

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

# **COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DE AMOSTRAGEM TRADICIONAL E POR SCANNER TERRESTRE (TLS) EM FLORESTA TROPICAL SECUNDÁRIA**

**Aguida Beatriz Travaglia Viana**

**Matrícula: 67676**

**ORIENTADOR: Prof. Carlos M. M. Eleto Torres**  
**COORIENTADORA: Profa. Cibele Hummel do Amaral**

**VIÇOSA, MINAS GERAIS**

**FEVEREIRO/2019**

AGUIDA BEATRIZ TRAVAGLIA VIANA

**COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DE AMOSTRAGEM  
TRADICIONAL E POR SCANNER TERRESTRE (TLS) EM  
FLORESTA TROPICAL SECUNDÁRIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

V614c  
2019 Viana, Aguida Beatriz Travaglia, 1988-  
Comparação entre o método de amostragem tradicional e  
por scanner terrestre (*TLS*) em Floresta Tropical Secundária /  
Aguida Beatriz Travaglia Viana. – Viçosa, MG, 2019.  
xi, 59 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Levantamentos florestais. 2. Floresta Estacional  
Semidecidual. 3. Sistemas de varredura. 4. Amostragem. 5. Mata  
Atlântica. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência  
Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed. 634.952463

AGUIDA BEATRIZ TRAVAGLIA VIANA

**COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DE AMOSTRAGEM  
TRADICIONAL E POR SCANNER TERRESTRE (TLS) EM  
FLORESTA TROPICAL SECUNDÁRIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

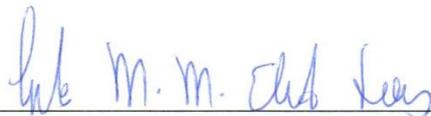
APROVADA: 21 de fevereiro de 2019.

  
\_\_\_\_\_  
Carlos Pedro Boechat Soares

  
\_\_\_\_\_  
Elpidio Inácio Fernandes Filho



\_\_\_\_\_  
Cibele Hummel do Amaral  
(Coorientadora)



\_\_\_\_\_  
Carlos Moreira Miquelino Eleta Torres  
(Orientador)

*“Deus não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos...”*

Albert Einstein

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, fonte de toda sabedoria, agradeço pelo dom da vida, a salvação em Jesus Cristo e a realização de mais um trabalho.

Ao meu amado esposo Willian e a minha filha Bianca, por todo amor e carinho e pela grande compreensão de minha ausência; vocês são meu refúgio.

À minha mãe Beatriz e à minha irmã Maria, pelos estudos de primeira qualidade e também pela construção do meu caráter com ensinamentos da ética cristã.

Ao mestre excepcional Professor Carlos M. M. Eleto Torres, pela orientação, preocupação, compreensão e amizade.

À professora Cibele Hummel do Amaral pelos ensinamentos e inspiração.

Ao professor Elpídio Inácio Fernandes Filho por todo o saber compartilhado, o acolhimento em seu laboratório e total apoio para a construção deste trabalho.

Ao professor Carlos Pedro Boechat Soares pelas grandes idéias e questionamentos acerca deste trabalho.

Ao pesquisador Felipe Carvalho por todo auxílio, ensinamentos e experiências valiosas.

Ao grande amigo Lucas Timo pelos ensinamentos e inúmeros “socorros”.

À Equipe de campo Bitterlich: Lira, João Ladeira, Samuel, Abel, Daniel, Fernanda e Michel, nós conseguimos.

À Equipe Cubagem: Felipe Ribeiro, Felipe Rossi, Lucas Kerkoff, Mariany, Maria Paula e Emanuel, nós conquistamos.

À Equipe LiDAR: João Custódio, Professor Ferraz, Professor Carlos,IVALDO, Felipe, Samuel, nós vencemos.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal pela grande oportunidade e assistência.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos grandes amigos da secretaria de pós-graduação, Alexandre e Dilson, por todo apoio e compreensão.

Aos grandes amigos e “irmãos” Samuel Rocha, Fernanda Lambrecht, Aline Araújo, Ivaldo Tavares Júnior por todo pelo incentivo à superação em cada batalha.

Aos grandes amigos da pós-graduação, Gabriela Silva e Jadson Abreu, pelo suporte e ensinamentos.

## **BIOGRAFIA**

AGUIDA BEATRIZ TRAVAGLIA VIANA, filha de Izidoro Travaglia (*in memoriam*) e Beatriz Maria Duarte. Nasceu em Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais.

Em 2003, cursou parte do ensino médio na Escola Secundária Lima de Freitas localizada na cidade de Setúbal, Portugal.

Em 2008, ingressou no curso de Engenharia Civil na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e interrompeu a graduação em 2009.

Em 2010, iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo-o em 2016.

Em 2017, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa, em nível de Mestrado, apresentando-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2019.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. OBJETIVO GERAL.....	4
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	5
CAPÍTULO 1 .....	7
<b>USO DO <i>LiDAR</i> TERRESTRE PARA ESTIMATIVAS DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL .....</b>	<b>7</b>
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
2.1. Área de estudo .....	8
2.2. Obtenção das variáveis dendrométricas.....	9
2.2.1. Método I .....	10
2.2.2. Método II.....	11
2.3. Equações de volume .....	19
2.4. Comparação entre os métodos I e II.....	20
2.4.1. Entre as variáveis dendrométricas .....	20
2.4.2. Entre as equações volumétricas.....	21
3. RESULTADOS .....	21
3.1. Sobre o levantamento .....	21
3.2. Determinação das variáveis dendrométricas e do volume por cubagem.....	22
3.3. Ajuste dos modelos volumétricos.....	28
4. DISCUSSÃO.....	29

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32
CAPÍTULO 2 .....	37
<b>COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE AMOSTRAGEM POR PARCELAS DE ÁREA FIXA E VARIÁVEL EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL EM VIÇOSA-MG .....</b>	<b>37</b>
1. INTRODUÇÃO.....	37
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
2.1. Área de estudo .....	38
2.2. Amostragem e Coleta de dados .....	38
2.3. Processamento e análise dos dados .....	40
2.3.1. Estimativas dos parâmetros populacionais .....	40
2.3.2. Estimativas dos parâmetros da estrutura horizontal .....	42
2.4. Comparação entre os métodos de amostragem .....	43
2.4.1. Coeficiente de correlação .....	43
2.4.2. Teste “t” pareado .....	43
2.4.3. Teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) .....	44
3. RESULTADOS .....	45
3.1. Comportamento das estimativas dos parâmetros populacionais .....	45
3.1.1. Número de espécies .....	45
3.1.2. Diâmetro médio .....	46
3.1.3. Altura total média .....	47
3.1.4. Área basal .....	48
3.1.5. Número de fustes por hectare .....	48
3.1.6. Volume por hectare .....	49
3.2. Comparação entre os métodos de amostragem .....	50
3.3. Comportamento das estimativas dos parâmetros da estrutura horizontal .....	51
3.3.1. Densidade .....	51
3.4.2. Dominância.....	52
4. DISCUSSÃO.....	53
5. CONCLUSÕES.....	55
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
4. CONCLUSÕES GERAIS .....	58
5. APÊNDICE A .....	59

## RESUMO

VIANA, Aguida Beatriz Travaglia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Comparação entre o método de amostragem tradicional e por scanner terrestre (TLS) em Floresta Tropical Secundária.** Orientador: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres. Coorientadora: Cibele Hummel do Amaral.

Os procedimentos metodológicos do inventário florestal almejam a redução do tempo e de recursos financeiros aliados à manutenção da precisão requerida. Pesquisas que visam à comparação destes métodos com os tradicionais ainda são incipientes. Portanto, objetivou-se comparar o método de amostragem tradicional e por scanner terrestre (*TLS*) com base em inventário de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, localizado em Viçosa – Minas Gerais, Brasil. A pesquisa foi dividida em dois capítulos. No primeiro, comparou-se estimativas de variáveis dendrométricas obtidas por meio do uso de *LiDAR* terrestre e de dendrometria convencional e ajustaram-se equações de volume por meio destes dados *LiDAR*. Para isso, foram estabelecidos o método I (tradicional) e II (uso do *TLS*) de amostragem. Foram realizadas cubagem rigorosa convencional e por meio do *TLS* em 29 indivíduos arbóreos pertencentes à 10 espécies. As 10 espécies que apresentaram o maior índice do valor de importância (IVI) foram selecionadas. Equações de volume com base nos modelos de Schumacher e Hall e de Spurr foram geradas. A comparação entre as variáveis dendrométricas foi feita pelo teste L&O e entre as equações volumétricas, pelo teste de identidade de modelos. Foram mensurados e processados 32 fustes. Os valores de DAP médio obtidos pelos métodos I e II (19,58cm e 19,48cm, respectivamente) foram bem

próximos entre si, assim como os de volume. A altura total apresentou tendência à superestimação dos valores das alturas obtidas pelo método II em relação ao método I. Por sua vez, a altura comercial apresentou baixa correlação entre os valores ( $R^2=0,3965$ ). O teste L&O mostrou que apenas a variável DAP foi considerada estatisticamente igual para ambos os métodos (p-valor = 0,05 e p-valor = 0,27 para o teste F e o teste t, respectivamente). O teste de identidade de modelos indicou não haver identidade entre as equações (p-valor =  $1,20e^{-25}$ ). Concluiu-se que apenas a variável DAP foi estatisticamente igual para ambos os métodos. As equações volumétricas ajustadas foram estatisticamente diferentes e aquelas baseadas no modelo volumétrico de Shumacher e Hall foram as que apresentaram melhor ajuste para ambos os métodos. No segundo capítulo, foram comparados métodos de amostragem por parcelas de área fixa e variável por meio de seus parâmetros populacionais e estrutura horizontal. Foram estabelecidos 2 métodos de amostragem. O primeiro de área fixa (I) e o segundo de área variável com 1 ponto (II) de coleta. No método I, foram remeidas 9 parcelas de 20x50 m. No segundo, a coleta foi feita com a barra de Bitterlich. A comparação entre os métodos foi realizada por meio da análise do coeficiente de correlação de Pearson e do teste t pareado. No caso das distribuições diamétricas aplicou-se o teste de aderência de KS para avaliar sobre diferenças estatísticas. O método II quando comparado com o método I apresentou tendência à subestimação para os parâmetros número de espécies, diâmetro médio, área basal por hectare e volume por hectare. Os valores de altura total média apresentaram tendência à superestimação e o número de fustes por hectare não apresentou tendência. A distribuição diamétrica do método alternativo (II) diferiu estatisticamente a 5% de significância do método I para a densidade, já para a dominância não foram constatadas diferenças significativas. Conclui-se que os parâmetros populacionais e estrutura horizontal obtidos pelos métodos de amostragem por parcelas de área fixa e variável diferem estatisticamente e que, a substituição do método tradicional de inventário florestal por métodos de amostragem alternativos deve ser realizada de maneira cautelosa. De um modo geral, métodos alternativos podem ser precisos para um rápido levantamento sobre o número de fustes por hectare ou então sobre a dominância do povoamento. No entanto, em situações nas quais a prioridade é aquisição de dados altamente precisos, instrumentos como os *lasers scanners* terrestres são ferramentas essenciais para atingir tais objetivos.

## ABSTRACT

VIANA, Aguida Beatriz Travaglia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Comparison among traditional forest inventory and terrestrial scanners (TLS) in Secondary Tropical Forest.** Advisor: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres. Co-advisor: Cibele Hummel do Amaral.

The forest inventory methodological procedures have been aimed the time and financial resources reduction associated with the required accuracy maintenance. Researches aim to compare these methods with the traditional ones are still incipient. Therefore, the aim of this study was compare the traditional sampling method and terrestrial scanner (TLS) based on the inventory of a fragment of Seasonal Semideciduous Forest, located in Viçosa - Minas Gerais, Brazil. The research was divided into two chapters. In the first one, we compared estimates of dendrometric variables obtained through the use of terrestrial LiDAR and conventional dendrometry and volume equations were adjusted by means of this LiDAR data. For this, 29 trees of 10 species located in plot 10 of the fragment were selected. The 10 species present in plot 10 that presented the highest index of importance (IVI) were selected. Volume equations based on the Schumacher and Hall and Spurr models were generated. The comparison among the dendrometric variables was made by the L & O test and among the volumetric equations, by the model identity test. Thirty-two stems were measured and processed. The mean DBH values obtained by methods I and II (19.58cm and 19.48cm, respectively) were very similar to each other, as were the volume values. The total height showed a tendency to underestimation in smaller trees and overestimation in larger trees, and commercial height presented a low correlation between

the values ( $R^2 = 0.3965$ ). The L & O test showed that only the DAP variable was considered statistically equal for both methods (p-value = 0.05 and p-value = 0.27 for the F test and the t test, respectively). The model identity test indicated that there was no identity between the equations (p-value =  $1.20e-25$ ). It was concluded that only the DAP variable was statistically the same for both methods. The adjusted volumetric equations were statistically different and those based on the Shumacher and Hall volumetric model were the ones that presented the best fit for both methods. In the second chapter, sampling methods were compared for fixed and variable area plots by means of their population parameters and horizontal structure. Two sampling methods were established. The first of fixed area (I) and the second of variable area with 1 point (II) of collection. In method I, 9 plots of 20x50 m were remediated. In the second, the collection was done with the Bitterlich bar. Methods were compared using the Pearson correlation coefficient and paired t-test. In the case of the diametric distributions, the KS adherence test was applied to evaluate statistical differences. Method II when compared to method I showed a tendency to underestimation for the parameters number of species, mean diameter, basal area per hectare and volume per hectare. The mean total height values tended to be overestimated and the number of stems per hectare did not present a trend. The diametric distribution of the alternative method (II) statistically differed to 5% of significance of the method I for the density, but for the dominance no significant differences were found. It is concluded that the population parameters and horizontal structure obtained by the sampling methods by fixed and variable area plots differ statistically and that the replacement of the traditional method of forest inventory by alternative sampling methods must be carried out in a cautious manner. In general, alternative methods may be necessary for a rapid survey on the number of stems per hectare or on the stand dominance. However, in situations where priority is acquisition of highly accurate data, instruments such as lasers ground scanners are essential tools to achieve such objectives.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O setor florestal tem sido marcado por inúmeros progressos, tanto na coleta quanto no processamento dos dados advindos do inventário florestal. Estes avanços são descritos desde o início do século XIX como, por exemplo, a utilização da suta pela primeira vez por Cotta em 1804 (PRODAN, 1965) ou o uso do hipsômetro evidenciado pelos primeiros livros didáticos de mensuração florestal (BRAGG, 2014).

Concomitantemente à esta evolução dos instrumentos de medida de variáveis dendrométricas, a grande demanda para a obtenção de estimativas de crescimento acerca das populações florestais, fez com que os procedimentos metodológicos também experimentassem grandes inovações. Estes avanços surgiram, principalmente, com a finalidade de reduzir o tempo requisitado para o levantamento (MIRANDA et al., 2015).

Uma destas metodologias foi idealizada pelo austríaco Walter Bitterlich em 1948, cujo princípio denominado *prova de numeração angular* estabelece que “o número de árvores ( $n$ ) em um povoamento, cujo DAP em um ponto fixo aparece superior a determinado valor constante ( $\alpha$ ), é proporcional à sua área basal por hectare ( $B$ )” (SOARES et al., 2010). Este método foi considerado inovador para sua época devido à facilidade de execução tanto em pequenas quanto em grandes áreas. Além disso, o método proporcionou diminuição dos custos e manutenção da precisão requerida quando comparado aos métodos de inventário florestal adotados naquele período (DRUSZCZ et al., 2012; SANTOS et al., 2016).

Entretanto, a necessidade de averiguar e monitorar processos sucessionais da floresta, por meio de levantamentos florísticos e estruturais de forma menos dispendiosa foi se tornando cada vez maior. Desse modo, fez-se necessário a utilização de ferramentas

auxiliares, frequentemente, empregadas com o uso de técnicas de sensoriamento remoto (WANG & GAMON, 2019; REIS et al., 2019; ALMEIDA et al., 2019 ).

De acordo com Lillesand et al. (2015), entende-se por sensoriamento remoto a ciência e a arte de se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados provenientes de dispositivos que não estejam em contato com o referido alvo em análise.

Nas duas últimas décadas, as técnicas de sensoriamento remoto, com vistas ao levantamento de recursos florestais, sofreram uma grande mudança devido à introdução do sistema de varredura a laser (LiDAR – *Light Detection and Ranging*) (TANG et al., 2019; ALMEIDA et al, 2019b; MORAN, ROWELL & SEIELSTAD, 2018). O princípio de funcionamento deste, consiste na emissão de pulsos laser com elevada frequência de repetição, a partir de uma plataforma (GIONGO et al., 2010), permitindo estimar a distância do alvo ao sensor e, com isso, definir com elevada precisão as dimensões e a distribuição espacial de vários objetos ao longo de uma área.

Uma das plataformas mais utilizada para acoplamento do laser é a do tipo terrestre. Os chamados sistemas de varredura a laser terrestre, que utilizam o *Terrestrial Laser Scanning (TLS)* para o levantamento, têm sido uma ferramenta indispensável na área florestal. Este equipamento permite, como nenhuma outra plataforma, reconstituir o formato do indivíduo arbóreo com excelente precisão e rapidez. O processamento da uma nuvem de pontos tridimensional propicia a modelagem de diâmetros, alturas e volumes sem requerer a derrubada do indivíduo (MARTINS NETO, 2013; TAVARES et al., 2016).

No entanto, pesquisas que tentam avaliar e comparar a precisão e a eficácia de diferentes métodos de levantamento de variáveis dendrométricas, entre manuais e automáticos, bem como métodos de amostragem, no intuito de reduzir a demanda de tempo e recursos financeiros na execução do inventário, ainda são incipientes.

Frente a tal cenário, este estudo visa avaliar a precisão de diferentes métodos de amostragem com base em um inventário de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, através da análise da sua composição florística, estrutura fitossociológica e variáveis dendrométricas, bem como estabelecer uma metodologia para a obtenção destas por meio de dados obtidos com o uso do sistema de varredura a laser terrestre.

Para atender tais objetivos, a pesquisa foi dividida em dois capítulos, conforme seguem:

Capítulo 1: Uso do *LiDAR* terrestre para estimativas de variáveis dendrométricas em Floresta Estacional Semidecidual.

Capítulo 2: Comparação entre métodos de amostragem por parcela de área fixa e variável em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa-MG.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Comparar a precisão de diferentes métodos de amostragem (tradicional e alternativos) com base em inventário de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, através da análise da sua composição florística, estrutura fitossociológica e variáveis dendrométricas no intuito de viabilizar a utilização destes métodos de amostragem alternativos.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D.R.A.; BROADBENT, E.N.; ZAMBRANO, A.M.A; WILKINSON, B.E.; FERREIRA,M.E.; CHAZDON, R.; MELI, P.; GORGENS, E.B.; SOLVA, C.A.; STARK, S.C., VALBUENA, R.; PAPA, D.A., BRANCALION, P.H.S. Monitoring the structure of forest restoration plantations with a drone-lidar system. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 79, p. 192-198, 2019.

ALMEIDA, D.R.A; STARK, S.C.; CHAZDON, R.; NELSON, B.W.; CESAR, R.G.; MELI, P.; GORGENS, E.B.; DUARTE, M.M.; VALBUENA, R.; MORENO, V.S.; MENDES, A.F.; AMAZONAS, N.; GONÇALVES, N.B.; SILVA, C.A.; SCHIETTI, J.; BRANCALION, P.H.S. The effectiveness of lidar remote sensing for monitoring forest cover attributes and landscape restoration. **Forest Ecology and Management**. v. 438, p. 34-43, 2019 (b).

BRAGG, D.C. Measuring the height of (real) forest trees. **Journal of Forestry**. v.112, n. 1, p. 51–54. 2014.

DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, N. Y.; NETTO, S. P.; MACHADO, S. A.; Mello, A. A.; CAMPOS, A. P. G. Eficiência de inventário florestal com amostragem ponto de Bitterlich e conglomerado em linha em plantação de *Pinus taeda*. **Revista Floresta**, v.42, n.3, p.527-538, 2012.

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

LILLESAND, Thomas; KIEFER, Ralph W.; CHIPMAN, Jonathan. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley & Sons, 2015. 736 p

MARTINS NETO, R. P.; BUCK, A. L. B.; SILVA, M. N.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; PESCK, V. A. Avaliação da varredura laser terrestre em diferentes distâncias da árvore para mensurar variáveis dendrométricas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, p. 420-433, 2013.

MIRANDA, D.L.C.; FRÂNCIO, J.; SANTOS, J.P.; SANQUETTA, C.R.; DALLA CORTE, A.P. Precisão e eficiência relativa de métodos de amostragem em teca. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, n.83, p.247-254, 2015.

MORAN, C.J.; ROWELL, E.M.; SEIELSTAD, C.A. A data-driven framework to identify and compare forest structure classes using LiDAR. **Remote Sensing of Environment**. v. 211, p. 154-166, 2018.

PRODAN, M. **Holzmesslehre**. Frankfurt a.M. (Alemanha): Sauerlaender's Verlag, 1965.644p.

REIS, B.P.; MARTINS, S.V.; FERNANDES FILHO, E.I.; SARCINELLI, T. S.; GLERIANI, J.M.; LEITE, H.G., HALASSY, M. Forest restoration monitoring through digital processing of high resolution images. **Ecological Engineering**. v. 127, p. 178-186, 2019.

SANTOS, J.S.; MENDONÇA, A. R.; SILVA, G.F.; FRAGA FILHO, C.V. Método de amostragem de Bitterlich: uma alternativa de inventário florestal para pequenas propriedades rurais fomentadas. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, v. 11, n.1, p. 46-52. 2016.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2010. 276 p. 3ª reimpressão.

TANG, H.; ARMSTON, J.; HANCOCK, S.; MARSELIS, S.; GOETZ, S.; DUBAYAH, R. Characterizing global forest canopy cover distribution using spaceborne lidar. **Remote Sensing of Environment**. v. 231, 2019.

TAVARES, G. G.; SABINO, T. L. R.; FONSECA, L. G.; CHAVES, F. O.; COTRIM, B. Métodos computacionais para aproximação do diâmetro à altura do peito de árvores de regiões de mangue via escaneamento tridimensional a laser. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa de Engenharia**, v. 2, n.10, p. 138-155, 2016.

WANG, R. GAMON, J.A. Remote Sensing of Terrestrial Plant Biodiversity. **Remote Sensing of Environment**. v. 231, 2019.

## CAPÍTULO 1

### USO DO *LiDAR* TERRESTRE PARA ESTIMATIVAS DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL

#### 1. INTRODUÇÃO

No setor florestal, ocorreram diversos avanços tecnológicos que permitiram uma obtenção e processamento de dados com uma maior precisão (WIGGINS et al., 2019). Um destes avanços é o sistema de varredura a laser (*LiDAR - Light Detection and Ranging*), cuja finalidade é localizar objetos de interesse utilizando pulsos laser com alta frequência de repetição que permitem estender a análise espacial para a terceira dimensão (z) (GIONGO et al., 2010; LEFSKY, 2002). Recentemente, uma das plataformas mais utilizadas é a do tipo terrestre, engendrando o chamado sistema de varredura a laser terrestre cujo principal instrumento é o *Terrestrial Laser Scanning (TLS)* (FIGUEIREDO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014; LOCKS & AMARAL, 2015).

Os *TLS* consistem em uma ferramenta auxiliar no âmbito florestal. Estes sistemas possibilitam, por meio do escaneamento da superfície do tronco, obter o formato tridimensional do indivíduo arbóreo com excelente precisão, rapidez e elevada resolução espacial (BERBERT, 2016; DECUYPER et al., 2018). Por conseguinte, é possível modelar e aferir diâmetros e alturas sem requerer a derrubada do indivíduo (WANG et al, 2016; CABO et al., 2018; PITKANEN, RAUMONEN & KANGAS, 2019) .

A reconstituição da árvore nesse sistema advém do processamento de uma nuvem de pontos densa que pode ser analisada em ambiente computacional. Todo este procedimento culmina na automatização da coleta e, em partes, do processamento de dados, permitindo a eliminação de possíveis erros humanos ou condições adversas do trabalho de campo (BUCK et al., 2012).

As características presentes em um ambiente de floresta tropical secundária com sub-bosque denso são numerosas se comparadas àquelas do ambiente de uma floresta equiânea. Neste contexto, pesquisas que têm em vista à obtenção de variáveis dendrométricas com o uso do *TLS* têm permanecido restritas a plantios florestais (BUCK et al., 2012; SILVA et al., 2011; LINGNAU et al., 2009; MARTINS NETO et al., 2013). Assim, este estudo teve como objetivo comparar estimativas de variáveis dendrométricas obtidas por meio do uso de *LiDAR* terrestre e de dendrometria convencional, bem como ajustar equações de volume por meio destes dados LiDAR para um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo**

A área deste estudo, denominada Mata da Silvicultura, localizada nas coordenadas 42° 52' 30"W e 20° 46' 10"S, é um fragmento de uma Floresta Estacional Semidecidual Montana pertencente à Universidade Federal de Viçosa (FIGUEIREDO et al., 2013).

O clima local é do tipo Cwa, temperado quente, de acordo a classificação de Köppen, dotado de verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos (ALVARES et al., 2013). No período de 1968 a 2017, a média da temperatura, umidade e precipitação anual foi de 19,82°C, 82,2% e 1.255 mm, respectivamente (UFV, 2018).

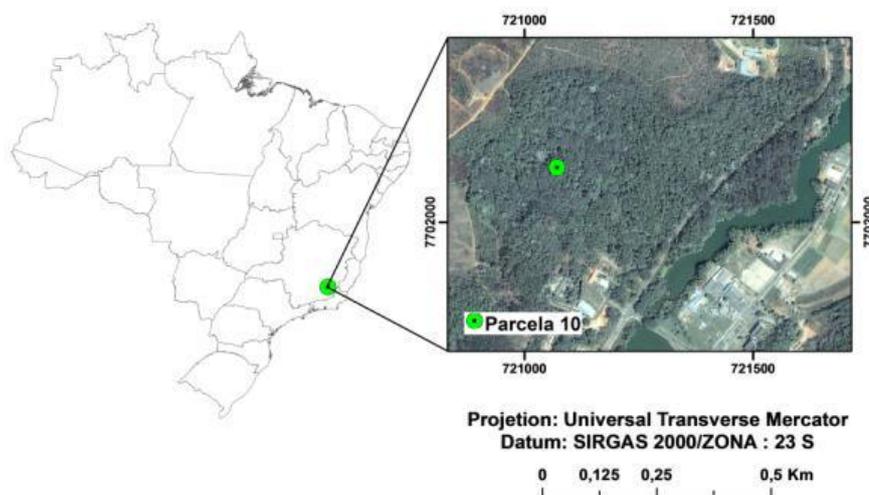
As classes de solo preponderantes na região são Latossolos Distróficos ricos em alumínio (nos topos de morros e nas encostas), Latossolos mais rasos e câmbicos (nas rampas aluviais) e Cambissolos Epieutróficos ricos em nutrientes (nos fundos das grotas) (FERREIRA JÚNIOR et al., 2012).

A topografia da região é fortemente acidentada, variando de forte-ondulada a montanhosa e dotada de vales estreitos e úmidos. O relevo é predominantemente forte, ondulado e montanhoso (MEIRA NETO, 1997 apud TORRES et al., 2013).

## 2.2. Obtenção das variáveis dendométricas

Para o levantamento das variáveis dendrométricas (DAP e altura total) foram selecionados 29 indivíduos arbóreos de 10 espécies da Mata da Silvicultura. A seleção das espécies foi feita com base no cálculo do índice do valor de importância (IVI) cujos dados foram provenientes de inventário florestal realizado na área (ROCHA, 2017). As 10 espécies estavam presentes em uma área de 10m x 50 m, dentro de uma das parcelas permanentes do fragmento (Figura 1).

Assim sendo, as espécies selecionadas foram: *Albizia polycephala* (Benth.) Killip ex Record, *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg, *Casearia ulmifolia* Vahl ex Vent., *Nectandra lanceolata* Nees, *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J. F. Macbr., *Rollinia laurifolia* Schltld., *Rollinia sylvatica* (A. St.-Hil.) Mart., *Siparuna arianae* M.V.L. Pereira, *Siparuna guianensis* Aublet. e *Trichilia pallida* Swartz.



**FIGURA 1.** Localização da área de 10m x 50 m, onde se encontra os indivíduos amostrados na Mata da Silvicultura em Viçosa (Minas Gerais).

Foram estabelecidos dois métodos de obtenção das variáveis dendométricas: método convencional (método I) e método com o uso do *TLS* (método II).

### 2.2.1. Método I

No método convencional de amostragem (método I), foram coletados, dos indivíduos da área selecionada, o CAP (circunferência à altura do peito), altura total (HT) e comercial (HC) com auxílio de fita métrica e um hipsômetro Vertex modelo IV (Haglof Inc. – Madison, Mississippi, EUA), respectivamente.

Para a cubagem dos indivíduos foi utilizado o método não destrutivo. Com auxílio de escada, por escalada ou com o pentaprisma de Wheeler foram medidos, os diâmetros ao longo do fuste. As alturas de medição do diâmetro com casca foram: 0m, 0,30m, 0,70m, 1,30m; e a partir desta altura, a cada 2 metros até a altura em que se foi possível aferir o diâmetro.

De posse dos diâmetros e de suas alturas ao longo do tronco, a determinação do volume do fuste para ambos os métodos, em cada seção, foi feita utilizando a fórmula de Smalian:

$$V_{cc} = \frac{AS_1 + AS_2}{2} * L$$

em que:

$V_{cc}$  – Volume com casca, em m<sup>3</sup>;

$AS_1$  – Área seccional da parte inferior do tronco, em m<sup>2</sup>;

$AS_2$  – Área seccional da parte superior do tronco, em m<sup>2</sup>;

$L$  – Comprimento do tronco, em m.

Nas situações nas quais não foi plausível continuar as medições de diâmetros ao longo do fuste, os volumes das seções foram calculados considerando o restante do fuste como um cone:

$$V_{cc} = \frac{\pi * d^2 * L}{3}$$

em que:

$V_{cc}$  – Volume com casca, em m<sup>3</sup>;

$d$  – diâmetro mínimo de medição do fuste, em m;

$L$  – Comprimento do toco, em m.

### **2.2.2. Método II**

Para o método utilizando o *TLS* (método II), os dados de CAP, HT e HC foram adquiridos com o uso do equipamento *Terrestrial Laser Scanning* RIEGL VZ-1000 (RIEGL – Horn, Áustria).

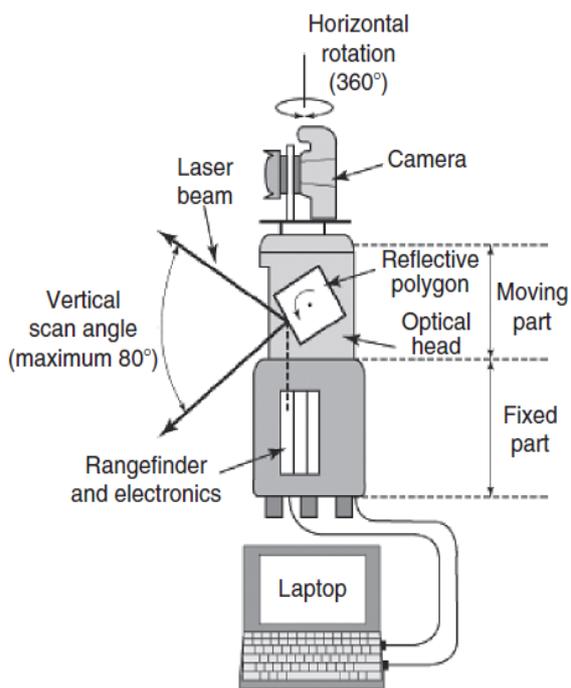
#### **2.2.2.1. Configuração do equipamento**

O equipamento utilizado neste estudo é o *Terrestrial Laser Scanning* RIEGL modelo VZ-1000 (RIEGL – Horn, Áustria). Este aparelho realiza a leitura da distância do sensor ao alvo pelo método *ToF* com retornos múltiplos podendo chegar a coleta de até 122 mil pontos por segundo (RIEGL, 2017).

Este equipamento emite pulsos laser com alcance de até 1400 metros, precisão de 5 milímetros nos três eixos, giro de 360° na horizontal e de até, 100° na vertical; ainda possui sensor de inclinação vertical que permite ao *scanner* trabalhar desnivelado em até 10° (RIEGL, 2017) (FIGURA 2).

Ademais, ele contém bússola e receptor GNSS integrados, memória interna de 32 Gb para armazenamento de dados e prumo laser. Ele é capaz de operar por meio de três modos distintos: diretamente pelo próprio painel do equipamento, através de um dispositivo que contenha conexão Wireless (sem cabos) ou através de um notebook utilizando o seu respectivo *software* (*Riscan Pro*). Ele tem peso de aproximadamente 10 kg e opera em temperaturas de 0 a 40°C (NEWNHAM et al., 2012).

Para esta pesquisa o aparelho foi operado diretamente pelo próprio painel, configurado no panorama 40 (ou seja, a cada 0,04° de rotação, um feixe de laser é disparado) e o seu ângulo de visada (*Vertical scan angle*) foi de 100° (60° para cima e 40° para baixo do centro de fase - local de emissão do feixe de laser) na vertical e 360° na horizontal.



**A**



**B**

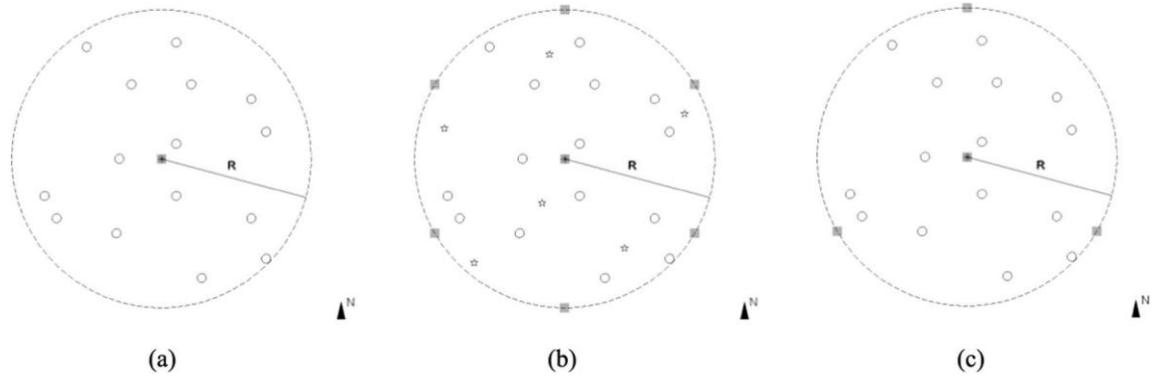
**FIGURA 2.** Diagrama do layout de funcionamento de um *TLS*(A) (Fonte: PETRIE & TOTH, 2009) e *Terrestrial Laser Scanning* RIEGL modelo VZ-1000 utilizado no escaneamento dos indivíduos arbóreos presentes na Mata da Silvicultura em Viçosa, Minas Gerais (B).

#### 2.2.2.2. Aquisição dos dados de campo

Os dados oriundos do *TLS* são frequentemente exibidos em formato de nuvens de pontos georreferenciadas (coordenadas x, y, z) calculadas com base no ângulo original e no alcance das medições. Uma das grandes vantagens deste tipo de dado é que ele pode ser registrado e fornecido a partir de qualquer tipo de instrumento *TLS* (LIANG et al., 2016).

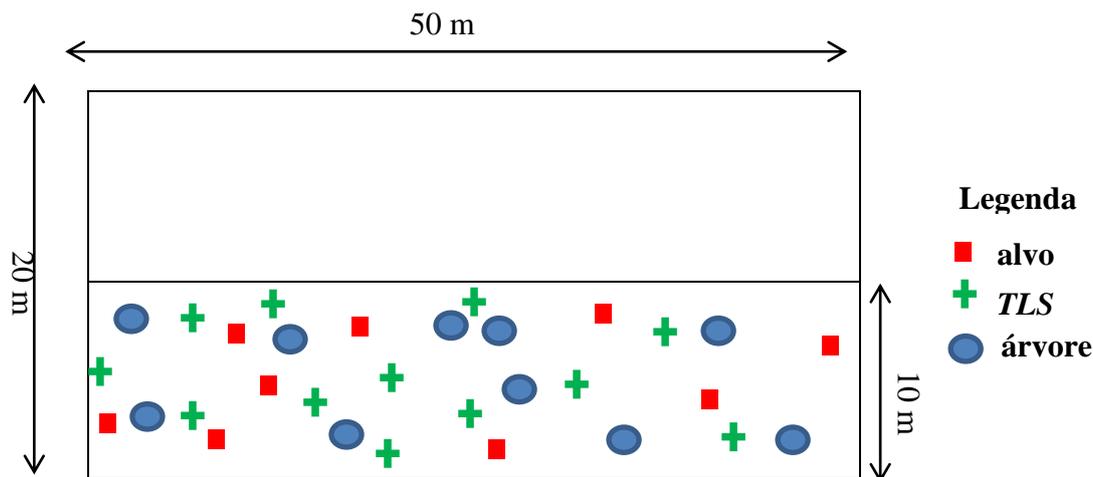
Os *TLS* que utilizam o método *ToF* apresentam alta resolução espacial, o que permite digitalizar objetos distantes do centro de fase do laser, como por exemplo, copas de árvores. Entretanto, esta elevada resolução espacial pode levar a uma redundância de informações de objetos próximos do *scanner*. Assim, torna-se imprescindível o planejamento de medição no campo para uma amostragem de dados, com base no tamanho, forma e estrutura das amostras (PUTTONEN et al., 2013).

Existem, basicamente, três maneiras de aquisição de dados por meio de equipamentos *TLS*: varredura simples, varredura múltipla e varredura simples-múltipla (varredura mista) (FIGURA 3).



**FIGURA 3.** Cenários de escaneamento por meio de varredura simples (a), varredura múltipla (b) e varredura mista (c) no qual o centro da parcela é marcado com quadrados cinzas assim como os locais de digitalização, as posições das árvores são mostradas como círculos e os alvos de referência são ilustrados usando estrelas (FONTE: LIANG et al., 2016).

Neste estudo, os indivíduos arbóreos escolhidos foram digitalizados utilizando-se o sistema de varredura múltipla (FIGURA 4). Neste sistema, inúmeras varreduras são realizadas dentro e, inclusive, fora da parcela de modo a permitir o recobrimento de toda superfície dos indivíduos arbóreos. Seguidamente, essas varreduras são unidas e registradas com o auxílio dos alvos de referência artificiais que são colocados aleatoriamente dentro da parcela. Este método pode ser considerado um dos mais precisos para a obtenção de variáveis dendrométricas, no entanto, ele demanda muito tempo para ser processado, dada a complexidade da união da nuvem de pontos (LIANG et al., 2016). Isso permitiu recobrimento eficiente das faces do tronco e reconstituição mais fidedigna do modelo tridimensional do indivíduo arbóreo. (THIES & SPIECKER, 2004)



**FIGURA 4.** Diagrama da amostragem dos indivíduos arbóreos das dez espécies estudadas por meio do sistema de varredura a laser (*LiDAR*) acoplado a uma plataforma tipo terrestre (*TLS*) na Mata da Silvicultura em Viçosa, Minas Gerais.

### 2.2.2.3. Sobre a filtragem e modelagem dos dados

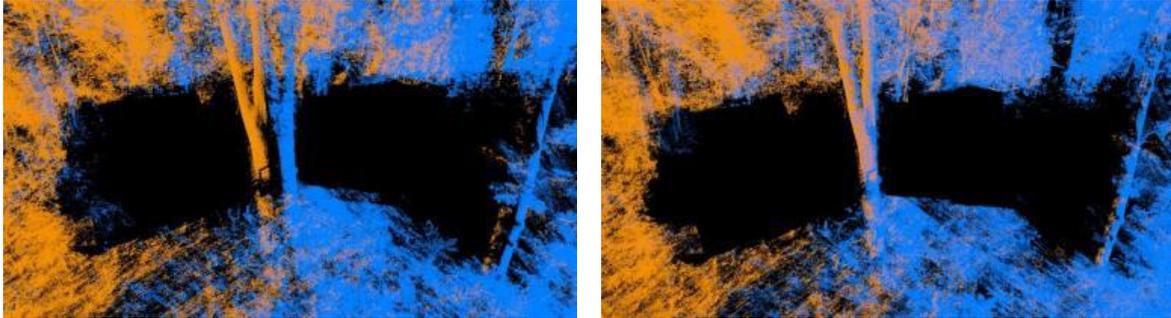
Neste estudo, foi imprescindível estabelecer filtragem e modelagem dos dados para a obtenção das variáveis dendrométricas. A filtragem e modelagem dos indivíduos arbóreos foram realizadas utilizando o *software Riscan Pro* versão 2.1, um *software* de processamento para *lasers scanners* terrestres da RIEGL (RODRIGUEZ, 2017).

Primeiramente, na etapa denominada de pré-processamento foi realizado um co-registro das nuvens de pontos com base nas coordenadas das posições do *laser scanner* obtidas através de um levantamento topográfico, por poligonação, no qual se utilizou uma Estação Topográfica Total Topcon modelo GTS 212 (SILVA et al., 2011).

As coordenadas UTM (N,E,Z) do ponto de partida da poligonal, bem como do ponto de referência do mesmo, foram obtidas com um receptor GNNS Garmin modelo ETREX 30 e estão no sistema Geodésico SIRGAS2000. A partir destas coordenadas iniciais, bem como dos dados do levantamento topográfico, foram calculadas, no *software* topoGRAPH, as coordenadas das posições do *laser scanner* (FERRAZ, 2012).

A utilização de um sistema que permite a coleta de coordenadas geográficas precisas – por se tratar de local com alta cobertura do dossel – foi imprescindível para a união das nuvens de pontos, através do processo de rotação das nuvens. Nesse processo é feita a sobreposição de pontos comuns em cada escaneamento, de forma que pontos

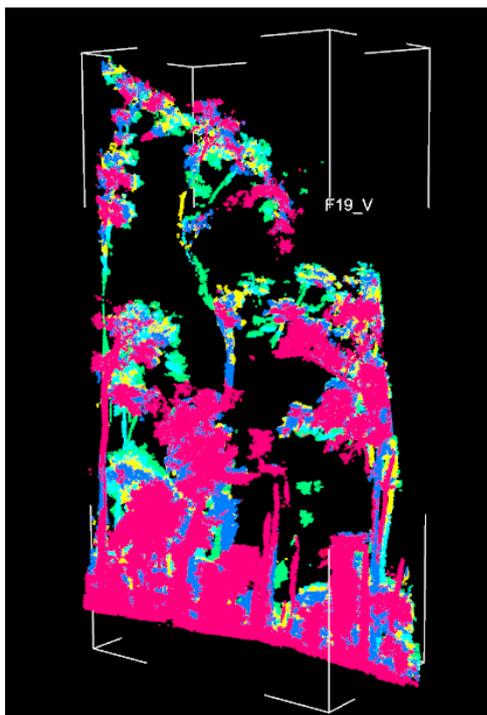
referentes a determinado objeto, porém oriundo de múltiplas nuvens, se tornem um único ponto na nuvem de pontos final (FIGURA 5).



**FIGURA 5.** Rotação das nuvens de pontos obtidas com o uso do *TLS* na Mata da Silvicultura em Viçosa, Minas Gerais.

Como referência na rotação, fez-se o uso dos alvos artificiais (esferas de isopor ou letras de papelão conectadas a bastões de PVC de 2 m fixados no solo), de árvores com características singulares e também de indivíduos arbóreos com faixas reflexivas perfazendo o CAP (MIRANDA et. al, 2018). As faixas reflexivas permitem uma reflexão mais intensa do feixe de luz emitido pelo laser, assim, os indivíduos arbóreos detentores dessas faixas foram facilmente identificados em relação aos demais.

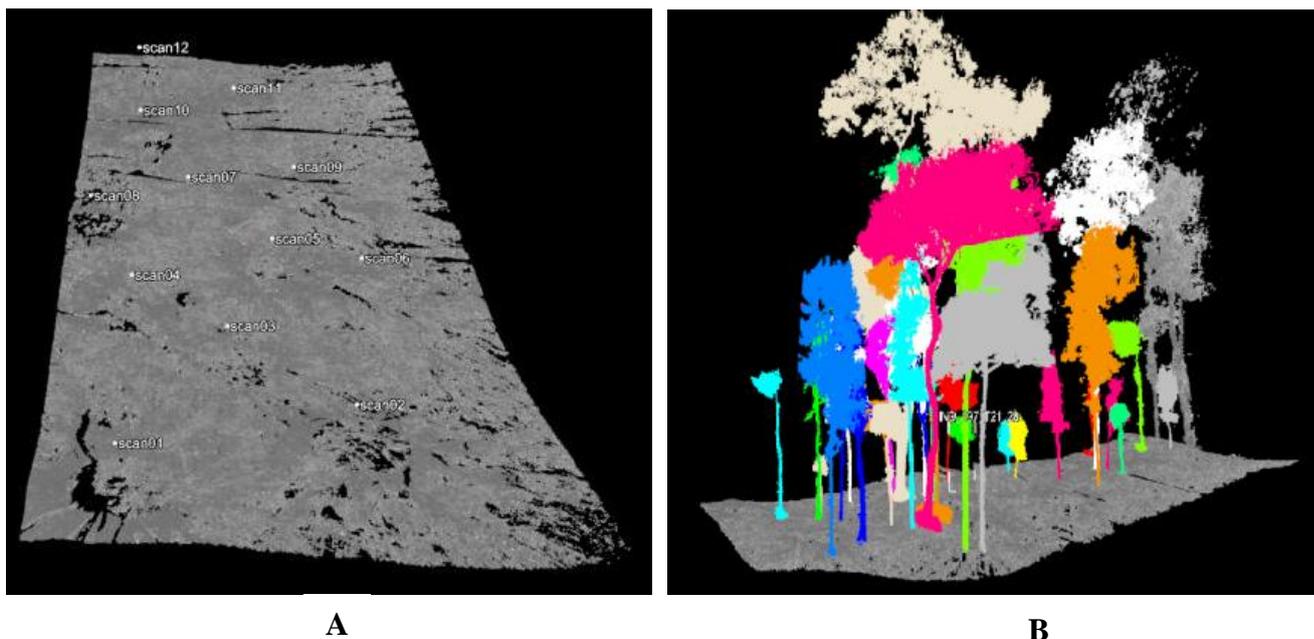
Para a extração das variáveis dendrométricas em nível de árvore individual foi necessário recortar a nuvem de pontos em diversas fatias para agilizar a identificação das árvores de interesse (FIGURA 6).



**FIGURA 6.** Secção vertical (“fatia”) da nuvem de pontos obtida com o uso do *TLS* com dados de terreno e vegetação na Mata da Silvicultura em Viçosa, Minas Gerais.

Em seguida, foi necessário identificar e isolar manualmente cada árvore da nuvem de pontos e, executar uma filtragem dos pontos não pertencentes ao tronco da árvore-alvo (como sub-bosque, pontos de ruído e galhos) de forma a removê-los. Os procedimentos foram realizados por meio de ferramentas de edição de nuvem de pontos do *software Riscan Pro* (seleção e corte de pontos).

Com o arquivo de cada árvore, devidamente separado, foi realizado um procedimento de filtragem do terreno, aplicado de forma automática pela função *Terrain Filter* já implementada no *software Riscan Pro*. Este procedimento foi executado para que fosse possível a obtenção da posição da árvore no *software* utilizado para calcular as variáveis dendrométricas (FIGURA 7 ).



**FIGURA 7.** Representação do terreno da nuvem de pontos obtida com o uso do *TLS* após o procedimento de filtragem- *Terrain Filter* na Mata da Silvicultura em Viçosa, Minas Gerais (A) e representação da nuvem de pontos obtida com o uso do *TLS* após o procedimento de filtragem das árvores e do terreno na Mata da Silvicultura em Viçosa, Minas Gerais (B).

#### 2.2.2.4. Extração das variáveis dendrométricas

Para extração das variáveis dendrométricas utilizou-se o *software 3D Forest* versão 0.42 (KRÁL, KRUCEK & TROCHTA, 2016). Trata-se de um *software* de código aberto dotado de interface gráfica de fácil utilização, de algoritmos focados no ambiente florestal e extração de parâmetros das árvores. Esta versão 0.42 é a mais atual sendo capaz de extrair parâmetros como posição (x, y, z) e altura do fuste, DAP e ainda obter projeções planas das árvores, parâmetros da copa, dentre outros (TROCHTA et al., 2017).

O processo de importação dos dados para o *3D Forest* foi executado da seguinte forma:

1º. Criou-se um novo projeto no qual foram inseridas informações acerca das coordenadas da área.

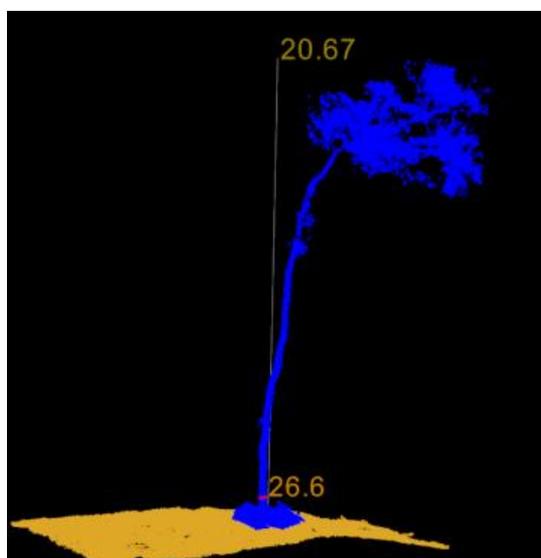
2º. De posse dos arquivos de cada terreno decorrentes do processamento no *Riscan Pro* foi feita a importação de cada um destes, separadamente, por meio da ferramenta *Terrain Cloud*.

3°. Seguidamente, importou-se para o *3D Forest* o arquivo de cada árvore, separadamente, com o auxílio da ferramenta *Tree Cloud*.

4°. Calculou-se a posição da árvore por meio da ferramenta *Position lowest points*, na qual o algoritmo usa todos os pontos até uma altura especificada pelo usuário (o padrão é 60 cm) acima do ponto mais baixo da árvore e calcula a mediana das coordenadas de X e Y. A coordenada Z foi definida como a mediana do valor Z dos n (padrão o valor é 5cm) pontos mais próximos do terreno para essa posição X, Y. Nesta etapa foi fundamental a prévia importação do arquivo de terreno para que o cálculo da posição fosse preciso.

5°. A seguir, calculou-se o DAP de cada um dos indivíduos arbóreos. A ferramenta utilizada para este cálculo foi a *DBH RHT* que estima e detecta o círculo (referente ao DAP) com base no número ajustável de iterações (padrão é 200) de estimativas de círculo. Este método utiliza um subconjunto da nuvem de pontos da árvore - uma fatia horizontal de 1,25 a 1,35 m de altura em relação ao solo- chamada nuvem *DBH* e, com um encaixe de círculo com pelo menos quatro pontos nesta fatia, calcula-se o DAP.

6°. Resumidamente, a altura da árvore foi definida como a diferença entre os valores máximo e mínimo de Z da nuvem de pontos da árvore e na posição (x, y) da base da árvore, com auxílio da ferramenta *Height* (FIGURA 8).



**FIGURA 8.** Representação do cálculo das variáveis dendrométricas na nuvem de pontos de um indivíduo arbóreo pertencente à Mata da Silvicultura (Viçosa – Minas Gerais) juntamente com sua respectiva nuvem de terreno no *software 3D Forest*.

### 2.2.2.5. Cubagem rigorosa

A cubagem foi feita virtualmente por meio do modelo tridimensional da árvore (cubagem via *TLS*), obtido na etapa de processamento dos dados. De posse deste modelo, utilizou-se a ferramenta *Measure distance between two points* do *software Riscan Pro*, na qual foi possível aferir os diâmetros e suas respectivas alturas ao longo da nuvem de pontos do fuste.

A obtenção do volume do fuste foi feita utilizando a fórmula de Smalian, da mesma forma do método 1.

### 2.3. Equações de volume

Após a obtenção das variáveis dendrométricas pelo método I e II e, de posse dos volumes obtidos pelas cubagens convencional (via campo) e virtual (via *TLS*), foram geradas equações de volume.

O ajuste foi feito com base em dois modelos volumétricos: o modelo de Schumacher e Hall (1933) e o modelo de Spurr (1952). Deste modo, foram geradas quatro equações (duas para cada método supracitado). As equações foram comparadas entre si de modo a averiguar a precisão destas com os dados do método II (obtidos pela nuvem de pontos do *TLS*) em relação àquelas ajustadas com os dados do método I (dados coletados de maneira convencional) (TABELA 1).

**TABELA 1.** Modelos empregados no ajuste das equações volumétricas, com base nos dados coletados de maneira convencional e naqueles obtidos pela nuvem de pontos do *TLS* em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais

Equação	Modelo	Referência
$V = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * H^{\beta_2} * \varepsilon$	Schumacher e Hall	Schumacher e Hall (1933)
$V = \beta_0 * (DAP^2 * H)^{\beta_1} * \varepsilon$	Spurr	Spurr (1952)

em que:

V = volume, em m<sup>3</sup>;

DAP = diâmetro a 1,3m de altura, em cm;

H = altura total da árvore, em m;

$\beta_i$  = parâmetros;

$\varepsilon$  = erro aleatório.

## 2.4. Comparação entre os métodos I e II

### 2.4.1. Entre as variáveis dendrométricas

É importante ressaltar que para a comparação entre os métodos utilizaram-se as mesmas árvores identificadas tanto de maneira convencional quanto na nuvem de pontos *TLS*. Assim, o número de amostras foi igual em todas as metodologias e na realização dos testes estatísticos.

As variáveis dendrométricas obtidas pelos métodos I e II foram comparadas, a priori, por meio do cálculo da diferença entre as variáveis obtidas pelo método tradicional e obtidas pelo *TLS*.

Posteriormente, foi aplicado o teste L&O (LEITE & OLIVEIRA, 2002) de modo a avaliar a hipótese de identidade entre os dados obtidos pelo método I (método padrão-  $Y_i$ ) e os dados obtidos pelo método II (método alternativo-  $Y_j$ ). Esse teste foi utilizado pois trata-se do resultado da combinação da estatística F ( $H_0$ ), modificado a partir de Graybill (1976), do teste do erro médio (t), e do coeficiente de correlação linear ( $r_{Y_jY_1}$ ).

Com base nessas estatísticas, é sugerida uma regra de decisão para o teste que consiste em comparar os valores observados com os esperados (TABELA 2).

**TABELA 2.** Regras de decisão para a comparação dos valores observados com os esperados do teste L&O

Situação	F( $H_0$ )	$t\bar{e}$	$r_{Y_jY_1}$	Decisão
1	ns	ns	$r_{Y_jY_1} \geq (1- \bar{e} )$	$Y_j = Y_1$
2	ns	ns	$r_{Y_jY_1} \leq (1- \bar{e} )$	$Y_j \neq Y_1$
3	ns	*	$r_{Y_jY_1} \geq (1- \bar{e} )$	$Y_j \neq Y_1$
4	ns	*	$r_{Y_jY_1} \leq (1- \bar{e} )$	$Y_j \neq Y_1$
5	*	ns	$r_{Y_jY_1} \geq (1- \bar{e} )$	$Y_j \neq Y_1$
6	*	ns	$r_{Y_jY_1} \leq (1- \bar{e} )$	$Y_j \neq Y_1$
7	*	*	$r_{Y_jY_1} \geq (1- \bar{e} )$	$Y_j \neq Y_1$
8	*	*	$r_{Y_jY_1} \leq (1- \bar{e} )$	$Y_j \neq Y_1$

ns e \* denotam, respectivamente, não significativo e significativo no nível  $\alpha$  de significância.

Fonte: LEITE E OLIVEIRA (2002).

### 2.4.2. Entre as equações volumétricas

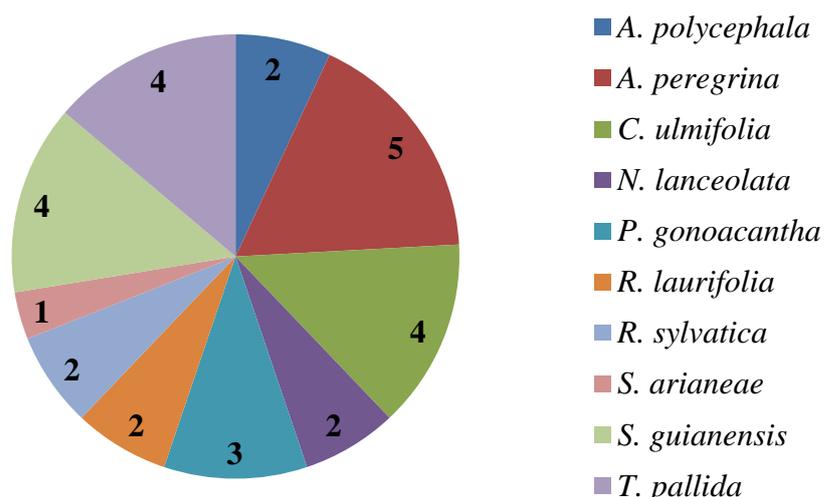
As equações volumétricas encontradas para cada modelo foram comparadas entre si com base em um teste de identidade de modelos proposto por Santos, Fardin & Oliveira Neto (2017). Foram comparadas entre si as equações ajustadas com base no modelo de Schumacher e Hall (SH) com os dados do inventário convencional (equação 1) e os dados obtidos com o uso do *TLS* (equação 2) e depois, este procedimento foi realizado com as equações ajustadas com base no modelo de Spurr (equações 3 e 4, com dados convencionais e de *TLS*, respectivamente).

Caso não se contaste a igualdade entre as equações 1 e 2 ou 3 e 4, será selecionada uma equação para cada método com base no seu desempenho nas estatísticas de precisão: raiz do erro quadrático médio percentual e bias percentual.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Sobre o levantamento

Foram mensurados e processados 29 indivíduos arbóreos (32 fustes) das 10 espécies estudadas. As espécies de maior representatividade em número de indivíduos foram: *A. peregrina* (5 indivíduos), *C. ulmifolia* (4 indivíduos), *S. guianensis* (4 indivíduos), *T. pallida* (4 indivíduos) e *P. gonoacantha* (3 indivíduos) (FIGURA 9).

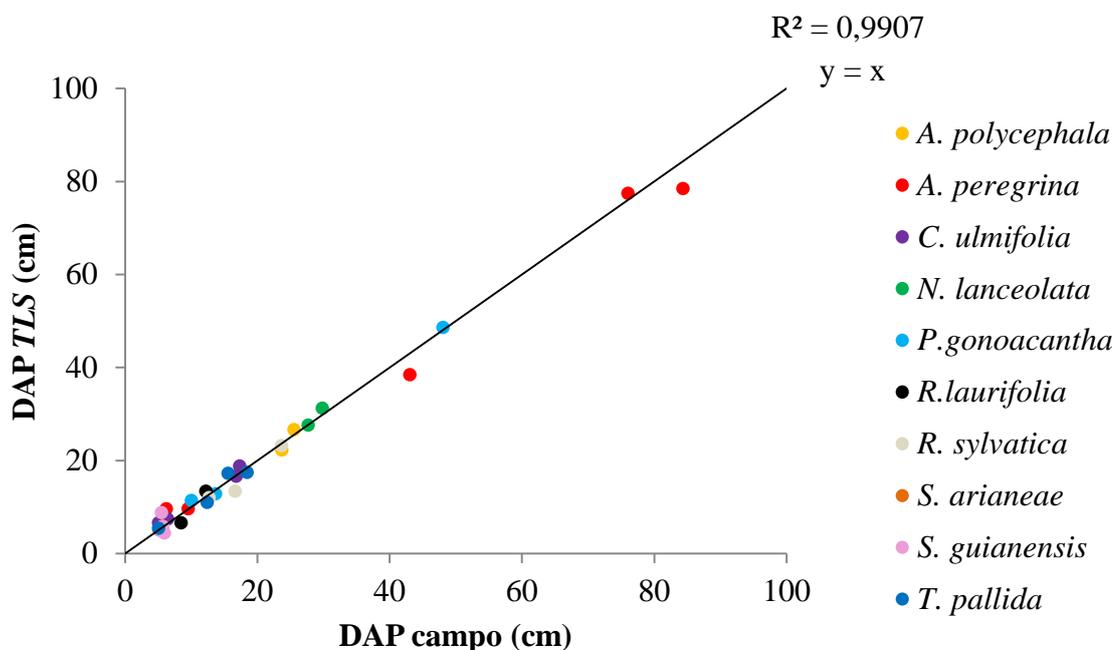


**FIGURA 9.** Representatividade das espécies estudadas, em porcentagem, pelo número de indivíduos arbóreos, em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais.

Para todos os demais processamentos, considerou-se 31 indivíduos arbóreos (cada fuste como um indivíduo nas situações em que a altura do início da bifurcação foi menor que 1,30 metros).

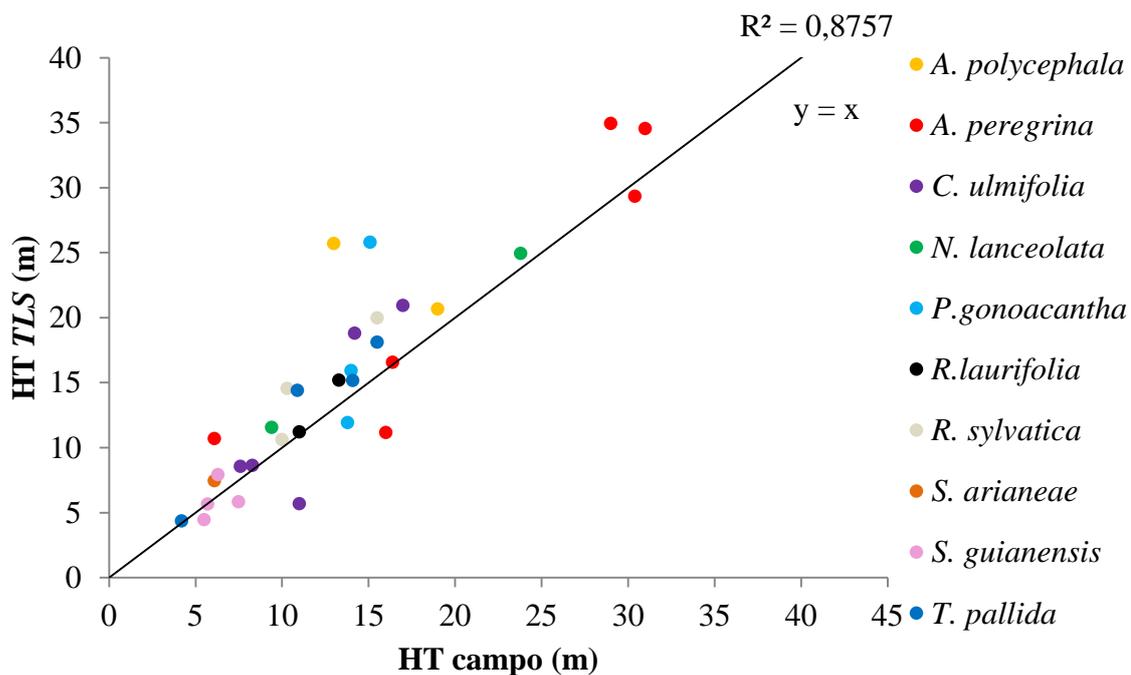
### 3.2. Determinação das variáveis dendrométricas e do volume por cubagem

O valor médio do DAP obtido pelo método convencional foi de 19,58 cm ( $\pm 98,34\%$ ) e aquele obtido utilizando o TLS foi de 19,48 cm ( $\pm 94,99\%$ ). De um modo geral, os valores de DAP determinados com o uso do *TLS* foram bem próximos àqueles obtidos de modo convencional, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,99. Um ajuste da linha de tendência entre os valores de DAP obtidos pelos dois métodos indicou uma forte correlação entre eles (FIGURA 10).



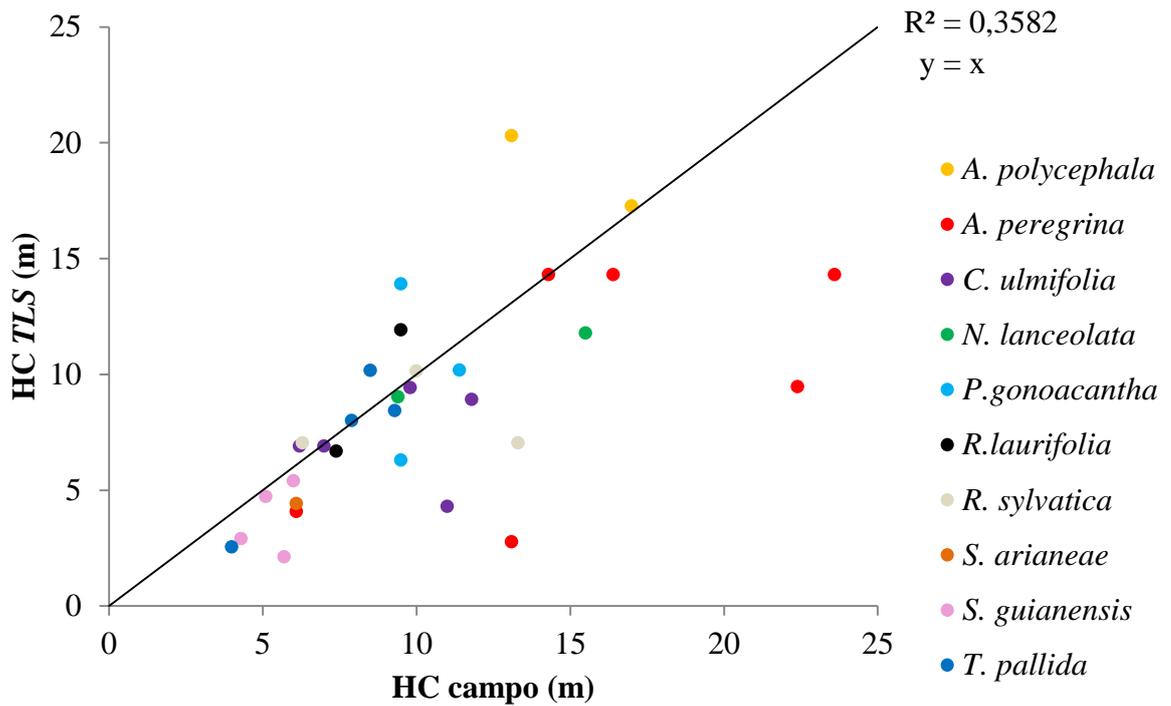
**FIGURA 10.** Ajuste da linha de tendência entre os DAP obtidos de maneira convencional com aqueles obtidos com o uso do *TLS* de 31 fustes em uma Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais.

O valor médio da altura total encontrado de modo convencional foi de 13,47m ( $\pm 7,04\%$ ) e aquele obtido com o uso do *TLS* foi de 15,36 m ( $\pm 8,63\%$ ). Os valores de altura total apresentaram bom ajuste entre eles, no entanto, notou-se uma tendência de superestimação nos valores das alturas obtidas pelo *TLS* (FIGURA 11).



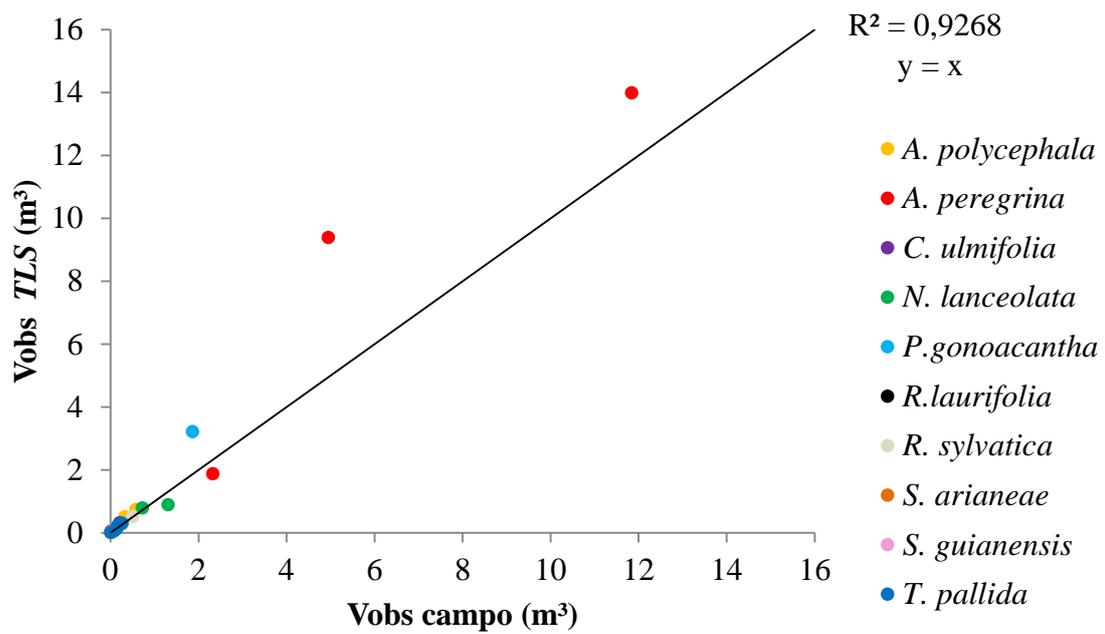
**FIGURA 11.** Ajuste da linha de tendência entre as alturas totais obtidas de maneira convencional com aquelas obtidas com o uso do *TLS* de 31 fustes em uma Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais.

O valor médio da altura comercial encontrado de maneira convencional foi de 10,33 m ( $\pm 46,66\%$ ) e aquele obtido pelo *TLS* foi de 8,63 m ( $\pm 51,61\%$ ). Não foi possível definir uma tendência de sub ou superestimação entre os valores. De um modo geral, o ajuste da linha de tendência entre os valores de HC obtidos pelos dois métodos indicou baixa correlação entre eles (FIGURA 12).



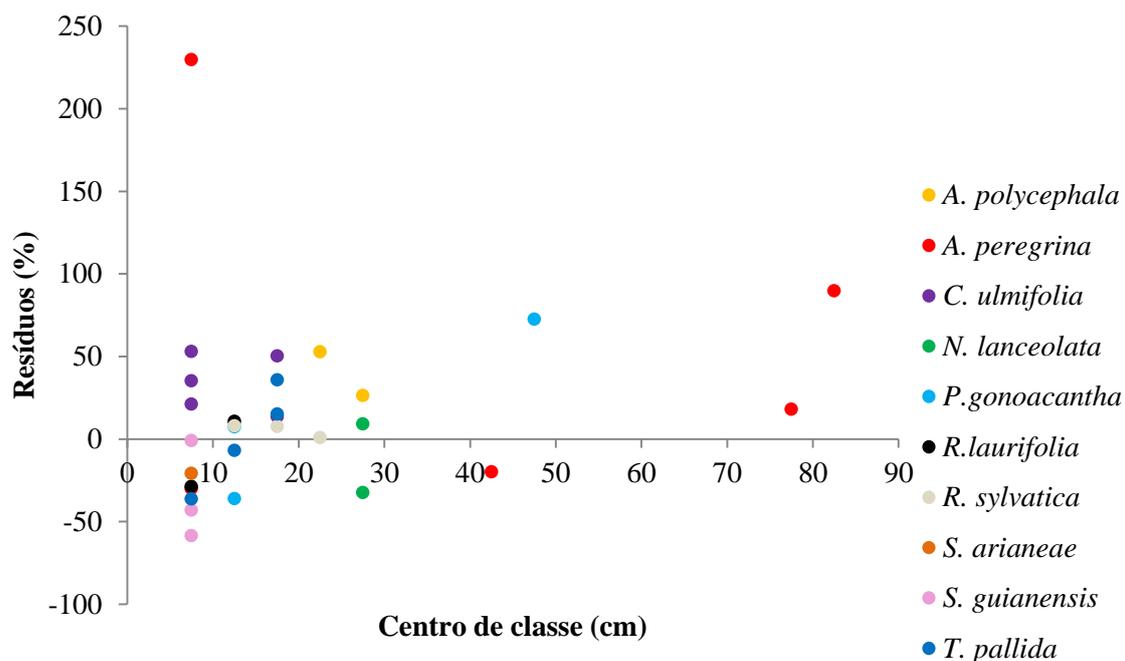
**FIGURA 12.** Ajuste da linha de tendência entre as alturas comerciais obtidas de maneira convencional com aquelas obtidas com o uso do *TLS* de 31 fustes em uma Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais.

No que tange ao volume obtido por cubagem rigorosa, observou-se que, de um modo geral, os valores do volume obtido com os dados coletados de maneira convencional e aqueles obtidos com os dados provenientes do uso do *TLS* foram bem próximos entre si. Um ajuste da linha de tendência entre eles mostrou uma forte correlação (FIGURA 13).



**FIGURA 13.** Ajuste da linha de tendência entre os volumes obtidos de maneira convencional com aqueles obtidos com o uso do *TLS* de 31 fustes em uma Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais.

Em uma análise mais minuciosa dos valores dos resíduos do volume, observou-se que, assim como ocorreu com os valores de altura total, houve uma tendência de superestimação (FIGURA 14).



**FIGURA 14.** Gráfico de resíduos dos volumes obtidos por meio da cubagem com base no centro de classe dos DAP de 31 fustes em uma Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais.

O resumo do teste L&O realizado para comparar as variáveis dendrométricas, mostrou que apenas a variável DAP foi considerada estatisticamente igual para ambos os métodos. Para as demais variáveis o teste indicou não haver identidade entre elas (TABELAS 3, 4, e 5).

**TABELA 3.** Resultado do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para a variável DAP obtidas pelos métodos I e II, sendo  $Y_j$  os valores de DAP obtidos pelo método II e,  $Y_i$  os valores de DAP obtidos pelo método I em 31 fustes em uma Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais

				<b>P-valor</b>
<b>F(Ho)=</b>	3,351155	ns	<b><math>Y_j</math> é igual a <math>Y_i</math></b>	0,049054
<b>t(e) =</b>	1,120435	ns		0,271134
$r_{Y_j Y_i} \geq 1 -  \bar{e} $		sim		

ns: não significativo

**TABELA 4.** Resultado do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para a variável altura total obtida pelos métodos I e II, sendo  $Y_j$  os valores da altura total obtidos pelo método II e  $Y_i$  os valores da altura total obtidos pelo método I em 31 fustes em uma Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais.

				<b>P-valor</b>
<b>F(Ho)=</b>	8,8445	*	<b><math>Y_j</math> é diferente a <math>Y_i</math></b>	0,0010
<b>t(e) =</b>	2,6537	ns		0,0124
$r_{Y_j Y_i} \geq 1 -  \bar{e} $		não		

\*: significativo

ns: não significativo

**TABELA 5.** Resultado do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para a variável volume obtida pelos métodos I e II, sendo  $Y_j$  os valores dos volumes obtidos pelo método II e  $Y_i$  os valores dos volumes obtidos pelo método I em fustes em uma Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais

				<b>P-valor</b>
<b>F(Ho)=</b>	14,4801	*	<b><math>Y_j</math> é diferente a <math>Y_i</math></b>	0,0000
<b>t(e) =</b>	1,4790	ns		0,1496
$r_{Y_j Y_i} \geq 1 -  \bar{e} $		sim		

\*: significativo

ns: não significativo

No que tange a comparação entre as equações volumétricas e, considerando um nível de significância igual a 1%, o teste de identidade de modelos indicou não haver identidade entre as equações ajustadas pelo modelo de Schumacher e Hall com os dados do inventário convencional (eq. 1) com aquelas ajustadas com os dados obtidos pelo *TLS* (eq. 2) ( $p\text{-valor} = 1,20e^{-25}$ ). Do mesmo modo, o teste de identidade de modelos também não indicou haver identidade entre as equações ajustadas pelo modelo de Spurr (equações 3 e 4), cujo  $p\text{-valor}$  foi igual a 0,00006.

Como não foi constatada igualdade entre as equações, as melhores ajustadas, tanto com os dados obtidos pelo método I quanto com os dados obtidos pelo método II, foram

aquelas com base no modelo de Schumacher e Hall, neste caso equações 1 e 3 (TABELA 6).

**TABELA 6.** Equações volumétricas ajustadas para os modelos Schumacher e Hall e de Spurr e suas respectivas estatísticas de precisão para os dados aferidos por meio de inventário florestal convencional e com o uso do *TLS* para um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais

Nº eq.	Método	Modelo	Equação	RMS E (%)	BIAS (%)
1	I	SH	$V = 0,000002183 \cdot DAP^{2,283} \cdot H^{1,632}$	28,48	9,57
2	I	Spurr	$V = 0,0000005910 \cdot (DAP^2 \cdot H)^{1,386}$	41,42	14,51
3	II	SH	$V = 0,00001777 \cdot DAP^{2,644} \cdot H^{0,5853}$	7,34	3,48
4	II	Spurr	$V = 0,00004542 \cdot (DAP^2 \cdot H)^{1,036}$	46,71	-3,86

### 3.3. Ajuste dos modelos volumétricos

De posse dos valores das variáveis dendrométricas provenientes dos métodos I e II e do volume obtido por meio das cubagens via campo e via *TLS*, foram ajustadas duas equações para o modelo volumétrico de Schumacher e Hall (SH) e duas equações para o modelo volumétrico de Spurr (TABELA 7).

**TABELA 7.** Equações volumétricas ajustadas com base nos dados coletados de maneira convencional (método I) e naqueles obtidos pela nuvem de pontos do *TLS* (método II) de 31 indivíduos arbóreos em uma Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais

Nº equação	Método	Modelo	Equação
1	I	SH	$V = 0,000002183 \cdot DAP^{2,283} \cdot H^{1,632}$
2	I	Spurr	$V = 0,0000005910 \cdot (DAP^2 \cdot H)^{1,386}$
3	II	SH	$V = 0,00001777 \cdot DAP^{2,644} \cdot H^{0,5853}$
4	II	Spurr	$V = 0,00004542 \cdot (DAP^2 \cdot H)^{1,036}$

#### 4. DISCUSSÃO

Os sistemas de varredura a laser terrestre têm sido, nos últimos anos, assunto de diversos estudos. Estes estudos visam avaliar o potencial deste sistema como ferramenta para o manejo de florestas inequidâneas naturais com base, principalmente, na aquisição de parâmetros dendrométricas de indivíduos arbóreos (BERBERT, 2016; VASTARANTA et al., 2009; NEWNHAM et al., 2015). Contudo, o uso deste sistema não exclui as atividades de campo, uma vez que o ajuste das estimativas, obtidas por meio desse sistema, carece de dados coletados nas áreas de estudo (GIONGO et al., 2010).

Os valores da variável DAP obtidos pelos métodos I e II quando correlacionados apresentaram uma linha de tendência cujo  $R^2$  foi mais elevado quando comparado aqueles provenientes da correlação entre os valores das variáveis altura total e volume entre si. Alguns autores indicam que a utilização de varreduras múltiplas, que garante uma cobertura multi-angular com elevadas taxas de detecção do fuste, pode explicar esta forte correlação entre os valores de DAP oriundos do processamento do *TLS* e aqueles obtidos de modo convencional (BIENERT et al., 2006; THIES & SPIECKER, 2004).

Além deste fato, a ausência de ruídos (como galhos e sub-bosque) realizado pelo procedimento manual da filtragem de dados, favoreceu a obtenção do DAP pelo *TLS*. Entretanto, em situações nas quais há forte presença de sub-bosque, torna-se essencial o desenvolvimento de algoritmos para automatização da filtragem dos dados de forma que

seja possível a remoção do sub-bosque de maneira rápida, eficaz e condizente com a realidade de campo (BUCK et al., 2017).

Outros fatores importantes que contribuíram para a aferição precisa do DAP pelo *TLS* foram: a pequena interferência do vento e a faixa de operação do *laser scanner* (em média 1,50 m) estar próxima à altura do DAP (ALMEIDA, 2017). Isto foi comprovado pelo resultado do teste L&O que indicou identidade entre os valores de DAP coletados por meio do método convencional e aqueles com o uso do *TLS*.

No que concerne a variável altura total, mesmo que os valores obtidos com o uso do *TLS* apresentaram bom ajuste aos valores obtidos de modo convencional, ocorreram tendências de sub e superestimação das alturas, inclusive já observadas por outros autores (LINGNAU et al., 2009; HOPKINSON et al., 2004; SILVA et al., 2011; LIANG & HYYPPA, 2013; OLOFSSON et al., 2014).

A subestimação destes valores pode ser explicada devido à baixa visibilidade das copas das árvores em vegetação nativa causada pela oclusão de copas adjacentes, o que diminui a densidade e cobertura dos pulsos laser da árvore-alvo (SILVA et al., 2013). Outros pontos a serem abordados para esclarecer esta subestimação são: a elevada densidade e altura da vegetação circundante e do sub-bosque que contribuem para o sombreamento do fuste; e, também, o fato do ponto mais alto da árvore nem sempre coincidir com aquele encontrado no centro da copa culminando em valores inferiores aos da altura real (LINGNAU et al., 2009; ANDERSEN et al., 2005).

Por sua vez, a superestimação da altura total pode ter sido causada pelo fato de que árvores menores, geralmente, são cercadas por árvores maiores em parcelas densas e, as copas das árvores maiores, erroneamente, acabam sendo atribuídas as árvores menores (CABO et al., 2018). A presença de sobreposição de copas, erro no posicionamento do equipamento ou na filtragem de dados também pode corroborar para a superestimação da altura total (SRINIVASAN et al., 2015). Diante disso, torna-se compreensível o fato de os valores totais das alturas não tenham sido estatisticamente iguais pelo teste L&O.

A definição do termo altura comercial é bastante subjetiva e, em algumas situações, é facilmente atribuída à altura do fuste (SOARES & SOUZA, 2011). No entanto, para este trabalho, entendeu-se por altura comercial a distância vertical do terreno até a altura na qual ocorre a inserção do primeiro galho da árvore.

Os resultados para esta variável apresentaram uma baixa correlação linear entre os valores obtidos por meio convencional e aqueles obtidos com o uso do *TLS*. Sabe-se que a aferição da altura comercial em um ambiente inequívoco nativo é complexa, pois existe certa

subjetividade na definição e detecção do primeiro galho que pode variar entre observadores e entre observações. Além disso, pode ter ocorrido erro na filtragem de dados, ou ainda, a distância em que o laser foi posicionado para as leituras pode ter sido pequena.

A distância do *TLS* à árvore é um fator muito relevante para a precisão dos dados. Quanto menor é esta distância, mais inclinado será o ângulo de visada do equipamento e, desta forma, o escaneamento abrangerá galhos sobrepostos, o que dificulta não só a definição da altura da base, mas também de toda a copa (MARTINS NETO et al., 2013). Todos estes fatores ajudam a esclarecer a diferença estatística entre os valores das variáveis HC (convencional) e HC (*TLS*) apresentada pelo teste L&O.

Bem como em outras pesquisas, o valor do  $R^2$  ajustado entre os valores de volume obtidos pela cubagem feita em campo e aquela realizada via *TLS* foi elevado (KUNZ et al., 2017; RAUMONEN et al., 2013; HACKENBERG et al., 2014). Contudo, notou-se uma subestimação para árvores menores e uma superestimação para árvores maiores, seguindo a mesma tendência observada pela altura total neste estudo.

A altura total é um dos componentes arbóreos que mais contribui para o volume de uma árvore, deste modo já era esperado que o volume apresentasse tendência similar aos dados da altura total (TORRESAN, CHIAVETTA & HACKENBERG, 2018). Além disso, como o volume foi obtido por meio de cubagem não destrutiva e, considerando o padrão de afilamento dos fustes, era previsto que, em diâmetros maiores, ou seja, próximos à altura de visada do equipamento, as estimativas apresentassem maior precisão em detrimento daquelas obtidas em diâmetros menores com ângulações de incidência maiores (ALMEIDA, 2017; BUCK, 2016). Com esta variação na precisão dos dados ao longo do fuste, o resultado do teste L&O confirmou a diferença estatística entre os volumes adquiridos com os dados obtidos de maneira convencional e aqueles adquiridos com o uso do *TLS*.

Como não foi constatada igualdade entre as equações ajustadas de acordo com os modelos volumétricos de SH e Spurr para os métodos I e II, escolheram-se as equações baseadas no modelo volumétrico de SH como as mais adequadas, uma vez que as estatísticas mostraram que estas descreveram melhor ajuste para os dados, assim como ocorreu em outros estudos (LEAL et al., 2015; MARTINS et al., 2015).

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A variável DAP foi estatisticamente igual para os métodos I (dados obtidos de maneira convencional) e II (dados obtidos com o uso do TLS).
- As variáveis altura total, altura comercial e volume foram estatisticamente diferentes para os métodos I e II.
- As equações ajustadas de acordo com os modelos volumétricos de SH e de de Spurr foram estatisticamente diferentes para os métodos I e II.
- As equações baseadas no modelo volumétrico de SH foram consideradas as que apresentaram melhor ajuste para ambos os métodos, sendo a equação 3 (ajustada com dados TLS) a que apresentou melhor ajuste aos dados.
- Recomenda-se o desenvolvimento de algoritmos para filtragem e modelagem dos dados de forma que o usuário consiga interagir com a interface mais facilmente tornando o processamento eficaz e operacional.
- Ademais, é fundamental que estes algoritmos sejam capazes de reconhecer e promover a distinção entre um indivíduo arbóreo e um arbustivo, componente do sub-bosque.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G. J. F. **Uso do laser scanner terrestre na estimativa de parâmetros biométricos em povoamentos florestais.** Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2017. 51f.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANDERSEN, H.E.; MCGAUGHEY, R.J.; REUTEBUCH, S.E. Estimating forest canopy fuel parameters using LiDAR data. **Remote Sensing of the Environment**, v. 94, p. 441–449, 2005.

BERBERT, M. L. D. G. **Potencial do LiDAR terrestre como ferramenta para o manejo de florestas naturais.** Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2016. 36f.

BIENERT, A.; MAAS, H. G.; SCHELLER, S. Analysis of the information content of terrestrial laserscanner point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. **Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry**, 2006.

BUCK, A. L. B. **Modelagem de dados *laser scanner* terrestre para a estimativa do volume em plantios clonais de *Eucalyptus spp.*** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2016. 146f.

BUCK, A.L.B.; LINGNAU, C.; MACHADO, A.M.L.; PÉLLICO NETO, S. Detecção de árvores em nuvens de pontos de varredura laser terrestre. **Bol. Ciên. Geod.**, v. 23, n.1, Curitiba, 2017.

BUCK, A. L. B ; SILVA, M. N. ; LINGNAU, C. ; Machado, A.M.L ; Martins Neto, R. P. ; Pesck, V. A. . Avaliação da modelagem tridimensional do tronco de *Pinus elliottii* a partir de dados laser terrestre. **Ambiência**. v. 8, p. 549-557, 2012.

CABO, C.; ORDÓÑEZ, C.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, C.A.; ARMESTTO, J. Automatic dendrometry: tree detection, tree height and diameter estimation using terrestrial laser scanning. **Int. J. Appl Earth Obs Geoinformation**, v. 69, p. 164-174, 2018.

FERRAZ, A.S. **Estimação dos estoques de biomassa e carbono na parte aérea de um fragmento de floresta estacional semidecidual por meio de imagens de satélite Ikonos II.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, 2012.

FERREIRA JÚNIOR, W.G.; SCHAEFFER, C.E.G.R.; SILVA, A.F. Uma visão pedogeomorfológica sobre as formações florestais da Mata Atlântica. In: MARTINS, S.V. (Ed.). **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa: Editora UFV, p.109-142, 2012.

FIGUEIREDO, L.T.M.; SOARES, C.P.B.; SOUZA, A. L.; MARTINS, S.V. Alterações florísticas em uma Floresta Estacional Semidecidual, no município de Viçosa, MG, entre 1994 e 2008. **Revista Floresta**, v.43, n. 2, p.169-180, 2013.

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

HACKENBERG, J.; MORHART, C.; SHEPPARD, J.; SPIECKER, H.; DISNEY, M. Highly accurate tree models derived from terrestrial laser scan data: a method description. **Forests**. v. 5, p. 1069-1105, 2014.

HOPKINSON, C.; CHASMER, L., YOUNG-POW, C., TREITZ, P. Assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, p. 573-583, 2004.

KRÁL, K.; KRUCEK, M.; TROCHTA, J. **3D Forest: tool for point cloud data processing from forest environment acquired by terrestrial laser scanner**. Versão 0.42. 2016. Disponível em: <https://www.3dforest.eu/#download>. Acesso em: 20 abr 2018.

KUNZ, M.; HESS, C.; RAUMONEN, P.; BIENERT, A.; HACKENEBERG, J; MAAS, H. G.; HARDTLE, W.; FITCHNER, A.; OHEIMB, G.V. Comparison of wood volume estimates of young trees from terrestrial laser scan data. **iForest**, v. 10, p. 451–458, 2017.

LEAL, F.A.; CABACINHA, C.D.; CASTRO, R.V.O.; MATRICARDI, E.A.T. Amostragem de árvores de Eucalyptus na cubagem rigorosa para estimativa de modelos volumétricos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 1, p. 91-103, 2015.

LEFSKY, M.A.; COHEN, W.B.; PARKER, G. G.; HARDING, D.J. Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies: Lidar, an emerging remote sensing technology that directly measures the three-dimensional distribution of plant canopies, can accurately estimate vegetation structural attributes and should be of particular interest to forest, landscape, and global ecologists, **BioScience**, v. 52, issue 1, p. 19–30.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. H. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, n.7-8, p.1105-1118, 2002.

LIANG, X.; HYYPPA, J. Automatic Stem Mapping by Merging Several Terrestrial Laser Scans at the Feature and Decision Levels. **Sensors**, v. 13, p. 1614-1634, 2013.

LIANG, X.; KANKARE, V.; HYYPPA, J.; WANG, Y.; KUKKO, A.; HAGGRÉN, H.; YU, X.; KAARTINEN, H.; JAAKKOLA, A.; GUAN, F.; HOLOPAINEN, M.; VASTARANTA, M. Terrestrial laser scanning in forest inventories. **ISPRS J Photogramm Remote Sens**, v. 115, p. 63-77. 2016.

LIANG, X.; LITKEY, P.; HYYPPA, J.; KAARTINEN, H.; VASTARANTA, M.; HOLOPAINEN, M. Automatic stem mapping using single-scan terrestrial laser scanning. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.**, v. 50, p. 661-670, 2012.

LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; BAVARESCO JÚNIOR, A.; COLLA, F. L. Determinação de diâmetros a diferentes alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009.

MARTINS, R. M.; LEITE, M. V. S.; CABACINHA, C. D.; ASSIS, A. L. Teste de identidade de modelos volumétricos para povoamentos de Eucalyptus sp. em sete municípios de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera – Centro Científico Conhecer**, v.11, n.21, p.1818-1833, 2015.

MARTINS NETO, R. P.; BUCK, A. L. B.; SILVA, M. N.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; PESCK, V. A. Avaliação da varredura laser terrestre em diferentes distâncias da árvore para mensurar variáveis dendrométricas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, p. 420-433, 2013.

MEIRA NETO, J. A. A. **Estudos florísticos, estruturais e ambientais nos estratos arbóreo e herbáceos-arbustivo de uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, MG.** 1997. 154f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

MIRANDA, G.H.B.; MEDEIROS, N.G.; SANTOS, A.P.; SANTOS, G. R. Análise de qualidade de amostragem e interpolação na geração de MDE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n.1, p. 226-257, 2018.

NEWNHAM, G.J.; ARMSTON, J.D.; CALDERS, K.; DISNEY, M.I.; LOVELL, J.L., SCHAAF, C.B.; STRAHLER, A.H.; DANSON, F.M. Terrestrial Laser Scanning For Plot Scale Forest Measurement. **Current Forestry Reports**, v. 1, p. 239-251, 2015.

NEWNHAM, G.; ARMSTON, J.; MUIR, J.; GOODWIN, N.; TINDALL, D.; CULVENOR, D.; PUSCHEL, P.; NYSTROM, M.; JOHANSEN, K. Evaluation of Terrestrial Laser Scanners for Measuring Vegetation Structure. **CSIRO Sustainable Agriculture Flagship**, Manuscript ID: EP124571, 2012.

OLOFSSON, P.; FOODY, G.M.; HEROLD, M.; STEHMAN, S.V.; WOODCOCK, C.E.; WULDER, M.A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sens. Environ.**, v. 148, p. 42-57, 2014.

PETRIE, G.; TOTH, C. Terrestrial Laser Scanners. **Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing**. 2009. Disponível em <[https://www.researchgate.net/publication/265566625\\_Terrestrial\\_Laser\\_Scanners](https://www.researchgate.net/publication/265566625_Terrestrial_Laser_Scanners)> Acesso em: 17 de jan de 2018.

PITKANEN, T.P.; RAUMONEN, P.; KANGAS, A. Measuring stem diameters with TLS in boreal forests by complementary fitting procedure. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 147, p. 294-306. 2019.

PUTTONEN, E; LETHTOMAKI, M.; KAARTINEN, H.; ZHU, L.; KUKKO, A.; JAAKKOLA, A. Improved sampling for terrestrial and mobile laser scanner point cloud data. **Remote Sens.**, v.5, issue 4, p. 1754-1773, 2013.

RAUMONEN, P.; KAASALAINEN, M.; AKERBLUM, 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, p. 491-520, 2013.

RIEGL Laser Measurement systems. Data Sheet, **RIEGL VZ-1000**, 2017.

RODRIGUEZ, A. C. C. **Above ground biomass estimation in palm trees using Terrestrial LiDAR and tree modelling**. 2017. Thesis (Master Science). Wageningen University and Research Centre, Wageningen, The Netherlands.

SANTOS, A.C.A.; FARDIN, L.P.; OLIVEIRA NETO, R. R. **Teste de Hipótese em Análise de Regressão**. Ed. Novas Edições Acadêmicas, 2017. 65p.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, n.9, p.719-734, 1933.

SILVA, M. N.; BUCK, A. L. B.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; MIRANDA, B. P. Varredura com laser terrestre para determinação das variáveis dendrométricas da *Araucaria angustifolia*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 5509- 5516.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. S. Dendrometria e inventário florestal. 2.ed. Minas Gerais: UFV, 272 p. 2011.

SPURR, S.H. **Forestry inventory**. Ronald Press, New York. 1952. 476p.

SRINIVASAN, S.; POPESCU, S.C.; ERIKSSON, M.; SHERIDAN, R.D.; KU, N.W. Terrestrial laser scanning as an effective tool to retrieve tree level height, crown width, and stem diameter. **Remote Sens.**, v. 7, p.1887-1896, 2015.

TAVARES, G. G.; SABINO, T. L. R.; FONSECA, L. G.; CHAVES, F. O.; COTRIM, B. Métodos computacionais para aproximação do diâmetro à altura do peito de árvores de regiões de mangue via escaneamento tridimensional a laser. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa de Engenharia**, v. 2, n.10, p. 138-155, 2016.

THIES, M.; SPIECKER, H. Evaluation and future prospects of terrestrial laser scanning for standardized forest inventories. **Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spatial Inform. Sci.**, v. 36, p. 192-197, 2004.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA NETO, S. N.; SANTOS, R. D.; CASTRO NETO, F. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 647-55, 2013.

TORRESAN, C.; CHIAVETTA, U.; HACKENBERG, J. Applying quantitative structure models to plot-based terrestrial laser data to assess dendrometric parameters in dense mixed forests. **Forest Systems**, v. 27, issue 1, e004, 2018.

TROCHTA J.; KRUCEK, M.; VRSKA T.; KRAL, K. 3D Forest: An application for descriptions of three-dimensional forest structures using terrestrial LiDAR. **PLoS ONE** v.12, n. 5, 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa. **Boletim meteorológico 2018**. Viçosa, 2018.

VASTARANTA, M.; HOLOPAINEN, M.; REIJA, H.; YU, X. Comparison between an area-based and individual tree detection method for low-pulse density ALS-based forest inventory. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. v. 38, p. 147-151, 2009.

WANG, D.; HOLLAUS, M.; SCMALTZ, E.; WIESER, M.; REIFESLTSHAMMER, D.; PFEIFER, N. Tree Stem Shapes Derived from TLS Data as an Indicator for Shallow Landslides. **Procedia Earth and Planetary Science**. v. 16, p. 185-194, 2016.

WIGGINS, H.L.; NELSON, C.R.; LARSON, A.L.; SAFFORD, H.D. Using LiDAR to develop high-resolution reference models of forest structure and spatial pattern. **Forest Ecology and Management**. v. 434, p. 318-330, 2019.

## CAPÍTULO 2

### COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE AMOSTRAGEM POR PARCELAS DE ÁREA FIXA E VARIÁVEL EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL EM VIÇOSA-MG

#### 1. INTRODUÇÃO

A evolução dos procedimentos metodológicos, ao longo dos anos, permitiu a inserção de métodos de amostragem que apresentassem um custo de execução cada vez menor aliado a uma redução da demanda de tempo para o levantamento (MIRANDA et al., 2015). O método idealizado pelo austríaco Walter Bitterlich em 1948 é um exemplo destas metodologias. Este método se baseia no princípio denominado *prova de numeração angular*, ou seja, “o número de árvores (n) em um povoamento, cujo DAP em um ponto fixo aparece superior a determinado valor constante ( $\alpha$ ), é proporcional à sua área basal por hectare (B)” (SOARES, PAULA NETO & SOUZA, 2010).

Este método foi considerado inovador para sua época devido à facilidade de execução tanto em pequenas quanto em grandes propriedades. Além da evidente redução dos custos e da manutenção da precisão requerida quando comparado aos métodos de inventário florestal adotados naquele período (DRUSZCZ et al., 2012; SANTOS et al., 2016).

Estudos mostram que o método de Bitterlich é preciso quando comparado aos métodos convencionais de amostragem em florestas equiâneas (DRUSZCZ et al., 2010;

DRUSZCZ, 2014; GOMES et al., 2011). Todavia, conhecimentos acerca da comparação da precisão e eficácia deste método com a finalidade de reduzir a demanda de tempo e recursos financeiros na execução do inventário em florestas inequiâneas ainda são raros (FARIAS et al., 2002).

Desse modo, este estudo visa à comparação de métodos de amostragem por parcelas de área fixa e variável por meio de seus parâmetros populacionais e estrutura horizontal em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual no intuito de possibilitar o uso de métodos de amostragem alternativos que requerem menor demanda de tempo e de recursos financeiros.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo**

A área deste estudo, denominada Mata da Silvicultura, localizada nas coordenadas 42° 52' 30"W e 20° 46' 10"S, é um fragmento de uma Floresta Estacional Semidecidual Montana pertencente à Universidade Federal de Viçosa (FIGUEIREDO et al., 2013).

O clima local é do tipo Cwa, temperado quente, de acordo a classificação de Köppen, dotado de verões quentes e chuvosos e, invernos frios e secos (ALVARES et al., 2013). No período de 1968 a 2017, a média da temperatura, umidade e precipitação anual foi de 19,82°C, 82,2% e 1.255 mm, respectivamente (UFV, 2018).

As classes de solo preponderantes na região são Latossolos Distróficos ricos em alumínio (nos topos de morros e nas encostas), Latossolos mais rasos e câmbicos (nas rampas aluviais) e Cambissolos Epieutróficos ricos em nutrientes (nos fundos das grotas) (FERREIRA JÚNIOR et al., 2012).

A topografia da região é fortemente acidentada, variando de forte-ondulada a montanhosa e dotada de vales estreitos e úmidos. O relevo é predominantemente forte, ondulado e montanhoso (TORRES et al., 2013).

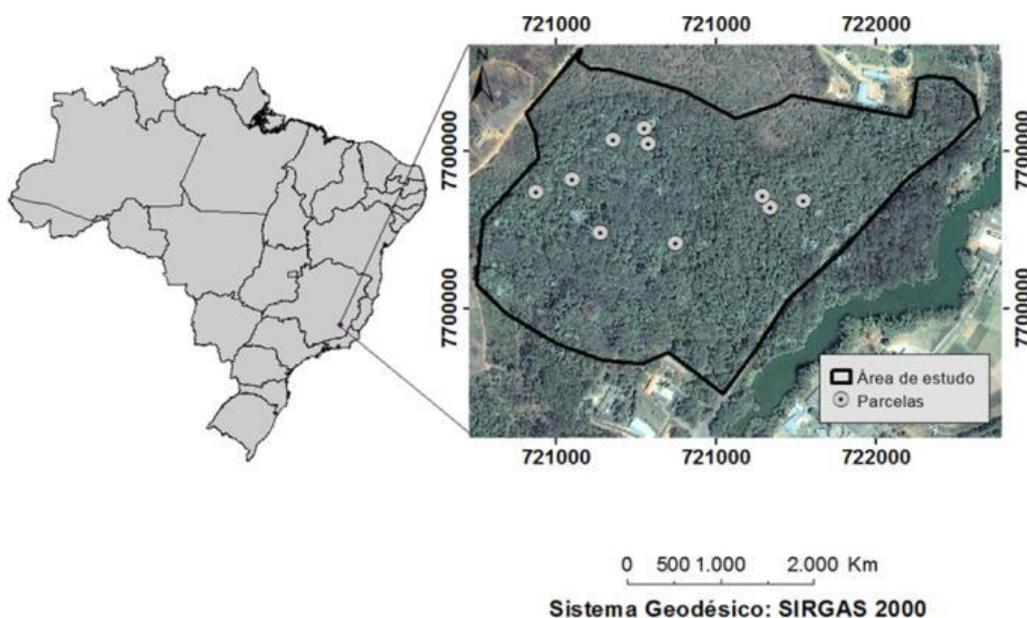
### **2.2. Amostragem e Coleta de dados**

Para este estudo, foram utilizados dois métodos de amostragem (TABELA 1).

**TABELA 1.** Métodos, tipos de parcela e número de pontos de amostragem por parcela empregados em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, MG.

Método	Tipo de parcela	Nº de pontos/parcela
I	Área Fixa	9
II	Área Variável	1

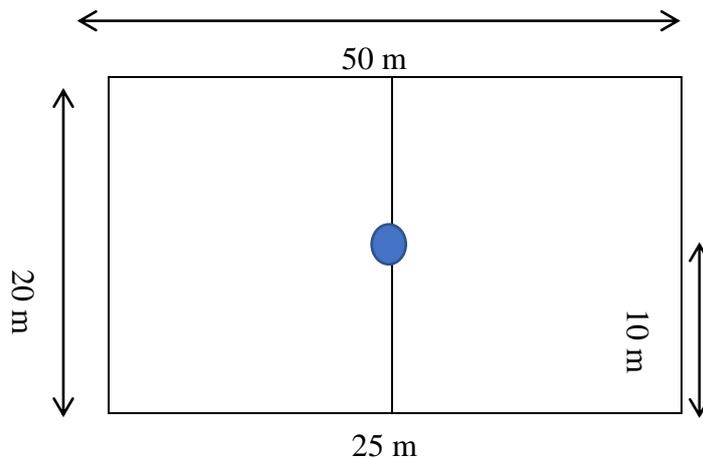
No método de amostragem de parcelas de área fixa (método I), foram remeidas 9 parcelas de (20x50) m lançadas aleatoriamente ao longo de toda a área (FIGURA 1).



**FIGURA 1.** Distribuição das parcelas de área fixa na Mata da Silvicultura em Viçosa, Minas Gerais (Fonte: ROCHA, 2017)

Todos os indivíduos que apresentaram DAP (diâmetro à altura do peito)  $\geq 5$  cm tiveram aferidos seus CAP (circunferência à altura do peito), altura total e comercial com auxílio de uma fita métrica e um hipsômetro Vertex modelo IV (Haglof Inc. – Madison, Mississippi, EUA), respectivamente.

No método de parcela de área variável (método II) foi realizada a amostragem sistemática com auxílio da barra de Bitterlich. Em cada uma das parcelas levantadas no método de parcelas de área fixa, foi alocado um ponto de amostragem a 25m paralelamente ao lado de 50m da parcela, ou seja, no centro da parcela, perfazendo 9 pontos de amostragem. Cada árvore qualificada teve seu CAP (circunferência à altura do peito), altura total e comercial aferidos (FIGURA 2).



**FIGURA 2.** Localização do ponto de coleta pelo método de Bitterlich dentro de cada parcela de área fixa na Mata da Silvicultura em Viçosa, Minas Gerais.

### **2.3. Processamento e análise dos dados**

As análises foram realizadas de maneira similar àquela proposta por Farias (2002) nas quais, para ambos os métodos, foram calculadas estimativas de parâmetros populacionais e da estrutura horizontal.

#### **2.3.1. Estimativas dos parâmetros populacionais**

No que tange as estimativas de parâmetros populacionais foram calculados, para parcelas e pontos, a área basal por hectare, número de árvores por hectare, volume por hectare, diâmetro médio, altura total média e número de espécies (TABELA 2).

**TABELA 2.** Expressões empregadas na obtenção das estimativas dos parâmetros populacionais para o método de parcelas de áreas fixas (parcela) e para o método de parcela de área variável (ponto) da Mata da Silvicultura em Viçosa, Minas Gerais

	Parcelas de área fixa	Parcelas de área variável
Área basal por hectare	$B = \sum_{i=1}^n \frac{As_i}{A}$	$B = n * K$
Número de fustes por hectare	$N / ha = \frac{n}{A}$	$N/ha = \sum_{i=1}^n \frac{K}{As_i} = \sum_{i=1}^n N_i$
Volume total por hectare	$V/ha = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{A}$	$V/ha = \sum_{i=1}^n V_i * N$
Diâmetro médio	$q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}$	$q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 * N_i}{\sum N_i}}$
Altura total média		$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}$
Número de espécies	Somatório do número de espécies encontradas em cada parcela ou ponto	

em que:

B = área basal;

$As_i$  = área seccional da i-ésima árvore amostrada na parcela ou qualificada no ponto, em m<sup>2</sup>;

A = área da parcela, em ha;

n = número de árvores amostradas nas parcelas ou qualificadas nos pontos;

K = fator de área basal ( K= 1 m<sup>2</sup>/ha);

$V_i$  = volume da i-ésima árvore amostrada, em m<sup>3</sup>;

$N_i$  = número de árvores por hectare que a i-ésima árvore qualificada representa;

$d_i$  = diâmetro da i-ésima árvore amostrada, em cm;

$H_i$  = altura total da i-ésima árvore.

O volume com casca de cada indivíduo arbóreo foi obtido utilizando a equação proposta por Amaro (2010):

$$VolTcc = 0,000074230 \cdot DAP^{1,707348} \cdot Ht^{1,16873} \quad R^2 = 0,973 \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

DAP = diâmetro à altura do peito, em cm;

Ht = altura total, em m.

### 2.3.2. Estimativas dos parâmetros da estrutura horizontal

As estimativas dos parâmetros da estrutura horizontal calculadas para os métodos foram a densidade e dominância absoluta, ambas apresentadas por centro de classe de DAP (TABELA 3).

**TABELA 3.** Expressões empregadas na obtenção das estimativas dos parâmetros da estrutura horizontal para o método de parcelas de áreas fixas (parcela) e parcelas de áreas variáveis (ponto) da Mata da Silvicultura em Viçosa, Minas Gerais

	Parcelas de área fixa	Parcelas de área variável
<b>Densidade absoluta</b>	$DA_i = \frac{n_i}{A}$	$DA_i = \frac{\sum_{i=1}^j K/As_i}{j}$
<b>Dominância absoluta</b>	$D_oA_i = \frac{AB_i}{A}$	$D_oA_i = \frac{\sum_{i=1}^j n_i * K}{j}$

em que:

$DA_i$  = densidade absoluta da i-ésima espécie, em número de indivíduos por hectare;

$n_i$  = número de indivíduos da i-ésima espécie na amostragem (parcelas de área fixa) ou número de árvores qualificadas da i-ésima espécie (parcelas de área variável);

A = área total amostrada, em ha;

$K$  = fator de área basal ( $K = 1 \text{ m}^2/\text{ha}$ );

$AS_i$  = área seccional das árvores qualificadas da  $i$ -ésima espécie, em  $\text{m}^2$ ;

$j$  = número de pontos de amostragem;

$D_oA_i$  = dominância absoluta da  $i$ -ésima espécie, em  $\text{m}^2/\text{ha}$ ;

## 2.4. Comparação entre os métodos de amostragem

A comparação entre os métodos foi feita por meio da análise do coeficiente de correlação Pearson (correlação linear simples) e do teste “t” pareado.

### 2.4.1. Coeficiente de correlação

O termo correlação significa associação entre duas variáveis aleatórias. Numa análise de correlação, determina-se o grau de associação linear entre estas variáveis. Este grau de associação é denominado de coeficiente de correlação. O coeficiente de correlação fornece uma ideia, de forma razoável, à respeito da dependência entre duas variáveis, uma vez que se elimina as variações das variáveis e independe das unidades de medida destas (CECON et al., 2012).

As variáveis em análises podem apresentar correlação linear positiva, negativa ou, até mesmo, podem não estar associadas linearmente.

Desse modo, a expressão utilizada para obter o coeficiente de correlação entre as variáveis foi:

$$r_{xy} = \frac{Cov(x, y)}{S_x S_y}$$

em que  $x$  = método padrão (parcelas de áreas fixas);  $y$  = método alternativo (parcelas de áreas variáveis,  $K = 1$ );  $Cov(x, y)$  = covariância de  $x$  em relação a  $y$ ;  $S_x$  = desvio-padrão de  $x$ ;  $S_y$  = desvio-padrão de  $y$ .

### 2.4.2. Teste “t” pareado

O teste “t” pareado permitiu a comparação entre os valores obtidos do método alternativo (método II) com os valores obtidos pelo método de referência (método I). Foram comparadas estimativas de área basal por hectare, número de espécies, número de fustes por hectare, diâmetro médio, altura total média e volume por hectare de acordo com a equação supracitada (eq. 1).

A hipótese testada foi:

$H_0 : \bar{d} = 0$  (não existe diferença estatística entre as estimativas)

$H_a : \bar{d} \neq 0$  (existe diferença estatística entre as estimativas)

A estatística do teste foi dada por:

$$t = \frac{\bar{d} - 0}{\frac{S_{e\%}}{\sqrt{n}}}$$

em que:  $\bar{d}$  = média das diferenças da amostra pareada;  $S_{e\%}$  = desvio-padrão da amostra pareada; e  $\sqrt{n}$  = número de pontos ou parcelas.

### 2.4.3. Teste de Kolmogorov-Smirnov (KS)

Para analisar a existência ou não de diferenças estatísticas entre as distribuições diamétricas do método tradicional (método I) em relação ao método alternativo (método II), aplicou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS) a 5% de significância, de acordo com a equação que se segue.

$$D_{cal} = \text{Max} |F_0(x) - F_e(x)|$$

em que:  $F_0(x)$  = densidade/dominância acumulada observada;  $F_e(x)$  = densidade/dominância acumulada projetada;  $n$  = número de observações.

O valor de  $D_{tab}$  para 5 % de significância foi obtido pela expressão abaixo:

$$D_{tab} = \frac{1,35}{\sqrt{n}}$$

em que:  $D_{tab}$  = valor crítico a 5% de significância;  $n$  = número de observações

Se  $D_{cal} < D_{tab}$  : aceita-se  $H_0$  (distribuição observada é igual a projetada).

Se  $D_{cal} \geq D_{tab}$  : rejeita-se  $H_0$  (distribuição observada não é igual a projetada).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Comportamento das estimativas dos parâmetros populacionais

##### 3.1.1. Número de espécies

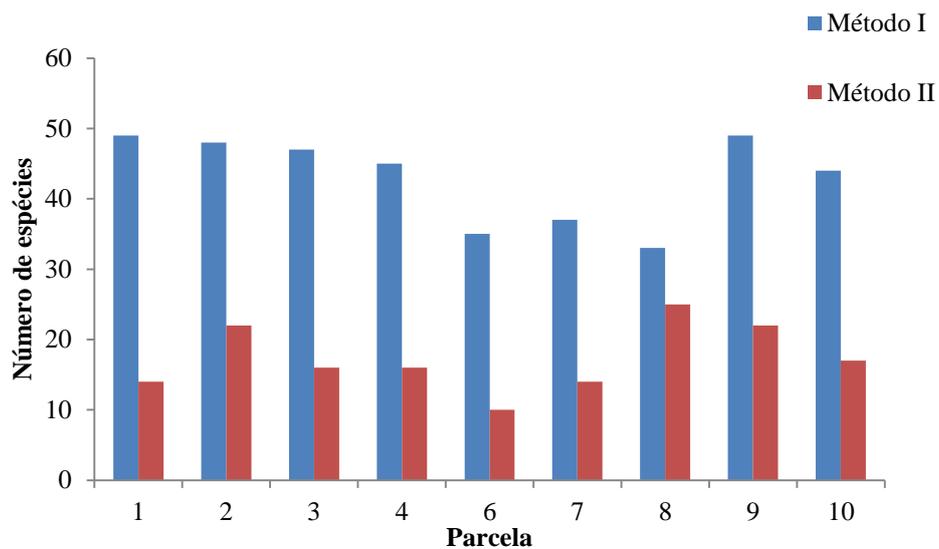
Pelo método I de amostragem foram mensurados 1165 fustes pertencentes a 149 espécies distintas e no método II, foram levantados 156 fustes pertencentes a 59 espécies.

As espécies com maior representatividade considerando o número de indivíduos em ambos os métodos foram: *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg , *Bathysa nicholsonii* K.Schum e *Casearia ulmifolia* Vahl ex Vent. (TABELA 4).

**TABELA 4.** Representatividade porcentual das espécies mais recorrentes, em termos de número de fustes, nos métodos I e II em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, em Minas Gerais

Espécie	Método	
	I	II
<i>A. cordatum</i>	4,81	-
<i>A. peregrina</i>	3,43	7,05
<i>B. nicholsonii</i>	15,02	10,26
<i>C. ulmifolia</i>	4,46	5,77
<i>S. arianae</i>	10,82	-

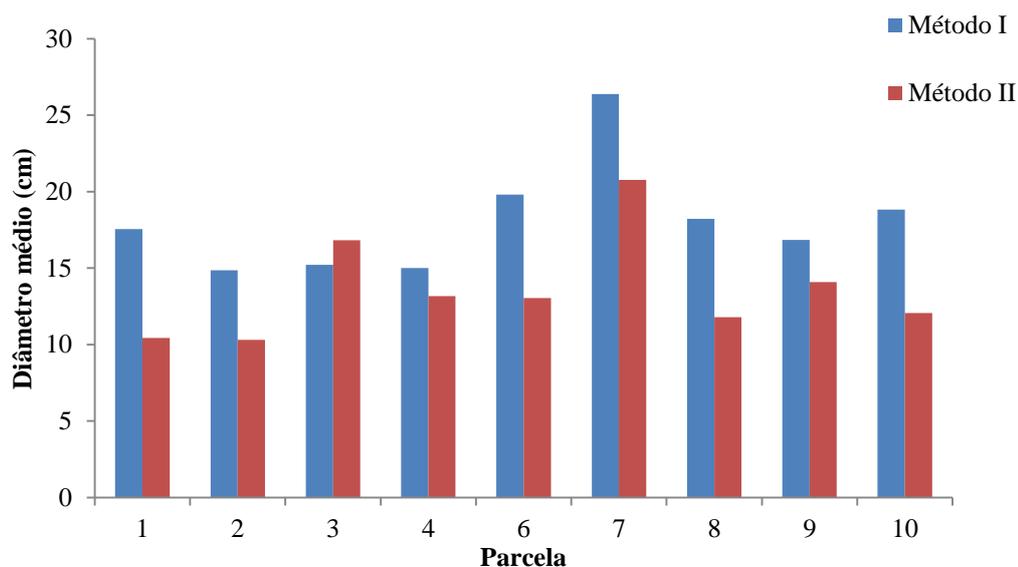
O método alternativo de amostragem (II) quando comparados com o método I (método de referência), apresentou tendência à subestimação do número de espécies. (FIGURA 3).



**FIGURA 3.** Estimativas do número de espécies obtidas pelo método I (parcelas de área fixa) e pelo método II (parcelas de área variável com 1 ponto de amostragem) em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais.

### 3.1.2. Diâmetro médio

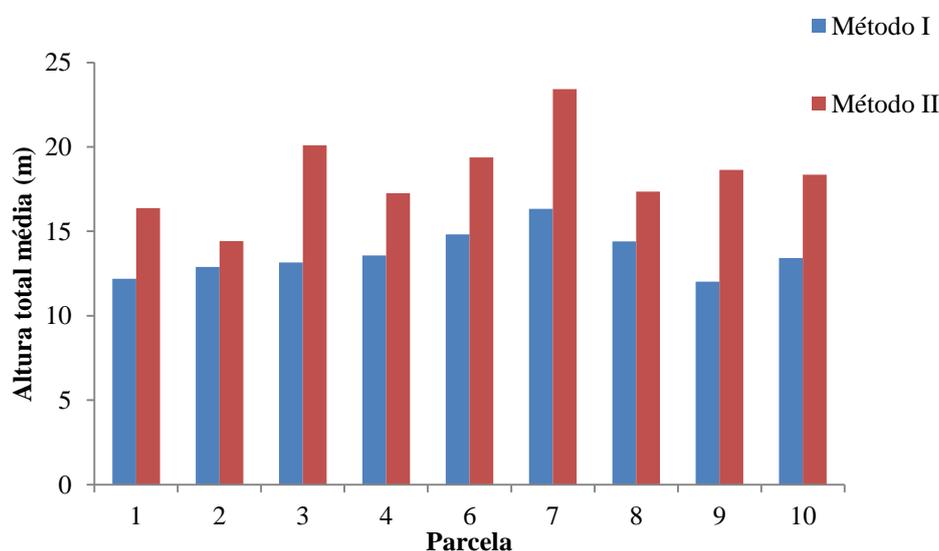
Para o diâmetro médio, salvo alguns casos, houve uma tendência à subestimação deste parâmetro para o método utilizando Bitterlich (II) quando comparado ao método de área fixa (I) (FIGURA 4).



**FIGURA 4.** Estimativas do diâmetro médio obtidas pelo método I (parcelas de área fixa) e pelo método II (parcelas de área variável com 1 ponto de amostragem) em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais.

### 3.1.3. Altura total média

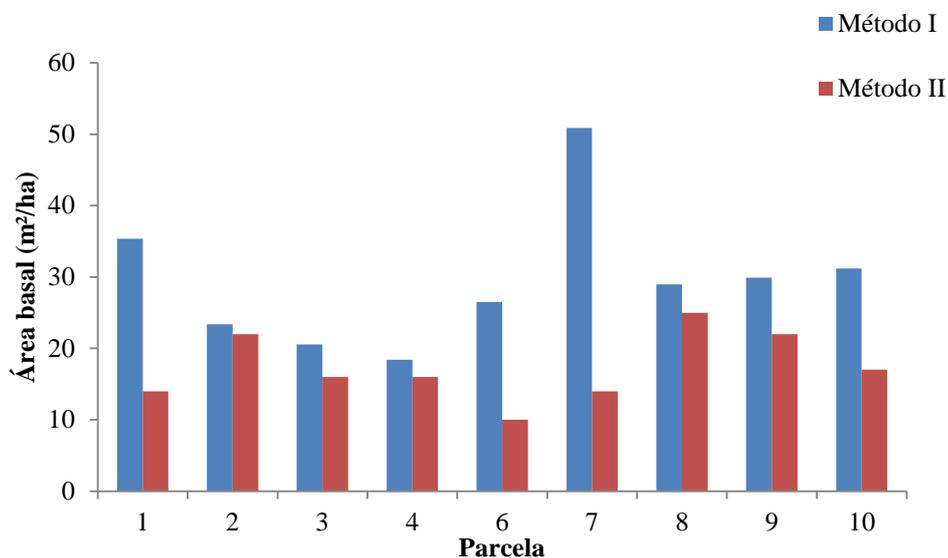
Na análise da altura total média, observou-se quando comparado com o método I (método de referência), o método II apresentou tendência à superestimação (FIGURA 5).



**FIGURA 5.** Estimativas da altura total média obtidas pelo método I (parcelas de área fixa) e pelo método II (parcelas de área variável com 1 ponto de amostragem) em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais.

### 3.1.4. Área basal

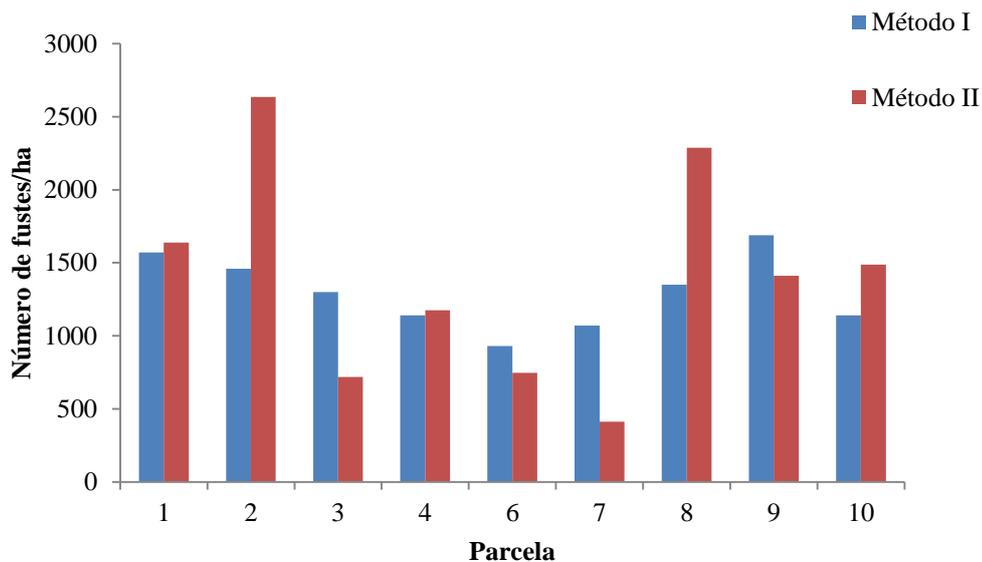
Para o parâmetro área basal, notou-se que, em comparação com o método I (método de referência), o método II apresentou tendência à subestimação (FIGURA 6).



**FIGURA 6.** Estimativas de área basal por hectare obtidas pelo método I (parcelas de área fixa) e pelo método II (parcelas de área variável com 1 ponto de amostragem) em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais.

### 3.1.5. Número de fustes por hectare

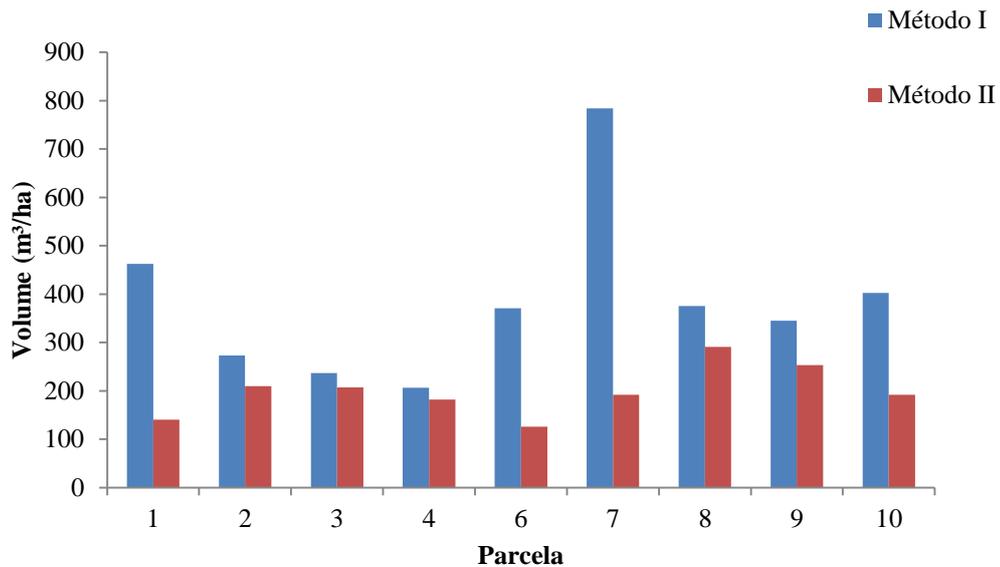
No que diz respeito ao número de fustes por hectare, observou-se que, quando comparado com o método I (método de referência), o método II não apresentou tendência de estimacão para o parâmetro (FIGURA 7).



**FIGURA 7.** Estimativas do número de fustes por hectare obtidas pelo método I (parcelas de área fixa) e pelo método II (parcelas de área variável com 1 ponto de amostragem) em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais.

### 3.1.6. Volume por hectare

Na análise do parâmetro volume por hectare, verificou-se que quando comparado com o método I (método de referência), o método II apresentou tendência de subestimação (FIGURA 8).



**FIGURA 8.** Estimativas do volume por hectare obtidas pelo método I (parcelas de área fixa) e pelo método II (parcelas de área variável com 1 ponto de amostragem) em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais.

### 3.2. Comparação entre os métodos de amostragem

No que tange aos valores dos coeficientes de correlação, observou-se que o método II apresentou maior grau de associação com método I para os parâmetros diâmetro médio e altura média. Por sua vez, considerando os parâmetros área basal por hectare e volume por hectare notou-se que existe maior correlação negativa entre os métodos I e II. O parâmetro número de fustes por hectare foi o único não significativo. (TABELA 5).

**TABELA 5.** Estimativas dos coeficientes de correlação e teste “t” para os parâmetros área basal por hectare, número de árvores por hectare, volume por hectare, diâmetro médio, altura total média e número de espécies envolvendo o método de referência (método I- parcelas de área fixa) e o método alternativos (métodos II - parcela de área variável com 1 ponto de amostragem) em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais

Variável	Métodos	Correlação	Teste "t"
Número de espécies	I x II	0,1039	0,000006972**
Diâmetro médio	I x II	0,6382	0,001878**
Altura média	I x II	0,6761	0,07261ns
Área basal por hectare	I x II	-0,1998	0,0138**
Número de fustes por hectare	I x II	0,5498	0,659ns
Volume por hectare	I x II	-0,1289	0,01695**

\*\* = resultado significativo, ns = não significativo

### 3.3. Comportamento das estimativas dos parâmetros da estrutura horizontal

#### 3.3.1. Densidade

A distribuição diamétrica do método alternativo (II) diferiu estatisticamente 5% de significância do método de referência (I) (TABELA 6).

**TABELA 6.** Densidade absoluta por centro de classe de DAP para o método I (parcelas de área fixa) e para o método II (parcela de área variável com 1 ponto de amostragem) em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais

<b>Centro de Classe</b>	<b>Método I</b>	<b>Método II</b>
7,5	670,000	897,950
12,5	265,556	241,168
17,5	151,111	135,008
22,5	70,000	51,682
27,5	62,222	41,132
32,5	24,444	10,716
37,5	15,556	5,990
42,5	6,667	2,398
47,5	8,889	1,267
52,5	4,444	0,564
57,5	5,556	1,745
62,5	1,111	0,391
67,5	-	-
72,5	2,222	0,262
77,5	1,111	-
82,5	3,333	0,199
87,5	1,111	0,183
92,5	1,111	0,159
<b>D<sub>cal</sub></b>		<b>0,128</b>
<b>D<sub>tab</sub></b>		<b>0,038</b>

### 3.4.2. Dominância

Para a dominância, a distribuição diamétrica do método alternativo (II) não diferiu estatisticamente a 5% de significância do método de referência (I) (TABELA 7).

**TABELA 7.** Dominância absoluta por centro de classe de DAP para o método I (parcelas de área fixa) e para o método II (parcela de área variável com 1 ponto de amostragem) em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais

<b>Centro de Classe</b>	<b>Método I</b>	<b>Método II</b>
7,5	2,813	5,000
12,5	3,117	3,556
17,5	3,561	4,000
22,5	2,761	2,889
27,5	3,577	2,444
32,5	2,010	0,889
37,5	1,786	0,667
42,5	0,940	0,333
47,5	1,548	0,222
52,5	0,934	0,111
57,5	1,425	0,556
62,5	0,316	0,111
67,5	-	-
72,5	0,900	0,111
77,5	0,505	-
82,5	1,817	0,111
87,5	0,673	0,111
92,5	0,775	0,111
<b>D<sub>cal</sub></b>		<b>0,140</b>
<b>D<sub>tab</sub></b>		<b>0,249</b>

#### 4. DISCUSSÃO

A escolha da metodologia a ser empregada na execução do inventário florestal tem sido crucial para reunir as informações necessárias a um custo razoável (PIQUÉ et al., 2011). O procedimento intitulado como Método de Bitterlich ou Amostragem por Parcelas de Área Variável é praticado em todo o mundo, por ser considerado uma técnica rápida e de baixo custo (VACIK et al., 2009). Altamente eficiente, este método foi considerado por silvicultores como a "invenção do século" (BURKHART, 2008).

O método utilizando Bitterlich (II) subestimou o número de espécies e indivíduos do fragmento. O número total de indivíduos aferidos e contabilizados foi de, aproximadamente, duas vezes menor. Assim, por se tratar de uma formação florestal inequidiana natural, um menor número de indivíduos culminará em um menor número de espécies. Este fato acontece, pois diversas estimativas da estrutura e da diversidade da floresta, como o número de espécies, são sensíveis ao tamanho da amostra e à área das parcelas (CHASE & KNIGHT, 2013). Farias (2001) também encontrou uma maior média no número de espécies amostradas pelo método de Área Fixa quando comparada a

métodos de Área Variável como o de Bitterlich para um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual.

Neste sentido, o levantamento de um menor número de árvores pode explicar a subestimação encontrada pelo método baseado em amostragem de área variável (II) para o parâmetro diâmetro médio quando comparado ao método I. Nos pontos de amostragem pelo método II, para a formação florestal deste estudo, ocorreu um favorecimento à seleção de indivíduos com menores DAPs, resultando no decréscimo da média dos DAPs aferidos. Motz et al. (2010) verificaram, para diferentes florestas que o número de fustes por hectare são mais eficientemente estimados por parcelas de raio fixo do que por parcelas de raio variável.

A superestimação do parâmetro altura total média pelo método II pode ser atribuída à própria execução do método de Bitterlich, uma vez que, para o fragmento estudado e seu respectivo estágio sucessional, o método favorece a seleção de árvores pertencentes a classes diamétricas maiores que, geralmente, são árvores com maiores alturas (MIRANDA et al., 2015).

No que concerne ao parâmetro área basal, sabe-se que, de acordo com a fórmula, quanto menor o número de árvores levantadas por ponto, menor será o valor da área basal para um mesmo fator de área basal. Deste modo, a subestimação do método alternativo (II) pode ser explicada devido à redução do número de indivíduos totais levantados. Esta redução ocorre, pois, o método só seleciona indivíduos arbóreos cujo DAP é igual ou superior à abertura da barra que, não é o caso de todos os indivíduos presentes na área (SOARES et al., 2010). Farias et al. (2002) comparando amostragem por pontos e por parcelas de área fixa também mostraram que a amostragem por pontos selecionou um pequeno número de indivíduos quando comparado à amostragem de áreas fixas.

Piqué et al. (2011), verificaram que o método de Bitterlich apresentou melhores estimativas de área basal em florestas mais desenvolvidas, uma vez que estas são detentoras de indivíduos com áreas basais mais acentuadas. Geralmente, a perda na precisão das informações quantitativas e na eficiência de amostragem da estrutura da floresta é menor quando a variação no tamanho das árvores é pequena (CORONA et al., 2011).

Para ambos os métodos se encontrou uma distribuição diamétrica no formato exponencial negativa, ou J-invertido, típico de florestas inequiâneas (MEYER, 1952; RUBIN et al., 2006), porém com os valores da distribuição diamétrica da densidade diferindo estatisticamente entre si. Quando se avaliou a distribuição diamétrica da

dominância todos os métodos não diferiram estatisticamente entre si. Bitterlich (1948) afirmou que a estimativa de distribuições de classe de densidade, a partir do método desenvolvido, por ele é menos eficiente do que a estimativa da área basal. Esta situação pode ser contornada se o número de árvores for elevado o suficiente para caracterizar o povoamento (PIQUÉ et al., 2011).

## 5. CONCLUSÕES

- O método utilizando o princípio de Bitterlich (II) quando comparado ao método I (método de referência) subestimou os valores dos parâmetros número de espécies, diâmetro médio, área basal por hectare e volume por hectare.
- O método utilizando o princípio de Bitterlich (II) quando comparado ao método I (método de referência) superestimou os valores do parâmetro altura total média.
- O parâmetro número de fustes por hectare não apresentou tendência de sub ou superestimação em seus valores quando comparado o método utilizando o princípio de Bitterlich (II) e o método I (método de referência).
- A distribuição diamétrica da densidade do método alternativo (II) diferiu estatisticamente, a 5% de significância, do método de referência (I), porém quando comparamos a dominância, a distribuição foi estatisticamente igual.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AMARO, M. A. **Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no Município de Viçosa-MG**. 2010. 168f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

BURKHART, H. Remembering Walter Bitterlich. **Journal of Forestry** -Washington-. 106. 2008.

CECON, P. R.; SILVA, A.R.; NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A.; **Métodos estatísticos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 229 p. 1ª edição.

CHASE, J.; KNIGHT, T. Scale-dependent effect sizes of ecological drivers on biodiversity: Why standardised sampling is not enough. **Ecology Letters**. 16 (s1), 2013.

CORONA, P.; CHIRICI, G.; McROBERTS, R.E.; WINTER, S.; BARBATI, A. Contribution of large-scale forest inventories to biodiversity assessment and monitoring. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 2061-2069, 2011.

DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, N. Y.; NETTO, S. P.; MACHADO, S. A.; Mello, A. A.; CAMPOS, A. P. G. Eficiência de inventário florestal com amostragem ponto de Bitterlich e conglomerado em linha em plantação de *Pinus taeda*. **Revista Floresta**, v.42, n.3, p.527-538, 2012.

DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, N. Y.; PÉLLICO NETTO, S.; YOSHITANI JÚNIOR, M. Comparação entre os métodos de amostragem de Bitterlich e de área fixa com parcela circular em plantação de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 739-754, out./dez. 2010.

FARIAS, C. A.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L., LEITE, H. G. Comparação de métodos de amostragem para análise estrutural de florestas inequiâneas. **Rev. Árvore**, v. 26, n. 5, p. 541-548, 2002.

FERREIRA JÚNIOR, W.G.; SCHAEFFER, C.E.G.R.; SILVA, A.F. Uma visão pedogeomorfológica sobre as formações florestais da Mata Atlântica. In: MARTINS, S.V. (Ed.). **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa: Editora UFV, p.109-142, 2012.

FIGUEIREDO, L.T.M.; SOARES, C.P.B.; SOUZA, A. L.; MARTINS, S.V. Alterações florísticas em uma Floresta Estacional Semidecidual, no município de Viçosa, MG, entre 1994 e 2008. **Revista Floresta**, v.43, n. 2, p.169-180, 2013.

GOMES, K.B.P.; MACHADO FILHO, V.A.; SILVA, V.P.; SILVA, A.G. Comparação dos Métodos de Amostragem Casual Simples: Bitterlich e Prodan. **Revista Agroambiental**, v.3, n.1, p.101-104, 2011.

MIRANDA, D.; FRANCO, J.; SANTOS, J.; SANQUETTA, C.; CORTE, A. Precisão e eficiência relativa de métodos de amostragem em teca. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 35, n 83, p. 247-254, 2015.

MOTZ, K.; STERBA, H.; POMMERENING, A; Sampling measures of tree diversity. **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 1985-1996, 2010.

PIQUÉ, M.; OBON, B.; CONDÉS, S.; SAURA, S. Comparison of the relascope and fixed-radius plots for the estimation of forest stand variables in northeast Spain: an inventory simulation approach. **Eur J Forest Res**, v. 130, p. 851-859, 2011.

ROCHA, S. J. S. S. **Efeito da seca na dinâmica de carbono em Floresta Estacional Semidecidual, Viçosa, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2017. 63f.

SANTOS, J.S.; MENDONÇA, A. R.; SILVA, G.F.; FRAGA FILHO, C.V. Método de amostragem de Bitterlich: uma alternativa de inventário florestal para pequenas propriedades rurais fomentadas. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, v. 11, n.1, p. 46-52. 2016.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2010. 276 p. 3ª reimpressão.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA NETO, S. N.; SANTOS, R. D.; CASTRO NETO, F. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 647-55, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa. **Boletim meteorológico 2018**. Viçosa, 2018.

VACIK, H.; RAHMAN, M.M.; RUPRECHT, H.; FRANK, G. Dynamics and structural changes of an oak dominated Natural Forest Reserve in Austria. **Bot. Helv.** v.119. Issue: 1, p. 23-29, 2009.

#### 4. CONCLUSÕES GERAIS

A redução do tempo e dos recursos financeiros, aliados à precisão dos dados dendrométricos, são aspectos fundamentais para a elaboração de inventários de florestas inequívocas. Desse modo, as decisões sobre a gestão dos recursos florestais estão intrinsicamente associadas à escolha da metodologia e dos equipamentos a serem utilizados para a execução do inventário.

Os métodos que utilizam o princípio de Bitterlich podem ser precisos quando o objetivo é realizar um rápido levantamento sobre o número de fustes por hectare ou então sobre a dominância do povoamento.

Contudo, em situações nas quais a prioridade é aquisição de dados altamente precisos, de forma automatizada, instrumentos como os *lasers scanners* terrestres são ferramentas essenciais para atingir tais objetivos. Para tal, deve-se seguir uma metodologia tanto de levantamento quanto de processamento de dados clara e bem definida, como a estabelecida por este trabalho.

**5. APÊNDICE A.** Lista das espécies estudadas, o número de indivíduos de cada espécie e seu respectivo número de fustes, incluindo a média e o desvio de cada parâmetro analisado (diâmetro à altura do peito, alturas total e comercial e volume observado), ordenadas de forma decrescente de acordo com seu volume

Espécie	Ind	Fus	Método Tradicional								TLS							
			DAP(cm)		HT(m)		HC(m)		Vobs(m <sup>3</sup> )		DAP(cm)		HT(m)		HC(m)		Vobs(m <sup>3</sup> )	
			med	desv	med	desv	med	desv	med	desv	med	desv	med	desv	med	desv	med	desv
<i>Siparuna guianensis</i>	4	4	5,59	0,34	6,25	0,90	5,28	0,75	0,014	0,002	6,00	1,95	5,97	1,44	3,79	1,53	0,010	0,004
<i>Siparuna arianae</i>	1	1	5,73	-	6,10	-	6,10	-	0,014	-	5,80	-	7,46	-	4,42	-	0,011	-
<i>Rollinia laurifolia</i>	2	2	10,35	2,66	12,15	1,63	8,45	1,48	0,086	0,066	10,00	4,81	13,21	2,81	9,31	3,70	0,087	0,084
<i>Casearia ulmifolia</i>	4	5	10,24	6,26	11,62	3,97	9,16	2,46	0,099	0,110	11,24	5,96	12,53	6,85	7,29	2,03	0,130	0,144
<i>Trichilia pallida</i>	4	4	12,89	5,76	11,18	5,03	7,43	2,35	0,146	0,105	12,75	5,73	13,01	5,98	7,29	3,30	0,168	0,129
<i>Rollinia sylvatica</i>	2	3	17,69	5,53	11,93	3,09	9,87	3,50	0,274	0,203	16,20	6,10	15,06	4,70	8,07	1,79	0,284	0,199
<i>Albizia polycephala</i>	2	2	24,64	1,31	16,00	4,24	15,05	2,76	0,459	0,179	24,40	3,11	23,19	3,56	18,79	2,14	0,623	0,163
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	3	3	23,93	20,98	14,30	0,70	10,13	1,10	0,705	1,006	24,27	21,08	17,90	7,14	10,13	3,80	1,149	1,794
<i>Nectandra lanceolata</i>	2	2	28,78	1,53	16,60	10,18	12,45	4,31	1,019	0,415	29,40	2,55	18,26	9,45	10,41	1,95	0,839	0,068
<i>Anadenanthera peregrina</i>	5	6	40,56	33,45	21,48	10,19	15,98	6,45	3,839	4,914	39,57	31,56	22,88	11,38	9,87	5,35	5,066	6,305