

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

MILLENA DUARTE MACHADO

USO DE SENSOR LASER TERRESTRE PARA ESTIMAÇÃO DE  
DIÂMETRO E ALTURA DE *Eucalyptus* sp.

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2021

MILLENA DUARTE MACHADO

USO DE SENSOR LASER TERRESTRE PARA ESTIMAÇÃO DE  
DIÂMETRO E ALTURA DE *Eucalyptus* sp.

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2021

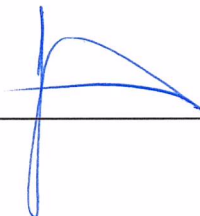
MILLENA DUARTE MACHADO

USO DE SENSOR LASER TERRESTRE PARA ESTIMAÇÃO DE  
DIÂMETRO E ALTURA DE *Eucalyptus* sp.

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da  
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do  
título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 12 de maio de 2021

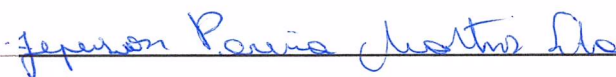
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva  
DCFM/CCAUE/UFES  
Orientador



Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça  
DCFM/CCAUE/UFES



MSc. Jeferson Pereira Martins Silva  
DCFM/CCAUE/UFES

A Deus, por me conceder forças e energia para a realização de cada etapa.  
Aos meus pais Lorena Souza Duarte Machado e Marcos Adilson Machado, que me apoiaram e incentivaram constantemente.  
À minha irmã Lílian Duarte Machado, exemplo de dedicação.

“Tudo posso naquele que me fortalece”  
Filipenses 4:13

## AGRADECIMENTOS

Dedico primeiramente à Deus por tudo que tem feito por mim em todos os anos da minha vida.

Aos meus pais, Lorena Souza Duarte Machado e Marcos Adilson Machado, por todo incentivo, amor, carinho e compreensão. À minha irmã, pelo apoio e exemplo de dedicação.

Ao meu companheiro Gehorge pela paciência, amor e respeito que dedicou em todos os momentos que precisei.

A meu orientador, Gilson Fernandes da Silva, pela confiança, ensinamentos e prontidão. Ao professor e pesquisador André Quintão de Almeida por toda ajuda e direcionamento necessário.

Ao doutorando Jeferson Martins do Laboratório de Mensuração e Manejo Florestal (LaMFlor) pela disponibilidade e amparo nas coletas e processamentos de dados deste projeto.

Aos meus amigos e colegas de turma Lucas e Laís, que me ajudaram nas coletas de dados. E também a turma 2016/1 e agregadas por todos os momentos compartilhados nesses anos. Histórias que ficarão guardadas em minha memória com muito carinho. Levarei todos no meu coração.

A todos os meus familiares e amigos que participaram de forma direta e/ou indiretamente no meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

## RESUMO

Inventários florestais são ferramentas essenciais para o levantamento de informações qualitativas, quantitativas ou quali-quantitativas dos recursos florestais, atividade de fundamental importância para qualquer planejamento estratégico. Normalmente, os métodos tradicionais utilizados no inventário florestal demandam longos períodos de tempo, são onerosos e podendo ser necessário uma equipe treinada, principalmente, no levantamentos de dados em campo. Com isso, novas tecnologias vêm sendo empregadas para auxiliar neste sentido e reduzir o tempo de coleta e processamento de dados. Dentre elas, está a tecnologia de escaneamento laser terrestre (TLS - *Terrestrial Laser Scanning*), em crescente uso no setor florestal devido a sua alta precisão, flexibilidade e rapidez, que se baseia nos princípios da tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*), onde sensores laser são utilizados para gerar modelos tridimensionais de objetos e superfícies escaneadas. Assim, neste estudo objetivou-se verificar se o uso de sensor laser terrestre é viável, em termos de acurácia e exequibilidade, no levantamento de informações dendrométricas de árvores de *Eucalyptus* sp. Os dados foram coletados a campo, para as variáveis de estudo *DAP* e altura total, de forma tradicional utilizando a suta para obter os diâmetros e, os hipsômetros Suunto e de Haga para as medições de altura total de árvores. As mesmas árvores também tiveram o *DAP* e a altura total mensuradas utilizando a nuvem de pontos obtida pela varredura laser terrestre. O processamento da nuvem de pontos ocorreu de duas formas - utilizando a nuvem de pontos completa da área de estudo e outra que utilizou a nuvem de cada linha de plantio separadamente. Além disso, para a variável *DAP*, houveram mais dois tipos de processamentos das nuvens de pontos - utilizando o *DAP* aferido a uma altura de 1,30 m do nível do solo; e com base na média dos diâmetros obtidos nas alturas de 1,20; 1,25; 1,30; 1,35 e 1,40 m. De modo geral, para a variável altura total, a raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ) variou de 11,50% a 11,97%, o viés variou de -0,08% a 3,67% e a média das diferenças absolutas (MDA) de 0,13% a 0,15%. Já para a variável *DAP*, a raiz do quadrado do erro médio (RMSE) variou de 7,91% a 13,94%, o viés de 2,27% a 4,75% e a MDA de 0,13% a 0,26%. Com base nesses resultados, foi possível concluir que, as diferenças encontradas entre os valores obtidos pelos equipamentos tradicionais e

com o uso do sensor laser terrestre foram maiores do que as esperadas, indicando ser necessário o aprofundamento da pesquisa, especialmente no que diz respeito ao processamento da nuvem de pontos coletada.

Palavras-chave: Inventário Florestal; LiDAR; Mensuração Florestal; Estimativa de árvores dendrométricas.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| LISTA DE TABELAS .....  | ix |
| LISTA DE FIGURAS .....  | x  |
| 1 INTRODUÇÃO.....   | 1  |
| 1.1 O problema e sua importância.....   | 1  |
| 1.2 Objetivos .....   | 2  |
| 1.2.1 Objetivo geral .....  | 2  |
| 1.2.2 Objetivos Específicos .....   | 3  |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA.....  | 4  |
| 2.1 Inventário Florestal .....  | 4  |
| 2.2 Escaneamento Laser Terrestre .....  | 5  |
| 3 METODOLOGIA .....   | 7  |
| 3.1 Área de estudo .....  | 7  |
| 3.2 Coleta de dados .....   | 8  |
| 3.2.1 Inventário utilizando o método tradicional .....                            | 9  |
| 3.2.2 Inventário utilizando a tecnologia de escaneamento laser terrestre (TLS)... | 11 |
| 3.2.2.1 Aquisição dos dados.....  | 11 |
| 3.2.2.2 Processamento dos dados.....  | 12 |
| 3.3 Análise dos dados .....   | 14 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 17 |
| 4.1 Comparação dos métodos na medição do <i>DAP</i> .....                         | 19 |
| 4.1.1 Nuvem de pontos completa.....   | 19 |
| 4.1.2 Nuvem de pontos separada por linhas.....                                    | 22 |
| 4.2 Comparação entre os métodos de medição de altura total .....                  | 24 |
| 4.2.1 Método tradicional .....  | 24 |
| 4.2.2 Nuvem de pontos completa.....   | 25 |
| 4.2.3 Nuvem de pontos separada por linhas.....                                    | 27 |
| 5 CONCLUSÕES.....   | 31 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 32 |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Resultados de <i>DAP</i> e diâmetro médio obtidos pelo método tradicional e com o uso do escaneamento laser terrestre (TLS). .....  | 19 |
| Tabela 2 - Resultados da raiz do quadrado do erro médio (RMSE), viés e média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com o processamento da nuvem de pontos completa.....   | 19 |
| Tabela 3 - Resultados referentes à raiz do quadrado do erro médio (RMSE), viés e média das diferenças absolutas (MDA), encontrados por meio da comparação do observado com o estimado pelo TLS, utilizando o <i>DAP</i> 1,30 m e o diâmetro médio, para cada linha com base na nuvem de pontos completa. ....                      | 21 |
| Tabela 4 - Resultados da raiz do quadrado do erro médio (RMSE), viés e média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com o processamento da nuvem de pontos de cada linha de plantio. ....  | 22 |
| Tabela 5 - Resultados referentes à raiz do quadrado do erro médio (RMSE), viés e média das diferenças absolutas (MDA), encontrados por meio da comparação dos métodos observados com o estimado pelo TLS, utilizando o <i>DAP</i> 1,30 m e o diâmetro médio, para cada linha com base na nuvem de pontos separada por linhas. .... | 24 |
| Tabela 6 - Resultados da raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ), viés e média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com o processamento da nuvem de pontos completa. ....  | 25 |
| Tabela 7 – Resultados referentes à raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ), viés e média das diferenças absolutas (MDA), encontrados por meio da comparação dos métodos estimados pelos hipsômetros Suunto e de Haga, com o obtido com o uso do TLS, para cada linha com base na nuvem de pontos completa. ....              | 27 |
| Tabela 8 - Resultados da raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ), viés e média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com o processamento da nuvem de pontos separada por linha de plantio. ....   | 27 |
| Tabela 9 - Resultados referentes à raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ), viés e média das diferenças absolutas (MDA), encontrados por meio da comparação dos métodos estimados pelos hipsômetros Suunto e de Haga, com o obtido com o uso do TLS, para cada linha com base na nuvem de pontos separada por linhas. ....   | 29 |

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Localização da Área experimental do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Jerônimo Monteiro – Espírito Santo. ....7
- Figura 2 - Representação da área experimental referente aos talhões presentes na área, sendo em vermelho o talhão de *Eucalyptus* sp. utilizado no experimento, e em verde as linhas (seis) e sentido de plantio das árvores. ....8
- Figura 3 - Suta utilizada para a medição do diâmetro a altura do peito (*DAP*) em campo. ....9
- Figura 4 - Equipamentos Hipsômetro de Haga (A) e Hipsômetro portátil Suunto PM5 – 1520D (B) utilizados na obtenção das alturas das árvores. ....9
- Figura 5 - Exemplificação de como foram realizadas as leituras para a estimativa das alturas das árvores com os hipsômetros. .... 10
- Figura 6 - Equipamento *laser scanner* ZEB Horizon utilizado na obtenção das informações deste estudo. .... 11
- Figura 7 – Trajetória realizada com o equipamento na área de estudo. .... 12
- Figura 8 - Esquema explicativo das etapas seguidas para o processamento dos dados obtidos do escaneamento laser terrestre (TLS) .... 13
- Figura 9 - Nuvem de pontos obtida pelo software *CloudCompare* referente às 71 árvores da parcela de estudo. .... 17
- Figura 10 - Nuvem de pontos da parcela de estudo e identificação das árvores após o processamento dos dados no *software R*. .... 18
- Figura 11 - Nuvem de pontos separadas por linhas referentes a parcela de estudo e identificação das árvores após o processamento dos dados no *software R*, em que A corresponde a linha 1, B - linha 2, C - linha 3, D - linha 4, E - linha 5 e, F - linha 6. .18
- Figura 12 – Ajuste da linha de tendência entre os *DAP* obtidos pelo método tradicional (observado) com aqueles obtidos com o uso do TLS (estimado) das 71 árvores da parcela de estudo, utilizando o valor do *DAP* a 1,30 m, referente a análise da nuvem de pontos completa. ....20
- Figura 13 - Ajuste da linha de tendência entre os diâmetros obtidos pelo método tradicional (observado) com aqueles obtidos com o uso do TLS (estimado) das 71

|  |    |
|--|----|
| árvores da parcela de estudo, utilizando os valores de diâmetro médio, referente a análise da nuvem de pontos completa. ....   | 21 |
| Figura 14 – Nuvem de pontos obtida pelo <i>software CloudCompare</i> representando o cupinzeiro presente em um indivíduo de <i>Eucalyptus</i> sp.....  | 22 |
| Figura 15 - Ajuste da linha de tendência entre os <i>DAP</i> obtidos pelo método tradicional (observado) com aqueles obtidos com o uso do TLS (estimado) das 71 árvores da parcela de estudo, utilizando os valores de diâmetro médio, referente a análise da nuvem de pontos separada por linha. .... | 23 |
| Figura 16 - Ajuste da linha de tendência entre os diâmetros obtidos pelo método tradicional (observado) com aqueles obtidos com o uso do TLS (estimado) das 71 árvores da parcela de estudo, utilizando os valores de diâmetro médio, referente a análise da nuvem de pontos separada por linhas. .... | 23 |
| Figura 17 - Ajuste da linha de tendência entre as alturas totais obtidas pelo Hipsômetro Suunto e de Haga das 71 árvores da parcela de estudo. ....  | 25 |
| Figura 18 - Ajuste da linha de tendência entre as alturas totais estimadas pelo método tradicional utilizando o Hipsômetro Suunto com aqueles obtidos com o uso do TLS, das 71 árvores da parcela de estudo. ....  | 26 |
| Figura 19 - Ajuste da linha de tendência entre as alturas totais estimadas pelo método tradicional utilizando o Hipsômetro de Haga com aqueles obtidos com o uso do TLS, das 71 árvores da parcela de estudo. ....   | 26 |
| Figura 20 - Ajuste da linha de tendência entre as alturas totais obtidas pelo método tradicional utilizando o Hipsômetro Suunto com aqueles obtidos com o uso do TLS das 71 árvores da parcela de estudo referente ao processamento de cada linha separada. ....                                       | 28 |
| Figura 21 - Ajuste da linha de tendência entre as alturas totais obtidas pelo método tradicional utilizando o Hipsômetro de Haga com aqueles obtidos com o uso do TLS das 71 árvores da parcela de estudo referente ao processamento de cada linha separada. ....                                      | 28 |
| Figura 22 – Exemplificação de situações como tortuosidade e indivíduos quebrados, que dificultaram o reconhecimento e aferição das medidas precisas das árvores da parcela de estudo, em que 2 corresponde a linha 2; 3 – linha 3 e 4 – linha 4.....   | 30 |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 O problema e sua importância

O Brasil é um dos maiores produtores de florestas plantadas do mundo, com mais da metade do seu território (55%) coberto por florestas (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2019). Segundo o levantamento realizado pelo IBGE em 2017, o país possui 9,85 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo que 75,2% são referentes às espécies de eucalipto e 20,6% de pinus (NITAHARA, 2018). Assim, com o intuito de alcançar as informações dos plantios comerciais, produtores rurais e empresas produtoras de florestas plantadas, realizam inventários durante todo o ciclo produtivo do povoamento, como análise de sobrevivência após 60 dias de plantio, crescimento (altura, diâmetro, volume e biomassa) das árvores e o inventário final.

O inventário florestal consiste em um conjunto de procedimentos adotados para a obtenção de informações sobre as características quantitativas e qualitativas da floresta, e o tipo a ser utilizado dependerá de diversos fatores, principalmente, relacionados às condições de campo (CARVALHO, 2018). Além disso, o inventário florestal tradicional necessita de um longo período de tempo na realização da coleta de dados, o custo é elevado e ocorrem diversos erros, tanto do operador, quanto relacionado aos equipamentos. Diante disso, novas tecnologias vêm sendo empregadas a fim de auxiliar na execução de inventários florestais, como aplicativos, técnicas de inteligência artificial e processamento de imagens obtidas por fotografias ou por escaneamento laser (sensores LiDAR) (MORAES, 2020).

A aerofotogrametria está no auge das pesquisas com o uso de drones para acompanhamento de safras (plantio até a colheita), estimativa de produção, detecção de focos de incêndios, monitoramento em áreas degradadas, unidades de conservação, nascentes, dentre outros (CHAVES et al, 2015). Entretanto, seu fator limitante, se tratando de inventário, é a dificuldade de se obter resultados significativos em locais com constante presença de nuvens, devido ao sol ser a fonte principal de luz e; em florestas com copas densas, uma vez que fotografar o solo do terreno é um problema (GIONGO et al, 2010). Além do mais, exige um longo tempo de processamento e alta capacidade computacional, em razão da elevada base de dados gerada, devido a necessidade de coleta de dados com alta redundância (HENTZ, 2018).

Diante ao exposto, a tecnologia LiDAR (da sigla inglesa *Light Detection And Ranging*) mostra-se promissora na obtenção de informações acerca da estrutura da vegetação de forma acurada. Essa técnica utiliza sensores laser para gerar nuvens de pontos de superfícies e objetos escaneados, por meio de um dispositivo de geração ou amplificação de radiação eletromagnética na faixa de ultravioleta a infravermelho, podendo ser utilizada sob plataformas aéreas (ALS – *Airborne Laser Scanning*), terrestres (TLS - *Terrestrial Laser Scanning*), ou orbitais (OLS – *Orbital Laser Scanning*) (PETEAN, 2015). Com essa tecnologia, é possível obter informações da estrutura da vegetação mesmo em locais com a presença de nuvens, e em florestas de copas densas, pela capacidade dos sensores em conseguirem penetrar o extrato arbóreo (GIONGO et al, 2010), além de ser possível coletar todas as informações sem que haja a derrubada do indivíduo arbóreo, tornando assim, o método rápido e preciso (VIANA, 2019).

Atualmente, as pesquisas no ramo de inventário e mensuração florestal estão avançando para a utilização da tecnologia LiDAR empregando a varredura laser terrestre, por ser possível coletar dados com maior rapidez e riqueza de detalhes, obtendo o formato tridimensional do indivíduo arbóreo com elevada resolução espacial (IGLHAUT et al., 2019; LIU et al., 2018; MOKROŠ et al., 2018; PIERMATTEI et al., 2019). Além do mais, a operação do equipamento é simples e flexível, pois basta um operador para posicionar e operar o sistema, diferentemente do laser aerotransportado, que necessita de um veículo aéreo tripulado (avião) ou não tripulado (drones), tornando o sistema mais complexo e de custo elevado.

Nesse sentido, diante da problemática envolvendo o tempo da coleta de informações em campo, a complexidade do processamento de dados e o custo elevado, o presente trabalho propõe a utilização do escaneamento laser terrestre para medir diâmetro e altura de árvores, por ser um método rápido de se executar e factível de se processar.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Verificar se o uso de sensor laser terrestre é viável, em termos de acurácia e exequibilidade, no levantamento de informações dendrométricas de árvores.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Comparar as diferentes nuvens de pontos geradas pelo escaneamento laser terrestre;
- Confrontar os métodos tradicionais de se medir diâmetro e altura total de árvores de *Eucalyptus* sp. com o sensor laser terrestre.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Inventário Florestal

O inventário florestal é definido, segundo Husch et al. (2003) citado por Soares, Neto e Souza (2017), como um conjunto de procedimentos para obter informações sobre quantidades e qualidades dos recursos florestais, e de muitas características das áreas sobre as quais as árvores estão crescendo. Se torna uma atividade importante por fornecer aos seus gestores informações básicas para o planejamento de atividades de conservação e manejo da vegetação do local (VIBRANS; GASPER; MÜLLER, 2012).

O tipo de inventário florestal a ser utilizado podem variar quanto: (i) aos objetivos, cunho tático ou estratégico; (ii) à abrangência, sendo nacional, regional ou de área restrita; (iii) à obtenção dos dados, enumeração total (censo) ou amostragem; (iv) à abordagem da população no tempo, de uma ocasião (temporários) ou ocasiões múltiplas (contínuo); e (v) quanto ao detalhamento dos resultados, podendo ser exploratório, de reconhecimento ou de semi detalhe (HENTZ, 2018). Do mesmo modo que há diversificação quanto a sua tipologia, as variáveis estudadas também podem variar dependendo do objetivo. Praticamente em todos os inventários florestais são realizados a contagem dos indivíduos de uma determinada área e o levantamento de informações dendrométricas básicas, como o diâmetro a altura do peito (*DAP*) e a altura das árvores (SOARES; NETO; SOUZA, 2003).

O *DAP* é considerado a variável mais importante em um inventário florestal, sendo obtido por meio da suta, fita métrica ou medidores óticos, a uma altura padrão de 1,30 m do nível do solo. A altura se dá por hipsômetros baseados em princípios geométricos, fundamentado em relação entre triângulos; e trigonométricos, que se baseia em ângulos e distâncias (HENTZ, 2018). Além disso, a altura apresenta diferentes classificações, como: altura total, dada como a distância entre a base e o topo da árvore; altura comercial, definida a partir da parte do fuste sem deformação até o diâmetro comercial; altura do fuste, distância entre a base até o início da copa; e altura da copa, compreendida entre o início (base) da copa e o topo da árvore (VALERI; PAULA, 2018).

A partir dessas informações é possível determinar outras, como: a área basal, parâmetro crucial para determinação de densidade do povoamento, e o volume, fornecendo subsídios para a avaliação do estoque de madeira e do potencial produtivo das florestas (CUNHA, 2004; COLPINI et al., 2009). Entretanto, a determinação dessas variáveis dendrométricas demandam de um longo período de tempo, exigem muito trabalho e em determinadas situações, podem ser necessários o auxílio de uma equipe treinada.

## 2.2 Escaneamento Laser Terrestre

Os equipamentos de varredura laser terrestre (TLS - *Terrestrial Laser Scanning*) utilizam a tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*) para gerar modelos tridimensionais de objetos e superfícies escaneadas (MEGA; KUPLICH, 2019). Esse instrumento:

“é composto basicamente por emissor laser acoplado a dois eixos, vertical e horizontal, em que feixes ópticos é refletido por espelhos que realizam movimento rotatório de alta velocidade em torno do eixo horizontal, distribuindo tais feixes em abertura angular de, geralmente, 170°. Tal movimento realiza a varredura no sentido vertical. Ao mesmo tempo o equipamento faz movimento circular giratório (em torno do eixo vertical) em baixa velocidade, e a varredura é realizada em abertura total, de 360°”. (ALMEIDA, 2017, P. 15).

O TLS possui uma fonte própria de energia, a luz (laser), a qual emite radiação eletromagnética em ondas curtas com uma elevada frequência de repetição que ao tocar um determinado objeto ou superfície, retorna para a plataforma em que foi emitido, sendo possível obter a estimativa de distâncias e ângulos (SILVA et al, 2016). As distâncias e ângulos são então armazenadas como coordenadas (x, y, z) para criar uma nuvem de pontos, representando com precisão os contornos de elementos existentes dentro do perímetro de alcance do equipamento (FORLIDAR, 2020). Além disso, também é possível gerar modelos digitais como, o Modelo digital de Terreno (MDT) representando a variação do relevo em uma região da superfície da terra e o Modelo Digital de Superfície (MDS) que detalha os objetos acima da superfície do terreno (GIONGO et al, 2010).



No setor florestal, a tecnologia LiDAR é muito utilizada de forma aérea (ALS – *Airborne Laser Scanning*), em que sensores laser são acoplados e aerotransportados por drones de alta tecnologia ou em veículos aéreos tripulados, mas são extremamente caros. Entretanto, sensores laser terrestre vem sendo muito utilizados na obtenção de estimativas de medidas diretas da vegetação, como altura do dossel, índice de área foliar, número, volume e diâmetros de indivíduos, devido sua eficiência, flexibilidade, segurança e ergonomia.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Área Experimental, do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro – Espírito Santo (Figura 1), nas coordenadas de longitude  $20^{\circ}47'44.57''$  S e latitude  $41^{\circ}24'19.72''$  O. O clima da região é classificado de acordo com Köppen como “Cwa”, ou seja, tropical quente úmido em que a temperatura média é de  $23,1^{\circ}\text{C}$  e a precipitação média anual de 1.341 milímetros (SILVA et al., 2011).

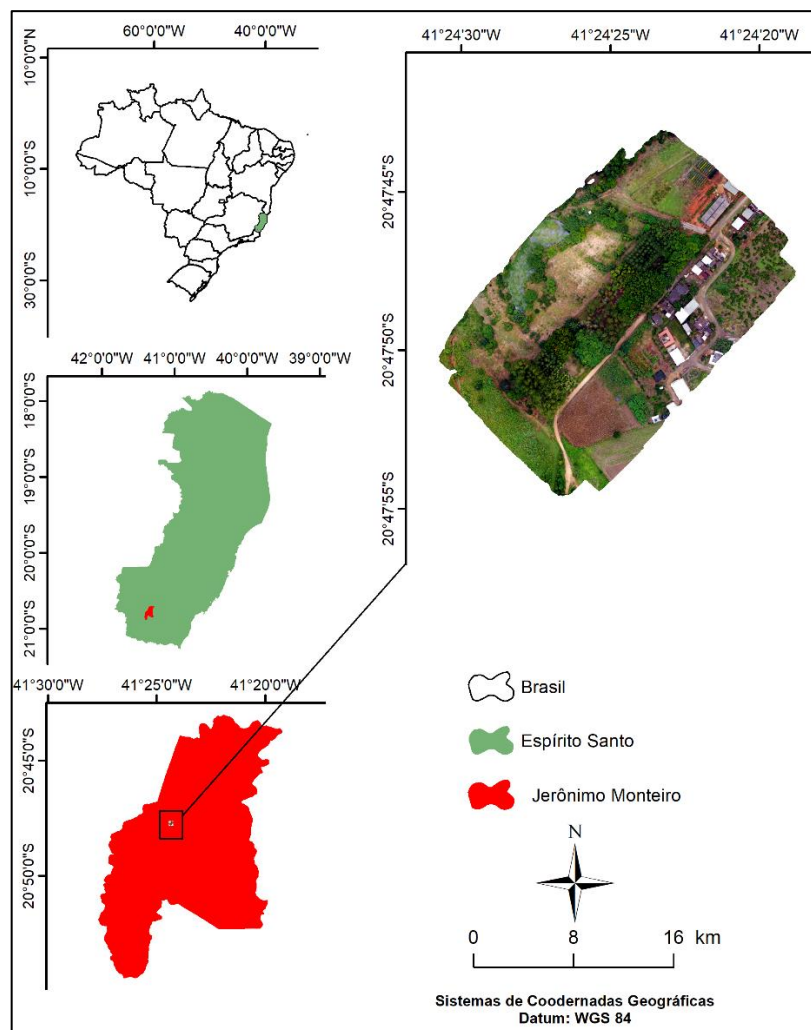


Figura 1 - Localização da Área experimental do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Jerônimo Monteiro – Espírito Santo. Fonte: Autora (2021).

A área experimental utilizada neste estudo possui 16 talhões demonstrativos (Figura 3) de povoamentos de diversas espécies florestais plantadas a partir de 2010 em espaçamento 3x2 metros, tais como, *Swietenia macrophylla* King, *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, *Hymenaea* sp., *Tectona grandis* Linn. F., *Cedrela fissilis* Vellozo, *Toona ciliata* M. Roem., *Khaya* spp., *Lecythis pisonis* Cambess., *Pterodon emarginatus* Vogel., *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze, *Pinus caribaea* Morelet, *Caesalpinia echinata* Lam., *Machaerium scleroxylon* Tul., eucalipto clonal e eucalipto seminal (NUPEMASE, 2019).

Para este estudo, utilizou-se um talhão contendo a espécie *Eucalyptus* sp. seminal com parcela de, aproximadamente 417 m<sup>2</sup> (forma irregular), contendo 71 indivíduos.

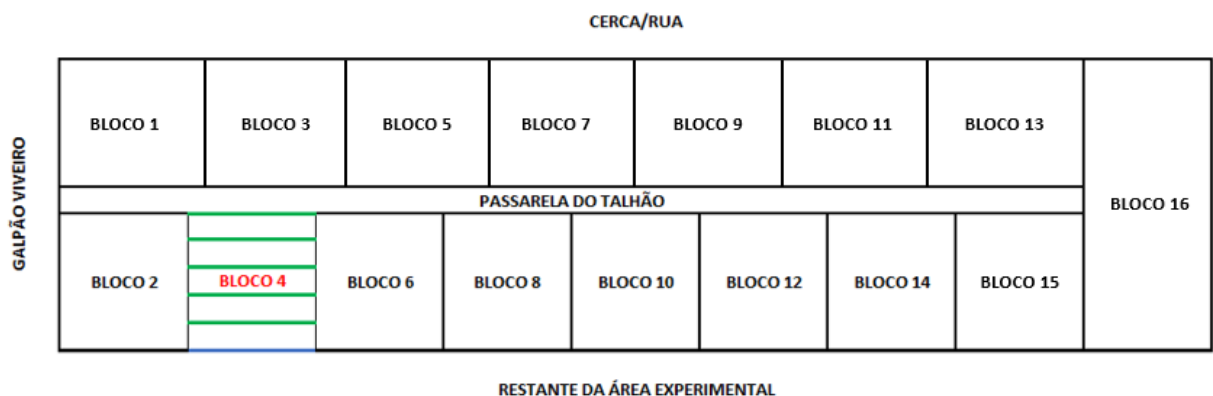


Figura 2 - Representação da área experimental referente aos talhões presentes na área, sendo em vermelho o talhão de *Eucalyptus* sp. utilizado no experimento, e em verde as linhas (seis) e sentido de plantio das árvores.

Fonte: Autora (2021).

### 3.2 Coleta de dados

Para este estudo, realizou-se o inventário das árvores de *Eucalyptus* sp. de duas maneiras: pelo método tradicional e utilizando a tecnologia de escaneamento laser terrestre (TLS). Em ambos os métodos realizou-se a contagem dos indivíduos e as medições dendrométricas: diâmetro a altura do peito (*DAP*) e altura total (*H*) das árvores.

### 3.2.1 Inventário utilizando o método tradicional

Para a obtenção dos diâmetros, utilizou-se a suta e um gabarito contendo 1,30 metros, para que o diâmetro à altura do peito (*DAP*) fosse medido em todos os indivíduos igualmente (Figura 4).

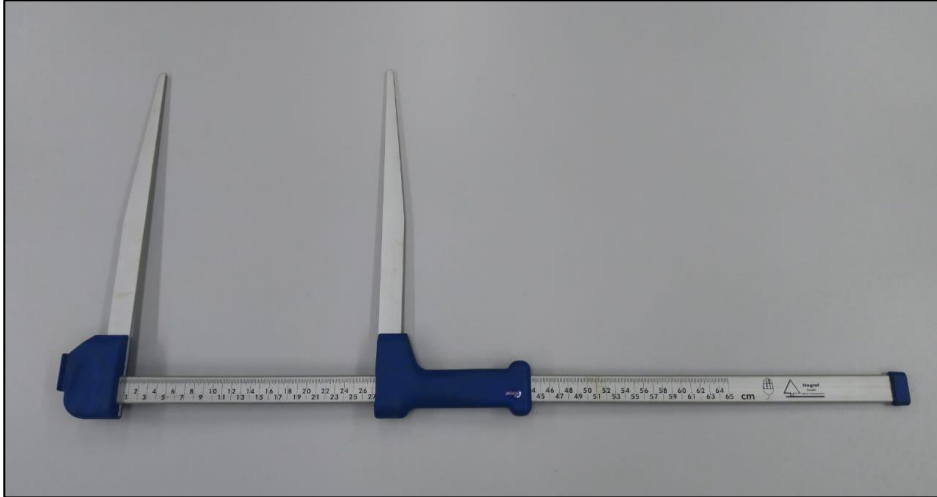


Figura 3 - Suta utilizada para a medição do diâmetro a altura do peito (*DAP*) em campo.  
Fonte: Autora (2021).

E para a medição da altura total das árvores, foram utilizados dois tipos de equipamentos, o Hipsômetro portátil Suunto PM5 – 1520D e o Hipsômetro de Haga (Figura 5).



Figura 4 - Equipamentos Hipsômetro de Haga (A) e Hipsômetro portátil Suunto PM5 – 1520D (B) utilizados na obtenção das alturas das árvores.

Fonte: Autora (2021).

Esses equipamentos possuem basicamente os mesmos princípios, sendo necessário conhecer a distância entre o observador e a árvore para que as leituras no instrumento, uma na base da árvore e outra no topo (Figura 6), sejam feitas corretamente, além de ser necessário considerar a topografia do terreno (SOARES; NETO; SOUZA, 2017).

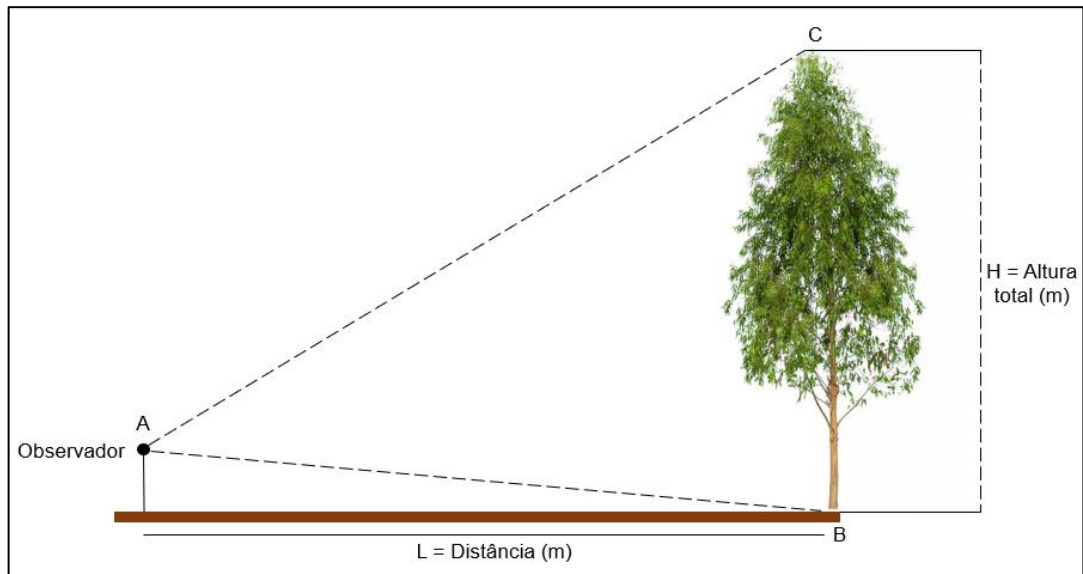


Figura 5 - Exemplificação de como foram realizadas as leituras para a estimação das alturas das árvores com os hipsômetros.

Fonte: Autora (2021).

O ideal seria, para efeito de comparação com as medidas de altura obtidas pelo escaneamento laser terrestre, utilizar uma medida de altura obtida de forma direta, como por exemplo, a escalada da árvore realizando-se a medida com uma trena. Ocorre que obter medidas diretas de altura em árvores em pé, especialmente em eucaliptos com idades superiores a cinco anos, em que as árvores alcançam facilmente altura superior a 20 metros, é uma tarefa onerosa e arriscada. Em função das limitações de recursos financeiros e de tempo, optou-se por medir as alturas por um método indireto, utilizando hipsômetros baseados em princípios trigonométricos. Considerando a pouca experiência do mensurador na obtenção de medidas de altura com este tipo de aparelho, optou-se por utilizar dois aparelhos diferentes (Suunto e Haga) no sentido de se buscar uma maior garantia em relação as medidas obtidas. Essa maior garantia significa que a semelhança entre as alturas obtidas pelos dois hipsômetros, indicam uma maior confiabilidade das mesmas.

### 3.2.2 Inventário utilizando a tecnologia de escaneamento laser terrestre (TLS)

#### 3.2.2.1 Aquisição dos dados

Realizou-se o inventário de todas as árvores de *Eucalyptus* sp., utilizando o equipamento *laser scanner* ZEB Horizon, modelo GS\_510254. Este é portátil (Figura 6), com registro automático das varreduras, taxa de medição de 300 mil pontos por segundo, precisão de um a três centímetros e alcance de 100 metros (CPE TECNOLOGIA, 2021).



Figura 6 - Equipamento *laser scanner* ZEB Horizon utilizado na obtenção das informações deste estudo. Fonte: Autora (2021).

O equipamento foi ligado em uma superfície plana (chão) e o caminhamento foi em “*loop* fechado”, ou seja, o escaneamento foi iniciado e finalizado no mesmo ponto. Além disso, a trajetória na parcela de *Eucalyptus* sp. foi realizada formando vários círculos (Figura 7).

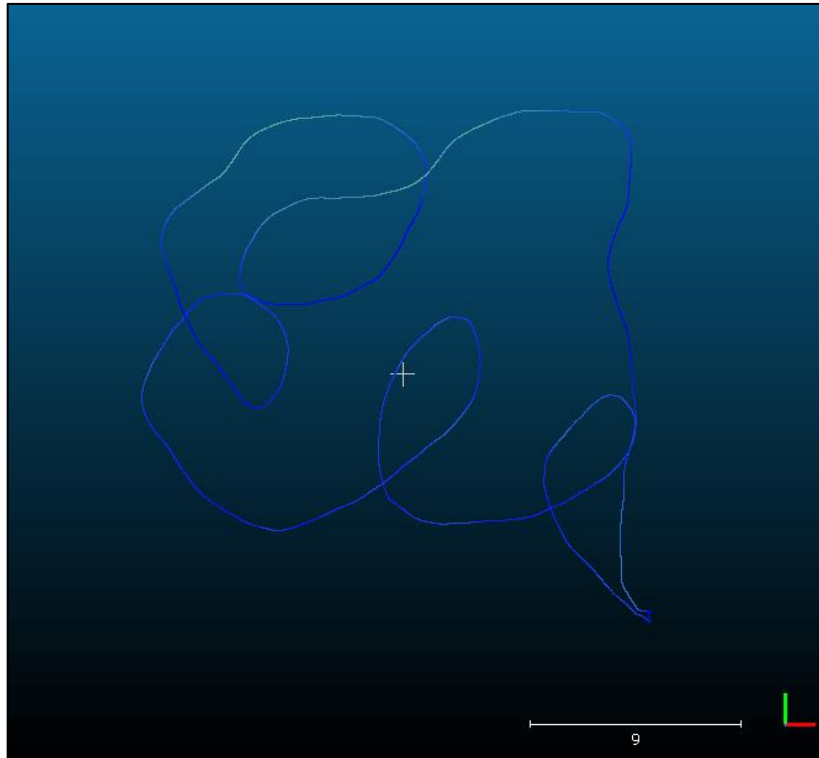


Figura 7 – Trajetória realizada com o equipamento na área de estudo.

Fonte: Autora (2021).

### 3.2.2.2 Processamento dos dados

Primeiramente, os dados coletados em campo foram transferidos a um computador e extraídos no *software* GeoSlam Hub, gerando uma nuvem de pontos referente à toda a área caminhada.

Posteriormente, a filtragem e modelagem dos indivíduos arbóreos foram executadas utilizando duas metodologias, com o auxílio do *software* CloudCompare versão 2.6.1. Na primeira, com o intuito de obter somente a nuvem de pontos referente as árvores de estudo, ou seja, com os 71 indivíduos de *Eucalyptus* sp., realizou-se o corte da nuvem de pontos de toda a área caminhada e a “limpeza” manual, para que indivíduos indesejados não prejudicassem o processamento dos dados. E na segunda metodologia, a nuvem de pontos obtida anteriormente foi segmentada em seis novas nuvens de pontos, correspondendo as linhas de plantio, com o intuito de tornar mais preciso e melhorar a visualização e identificação dos indivíduos.

Em seguida, no *software* R, utilizou-se o pacote *TreeLS* (CONTO; HAMAMURA, 2019), que possui diversos recursos para processamento de nuvem de pontos 3D de ambientes florestais, para adquirir as informações dendrométricas das

duas metodologias, ou seja, das nuvens de pontos completa e de cada linha de plantio. A maioria dos algoritmos utilizados neste *software* é escrita em C++ e envolvida em funções R (*Rcpp*). O *TreeLS* é construído em cima de lidR (LAS), usando sua infraestrutura internamente para a maioria dos métodos.

Nesta etapa, para a variável DAP foram realizados dois processamentos: (i) utilizando uma programação para que as medidas de DAP fossem aferidas a uma altura de 1,30 m do nível do solo, e (ii) empregando uma programação para a aquisição das medidas de diâmetro nas alturas de 1,20; 1,25; 1,30; 1,35 e 1,40 m do nível do solo. O diâmetro utilizado como o principal para as demais análises foi o valor obtido pela média das cinco medidas obtidas com processamento da nuvem de pontos.

Na Figura 8, encontra-se um esquema explicando com mais clareza todas as etapas do processamento descrito acima.

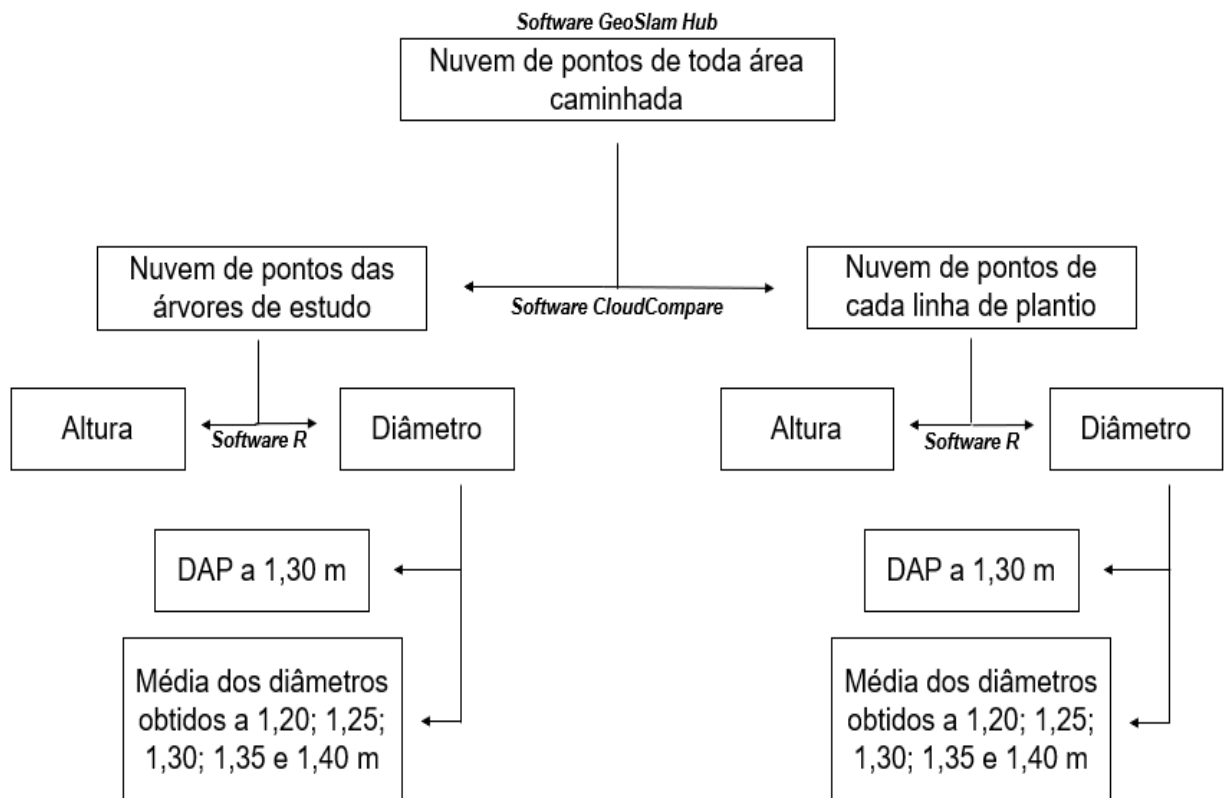


Figura 8 - Esquema explicativo das etapas seguidas para o processamento dos dados obtidos do escaneamento laser terrestre (TLS)

Fonte: Autora (2021).



### 3.3 Análise dos dados

Com o intuito de comparar as medidas obtidas por meio das duas metodologias consideradas para estimar o *DAP* e a altura total, isto é, método tradicional que utiliza a suta e o hipsômetro, respectivamente, foram calculadas as estatísticas a seguir:

a) Variável *DAP*:

Considerando que a suta é um método direto de obtenção de medidas de diâmetro, os valores obtidos por este são considerados os verdadeiros ( $Y$ ) e os obtidos pelo TLS, os estimados ( $\hat{Y}$ ).

- Raiz do quadrado do erro médio (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE (\%) = \frac{RMSE}{\bar{Y}} 100 \quad (2)$$

- Viés:

$$V = \frac{\sum_i^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (3)$$

$$V (\%) = \frac{V}{\bar{Y}} 100 \quad (4)$$

- Média das diferenças absolutas (MDA):

$$MDA = \frac{\sum_i^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (5)$$

$$MDA (\%) = \frac{MDA}{\bar{Y}} 100 \quad (6)$$

Em que:

$RMSE$  = Raiz do quadrado do erro médio (cm);

$V$  = Viés (cm);

$MDA$  = Média das diferenças absolutas (cm);

$Y$  = Valor observado em campo (cm);

$\hat{Y}$  = Valor estimado pelo TLS (cm);

$n$  = Quantidade de indivíduos.

b) Variável altura total:

Considerando que os hipsômetros Suunto e de Haga e o TLS são equipamentos baseados em métodos indiretos de obtenção de medidas de altura, não há a possibilidade de se comparar as estimativas obtidas por esses métodos com um valor de referência (valor verdadeiro), como aconteceu no caso do diâmetro. Por outro lado, é interessante verificar a hipótese de que os métodos a serem comparados apresentam estimativas semelhantes. Assim, para realizar essa comparação, arbitrou-se que a altura obtida pelo TLS é o valor de referência, aqui denominada de  $H_L$  e a obtida pelos hipsômetros, denominada  $H_H$ , a altura a ser comparada com a obtida pelo TLS.

Importante ressaltar que no caso do diâmetro ao se assumir que o valor da suta pode ser considerado o verdadeiro valor, empregou-se então o conceito de erro, isto é, a diferença entre os valores observados e estimados ( $RMSE$ ). No caso da altura, por não haver um valor de referência para se estimar o erro cometido no processo de medição, optou-se por substituir a expressão do erro pela diferença, isto é, ao invés de se calcular o  $RMSE$ , calculou-se o  $RMDQ$ , definido tal como se segue:

- Raiz das diferenças médias ao quadrado ( $RMDQ$ ):

$$RMDQ = \sqrt{\frac{\sum_i^n (H_L - H_H)^2}{n}} \quad (7)$$

$$RMDQ (\%) = \frac{RMDQ}{H_L} 100 \quad (8)$$

- Viés:

$$V = \frac{\sum_i^n (H_L - H_H)^2}{n} \quad (9)$$

$$V (\%) = \frac{V}{\bar{H}_L} 100 \quad (10)$$

- Média das diferenças absolutas (MDA):

$$MDA = \sqrt{\frac{\sum_i^n (H_L - H_H)^2}{n}} \quad (11)$$

$$MDA (\%) = \frac{MDA}{\bar{H}_L} 100 \quad (12)$$

Em que:

$RMDQ$  = Raiz das diferenças médias ao quadrado (m);

$V$  = Viés (m);

$MDA$  = Média das diferenças absolutas (m);

$H_L$  = Valor observado por meio do TLS (m);

$H_H$  = Valor estimado com os hipsômetros Suunto e de Haga (m);

$n$  = Quantidade de indivíduos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área amostrada foram contabilizados 71 indivíduos, os quais foram 100% indentificados na nuvem de pontos obtida pelo escaneamento laser terrestre (Figura 9).

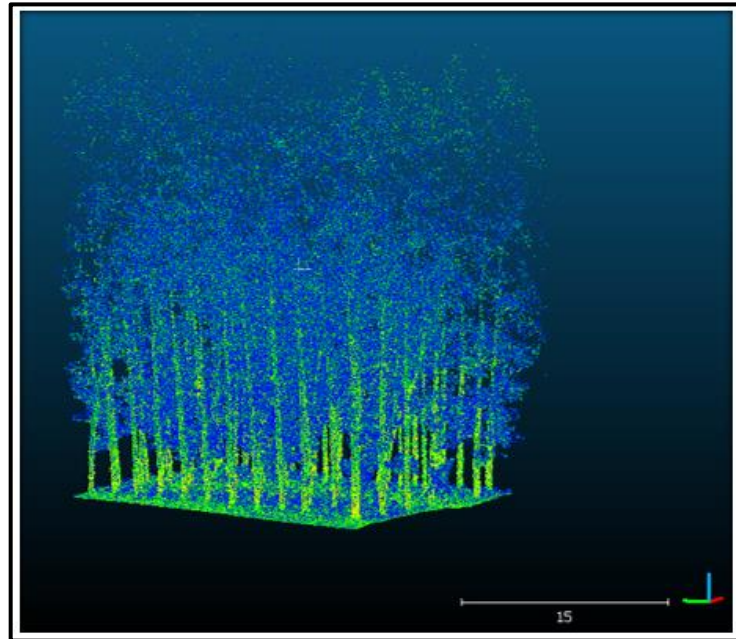


Figura 9 - Nuvem de pontos obtida pelo software *CloudCompare* referente às 71 árvores da parcela de estudo.

Fonte: Autora (2021).

Com o processamento da nuvem de pontos completa (Figura 10) e da nuvem de pontos de cada linha separada (Figura 11), no *software R*, ambas referente às 71 árvores da parcela de estudo, pode-se observar que todos os indivíduos também foram identificados e enumerados aleatoriamente de acordo com o algoritmo do sistema (lidR - LAS). Além disso, devido ao escaneamento ter gerado uma nuvem de pontos de alta qualidade foi possível comparar e identificar os indivíduos na mesma sequência que é encontrada em campo.

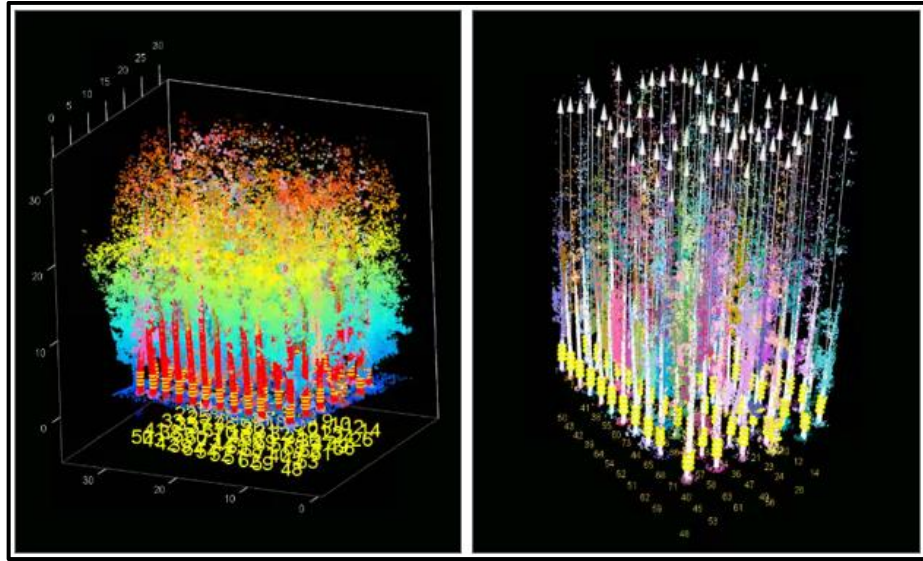


Figura 10 - Nuvem de pontos da parcela de estudo e identificação das árvores após o processamento dos dados no *software R*.

Fonte: Autora (2021).

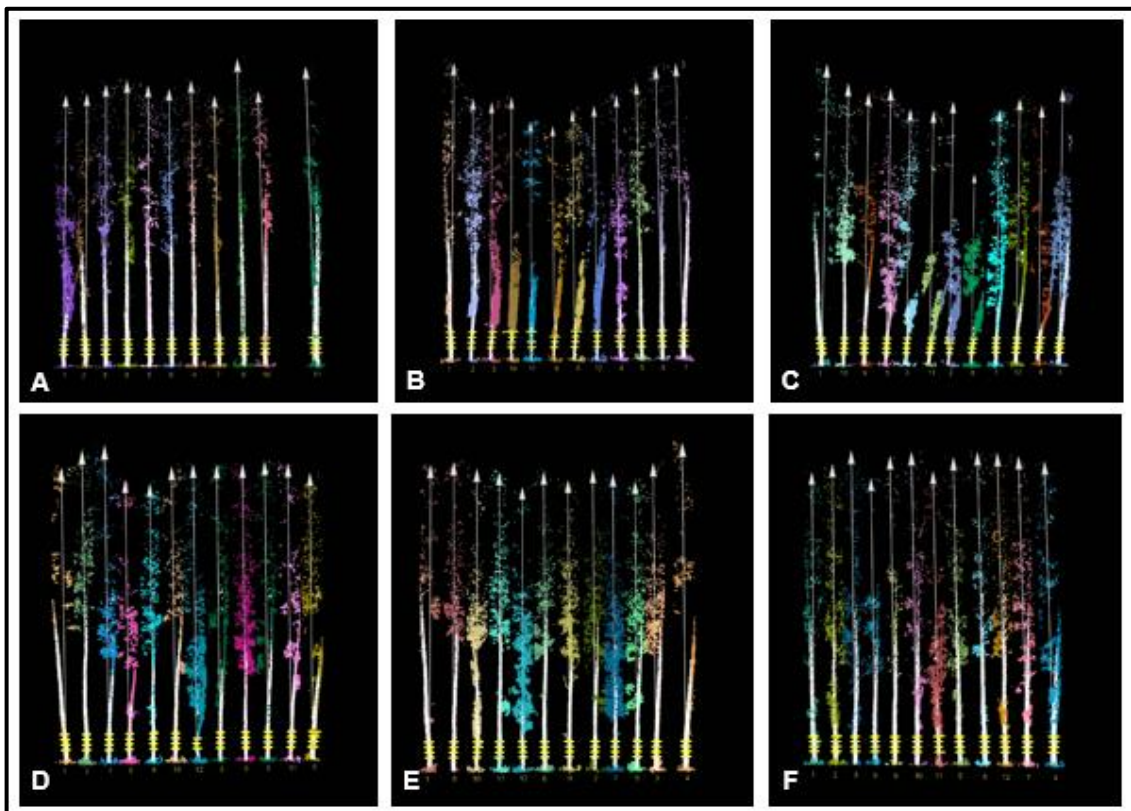


Figura 11 - Nuvem de pontos separadas por linhas referentes a parcela de estudo e identificação das árvores após o processamento dos dados no *software R*, em que A corresponde a linha 1, B - linha 2, C - linha 3, D - linha 4, E - linha 5 e, F - linha 6.

Fonte: Autora (2021).

Na nuvem de pontos da linha 1, é possível observar uma falha, sendo o mesmo encontrado em campo. Isto pode ter ocorrido devido ao erro do espaçamento na época do plantio ou pela morte do indivíduo.

#### 4.1 Comparação dos métodos na medição do *DAP*

Os valores médios da variável *DAP* obtidos pelo método tradicional e com uso do TLS, foram próximos nos dois tipos de processamentos, ou seja, com a medição do *DAP* em 1,30 m do nível do solo, e utilizando os valores de diâmetro médio. O valor médio de *DAP* obtido pelo método tradicional foi de 26,18 cm e os estimados com o TLS se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados de *DAP* e diâmetro médio obtidos pelo método tradicional e com o uso do escaneamento laser terrestre (TLS).

| MÉTODO                | <i>DAP</i> MÉDIO (cm) |                          |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
|                       | Nuvem completa        | Nuvem separada por linha |
| TLS – <i>DAP</i> 1,30 | 25,58                 | 24,93                    |
| TLS – Diâmetro médio  | 25,56                 | 25,08                    |

Fonte: Autora (2021).

##### 4.1.1 Nuvem de pontos completa

Na Tabela 2, está os valores da raiz do quadrado do erro médio (RMSE), viés e da média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com base na análise da nuvem de pontos completa, relativa aos 71 indivíduos.

Tabela 2 - Resultados da raiz do quadrado do erro médio (RMSE), viés e média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com o processamento da nuvem de pontos completa.

| MÉTODO                | RMSE % | VIÉS % | MDA % |
|-----------------------|--------|--------|-------|
| TLS – <i>DAP</i> 1,30 | 13,64  | 2,27   | 0,22  |
| TLS – Diâmetro médio  | 13,30  | 2,37   | 0,13  |

Fonte: Autora (2021).

Considerando a espécie *Eucalyptus* sp. em plantio, os valores de RMSE encontrados neste trabalho são superiores aos encontrados por ALMEIDA (2017), que obteve REQM de 7,1%. Essa diferença pode ser explicada devido a presença de dois indivíduos (árvores com presença de cupim) com grande discrepância entre os métodos, fazendo com que o RMSE geral se elevasse.

Nas Figuras 12 e 13, é possível observar o relacionamento de proximidade entre os diâmetros medidos utilizando a suta e com uso do TLS, a presença de *outliers* e a tendência de superestimação do método estimado (TLS). Vale salientar que os indivíduos relatados anteriormente foram excluídos para a construção dos gráficos de resíduos, com o intuito de melhorar a visualização dos mesmos.

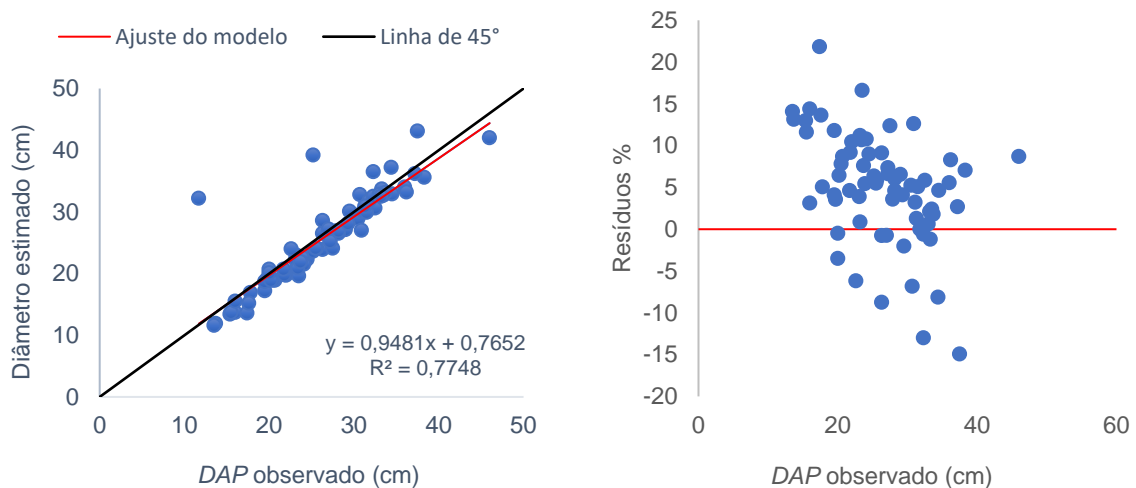


Figura 12 – Ajuste da linha de tendência entre os *DAP* obtidos pelo método tradicional (observado) com aqueles obtidos com o uso do TLS (estimado) das 71 árvores da parcela de estudo, utilizando o valor do *DAP* a 1,30 m, referente a análise da nuvem de pontos completa.

Fonte: Autora (2021).

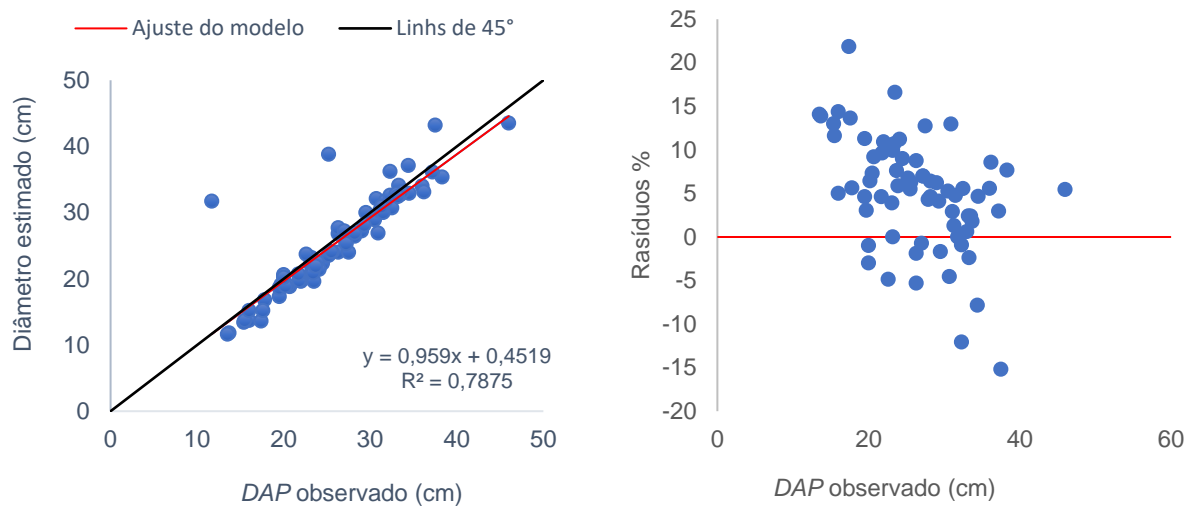


Figura 13 - Ajuste da linha de tendência entre os diâmetros obtidos pelo método tradicional (observado) com aqueles obtidos com o uso do TLS (estimado) das 71 árvores da parcela de estudo, utilizando os valores de diâmetro médio, referente a análise da nuvem de pontos completa.

Fonte: Autora (2021).

Ainda com base na nuvem de pontos completa da área de estudo, devido a presença de indivíduos que apresentaram discrepância entre os valores observados em campo com os estimados pelo TLS, analisou-se cada linha separadamente, em ambos os processamentos (*DAP* 1,30 m e utilizando o diâmetro médio) com o intuito de obter o viés, RMSE e MDA mais representativo de cada linha e apresentar as que contribuem com o aumento da média geral (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados referentes à raiz do quadrado do erro médio (RMSE), viés e média das diferenças absolutas (MDA), encontrados por meio da comparação do observado com o estimado pelo TLS, utilizando o *DAP* 1,30 m e o diâmetro médio, para cada linha com base na nuvem de pontos completa.

| LINHA | DAP 1,30 m |        |       | DIÂMETRO MÉDIO |        |       |
|-------|------------|--------|-------|----------------|--------|-------|
|       | RMSE %     | VIÉS % | MDA % | RMSE %         | VIÉS % | MDA % |
| 1     | 1,83       | 3,49   | 1,22  | 1,49           | 3,22   | 0,76  |
| 2     | 9,05       | -1,86  | 0,84  | 8,85           | -1,60  | 0,84  |
| 3     | 2,79       | 9,05   | 0,72  | 2,74           | 8,86   | 0,68  |
| 4     | 2,09       | 6,35   | 1,05  | 2,19           | 6,73   | 1,08  |
| 5     | 4,98       | 0,41   | 0,85  | 4,88           | 0,67   | 0,93  |
| 6     | 1,09       | 1,02   | 0,26  | 1,08           | 1,09   | 0,29  |

Fonte: Autora (2021).



Diante dos valores apresentados, é possível observar que as linhas dois e cinco são as que possuem as maiores diferenças entre os métodos (tradicional e TLS), ou seja, são nessas linhas que estão situados os indivíduos discrepantes, em que a diferença entre os valores obtidos pelos métodos tradicional e com uso do TLS, variou de 13,6 cm a 20,5 cm, nos dois tipos de processamento (*DAP* 1,30 m e diâmetro médio). Essa diferença pode ser explicada devido a presença de um cupinzeiro no fuste dessas árvores, atrapalhando a aferição precisa do diâmetro estimado (Figura 14).

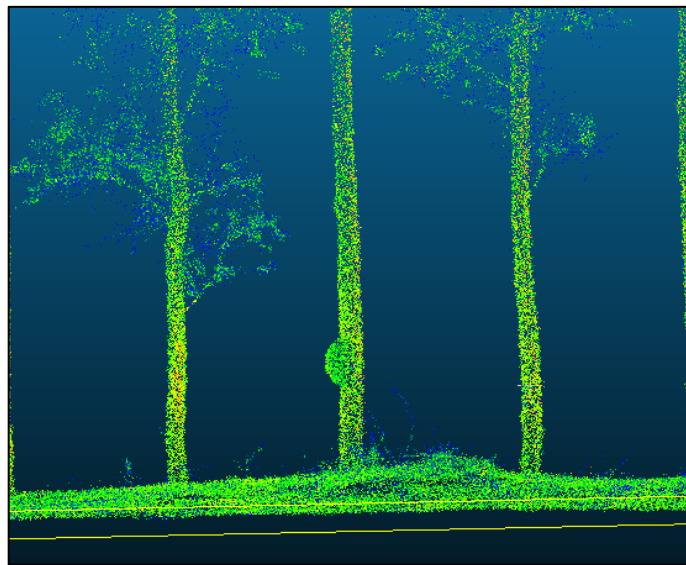


Figura 14 – Nuvem de pontos obtida pelo *software CloudCompare* representando o cupinzeiro presente em um indivíduo de *Eucalyptus* sp.

Fonte: Autora (2021).

#### 4.1.2 Nuvem de pontos separada por linhas

Na Tabela 4, está apresentado os valores de raiz do quadrado do erro médio (RMSE), viés e da média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com base na análise da nuvem de pontos de cada linha de plantio.

Tabela 4 - Resultados da raiz do quadrado do erro médio (RMSE), viés e média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com o processamento da nuvem de pontos de cada linha de plantio.

| MÉTODO                | RMSE % | VIÉS % | MDA % |
|-----------------------|--------|--------|-------|
| TLS – <i>DAP</i> 1,30 | 8,19   | 4,75   | 0,25  |
| TLS – Diâmetro médio  | 7,91   | 4,20   | 0,26  |

Fonte: Autora (2021).

Nas Figuras 15 e 16, é possível observar o relacionamento de proximidade entre os diâmetros medidos utilizando a suta e com uso do TLS, a presença de *outliers* e a tendência de superestimação do método estimado (TLS).

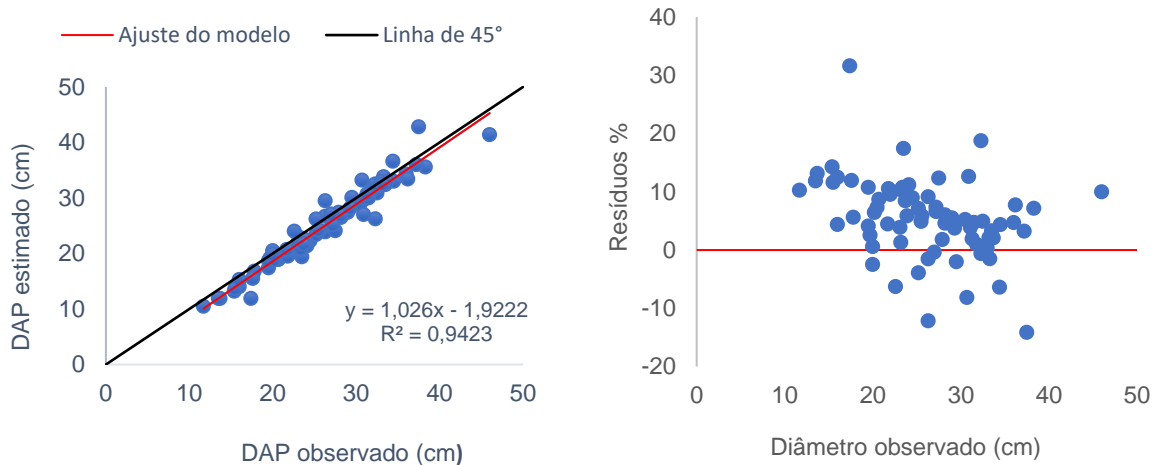


Figura 15 - Ajuste da linha de tendência entre os *DAP* obtidos pelo método tradicional (observado) com aqueles obtidos com o uso do TLS (estimado) das 71 árvores da parcela de estudo, utilizando os valores de diâmetro médio, referente a análise da nuvem de pontos separada por linha.

Fonte: Autora (2021).

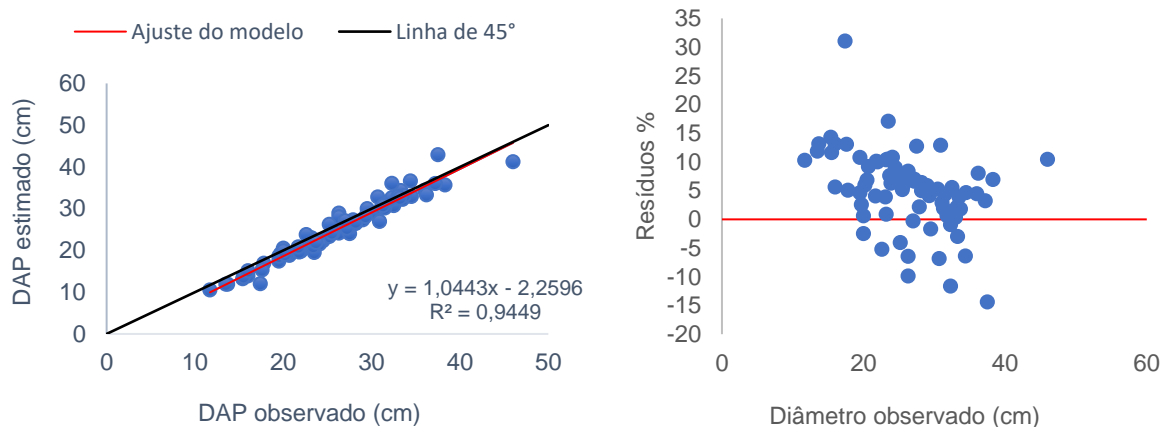


Figura 16 - Ajuste da linha de tendência entre os diâmetros obtidos pelo método tradicional (observado) com aqueles obtidos com o uso do TLS (estimado) das 71 árvores da parcela de estudo, utilizando os valores de diâmetro médio, referente a análise da nuvem de pontos separada por linhas.

Fonte: Autora (2021).

Na Tabela 5 estão as análises de cada linha em ambos os processamentos (*DAP* 1,30 m e utilizando diâmetro médio).

Tabela 5 - Resultados referentes à raiz do quadrado do erro médio (RMSE), viés e média das diferenças absolutas (MDA), encontrados por meio da comparação dos métodos observados com o estimado pelo TLS, utilizando o DAP 1,30 m e o diâmetro médio, para cada linha com base na nuvem de pontos separada por linhas.

| LINHA | DAP 1,30 m |        |       | DIÂMETRO MÉDIO |        |       |
|-------|------------|--------|-------|----------------|--------|-------|
|       | RMSE %     | VIÉS % | MDA % | RMSE %         | VIÉS % | MDA % |
| 1     | 2,06       | 3,28   | 1,40  | 2,09           | 3,16   | 4,16  |
| 2     | 3,12       | 7,90   | 0,72  | 3,06           | 7,73   | 0,68  |
| 3     | 2,64       | 8,52   | 0,61  | 2,70           | 8,67   | 0,68  |
| 4     | 2,12       | 6,53   | 0,98  | 2,15           | 6,70   | 1,01  |
| 5     | 2,32       | 4,61   | 0,87  | 2,28           | 4,59   | 0,84  |
| 6     | 1,02       | 1,28   | 0,31  | 1,01           | 1,25   | 0,31  |

Fonte: Autora (2021).

Diante dos valores apresentados na Tabela 5, é possível observar que, diferentemente da análise da nuvem de pontos completa, não observou-se grandes discrepâncias para o RMSE, entre as linhas em ambos os métodos (tradicional e TLS). Isso ocorre devido a limpeza da nuvem de pontos de cada linha, ou seja, foi possível eliminar o cupinzeiro da região de medição do diâmetro sem que outros indivíduos fossem prejudicados, fazendo com que os valores obtidos sejam mais próximos do verdadeiro.

Esses valores de RMSE variando de 1,01 a 3,12% estão condizentes com a literatura, como em um estudo de NETO et al (2013) que encontraram um erro de 2% na análise de um indivíduo de *Eucalyptus grandis*.

## 4.2 Comparação entre os métodos de medição de altura total

### 4.2.1 Método tradicional

O valor médio da altura total obtido pelo método tradicional foram de 28,16 m e 29,04 m para os hipsômetros Suunto e Haga, respectivamente. Um ajuste da linha de tendência mostra uma forte correlação entre as alturas obtidas pelos diferentes equipamentos, sendo encontrado o viés de -0,88 m, a média das diferenças absolutas

(MDA) de 0,01 e a raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ) de 1,35 m (Figura 17).

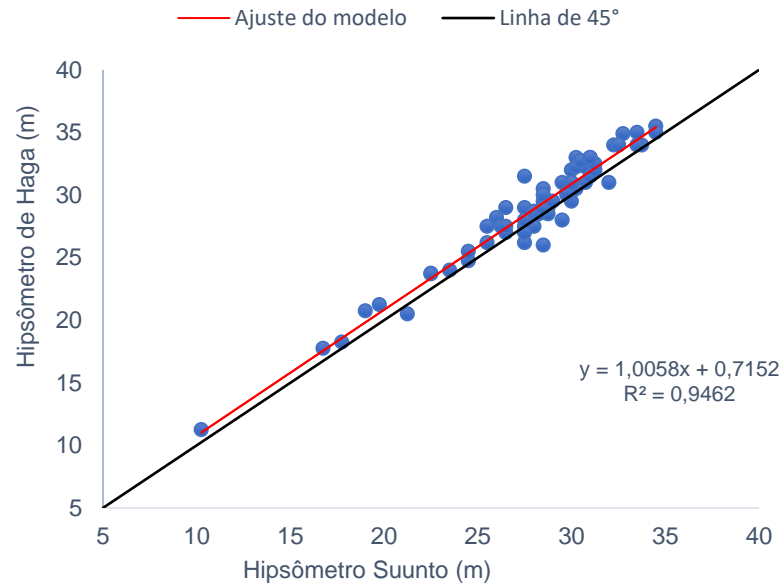


Figura 17 - Ajuste da linha de tendência entre as alturas totais obtidas pelo Hipsômetro Suunto e de Haga das 71 árvores da parcela de estudo.

Fonte: Autora (2021).

#### 4.2.2 Nuvem de pontos completa

O valor médio de altura obtido pelo processamento da nuvem de pontos completa, utilizando o escaneamento laser terrestre (TLS) foi de 29,01 m. Na Tabela 6 está apresentado os valores de raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ), viés e da média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com base na análise da nuvem de pontos completa.

Tabela 6 - Resultados da raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ), viés e média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com o processamento da nuvem de pontos completa.

| EQUIPAMENTO        | RMSE % | VIÉS % | MDA % |
|--------------------|--------|--------|-------|
| Hipsômetro Suunto  | 11,94  | 2,95   | 0,15  |
| Hipsômetro de Haga | 11,97  | -0,88  | 0,13  |

Fonte: Autora (2021).

Nas Figuras 18 e 19, é possível observar a discrepância das linhas de tendência entre as alturas total estimadas utilizando os hipsômetros Suunto e de Haga, com as obtidas pelo TLS, a preça de *outliers*, a superestimação do hipsômetro Suunto e a subestimação do hipsômetro de haga, em relação as valores obtidos pelo TLS.

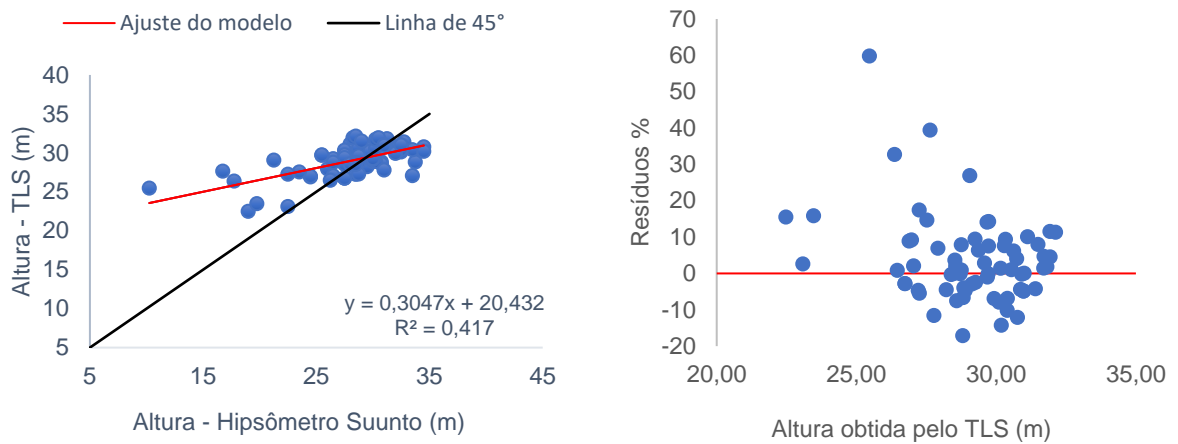


Figura 18 - Ajuste da linha de tendência entre as alturas totais estimadas pelo método tradicional utilizando o Hipsômetro Suunto com aqueles obtidos com o uso do TLS, das 71 árvores da parcela de estudo.

Fonte: Autora (2021).

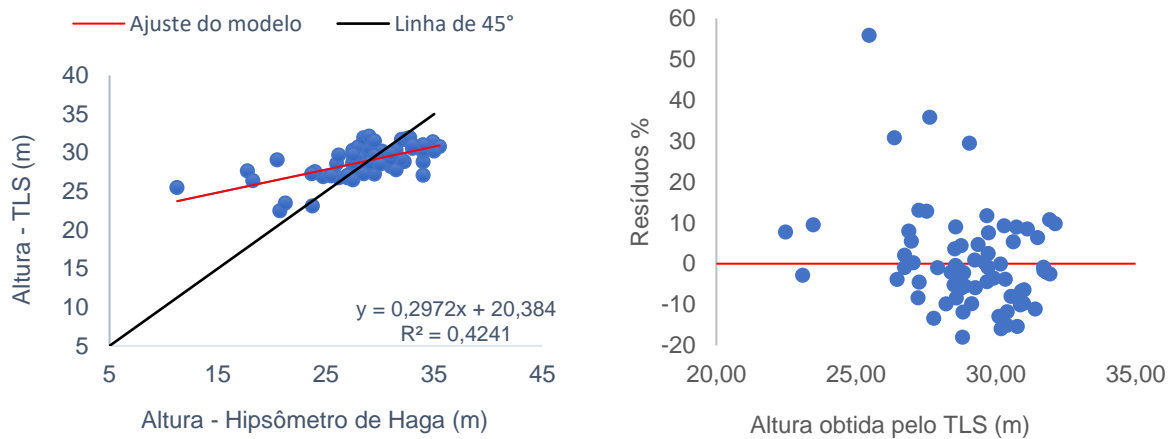


Figura 19 - Ajuste da linha de tendência entre as alturas totais estimadas pelo método tradicional utilizando o Hipsômetro de Haga com aqueles obtidos com o uso do TLS, das 71 árvores da parcela de estudo.

Fonte: Autora (2021).

Ainda com base na nuvem de pontos completa da área de estudo, é possível observar a presença de indivíduos em que apresentaram uma grande diferença entre os valores de altura estimados com os hipsômetros com os obtidos pelo TLS, fazendo com que a raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ) geral seja elevado. Desse modo, analisou-se cada linha separadamente, com o intuito de se obter o viés, RMDQ, e a média das diferenças absolutas (MDA) com mais representatividade (Tabela 7).

Tabela 7 – Resultados referentes à raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ), viés e média das diferenças absolutas (MDA), encontrados por meio da comparação dos métodos estimados pelos hipsômetros Suunto e de Haga, com o obtido com o uso do TLS, para cada linha com base na nuvem de pontos completa.

| LINHA | HIPSÔMETRO SUUNTO |        |       | HIPSÔMETRO DE HAGA |        |       |
|-------|-------------------|--------|-------|--------------------|--------|-------|
|       | RMDQ %            | VIÉS % | MDA % | RMDQ %             | VIÉS % | MDA % |
| 1     | 6,60              | 5,42   | 0,96  | 6,22               | 3,27   | 0,81  |
| 2     | 22,34             | 9,62   | 0,42  | 20,75              | 6,51   | 1,10  |
| 3     | 12,19             | 3,26   | 0,93  | 12,24              | 0,14   | 1,38  |
| 4     | 11,73             | -0,21  | 1,87  | 12,42              | -0,97  | 2,01  |
| 5     | 7,03              | -1,67  | 1,04  | 9,17               | -5,97  | 1,32  |
| 6     | 6,13              | 2,78   | 0,55  | 6,32               | -0,61  | 0,28  |

Fonte: Autora (2021).

#### 4.2.3 Nuvem de pontos separada por linhas

Fazendo o uso do processamento da nuvem de pontos separada por linha, o valor médio de altura obtido pelo escaneamento laser terrestre (TLS) foi de 29,23 m. Na tabela 8 está apresentado os valores de raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ), viés e da média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com base na análise da nuvem de pontos completa.

Tabela 8 - Resultados da raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ), viés e média das diferenças absolutas (MDA) obtidas com o processamento da nuvem de pontos separada por linha de plantio.

| EQUIPAMENTO        | RMDQ % | VIÉS % | MDA % |
|--------------------|--------|--------|-------|
| Hipsômetro Suunto  | 11,78  | 3,67   | 0,15  |
| Hipsômetro de Haga | 11,50  | 0,66   | 0,13  |

Fonte: Autora (2021).

Nas Figuras 20 e 21 é possível observar o relacionamento entre as alturas total estimadas utilizando os hipsômetros Suunto e Haga e obtidas pelo TLS. Também há *outliers* e os pontos ocorrem de forma mais equilibrada, diminuindo as tendências de super e subestimação dos hipsômetros em relação ao TLS.

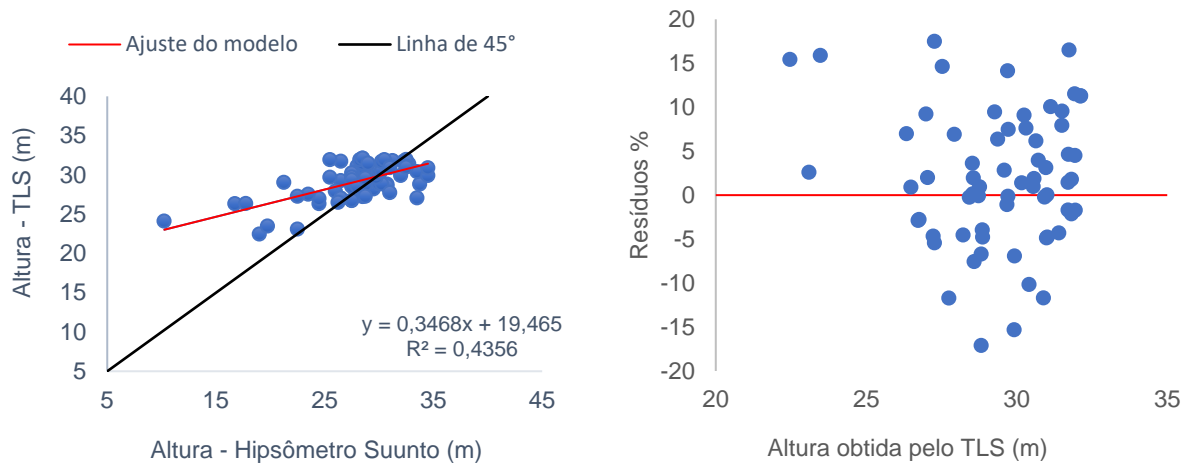


Figura 20 - Ajuste da linha de tendência entre as alturas totais obtidas pelo método tradicional utilizando o Hipsômetro Suunto com aqueles obtidos com o uso do TLS das 71 árvores da parcela de estudo referente ao processamento de cada linha separada.

Fonte: Autora (2021).

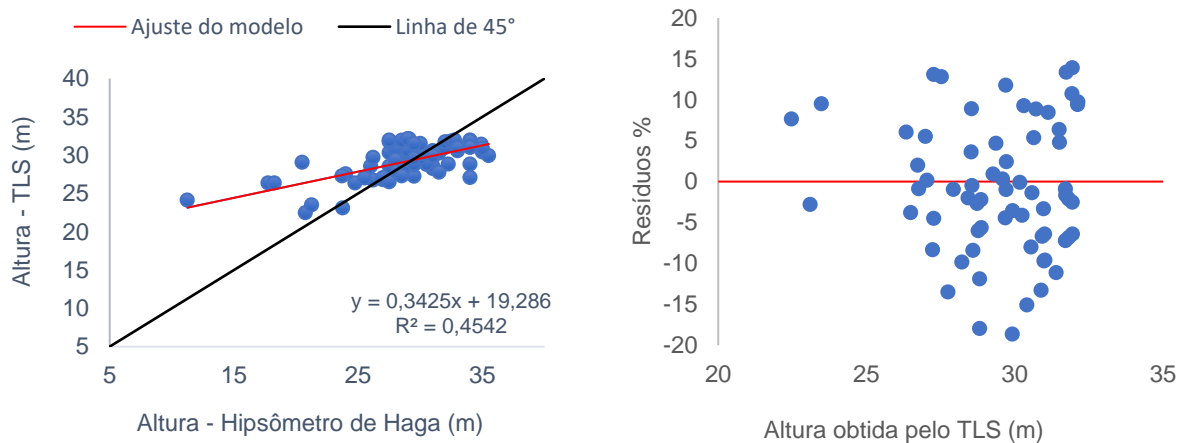


Figura 21 - Ajuste da linha de tendência entre as alturas totais obtidas pelo método tradicional utilizando o Hipsômetro de Haga com aqueles obtidos com o uso do TLS das 71 árvores da parcela de estudo referente ao processamento de cada linha separada.

Fonte: Autora (2021).

Ainda com base na nuvem de pontos completa da área de estudo, também foi possível observar indivíduos discrepantes, por isso, analisou-se cada linha

separadamente, com o intuito de se obter o viés, RMDQ e MDA com mais representatividade das linhas, além de expor as que contribuíram para aumentar a média geral (Tabela 9).

Tabela 9 - Resultados referentes à raiz das diferenças médias ao quadrado (RMDQ), viés e média das diferenças absolutas (MDA), encontrados por meio da comparação dos métodos estimados pelos hipsômetros Suunto e de Haga, com o obtido com o uso do TLS, para cada linha com base na nuvem de pontos separada por linhas.

| LINHA | HIPSÔMETRO SUUNTO |        |       | HIPSÔMETRO DE HAGA |        |       |
|-------|-------------------|--------|-------|--------------------|--------|-------|
|       | RMDQ %            | VIÉS % | MDA % | RMDQ %             | VIÉS % | MDA % |
| 1     | 6,57              | 5,40   | 0,96  | 6,21               | 3,24   | 0,81  |
| 2     | 20,66             | 8,71   | 0,43  | 19,07              | 5,56   | 1,12  |
| 3     | 12,18             | 3,27   | 0,93  | 12,23              | 0,15   | 1,38  |
| 4     | 11,73             | -0,22  | 1,87  | 12,42              | -0,98  | 2,01  |
| 5     | 9,93              | 3,19   | 1,22  | 9,40               | -0,88  | 1,48  |
| 6     | 6,13              | 2,78   | 0,55  | 6,32               | -0,60  | 0,28  |

Fonte: Autora (2021).

Com base na análise das Tabelas 9 e 10, foi possível observar que as linhas dois, três e quatro obtiveram as maiores porcentagens de RMDQ, viés e MDA, devido a grande diferença entre os valores estimados com os hipsômetros com os obtidos pelo TLS. Essas discrepâncias podem ocorrer devido às características defeituosas das árvores, como tortuosidade, bifurcação e indivíduos quebrados, fazendo com que o reconhecimento do algoritmo falhe em razão do confundimento causado pela sobreposição das copas das árvores (Figura 22).



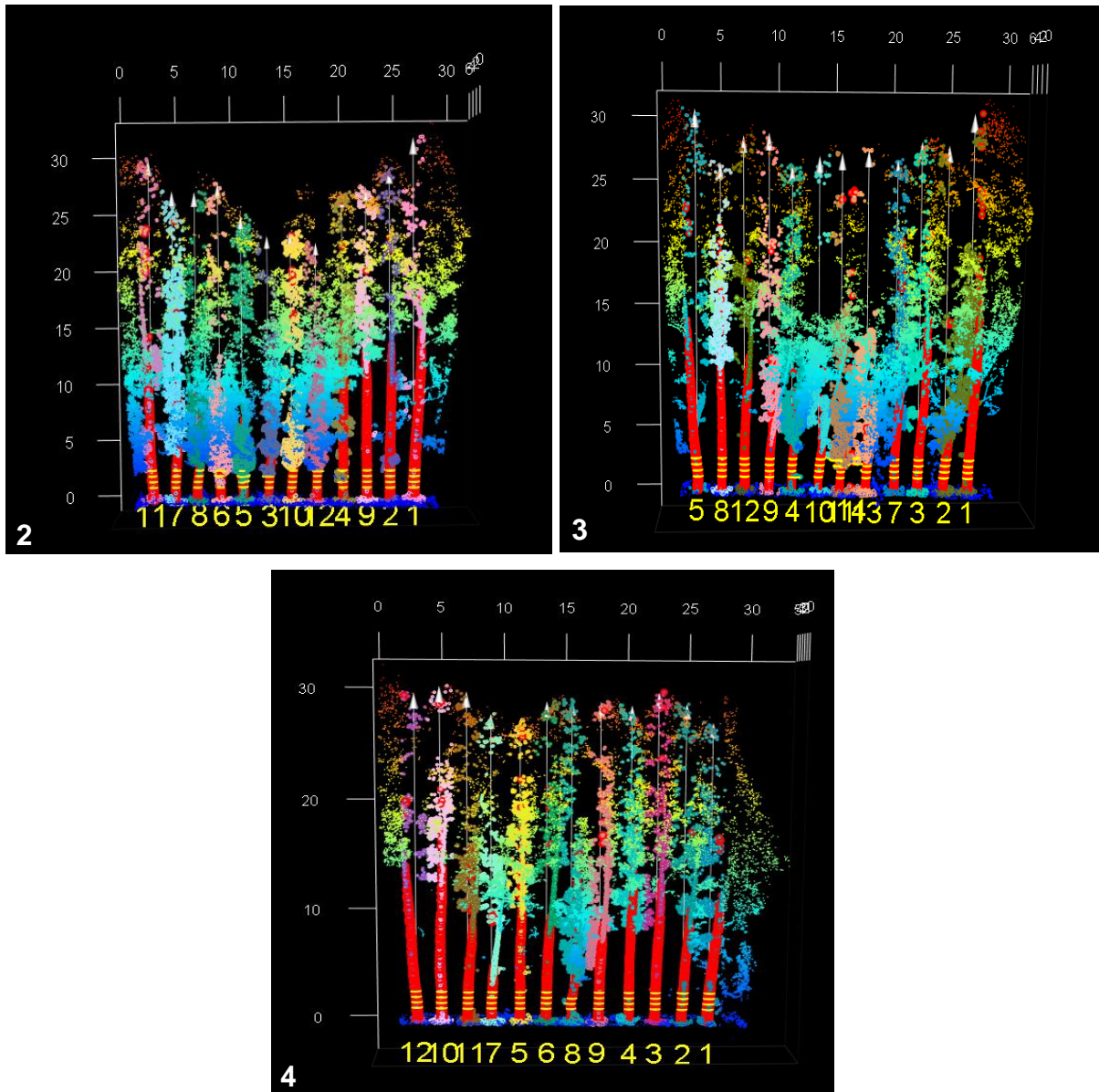


Figura 22 – Exemplificação de situações como tortuosidade e indivíduos quebrados, que dificultaram o reconhecimento e aferição das medidas precisas das árvores da parcela de estudo, em que 2 corresponde a linha 2; 3 – linha 3 e 4 – linha 4.

Fonte: Autora (2021).

## 5 CONCLUSÕES

O sensor laser terrestre reconheceu todos os indivíduos da parcela de estudo, indicando que a tecnologia é precisa no reconhecimento de árvores de *Eucalyptus* sp.

Para a variável DAP:

- Os valores obtidos pelo método tradicional e utilizando o escaneamento laser terrestre (TLS) apresentaram melhor correlação entre si do que os obtidos para a variável altura total.
- As menores diferenças entre os métodos tradicional e pelo TLS foram utilizando os valores de diâmetro médio e a nuvem de pontos separada de cada linha.
- O método estimado (TLS) apresentou superestimação em relação aos valores verdadeiros (observados em campo).

Para a variável altura total:

- Os valores obtidos pelo método tradicional e utilizando o escaneamento laser terrestre (TLS) não tiveram uma boa correlação entre si.
- Houve uma tendência de subestimação do hipsômetro de Haga e superestimação do hipsômetro Suunto em relação aos valores obtidos pelo TLS.
- Os valores obtidos pelas nuvens de pontos completa e de cada linha de plantio separada foram muito próximos, não demonstrando superioridade entre os tipos de nuvens.

Para melhorar a precisão e eficácia do método utilizando o escaneamento laser terrestre (TLS) é necessário que haja melhoria nos algoritmos de filtragem e modelagem da nuvem de pontos para que não ocorra, de forma errônea, a sub ou superestimação dos resultados, principalmente por confundimento dos fustes e/ou a sobreposição das copas das árvores quando os fustes se encontram tortuosos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G. J. F. de. **Uso do laser scanner terrestre na estimativa de parâmetros biométricos em povoamentos florestais**. 2017. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2017.

CARVALHO, F. **Quais são os tipos de inventário mais comuns no Brasil?** 2018. Disponível em: <<https://www.matanativa.com.br/os-tipos-de-inventario-mais-comuns-no-brasil/>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

CHAVES, A. A.; SCALEA, R. A. L.; COLTURATO, A. B.; KAWABATA, C. L. O.; FURTADO, E. L.; BRANCO, K. R. L. J. C. Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação. **Anais..** São José dos Campos, SP: MCT/INPE, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1143.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2021.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 1, p. 97-104, 2009.

CONTO, T. de; HAMAMURA, C. **TreeLS**. 2019. Disponível em: <<https://github.com/tiagodc/TreeLS>>. Acesso em 17 maio 2021.

CUNHA, U. S. da. **Dendrometria e inventário florestal**. 2004. Disponível em: <<https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/284/o/dendroinv.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2021.

CPE TECNOLOGIA. **Laser Scanner GEOSLAM – ZEB HORIZON**. 2021. Disponível em: <<https://www.cpetecnologia.com.br/produto/679/zeb-horizon>>. Acesso em: 13 mar. 2021.

ESTEIO. **Princípio de funcionamento de um LiDAR aéreo**. 2019. Disponível em: <<https://www.lidar.com.br/index.php/tecnologia/principio-de-funcionamento-de-um-lidar-aereo/>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

FORLIDAR. **Escaneamento LiDAR terrestre em aplicações florestais**. 2019. Disponível em: <<https://forlidar.com.br/blog/2019/06/05/escaneamento-lidar-terrestre-em-aplicacoes-florestais/#:~:text=Equipamentos%20de%20varredura%20a%20laser,laser%20emitidos%20a%20%C3%A2ngulos%20predeterminados.>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

GEOSLAM. **Zeb horizon**. 2021. Disponível em: <<https://geoslam.com/solutions/zeb-horizon/>>. Acesso em: 13 mar. 2021.

GIONGO, M.; KOEHLER, H. S.; MACHADO, S. do A.; KIRCHNER, F. F.; MARCHETTI, M. LiDAR: princípios e aplicações florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 63, p. 231-244, 2010.

HENTZ, A. M. K. **Obtenção de informação dendrométrica para inventário florestal automatizado por meio de veículo aéreo não tripulado (VANT)**. 2018. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

IGLHAUT, J.; CABDO, C.; PULITI, S.; PIERMATTEI, L.; O'CONNOR, J.; ROSETTE, J. Structure from Motion Photogrammetry in Forestry: a Review. **Springer Nature**. v. 5, n. 3, p. 155-168, 2019.

LIU, J.; FENG, Z.; YANG, L.; MANNAN, A.; KHAN, T.U.; ZHAO, Z.; CHENG, Z. Extraction of Sample Plot Parameters from 3D Point Cloud Reconstruction Based on Combined RTK and CCD Continuous Photography. **Remote Sensing**, v. 10, n. 8, p. 1299, 2018.

MATA NATIVA. **Os instrumentos mais utilizados em medições e coletas de dados florestais**. 2018. Disponível em: <<https://www.matanativa.com.br/os-instrumentos-mais-utilizados-em-medicoes-e-coletas-de-dados-florestais/>>. Acesso em: 19 abr. 2021.

MEGA, C. P.; KUPLICH, T. M. Aplicações Florestais do LiDAR aerotransportado no Brasil – uma revisão. *In*: ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019, Santos. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos, INPE, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/aplicacoes-florestais-do-lidar-aerotransportado-no-brasil-----uma-revisao>>. Acesso em: 06 mar. 2021.

MOKROŠ, M.; VYBOSTOK, J.; TOMASTIK, J.; GRZNÁROVÁ, A.; VALENT, P.; SLAVIK, M.; MERGANIC, J. High precision individual tree diameter and perimeter estimation from close-range photogrammetry. **Forests**, v. 9, n. 11, p. 696, 2018.

MORAES, M. **Inventário Florestal: Conheça tudo sobre essa atividade?** 2020. Disponível em: <<https://agropos.com.br/inventario-florestal/>>. Acesso em: 08 abr. 2021.

NETO, R. P. M.; LINGNAU, C.; BUCK, A. L. B.; SILVA, M. N.; MACHADO, A. M. L.; PESCK, V. A. Identificação de aspectos dendrológicos de árvores de *Eucalyptus*

*grandis* W.Hill ex Maiden por meio de dados LiDAR. **Anais..** Foz do Iguaçu, PR: MCT/INPE, 2013. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.57.05/doc/p0767.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2021.

NICOLETTI, M. F.; CARVALHO, S. P. C.; BATISTA, J. L. F. Revisão bibliográfica sobre métodos não-destrutivos de cubagem de árvores em pé visando à determinação da biomassa. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 1, 2012.

NITAHARA, A. **IBGE: Brasil tem 9,85 milhões de hectares de florestas plantadas.** 2018. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-09/ibge-brasil-tem-985-milhoes-de-hectares-de-florestas-plantadas>>. Acesso em: 13 maio 2021.

NUPEMASE. **Infraestrutura: Área experimental.** 2019. Disponível em: <<https://nupemase.com/infraestutura/>>. Acesso em: 17 maio 2021.

PETEAN, F. C. S. **Uso de imagens hiperespectrais e da tecnologia LiDAR na identificação de espécies florestais em ambiente urbano na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais.** 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós Graduação em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

PIERMATTEI, L.; WILFRIED, K.; WANG, D.; WIESER, M.; MOKROS, M.; SUROVY, PETER, K.; KOREN, M.; TOMASTIK, J.; PFEIFER, N.; HOLLAUS, M. Terrestrial structure from Motion Photogrammetry for Deriving Forest Inventory Data. **Remote Sensing**, v. 11, n. 8, p. 950, 2019.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Inventário Florestal Nacional.** 2019. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/inventario-florestal-nacional>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

SILVA, C. A.; DUARTE, C. R., SOUTO, M. V. S.; SANTOS, A. L. S.; AMARO, V. E.; BICHO, C. P., SABADIA, J. A. B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LIDAR. **Bol. Ciênc. Geod.**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 73-94, 2016.

SILVA, S. F.; MOTA, F. M.; SOUZA, T. S.; FERRARI, F. L.; GARCIA, R. F.; SANTOS, A. R. Caracterização do uso e ocupação da terra do município de Jerônimo Monteiro, ES. *In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, XV, 2011, São José dos Campos, SP. **Anais...** São José dos Campos, SP: Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP, 2011.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. de. Livro Dendrometria e Inventários Florestal. *In*: HUSCH, B.; MILLER, C. I.; KERSHAW, J. **Forest mensuration**. 4. ed. New Jersey: John Willey e Sons, 2003. 443 p.

VALERI, S. V.; PAULA, R. C. de. **Dendrometria: Medição de diâmetro e altura**. 2018. Disponível em: <<https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/producaovegetal/SERGIOVALIENGOVALERI/medicao-de-diametro-e-altura-2018.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2021.

VIANA, A. B. T. **Comparação entre o método de amostragem tradicional e por scanner terrestre (TLS) em Floresta Tropical Secundária**. 2019. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

VIBRANS, A. C.; GASPER, A. L. de; MÜLLER, J. J. V. Para que inventariar florestas? Reflexões sobre a finalidade do inventário florístico florestal de Santa Catarina. **Revista de estudos ambientais**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 6-13, 2012.