

## Detecção automática de fustes em povoamentos florestais usando laser scanner terrestre

Gustavo José Ferreira de Almeida <sup>1</sup>  
Tiago de Conto <sup>1</sup>  
Caio Hamamura <sup>1</sup>  
Luiz Carlos Estraviz Rodriguez <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo - USP/ESALQ  
Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil  
{gjfalmeida, lcer}@usp.br  
caiohamamura@gmail.com  
tdc.florestal@gmail.com

**Abstract.** LiDAR (Light Detection and Ranging) is a technology gaining worldwide acceptance as precise method for generating 3D models of surfaces and objects, as well as for forests. TLS, or terrestrial laser scanning, is a method of LiDAR data generation which uses a laser scanning device at floor level. The objective of this paper was to evaluate the capacity of algorithms based on Hough transformation to automatically detect stems within a point cloud originated from TLS survey. The study was held in southeastern Brazil in two different stands with *Pinus baramensis* and *Eucalyptus sp* with 23 and 7 years old, respectively, and two pixel sizes and five different heights were considered to evaluate the precision of the method regarding to percentage of stems detected. The results showed that the higher the raster was generated along *z* axis the higher the % os stems detected for both species. It was also shown that pixel size of 5 cm resulted in higher stem detection in comparison to 10 cm sized pixel. For *Pinus baramensis* there was no statistically difference between pixel sizes ( $p < 0,05$ ); for *Eucalyptus sp*, on the other hand, 5 cm pixel size showed higher performance on stem detection than 10 cm sized pixels ( $p < 0,05$ ). The authors suggest that further studies must be carried to consistently evaluate the effect of TLS data on higher heights inside forest stands in order to minimize the effect of under-canopy vegetation on TLS data collection.

**Palavras-chave:** remote sensing, terrestrial laser scanning, inventário florestal, sensoriamento remoto, stem detection, Hough transformation

### 1. Introdução

A obtenção de dados com qualidade e rapidez é um dos grandes desafios enfrentados pelos profissionais do Planejamento e Manejo Florestal. No entanto, o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias e a integração crescente da área computacional às outras áreas do conhecimento mostram-se como saídas viáveis para a solução destes desafios. Como exemplo, citam-se as diversas contribuições e sinergias proporcionadas pelo campo do Sensoriamento Remoto às ditas Ciências Florestais, que resultam, nos dias atuais, de crescente ganho em eficiência e qualidade na geração de dados e interpretação das informações.

Neste contexto, a tecnologia TLS (*terrestrial laser scanning*), ou *laser scanner* terrestre se apresenta como alternativa para o mapeamento tridimensional de ambientes em que se deseja obter informações geométricas com precisão e certa rapidez.

A tecnologia em que o TLS está inserido é denominada LiDAR – *Light Detection and Ranging*, que consiste na obtenção de representações tridimensionais de objetos por meio da emissão de pulsos *laser*. Os pulsos emitidos fazem escaneamento e varredura dos objetos sólidos que estão em seu caminho, retornando em seguida ao receptor que calcula então a distância do emissor/receptor ao objeto, gerando uma nuvem de pontos tridimensional (*x*, *y* e *z*) que reflete a posição dos objetos detectados (Silva, 2013). A configuração do equipamento, bem como sua disposição geográfica (distância e posição em relação aos objetos alvo),

influenciam diretamente na qualidade dos dados obtidos e na confiabilidade da informação gerada. (Astrup *et al.*, 2014)

Para a detecção e individualização dos objetos representados pela nuvem são utilizados algoritmos, que basicamente buscam padrões dentro da nuvem de pontos que possam representar objetos específicos (árvores, terreno, construções, etc.). Muitos trabalhos se propuseram, e ainda propõe, ao objetivo de criar e aperfeiçoar estes algoritmos, esforço que é justificado pela constante necessidade de aprimoramento dos métodos de processamento dos arquivos de dados, que são bastante pesados e complexos. (Xu *et al.*, 2014)

Dentre as etapas de processamento de uma nuvem de pontos para finalidade florestal a detecção de fustes tem papel fundamental, uma vez que, a partir dela, espera-se obter a densidade de indivíduos (n/ha) que compõe o povoamento, o que permitirá, entre outros resultados, a obtenção de informações em nível de paisagem, como volume total de madeira e/ou quantidade de biomassa (Raumonon, 2013) A transformação de Hough é um método que vem sendo testado com certo grau de sucesso para este fim (Olofsson *et. al* , 2014).

A disposição do *scanner* em solo para a geração das nuvens tem papel importante em relação ao sombreamento (ou oclusão) de árvores, isto é, dependendo de onde, dentro do povoamento, a nuvem é obtida, pode-se esperar maior ou menor sucesso (precisão). Na metodologia *single-scan* (escaneamento simples), o tripé com o equipamento *laser* é fixado em um único ponto, a partir do qual é gerada a nuvem, enquanto que, como alternativa, o método *multiple-scan* (escaneamento múltiplo) propõe uma triangulação na obtenção de nuvens, de forma que as áreas sombreadas são minimizadas dentro da parcela de estudo (Astrup *et al.*, 2014). Estudos mostram que o método *single scan* apresenta maior rapidez e menor custo na obtenção de dados, enquanto que aumenta a incerteza dos dados, embora em níveis que mantêm uma precisão aceitável. Já o *multiple scan*, embora reduza a área sombreada e aumente a precisão dos dados, demanda mais tempo e recursos (Liang e Hyypä, 2013).

O objetivo deste trabalho foi verificar se mudanças nos parâmetros da transformação de Hough impactam na precisão da detecção automática de fustes em nuvens de pontos TLS a partir de escaneamentos do tipo *single scan*.

## 2. Metodologia de trabalho

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em áreas experimentais localizadas na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, em Itatinga (SP). A região tem altitude média de 714 metros e está sob regime climático definido como Cfa (Álvares, 2013), com precipitação total anual de 1.319 mm e temperaturas médias anuais de 19,4°C (Figura 1).



Figura 1: localização das áreas experimentais. À esquerda o município de Itatinga (SP) no contexto regional; à direita, as áreas experimentais dentro da Estação Experimental. (Fonte: *Google Earth*. Acesso em 01/06/2016)

Foram selecionadas duas áreas com características distintas de espécie e idade para instalação das parcelas experimentais, conforme mostrado na Tabela 1. Em cada parcela foi empregado o método de escaneamento *single scan*.

Tabela 1: informações das áreas experimentais em que foram instaladas as parcelas para escaneamento *laser*.

| Parcela | Espécie                 | Idade (anos) | Espaçamento (m) | Densidade (árvores/ha) | Observação   | Densidade real (árvores/ha) |
|---------|-------------------------|--------------|-----------------|------------------------|--------------|-----------------------------|
| A1      | <i>Eucalyptus sp.</i>   | 7            | 3,0 x 2,0       | 1.667                  | -            | 1.667                       |
| A2      | <i>Pinus baramensis</i> | 23           | 3,5 x 2,0       | 1.429                  | Desbaste 50% | 715                         |

## 2.2 Equipamento utilizado

Os dados LiDAR foram gerados utilizando-se o equipamento *RIEGL* modelo *VZ-400 V-Line® 3D Terrestrial Laser Scanning (RIEGL Laser Measurement Systems GmbH)* (Figura 2). Este equipamento utiliza a técnica de *phase shift* para determinação das distâncias dos retornos, operando na faixa espectral do infravermelho próximo (1550 nm) e permite o registro de múltiplos retornos. Possui alcance de 1,5 a 350 metros com *beam divergence* (abertura do feixe) de 0,35 mrad, emitindo 122.000 pulsos/segundo. As características operacionais do *scanner* foram resumidas na Tabela 2.



Figura 2: (esq.) Aparelho TLS RIEGL VZ-400, utilizado na geração de dados LiDAR neste trabalho. (dir.) Detalhes do RIEGL VZ-400 posicionado para realizar escaneamento da porção vertical da floresta.

Tabela 2: características do equipamento *laser scanner RIEGL VZ-400* utilizado na obtenção dos dados.

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| Faixa espectral            | 1550 nm    |
| Abertura do feixe          | 0,35 mrad  |
| Pulsos por segundo         | 122.000    |
| Taxa de repetição do pulso | 300 kHz    |
| Distância mínima           | 1,5 metros |
| Distância máxima           | 350 metros |

O *RIEGL VZ-400* opera com ângulo azimutal de  $360^\circ$  e ângulo zenital de  $30^\circ$  a  $130^\circ$  e, por isso, para uma tomada completa do ambiente, deve-se fazer o escaneamento com o aparelho na posição vertical e, sem seguida, tombá-lo em  $90^\circ$  sobre o tripé de fixação para realização de leitura completa no sentido vertical ( $z$ ).

### 2.3 Aplicação da transformação de Hough

A transformação de Hough consiste basicamente na detecção de padrões geométricos em duas dimensões (2D). Nele, um arquivo tipo *raster* representando uma fatia da nuvem de pontos (intervalo de alturas) é gerado de forma que cada pixel tenha uma densidade de pontos relativa. Sobre este *raster* é aplicado um algoritmo que busca padrões geométricos pré-determinados; neste caso, círculos, que representam uma fatia horizontal dos troncos das árvores (fustes).

As rotinas computacionais necessárias ao processamento das nuvens de pontos e para a aplicação da transformação de *Hough* foram realizadas nos softwares *RiscanPro*® (oficial da fabricante RIEGL) e Lastools (ISENBURG, [s.d.]) e no ambiente R (R CORE TEAM, 2016).

Para cada nuvem de pontos (parcela) foram aplicados os seguintes tratamentos:

- a) Variação na altura de geração do *raster* – a faixa de altura considerada para a operação do algoritmo foi variada de um em um metro (sendo o nível do solo a referência, ou zero), até os 5 metros de altura;
- b) O tamanho do *pixel* foi testado como 5 ou 10 cm.

Todos os outros parâmetros que compõe o algoritmo foram mantidos iguais para todas as parcelas.

### 3. Resultados e discussão

Os resultados obtidos após aplicação das rotinas computacionais às nuvens são mostrados na Tabela 3 e na Figura 3.

Tabela 3: % de fustes mapeados por tratamento.

| Parcela                 | Faixas de altura | Total de fustes na parcela | % de fustes mapeados |               |
|-------------------------|------------------|----------------------------|----------------------|---------------|
|                         |                  |                            | Pixel = 5 cm         | Pixel = 10 cm |
| <i>Eucalyptus sp.</i>   | 0 a 1            | 67                         | 31%                  | 21%           |
|                         | 1 a 2            |                            | 51%                  | 45%           |
|                         | 2 a 3            |                            | 73%                  | 55%           |
|                         | 3 a 4            |                            | 84%                  | 73%           |
|                         | 4 a 5            |                            | 97%                  | 85%           |
| <i>Pinus baramensis</i> | 0 a 1            | 38                         | 39%                  | 24%           |
|                         | 1 a 2            |                            | 79%                  | 47%           |
|                         | 2 a 3            |                            | 92%                  | 71%           |
|                         | 3 a 4            |                            | 100%                 | 95%           |
|                         | 4 a 5            |                            | 100%                 | 100%          |

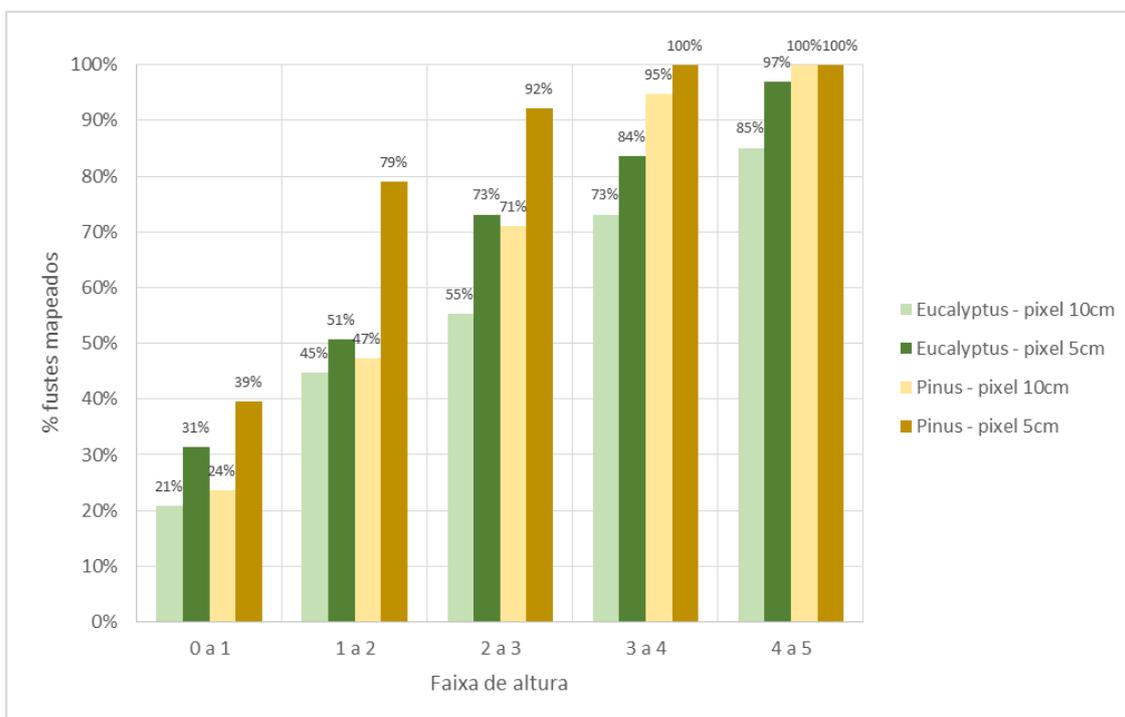


Figura 3: gráfico ilustrativo do comportamento da variável "% de fustes mapeados" em relação à espécie, faixa de altura e tamanho do pixel.

Os resultados mostram que a variável analisada – % de fustes automaticamente mapeados – apresenta tendência de crescimento conforme a faixa de altura considerada sobre ao longo do eixo z, ou seja, quanto mais alta a “fatia” considerada maior a precisão do método. Além disso, o pixel menor (5 cm) propiciou maior precisão para ambas as espécies quando comparado ao pixel de 10 cm.

Para o *Eucalyptus sp.*, ao considerar o pixel com tamanho de 5 cm mostrou-se mais preciso que o de 10 cm em todas as alturas, tendo a maior diferença ocorrido na faixa de 2 a 3 metros de altura (18 pontos percentuais), e a menor na faixa de 1 a 2 metros (6 pontos percentuais).

No caso do *Pinus baramensis* a precisão no geral foi maior que no *Eucalyptus sp.*, e neste caso também o pixel de 5 cm foi mais preciso que o de 10 cm. Destacam-se os valores para a altura de 2 a 3 metros com pixel de 5 cm, em que 92% de precisão na detecção de fustes foi alcançada, valor considerado satisfatório. A partir dos 3 metros de altura 100% dos fustes foram detectados, mostrando total competência do método para a execução da tarefa de mapear fustes em nuvens de pontos TLS.

Análise estatística dos resultados mostra, primeiramente, a normalidade dos dados comprovada pelo teste de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ) para ambas as espécies e tratamentos. O teste t-pareado foi então aplicado individualmente para cada espécie, e resultou na não ocorrência de diferença estatisticamente significativa entre os dados do *Pinus* (0,062;  $p < 0,05$ ). Para o *Eucalyptus sp.*, por outro lado, houve diferença estatística dentre a variação no tamanho do pixel (0,0042;  $p < 0,05$ )

De forma geral a detecção automática de fustes pelo método da transformação de Hough mostrou-se eficiente ao longo dos valores crescentes do eixo z, e a precisão foi maior no povoamento de *Pinus baramensis* do que no de *Eucalyptus sp.* A ocorrência de sub-bosque composto principalmente por arbustos no talhão de *Eucalyptus sp.*, ao contrário do plantio de *Pinus*, praticamente sem sub-bosque, pode explicar a baixa precisão do método a baixas alturas. Ainda assim há a presença de galhos caídos e outros ainda presos nos indivíduos de *Eucalyptus*, que contribuem para baixa precisão da mesma forma. O *Pinus*, por ser mais velho, não apresenta esse emaranhado de galhos, deixando o caminho mais livre para os pulsos retornarem ao emissor, aumentando a precisão e diminuindo o nível de “ruído” na nuvem. As Figuras 4 e 5 mostram exemplos de mapas resultantes de cada tratamento.

Outro fator explicativo da diferença nos dados é a densidade de árvores nos povoamentos. O *Eucalyptus sp.* segue o espaçamento mais utilizado nesta região do Brasil para plantios comerciais destinados à produção de celulose (1.667 árvores/ha), sem ação de desbaste. O *Pinus*, por outro lado, sofreu desbaste de 50%, ou seja, apresenta metade da densidade original do plantio (similar à do *Eucalyptus sp.*, 1.429 árvores/ha). Essa condição faz com que haja menor número de troncos potenciais para oclusão do emissor *laser*, fazendo com que aumente o número de árvores detectadas quanto mais longe se afastar do *scanner* (Liang et. al, 2012).

Estes resultados iniciais reforçam a necessidade de aprofundamento na metodologia, buscando mais explicações sobre o comportamento do escaneamento *laser* terrestre em florestas de produção do Brasil. A quantidade de variáveis atuantes durante as fases de obtenção das nuvens em campo e aplicação de rotinas computacionais abre grandes possibilidades de experimentação, fator de ainda maior importância quando se considera o estágio exploratório da tecnologia TLS na área florestal e seu potencial de geração de resultados práticos satisfatórios.

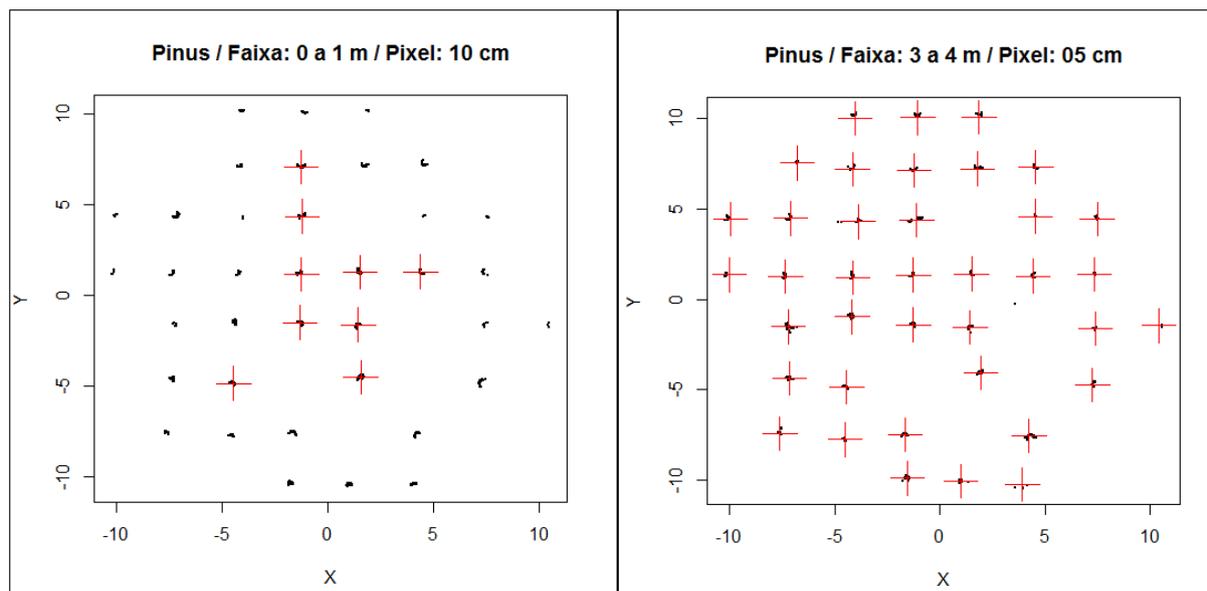


Figura 4: exemplos de mapas raster gerados para dois cenários com *Pinus baramensis*: à esquerda, faixa de altura de 0 a 1 metro e pixel com 10 cm (24% de fustes detectados). À direita, com 100% dos fustes detectados, faixa de 3 a 4 metros e pixel de 5 cm.

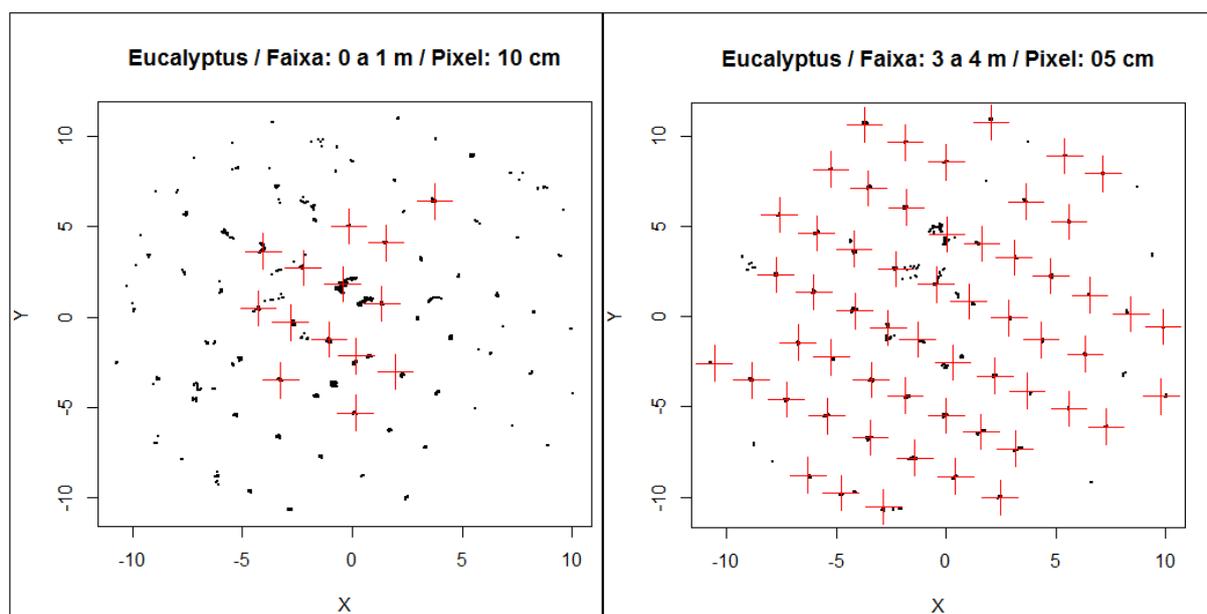


Figura 5: exemplos dos mapas com *Eucalyptus sp.*: à esquerda, faixa de altura de 0 a 1 metro e pixel com 10 cm (21% de fustes detectados). À direita, faixa de 3 a 4 metros e pixel de 5 cm, que resultou em 84% dos fustes detectados. Detalhe para a maior quantidade de “ruídos” na imagem da esquerda (mais próxima ao solo).

#### 4. Conclusões

De acordo com os resultados conclui-se que a detecção automática de fustes pelo método proposto varia significativamente com mudanças nos parâmetros do algoritmo utilizado,

alcançando, em alguns cenários, resultados satisfatórios. Consideram-se dados exploratórios os aqui apresentados, mas os resultados, ainda que carentes de maior complementação, compõe importante passo na pavimentação do caminho que leva a consolidação da tecnologia *LiDAR* como fundamental ferramenta de auxílio na gestão de recursos florestais.

## Agradecimentos

À Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (ESALQ/USP), Eng. Florestal Rildo Moreira e Moreira, Gregoire Vincent (CIRAD, Montpellier, França) e ao grupo GET-LiDAR (Grupo de Estudos e Trabalho em Tecnologias LiDAR – ESALQ/USP).

## Referências bibliográficas

Alvares, C. A.; STAPE, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

Astrup, R.; Ducey, M.; Granhus, A. Approaches for estimating stand-level volume using terrestrial laser scanning in a single-scan mode. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 44, n. 6, p. 666-676. 2014.

Isenburg, M. **LAStools – Efficient Tools for LiDAR Processing**, [s.d.]. Disponível em: <<http://lastools.org>>

Liang, X.; Litkeym J.; Hyypä, J. Automatic stem mapping using single-scan terrestrial laser scanning. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 50, n. 2, p. 661-670. 2012.

Liang, X.; Hyypä, J. Automatic stem mapping by merging several terrestrial laser scans at the feature and decision levels. **Sensors**, v. 13, n. 2. 2013.

Olofsson, K.; Holmgren, J.; Olsson, H. Tree Stem and Height Measurements using Terrestrial Laser Scanning and the RANSAC Algorithm. **Remote Sensing**, v. 6, n. 5, p. 4323, 2014.

Raumonon, P. Kaasalainen, M. Åkerblom, M.; Kaasalainen, S.; Kaartinen, H.; Vastaranta, M.; Holopainen, M.; Disney, M.; Lewis, P.. Fast Automatic Precision Tree Models from Terrestrial Laser Scanner Data. **Remote Sensing**, v. 5, n. 2, p. 491, 2013.

RCORETEAM. **R: A language and environment for statistical computing**Vienna, AustriaR Foundation for Statistical Computing, , 2016. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

Silva, M. N. B., A. L. B.; Lingnau, C.; Machado, A. M. L.; Martins Neto, R. P.; Pesck, V. A. Laser scanner terrestre para medições florestais – princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 6, p. 1143-1152, 2013.

Xu, W.-H. et al. An Automatic Extraction Algorithm for Individual Tree Crown Projection Area and Volume Based on 3D Point Cloud Data. **Spectroscopy and Spectral Analysis**, v. 34, n. 2, p. 465-471, Feb 2014.