceber que os indivíduos de *A. angustifolia* recobrem boa parte do dossel da floresta e sobressaem sobre os demais indivíduos.

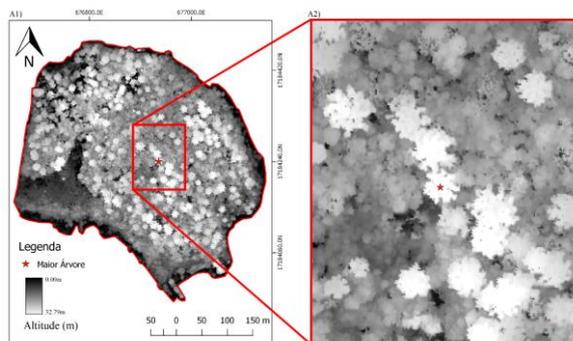


Figura 2: A1) Modelo de Altura de Copa (CHM); A2) CHM com zoom focando em áreas com copas de *A. angustifolia*.

Com os filtros de suavização aplicados no CHM, a imagem foi realçada, deixando as copas das árvores mais suaves de tal forma que o processo de segmentação fosse otimizado. A aplicação dos filtros promoveu uma suavização dos picos máximos e também redução das alturas que, após sua aplicação, o máximo valor encontrado foi de 26,5m. Vale ressaltar que a suavização do CHM é utilizada com o objetivo de melhor identificar os indivíduos arbóreos a serem delineados tendo em vista que este foi o enfoque do trabalho. A redução das alturas das árvores no CHM, após a aplicação dos filtros, está intrinsecamente relacionada ao método aplicado que visa ressaltar as diferenças nas copas dos indivíduos arbóreos e, portanto, que possibilita a redução da probabilidade de indivíduos serem falsamente identificados. Deste modo, deve-se ter cautela de não utilizar os valores das alturas após esse procedimento de suavização.

### Segmentação e classificação de indivíduos *A. angustifolia*

No processo de segmentação, o valor para o parâmetro escala que proporcionou o melhor resultado foi de 18. A Figura 3 apresenta o resultado da identificação automática das copas de *A. angustifolia*.

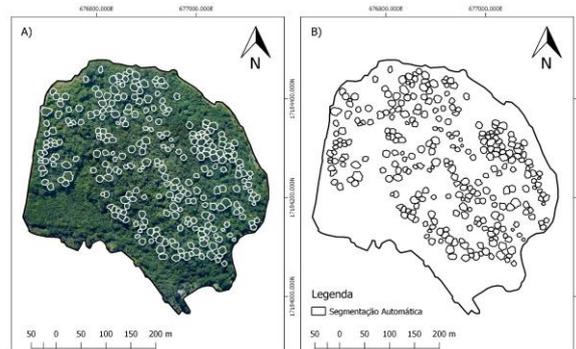


Figura 3 – A) Ortofoto digital da área com a segmentação das copas após ajuste e exclusão de polígonos de omissão; e B) Copas de *A. angustifolia* obtidas pela segmentação automática.

Foram identificadas e extraídas de forma automática 297 copas dos indivíduos de *A. angustifolia*, representando assim uma taxa de acerto de 88,4%. Dado o exposto, percebe-se que os métodos empregados neste estudo geraram ótimos resultados por se tratar de uma floresta nativa. A metodologia utilizada mostrou-se satisfatória, mesmo sendo necessários alguns ajustes e observar com maior rigorosidade as copas que foram geradas.

Na Tabela 1 são expostas as informações referentes ao desempenho do classificador na identificação das copas de *A. angustifolia*.

Tabela 1 - Desempenho do classificador na identificação das copas de *A. angustifolia*.

Tratamentos	Uso Atual	
	Copa de <i>A. angustifolia</i>	Acerto %
Automática	297	88,4
Censo	336	100

Após a identificação automática das copas, foram extraídas as informações de área de copa em m<sup>2</sup>. Na Tabela 2 são apresentadas informações estatísticas, como média, valores de máximos e mínimos, mediana e desvio padrão. E ainda duas medidas de formato, a curtose e a assimetria das áreas de copas obtidas a partir dos métodos de extração.

Tabela 2 - Informações estatísticas provenientes da extração dos polígonos das copas das *A. angustifolia*, e medidas de formato a partir dos dois métodos de extração dos polígonos das copas das *A. angustifolia*.

Estatísticas	Automático
<b>Número de indivíduos</b>	<b>297</b>
	Área de Copa (m <sup>2</sup> )
Média ± desvio	108,44 ± 35,76
Máximo	290,63
Mínimo	26,17
Mediana	103,04
Desvio Padrão	45,41
<b>Medidas de Formato</b>	
Assimetria	0,36
Curtose	0,74

O tamanho médio das copas de *A. angustifolia* apresentou um valor de 108,44 m<sup>2</sup> de área de copa, os valores mínimos e máximos encontrados neste trabalho foram de 26,17 m<sup>2</sup> e de 290,63m<sup>2</sup>.

Conforme a Figura 4, há uma alta concentração de indivíduos que apresentam valores próximos a média

observada (108,44 m<sup>2</sup>), também pode ser observado que a há uma notável presença de indivíduos que apresentam valores dispersos da média, tantos valores inferiores e superiores à média.

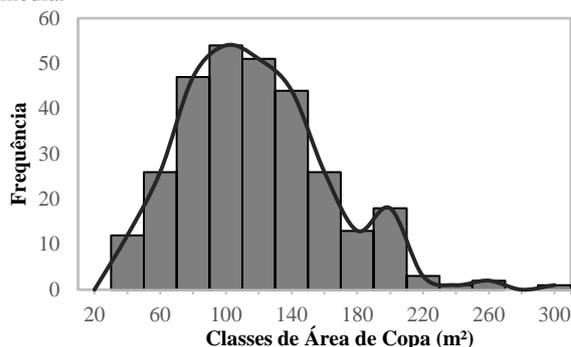


Figura 4 – Histograma de classes de área de copa por frequência de indivíduos de *Araucaria angustifolia*.

Os valores de área de copa apresentam-se bem distintos entre si, (26,17 m<sup>2</sup> e de 290,63m<sup>2</sup>) possivelmente essa diferença se dá devido a área de ocorrência da espécie na área. Em ambiente SIG, foi localizada a menor e a maior área de copa, e foi possível visualizar que o fato dessa diferença ocorrer, está relacionada ao local de estabelecimento da espécie. A maior área de copa foi encontrada em uma região próxima a bordadura da área, com poucos indivíduos ao seu entorno, já o indivíduo de menor área de copa está em um ambiente mais central com maiores concentrações de indivíduos.

Em relação aos indivíduos identificados percebe-se que a tecnologia *LiDAR* mostra-se muito eficiente, principalmente quando associada a outras ferramentas, como a segmentação de imagens. Por meio da metodologia utilizada neste trabalho foi possível delimitar automaticamente cerca de 88,4% dos indivíduos presentes na área, sendo que com base no censo da área há um total de 336 indivíduos. Esse valor representa uma alta porcentagem de identificação, principalmente por esta estar em ocorrência com outras espécies em um ambiente nativo. São poucos os trabalhos desenvolvidos em florestas nativas neste contexto, devido à complexidade do ambiente e as várias interferências ecológicas que atuam sobre o meio.

## Discussão

Seger et al. (2005) citam que a presença de *A. angustifolia*, conhecida popularmente como Pinheiro-do-paraná é a característica mais marcante de uma Floresta Ombrófila Mista (FOM), desta forma, há uma caracterização deste tipo de floresta por meio desta espécie.

No extrato superior do dossel da floresta é possível visualizar que as copas das *A. angustifolia* apresentam um mesmo padrão, de modo geral uma forma cilíndrica, o que segundo Reitz e Klein (1966), é um indicativo do seu estágio ontogênico, a forma das copas desta espécie passa por alterações à medida que a planta passa pelos estágios de juvenildade, maturidade e senescência. Desta forma, as árvores adultas e senescentes apresentam a copa em forma de taça ou umbela, enquanto o formato cônico das copas é encontrado em árvores jovens. Costa (2011), encontrou maior homogeneidade da forma da copa das árvores dominantes seguido das dominadas, devido à pouca dinâmica das copas nesta posição sociológica.

Alves (2010), comenta que a aplicação de filtros de suavização (Local Máxima), permite remover os ruídos da imagem, além de que, o uso destes filtros reduz a probabilidade de árvores serem falsamente identificadas. Porém estes filtros geram uma perda de informações (Nelson et al. 2012), como comprovado neste trabalho, em que a altitude do CHM sofreu uma redução. Com a suavização, as

copas dos indivíduos de *A. angustifolia* tornaram-se mais homogêneas. Além do mais, em estudo que se objetiva a identificação individual de árvores, é necessário a utilização de algoritmos de suavização (Local Máxima) em que, janelas de busca fazem a detecção dos picos de altura de copa (Silva et al. 2017). O intuito da suavização é de realçar as copas das árvores para que essas se sobressaem das demais copas no estrato superior da floresta (Martins Neto, 2016).

Pereira (2014), utilizou uma abordagem muito semelhante à deste trabalho, o autor utilizou a segmentação por polígonos de Thiessen em áreas de campo em que a *A. angustifolia* estava presente, o autor considerou 4 subáreas, e atingiu uma acurácia variando de 75,2% à 91,7%. O autor ainda concluiu que a metodologia proposta se mostrou eficiente no delineamento da copa, apesar de ser limitada em áreas mais densas.

Teixeira (1998), cita que a alta luminosidade existente em região de borda pode ser atribuída à grande interferência luminosa recebida da parte externa do fragmento. E que as mudanças na parte física do ambiente causadas pela borda podem afetar diretamente a estrutura da floresta. Nesse sentido, os resultados encontrados neste trabalho corroboram com a teoria do autor a cima, em que as diferenças entre os tamanhos de copas aqui visualizados representam uma ação de componentes bióticos do meio ambiente.

Segundo Castro e Centeno (2005) uma técnica de detecção de copas de árvores individuais depende muito das características da floresta a ser estudada. Florestas com apenas uma espécie de árvore, a princípio, torna mais simples o trabalho de segmentação, pois as imagens geradas apresentam uma variação de altura e diâmetro das copas das árvores mais uniforme.

## Conclusões

A metodologia proposta revelou-se eficiente no delineamento das copas de *A. angustifolia*. No total, foram identificadas 297 copas de forma automática, representando 88,4% de acerto em relação ao censo da área.

Por se tratar de uma floresta nativa, os resultados obtidos revelam-se satisfatórios e com um grande potencial para obtenção de informações de difícil obtenção, como a área de copa.

O uso de dados *LiDAR* tem se mostrado de grande aplicabilidade na área florestal, desta forma, pode-se concluir que esta é uma ferramenta de grande valia, e como o emprego de metodologias corretas é possível obter ótimos resultados, de modo que esforços de campo sejam reduzidos.

## Referências

- Alves MVG (2010) *Estimativa de variáveis florestais com perfilamento a laser (LiDAR)*. 2010. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- Castro FdaC, Centeno, TM (2005) Segmentação de Imagens Geradas por Perfilamento a Laser para Delimitação de Árvores Individuais em uma Área de Reflorestamento de Eucaliptos. In: XII *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2005, Goiânia. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos-SP: INPE, 2005. v. 1. p. 737-744.
- Costa EA (2011). *Influência de variáveis dendrométricas e morfológicas da copa no incremento periódico de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze*, Lages, SC. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

- Chang A, Eo Y, Kim Y, Kim Y (2012) Identification of individual tree crowns from LiDAR data using a circle fitting algorithm with local maxima and minima filtering *Remote Sens. Lett.*, 4, pp. 29-37
- Chen Q, Baldocchi D, Gong P, Kelly M (2006) Isolating individual trees in a savanna Woodland using small footprint lidar data Photogramm. *Eng. Remote Sens.*, 72, pp. 923-932
- Faria FCC, Centeno TM (2005) Segmentação de imagens geradas por perfilamento a laser para delimitação de árvores individuais em uma área de reflorestamento de eucaliptos. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia. Anais..., p. 737-744.
- Ferraz A, Mallet C, Jacquemoud S, Gonçalves GR, Tomé M, Soares P, Br etar F. (2015) Canopy density model: A new ALS-derived product to generate multilayer crown cover maps *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53 (12) (2015), pp. 6776-6790,
- Giongo M, Koehler HS, Machado SdoA, Kirchner FF, Machetti M (2010) LiDAR: princípios e aplicações florestais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.30, p.231-244, 2010.
- González-Ferreiro E, Diéguez-Aranda U, Barreiro-Fernández L, Buján S, Barbosa M, Suárez JC, Bye IJ, Miranda D (2013) A mixed pixel- and region-based approach for using airborne laser scanning data for individual tree crown delineation in *Pinus radiata* D. Don plantations *Int. J. Remote Sens.*, 34, pp. 7671-7690
- Hall FG, Bergen K, Blair JB, Dubayah R, Houghton R, Hurt G, ..., Wickland D (2011) Characterizing 3D vegetation structure from space: Mission requirements *Remote Sensing of Environment*, 115 (11), pp. 2753-2775,
- Isenburg, M. *LASTOOLS Version 111216: Software for Lidar Processing* (2015). [Computer program]. Gilching: rapidlasso GmbH. Disponível em: <http://lastools.org>. Acesso em: 10 de março de 2017.
- Koch B, Heyder U, Weinacker H (2006) Detection of individual tree crowns in airborne lidar data Photogramm. *Eng. Remote Sens.*, 72, pp. 357-363
- Kumar, V.(2012) *Forest inventory parameters and carbon mapping from airborne LiDAR*. Dissertação de mestrado. Enschede: Universidade de Twente.
- Kwak DA, Lee WK, Lee JH, Biging G, Gong P (2007) Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data *J. For. Res.*, 12, pp. 425-434
- Lee H, Slatton KC, Roth BE, Cropper WP Adaptive clustering of airborne LiDAR data to segment individual tree crowns in managed pine forests *Int. J. Remote Sens.*, 31 (2010), pp. 117-139
- Martins Neto RP (2016) *Extração de variáveis dendrométricas em árvores de Pinus taeda L. a partir de dados TLS e ALS*. 2016. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lajes.
- Miqueles MA, Centeno JAS (2003) Detecção e caracterização de vegetação usando dados laser scanner aerotransportado. - 2003 - Anais do *III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas* - Curitiba - PR.
- Nelson T, Niemann O, Wulder MA (2007) Spatial statistical techniques for aggregating point objects extrated from high spatial resolution remotely sensed imagery. *Journal of Geographical Systems*, New York, v. 4, n. 4, p. 423-433, Dec. 2007.
- Nutto L (2001) Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze baseado na árvore individual. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 9 – 25.
- Nutto L, Spathelf P (2008) Modelling diameter growth of plantation grown *Eucalypts* based on crown projection area. 10 Nov., *IPEF*, Porto Seguro, BA, Brasil pp. -36.
- Oliveira LT, Carvalho LMT, Ferreira MZ, Oliveira TCA, Acerbi Junior FW (2012). Application of LIDAR to forest inventory for tree count in stands of *Eucalyptus* sp. *CERNE* (UFPA), v. 18, p. 175/1-184.
- Pereira JP (2014). *Extração automática de copas de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze a partir de dados LiDAR para estimativa de variáveis dendrométricas..* 140 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, CAV - UDESC. Lages,
- Petean FC de S (2015) *Uso de imagens hiperespectrais e da tecnologia LiDAR na identificação de espécies florestais em ambiente urbano na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais..* 133f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- Reitz R, Klein, RM (1966) *Araucariáceas*. Flora Ilustrada Catarinense. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues., 62p.
- Rodriguez LCE, Polizel JL, Ferraz SFB, Zonete MF, Ferreira MZ. (2010) Inventário florestal com tecnologia laser aerotransportada de plantios de *Eucalyptus* spp no Brasil. *Ambiência*. Garapuava (PR), v.6, Ed. Especial, p. 67-80.
- Sege CD, Dlugosz FL, Kurasz G, Martinez DT, Ronconi E, Melo LAN, Bittencourt SM, Brand MA, Carniatio I, Galvão F, Roderjan CV (2005) Levantamento florístico e análise fitossociológica de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista localizado no município de Pinhais, Paraná-Brasil. *Revista Floresta* (UFPR), v. 35, n.2.
- Silva, ILG, Silva, CA, Klauberg, C, de Mello, JM. Detecção de árvores individuais em área florestal mista de coníferas por meio de dados LiDAR aerotransportando. *Advances in Forestry Science*, v. 4, n. 2, p. 107-112, 2017.
- Teixeira CV (1998) *Florística e estrutura da borda de um fragmento florestal na cidade de São Paulo*. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo
- Waser LT, Baltsavias E, Ecker K, Eisenbeiss H, Feldmeyer-Christe E, Ginzler C, Kuchler M, Zhang L (2008.) Assessing changes of forest area and shrub encroachment in a mire ecosystem using digital surface models and CIR aerial images. *Remote Sensing of Environment*. v. 112, n. 5, p. 1956 – 1968
- Wulder MA, White JC, Nelson RF, Næsset E, Ørka HO, Coops NC, ..., Gobakken T (2012) Lidar sampling for large-area forest characterization: A review *Remote Sensing of Environment*, 121, pp. 196-209