

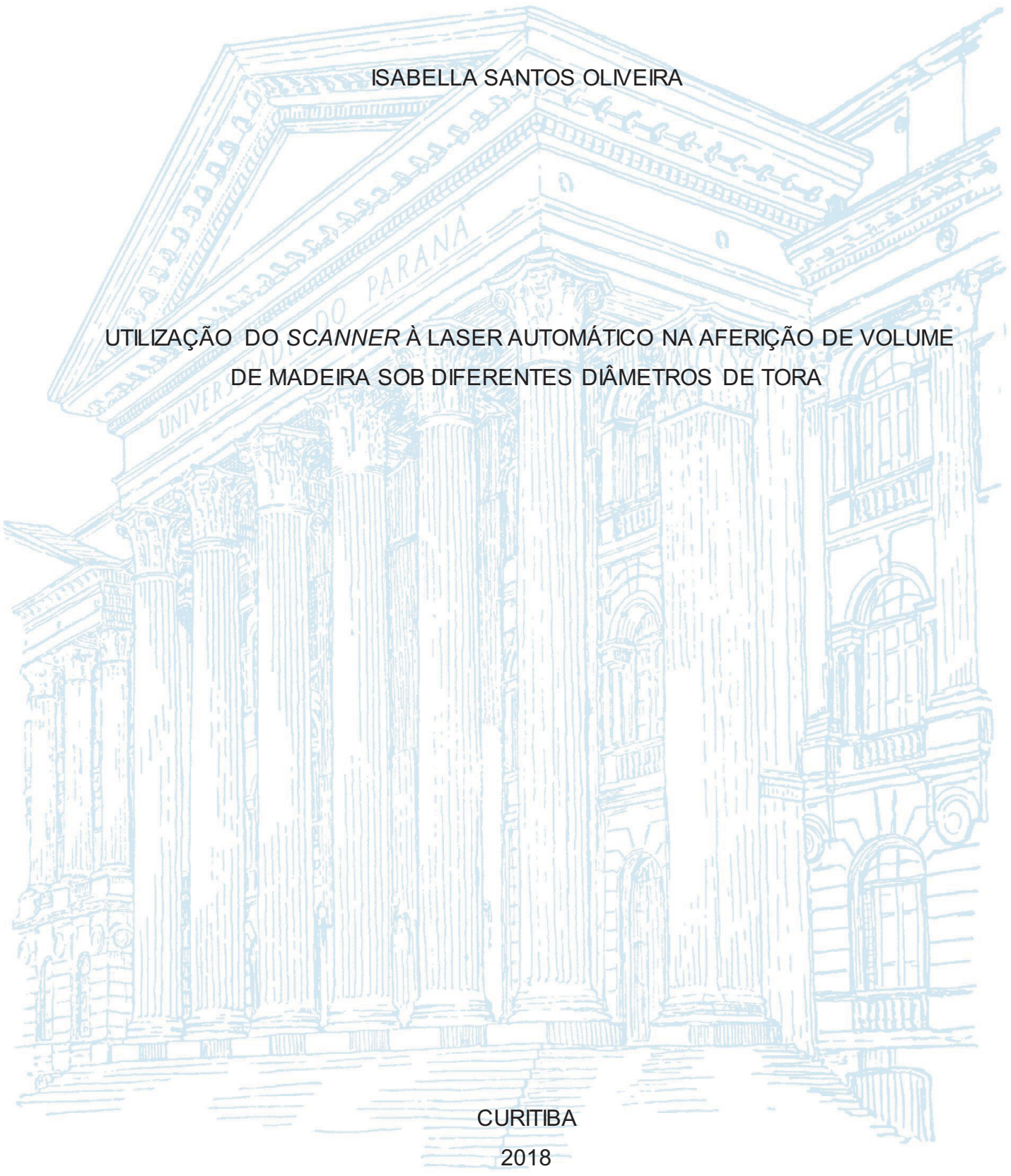
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ISABELLA SANTOS OLIVEIRA

UTILIZAÇÃO DO SCANNER À LASER AUTOMÁTICO NA AFERIÇÃO DE VOLUME
DE MADEIRA SOB DIFERENTES DIÂMETROS DE TORA

CURITIBA

2018



ISABELLA SANTOS OLIVEIRA

UTILIZAÇÃO DO SCANNER À LASER AUTOMÁTICO NA AFERIÇÃO DE VOLUME
DE MADEIRA SOB DIFERENTES DIÂMETROS DE TORA

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em MBA em Gestão Florestal, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Eduardo Arce

CURITIBA

2018

UTILIZAÇÃO DO SCANNER À LASER AUTOMÁTICO NA AFERIÇÃO DE VOLUME DE MADEIRA SOB DIFERENTES DIÂMETROS DE TORA

USE THE SCANNER TO AUTOMATIC LASER TO MEASURE THE VOLUME OF WOOD IN DIFFERENT DIAMETERS OF LOG

RESUMO

A aferição de volume de madeira a partir dos métodos tradicionais de medição como a cubagem rigorosa demandam altos recursos financeiros e elevado tempo, aspectos considerados de extrema importância para a logística em empresas florestais. Em substituição a estas metodologias, a medição *scanner* a laser, vem se destacando como uma nova alternativa utilizada por grandes empresas do setor florestal com vantagens de maior rapidez em aferição e baixo custo operacional. Entretanto, no Brasil não há estudos para verificação da precisão dos dados gerados por este método. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a utilização do *scanner* a laser automático na aferição de volume sólido de madeira de eucalipto sob diferentes diâmetros de tora. O experimento foi instalado em esquema fatorial 2x4 (método de cubagem rigorosa e a laser e quatro diâmetros de tora), com seis repetições. Foram avaliados desvios dos volumes de madeira a partir de imagens 3D das cargas e dos volumes médios das toras. Os menores diâmetros proporcionaram maiores espaços vazios na carga o que acarretou em superestimação do volume de madeira obtido pelo método a laser. Os maiores diâmetros das toras acarretaram em subestimação do volume de madeira, entretanto, os desvios encontrados encontraram-se dentro do limite considerado adequado (5%). O método de cubagem a laser apresentou similaridade com a cubagem rigorosa com elevado potencial na determinação de volume de madeira, alternativa promissora na redução de custos e eficiência de medição em fábricas de base florestal.

Palavras-chave: Inventário florestal. Cubagem rigorosa. Logmeter® 4000.

ABSTRACT

The measurement of volume of wood from traditional methods of measurement such as rigorous counting demands high financial resources and high time, aspects considered of extreme importance for the logistic in forestry companies. As a substitute for these methodologies, the laser scanner measurement has been highlighted as a new alternative used by large companies in the forestry sector with advantages of greater speed in gauging and low operational cost. However, in Brazil there are no studies to verify the accuracy of the data generated by this method. In this way, the objective of this study was to evaluate the use of the automatic laser scanner in the measurement of solid volume of eucalyptus wood under different log diameters. The experiment was installed in factorial 2x4 (method of rigorous cubage and laser and four diameters of Torah), with six replications (passing) and means were compared by the Tukey test at 5% probability. We evaluated the deviations of volumes of wood and the images of the loads. The results demonstrated that the loads with good profile of stacking of the beams of wood showed similarity with the rigorous cubage. The worst acomodamentos of logs in the cargo bay, allied to the smallest diameter of logs, overestimated the volume of eucalyptus wood by the method of the cubage laser in 4.3% compared to rigorous cubage. The method of the cubage laser has high potential in determining volume of wood.

Keywords: Forest inventory. Rigorous Cubage. Logmeter® 4000.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – AFERIÇÃO DE CARGAS DE MADEIRA ATRAVÉS DE ESCANEAMENTO AUTOMÁTICO	18
FIGURA 2 – ESCANEAMENTO A LASER DA LATERAL ESQUERDO DOS VEÍCULOS DE TRANSPORTE.....	20
FIGURA 3 – VOLUME E DESVIOS DE MADEIRA ESTIMADA PELO MÉTODO DE CUBAGEM A LASER E CUBAGEM RIGOROSA.....	22

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DIÂMETRO E COMPRIMENTO DAS TORAS DOS VEÍCULOS DE TRANSPORTE OBTIDO PELA CUBAGEM RIGOROSA.....	20
TABELA 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VOLUMES MÉDIOS DAS TORAS PARA OS MÉTODOS DE CUBAGEM RIGOROSA E A LASER EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DE TORA.....	24
TABELA 3 - MÉDIAS DE VOLUME DE MADEIRAS EM RELAÇÃO AO DIÂMETRO DAS TORAS PARA OS QUATRO CAMINHÕES ANALISADOS SOB OS DOIS MÉTODOS DE CUBAGEM.....	24

SUMÁRIO

1.1 INTRODUÇÃO	8
1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
1.2 OBJETIVOS	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
2 MATERIAL E MÉTODOS	16
3 RESULTADO E DISCUSSÃO	19
4 CONCLUSÃO	25
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1.1 INTRODUÇÃO

Em uma empresa florestal, a estimativa correta do volume de madeira entrante na fábrica é de grande importância. Informações distorcidas quanto ao real volume afetam a verificação do verdadeiro rendimento dos povoamentos que por sua vez pode se traduzir em prejuízos envolvendo os pagamentos dos serviços e o valor na venda da madeira (SOARES et al., 2003). Desta forma, torna-se necessário o emprego de um método de aferição adequado, que possa garantir a melhor precisão na determinação do volume com menor tempo e custo de trabalho (LIMA, 2015).

A determinação do volume de madeira pode ser dada por diferentes formas, por métodos diretos e indiretos (THIERSCH, 2007), destacando-se a metodologia de medição manual a partir da cubagem rigorosa, métodos baseados no Princípio de Arquimedes como o xilômetro, além da utilização de fotografias analisadas por meio de softwares. Carvalho et al (1992) destacam como método alternativo utilizado em algumas empresas a pesagem do caminhão entrante na fábrica, com e sem a carga. Bertola (2002) em seus estudos, utilizando o programa computacional “Digitora”, verificou que a utilização de fotografias digitais para determinação do volume sólido de madeira apresenta-se como também um método alternativo com desvios inferiores a 1% em relação à cubagem rigorosa.

A cubagem rigorosa é considerado o método mais preciso para a determinação do volume de toras (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009). Este método obtém a partir da medição das dimensões das toras, o volume estéreo que deve ser convertido em volume sólido através de um fator de empilhamento (SOARES et al. 2003). Os principais métodos empregados na obtenção do volume sólido a partir da cubagem rigorosa são Smalian, Huber, Hohenadl e Newton (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Entretanto, a cubagem rigorosa demanda elevada mão-de-obra e tempo. Neste contexto, as empresas procuram novas técnicas confiáveis de aferição de volume de madeira, de forma a diminuir os erros de medição com maior rapidez e menor custo operacional, na medida em que a confiabilidade na medição é necessária onde exista conflito de interesse, ou onde os erros em medição acarretem em riscos (MACHADO, 2009).

Em substituição aos métodos tradicionais de cubagem, e tendo em vista a necessidade de gerar uma informação mais assertiva do volume (Garber; Maguire, 2003), atualmente existem metodologias baseadas em sistemas a laser scanner como o Logmeter® 4000, utilizadas em países da América Latina (Chile) e Finlândia (JONSSON, 2009). Este sistema apresenta vantagens sob os sistemas tradicionais de medição por apresentar rapidez na aferição de toda a carga, redução da mão-de-obra, além da possibilidade de criação de um banco de dados com informações úteis para casos de auditoria (IPEF, 2009). Esta inovação em medição conforme Jonsson (2009) é um passo à frente em direção a um maior grau de automação facilitando o procedimento e tornando-o mais economicamente viável.

1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1.1 VOLUME DE MADEIRA

O tronco de uma árvore, conforme Gomes (1957) e Figueiredo Filho (1982) se assemelha a determinados sólidos geométricos, a base da árvore a um neilóide, a face intermediária a uma parabolóide e a extremidade final a um cone.

A determinação do início e do fim de uma figura geométrica não é facilmente possível, se fosse bastaria aplicar fórmulas correspondentes aos vários sólidos geométricos ocorrentes ao longo do perfil do tronco e o volume real da árvore seria obtido. Dessa forma, desenvolveu-se metodologias (sistemas) para quantificar o volume de madeira (GOMES, 1957).

A determinação do volume de uma pilha de madeira entrante em uma empresa florestal é de extrema importância na medida em que estimativas imprecisas do volume real acarretam resultados errôneos quanto ao rendimento dos povoamentos florestais e ao pagamento dos serviços prestados do corte, transporte e venda da madeira (SOARES et al., 2003).

Bertola (2002) relata a necessidade de precisão nas estimativas de volume de pilhas de madeira, uma vez que resultados imprecisos traduzem-se em prejuízos econômicos e falhas de planejamento quando na conversão de madeira em seu produto final.

O volume de madeira obtido a partir do diâmetro e da altura das árvores é uma variável importante para a estimativa da biomassa e do estoque comercial das florestas, constituindo-se como um pré-requisito para o manejo florestal (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB, 2010). Conforme o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO, 1999), ao se multiplicar as dimensões da pilha obtemos o volume (1,0 m x 1,0 m x 1,0 m).

Costumava-se desde o período colonial utilizar a medição de madeira expressa em metros estéreo, mas esta medida não faz parte do Sistema Internacional (SI) de unidades de medidas. A utilização de medição com base na multiplicação do comprimento x largura x altura da carga e transformação em volume sólido através de um fator de conversão pode ser utilizada, mas esse somatório dos volumes das toras individuais exige grande mão de obra e tempo (SOARES et al., 2003).

O volume sólido de uma árvore pode ser determinado de diversas formas: Analiticamente, através da cubagem rigorosa com a divisão do tronco em pequenas seções e medição do diâmetro e comprimento de seções ao longo do tronco, conforme a forma da árvore; graficamente, em função do diâmetro e altura adotados ao longo do fuste; pelo deslocamento de água, através do método denominado xilômetro; e a partir do peso da árvore (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Desta forma, outros sistemas de medição existem para facilitar e estimar de forma mais precisa o volume sólido da madeira entrante. Pode-se destacar os principais sistemas como: Método de medição baseado na Lei do Empuxo (Princípio de Arquimedes): Pivotex e Xilômetro; método de medição baseado em fotografias: Digitora; método de medição manual: Cubagem Rigorosa; e método de medição com utilização de scanner a laser: Logmeter®.

1.1.2 MÉTODO DE MEDIÇÃO – XILÔMETRO

O método de medição através do Xilômetro consiste no uso de um tambor metálico com uma graduação para obter através do deslocamento da água o volume de madeira. Este tambor apresenta em sua interior água até o ponto que corresponde ao zero da graduação e a partir desse ponto adicionam-

se quantidades constantes de água, essa mudança de nível ocorrida a cada acréscimo de quantidade de água, indica no tubo colocado ao lado do tambor, um novo volume. Ao se colocar toras de madeira dentro do xilômetro, o volume de água deslocado corresponde ao volume da tora de madeira (SCOLFORO; FIGUEIREDO FILHO, 1992).

Conforme Machado e Figueiredo Filho (2009) dentre os métodos de obtenção do volume das árvores, a cubagem realizada através do método do xilômetro é o único que fornece o valor paramétrico do volume, ou seja, o volume verdadeiro. Os demais métodos utilizam expressões matemáticas que estimam o valor paramétrico do volume.

Apesar do método do xilômetro fornecer dados precisos, apresenta custo elevado de instalação do equipamento e dificuldades no manuseio de grandes peças de madeira (HUSCH; MILLER e BEERS, 1972).

Figueiredo Filho et al. (2000) utilizou o xilômetro (técnica do deslocamento de água) como base para a comparação de vários métodos de cubagem, dentre eles três métodos tradicionais de cubagem (Smalian, Huber e Newton) e três métodos recentes (Spline, Cúbica, Centróide e sobreposição de seções de Bailey). Nesse estudo, a fórmula de Huber apresenta-se como a mais exata dentre os seis métodos, ou seja, a que se aproxima do volume verdadeiro (método do xilômetro). A fórmula de Smalian apresentou-se com o pior desempenho para estimar o volume verdadeiro com piores estimativas em comprimentos de seções grandes.

O xilômetro como medição do volume sólido de pilhas de madeira fundamenta-se no conceito do empuxo e é realizada ao se medir a pilha em situação normal ao ar e depois mergulhar a pilha em um tanque com água e pesada rapidamente utilizando uma grua com sensor especial (xilômetro). A diferença entre a massa real da pilha (situação normal) e a obtida quando a pilha é mergulhada em água é o volume sólido da pilha (BATISTA; COUTO, 2002).

1.1.3 PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES – EMPUXO

A teoria do empuxo caracteriza-se quando ao se mergulhar um objeto em um líquido, o líquido exerce uma resistência quando o objeto afunda.

Dessa forma, o empuxo é o peso do volume de água deslocada. Essa força é chamada de empuxo (E) e é calculado pela equação abaixo:

$$\text{Empuxo} = V_{\text{madeira}} \times P_{\text{H}_2\text{O}} \times G$$

Sendo,

$P_{\text{H}_2\text{O}}$: Massa específica da água = 1Kg/m³

G: Aceleração da gravidade

Conforme Araújo et al., (2012) a forma mais precisa de determinação do volume de madeira baseia-se no princípio de Arquimedes, entretanto esta determinação é de difícil aplicação em inventários devido o tempo gasto na obtenção das respostas, sendo inviável economicamente.

1.1.4 CUBAGEM RIGOROSA

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2009), a mensuração das dimensões das pilhas de madeira é uma forma prática de estimação do volume sólido de madeira empilhada obtendo o volume em metro estéreo. A partir de um fator de conversão este volume é convertido em volume sólido de madeira.

A cubagem de árvores é o método mais adotado para a determinação do volume individual de árvores. As principais fórmulas empregadas na obtenção do volume individual a partir da cubagem rigorosa são as de Smalian, Huber e Newton, principalmente pela facilidade de uso que os mesmos apresentam (THIERSCH, 2002; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Segundo Gomes (1957), cubagem rigorosa é a medição de sucessivos diâmetros ao longo do tronco da árvore. As distâncias de medições para Eucalyptus e Pinus recomendadas são 0,05; 0,07; 1,30; 2,30 com comprimentos de seções entre 1 e 2 metros. Desta forma, o controle dos efeitos de conicidade e maior regularidade nas seções são possíveis (SCOLFORO; FIGUEIREDO FILHO, 1998).

1.1.5 MÉTODOS ANALÍTICOS DE MEDIÇÃO - CUBAGEM RIGOROSA

A cubagem rigorosa pode ser realizada através de métodos absolutos ou métodos relativos. Os métodos absolutos não apresentam relação entre o comprimento da seção (torete) e o comprimento total da árvore. Nos métodos relativos, o comprimento da seção ou tora representa um percentual do comprimento total da árvore, assim, há comparação dos volumes individuais de árvores com a mesma forma, mas de tamanhos diferentes (GOMES, 1957).

No setor florestal na realização de cubagem de florestas plantadas normalmente são abatidas árvores para obter o volume real. As metodologias comumente utilizadas são a de Smalian, a de Huber e a de Newton (THIERSCH, 2002). Estas metodologias apresentam facilidade de uso (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

A fórmula de Huber assume que a área média de uma tora seccionada se encontra em seu ponto médio, desta forma, neste método mede-se o diâmetro ou circunferência do diâmetro ou da circunferência no centro da tora (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Conforme Husch et al. (1982), a metodologia de Huber, é exato, quando a forma do tronco se aproximar de um cilindro. Entretanto, se a forma do tronco apresentar conicidade ou formato de neilóide, os erros tendem a ser maiores consideráveis. É considerado o método mais preciso quando se adota seções menores.

O método de Newton apresenta maior representatividade ao medir três posições do diâmetro ou circunferência ao longo de cada seção da tora, resultando em um volume mais exato (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Conforme estudos de Campos (1988), a metodologia empregada por Newton confere precisão proporcionada na determinação volumétrica, uma das justificativas refere-se ao fato de um número maior de medições de diâmetros numa determinada seção do tronco. Destaca-se que independente da metodologia empregada quanto menor for o comprimento da seção, maior precisão será obtida na determinação volumétrica (CAMPOS, 1988).

Conforme Gomes (1957) a metodologia de Huber e Newton conduzem a

valores de volume diferentes entre si, mas em seus estudos ao se comparar as metodologias de Huber e Smalian concluiu que para um mesmo grupo de troncos estas não se diferem significativamente cabendo o seu uso ligado somente ao hábito de quem mensura.

Dentre os métodos de cubagem rigorosa, os métodos absolutos são os mais usados nas empresas florestais e a metodologia de Smalian apresenta maior utilização devido a sua praticidade (SCOLFORO; FIGUEIREDO FILHO, 1993).

1.1.6 MÉTODO DE MEDIÇÃO COM UTILIZAÇÃO DE SCANER A LASER

Conforme Silva et al., (2005) as empresas, buscando a otimização no processo de recebimento e pagamento de madeira, estão testando novos métodos de aferição de madeira com possibilidade de maior precisão em relação aos métodos tradicionais, maior rapidez e baixo custo operacional.

O scanner Logmeter ® 4000, um sistema de escaneamento laser desenvolvido pela empresa Woodtech, é uma das novas tecnologias empregadas a quantificação de volume de madeira por meio da tecnologia laser 3D que em conjunto com um software de reconhecimento de imagens em minutos é possível medir o volume sólido de madeira em um caminhão (COLHEITA DE MADEIRA, 2010).

O Logmeter ® 4000 é uma tecnologia de ponta que permite estimar com precisão de informações e possibilidade de armazenamento permitindo a rastreabilidade em casos de auditoria, sendo um sistema confiável, com alto nível de automação, reduzindo a intervenção humana no processo de medição (IPEF, 2009).

O processo de aferição do volume da madeira é dividido em quatro etapas: 1- Escaneamento, com mais de 1 milhão de medições por meio de scanners laser de alta precisão, em um modelo 3D do carregamento; 2- Segmentação, a partir de algoritmos de processamento de imagem; 3- Determinação dos diâmetros das toras, com análise dos perfis transversais da carga determinando o melhor ajuste de diâmetro de cada tora da extremidade da carga; 4- Biometria: Cálculo das informações biométricas individuais

(diâmetro, comprimento, tortuosidade e conicidade), das toras da extremidade (NYLINDER et al., 2008).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a utilização do *scanner* a laser automático na aferição de volume sólido de madeira de eucalipto sob diferentes diâmetros de madeira.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a eficiência na utilização do método de aferição de carga com o uso do *scanner* laser automático em comparação ao método tradicional de medição de madeira, cubagem rigorosa;
- Analisar o efeito de diferentes diâmetros de madeira na aferição de volume da carga entrante em uma fábrica.

1.3 JUSTIFICATIVA

Diferentes sistemas podem ser empregados na determinação do volume de madeira entrante em uma empresa florestal com destaque para os sistemas baseados no Princípio de Arquimedes (empuxo) como a metodologia do Xilômetro, a cubagem rigorosa com as metodologias mais empregadas de Smalian, Huber e Newton e os sistemas que se utilizam de *laser* e *scanner*.

Na América do Sul, em países como Chile e Brasil a utilização de sistemas *laser* de alta precisão para medição de cargas de madeira tem sido utilizadas na determinação do volume de madeira.

Desta forma, analisar a eficiência desta nova tecnologia empregada na quantificação do volume além de fornecer enriquecimento científico, permite analisar as vantagens e desvantagens da incorporação do método de *scanner* a *laser* automático em substituição a uma metodologia clássica como a cubagem rigorosa que por vezes dispense de elevado tempo. Assim, este trabalho é importante na medida em que há uma constante necessidade em

determinar de forma precisa e eficiente o volume de madeira garantindo assertividade em abastecimento de uma fábrica de base florestal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As cargas de madeira utilizadas neste trabalho foram oriundas de plantios comerciais de eucalipto localizados no município de Padre Carvalho, estado de Minas Gerais. As aferições foram realizadas em uma empresa do setor florestal no município de Mucuri, Bahia. As toras foram derrubadas e processadas com a utilização do *harvester* e baldeadas com o *forwarder*.

Os veículos rodoviários utilizados neste estudo foram quatro caminhões do tipo “tritrem” com seis feixes em cada. Estes feixes foram submetidos à aferição de volume sólido da madeira sem casca pelos métodos: “A” cubagem rigorosa (equação de Huber) e “B” cubagem a Laser, obtido pela utilização do sensor automático a laser, representado pelo nome comercial de Logmeter® 4000 (Figura 1a).

O Logmeter® 4000 apresenta um processo de medição de madeira simples, contínuo e de forma automática, permitindo mensurar volume de toras, cavacos e cargas de resíduos florestais. O processo de medição foi caracterizado pelos perfis transversais da carga, criando uma representação 3D com mais de um milhão de medições individuais (Figura 1b).

Após identificação de toras ocorreu o processo de segmentação pela aplicação de algoritmos de processamento de imagem, identificando os limites da carga, além dos elementos não desejados, como os pneus do veículo, as barras de tração e a plataforma (Figura 1c), determinando o volume de madeira sólida, diâmetro, comprimento, conicidade e tortuosidade (Figura 1d), conforme descrito por Nylander et al., (2017).

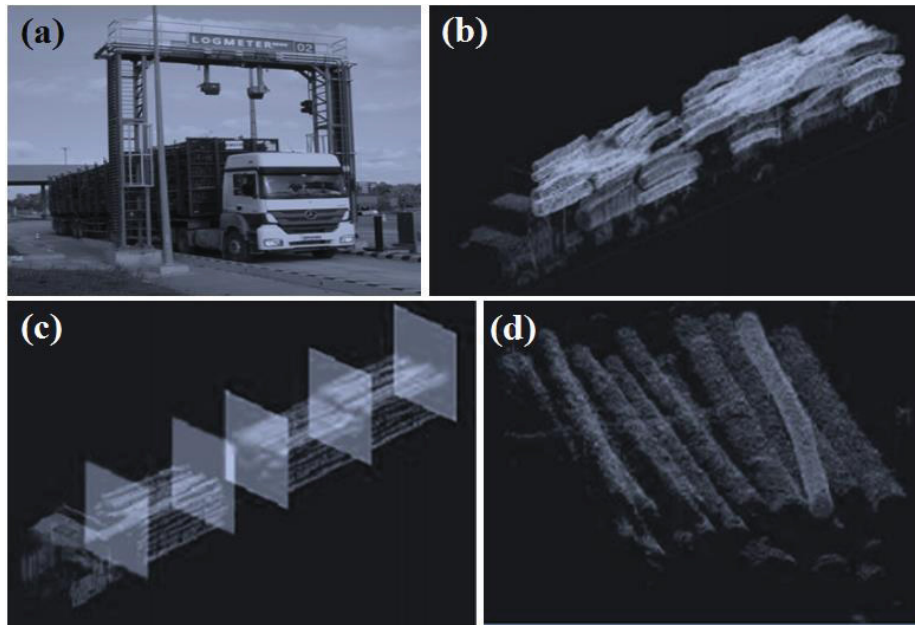
Os veículos se deslocavam na velocidade média de $0,72 \text{ m s}^{-1}$ variando de $0,55$ a $0,86 \text{ m s}^{-1}$ ($2,0$ a $3,1 \text{ Km h}^{-1}$) no período da passagem no sensor a laser estacionário Logmeter® 4000. Estas velocidades encontram-se abaixo do limite máximo estabelecido pelo fabricante ($1,11 \text{ m s}^{-1}$ ou 4 km h^{-1}). Em seguida as cargas foram direcionadas para o pátio de madeira para aferição do volume sólido por meio da cubagem rigorosa.

O método de cubagem rigorosa utilizado foi o de Huber (equação 1), sendo mensurados o comprimento total por meio de uma fita métrica e o diâmetro médio, obtido pela média das extremidades da tora por meio de suta (figura 1ef). A partir destes dados estimou-se o volume médio das toras e o volume do feixe do compartimento de carga.

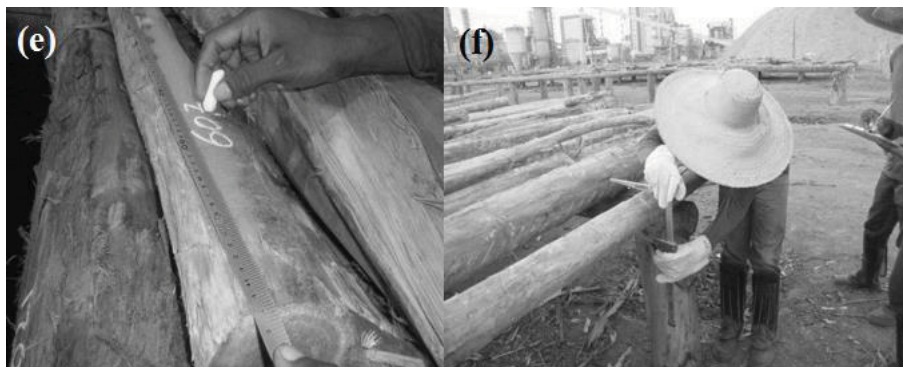
$$V = \frac{1}{100000} \pi \left(\frac{Dm^2}{4} \right) L \quad (1)$$

em que: V= volume da tora (m³); Dm = diâmetro médio das extremidades da tora (m); L=comprimento da tora (m).

Medição estimada pelo método a laser scanner automático



Medição pelo método da cubagem rigorosa



Fonte: NYLINDER, KUBENCA e HULTNA (2008) figuras b, c, d.

FIGURA 1. Aferição de cargas de madeira através de escaneamento automático: Mecanismo do sensor (A), Escaneamento do veículo (B), Segmentação automática da carga (C), Individualização e medição das toras (D) e Cubagem Rigorosa: Medição de Comprimento (E); Medição de Diâmetro (F).

Os dados foram inicialmente submetidos à análise de desvios em porcentagem do volume de madeira sólida por feixe no compartimento de carga em relação à cubagem rigorosa (equação 2), determinado os desvios de cada feixe de madeira e para cada veículo de transporte. Considerou-se desvios negativos (valores para aferição via Logmeter superiores aos encontrados via cubagem rigorosa) indicadores de superestimativas e os

desvios positivos (valores para aferição via Logmeter inferiores aos encontrados via cubagem rigorosa) indicam subestimativas em relação ao volume da cubagem rigorosa.

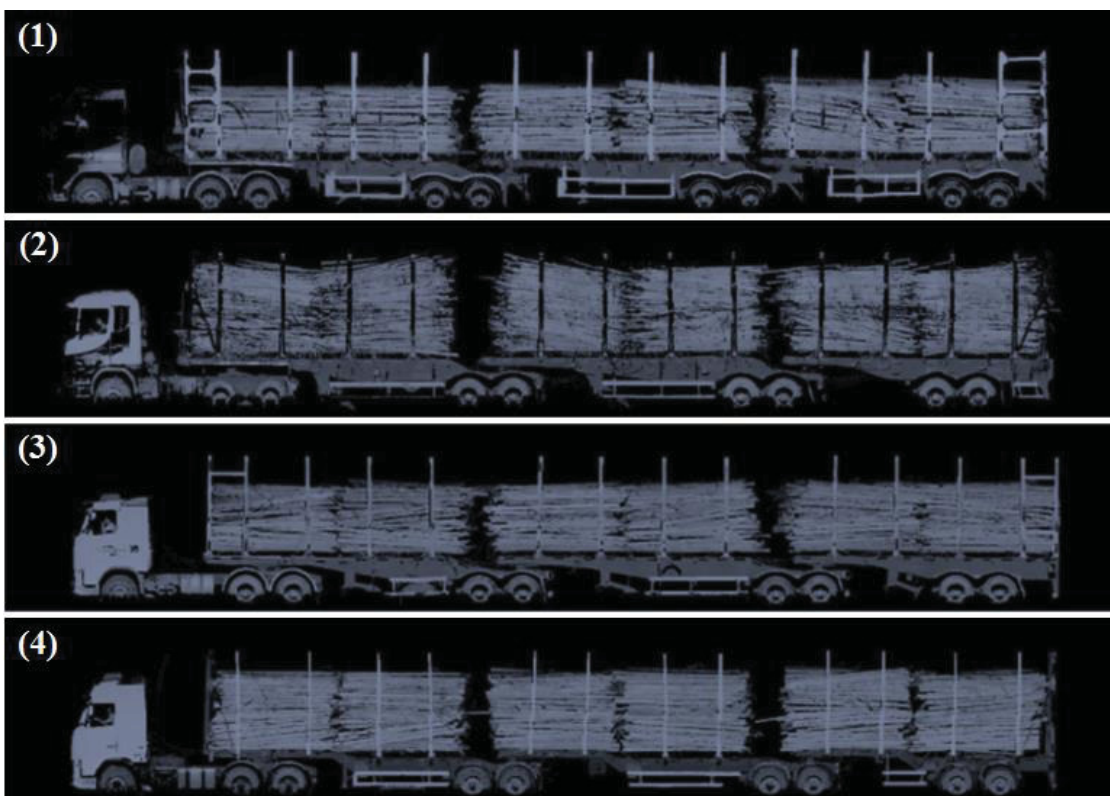
$$Des = \frac{VR - VL}{VR} 100 \quad (2)$$

em que: Des=desvio de volume sólido de madeira (%) do método scanner a laser em relação ao volume determinado pela cubagem rigorosa VR= volume da cubagem rigorosa; e VL = volume da cubagem do Logmeter® 4000.

Após as análises de desvios foi realizada a análise do volume médio da tora em esquema fatorial 2x4 (método de cubagem rigorosa e a laser e quatro diâmetros de tora), com seis repetições (feixes de carga). Os valores de volume foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de *Tukey* a 5% de significância. Realizou-se também a análise de correlação de Pearson entre os comprimentos e diâmetros, por meio do programa estatístico R (R Core Team 2016).

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta as imagens do escaneamento a laser dos veículos, observam-se diferenças nas cargas transportadas quanto a espaços vazios, qualidade de carga.



Fonte: Da autora (2018)

Figura 2. Escaneamento a laser da lateral esquerdo dos veículos de transporte.

A tabela 1 apresenta as variações de diâmetro e comprimento das toras dos veículos de transporte.

Tabela 1. Diâmetro e comprimento das toras dos veículos de transporte obtido pela cubagem rigorosa.

Feixes	Diâmetro da tora (cm)				Comprimento da tora (m)			
	Veículos de transporte rodoviário (Tritrem)							
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	10,38	5,87	9,67	10,64	3,34	3,23	3,49	3,28
2	10,07	6,01	9,79	10,54	3,37	3,24	3,48	3,31
3	10,28	5,76	9,90	10,86	3,36	3,23	3,53	3,33
4	10,45	5,61	9,43	10,58	3,36	3,21	3,49	3,40
5	10,44	5,49	9,89	10,52	3,34	3,16	3,51	3,43
6	10,48	5,59	10,07	10,79	3,33	3,13	3,52	3,37
Média	10,35	5,72	9,79	10,65	3,35	3,20	3,50	3,35

Conforme a tabela 1 observa-se que ocorreu controle na qualidade do traçamento da madeira não havendo discrepâncias consideráveis no comprimento das toras que apresentaram intervalos de comprimentos variando de 3,2 cm a 3,5 cm. Desta forma, os comprimentos das toras não foram passíveis de causar erros em medição do volume no método de sistema de escaneamento a laser.

A figura 3 apresenta as análises dos desvios do volume de madeira sólida por feixe no compartimento de carga e o volume total do veículo de transporte, o desvio total dos quatro caminhões analisados foi de -4,3%, superestimando os valores em volume de madeira em relação à cubagem rigorosa.

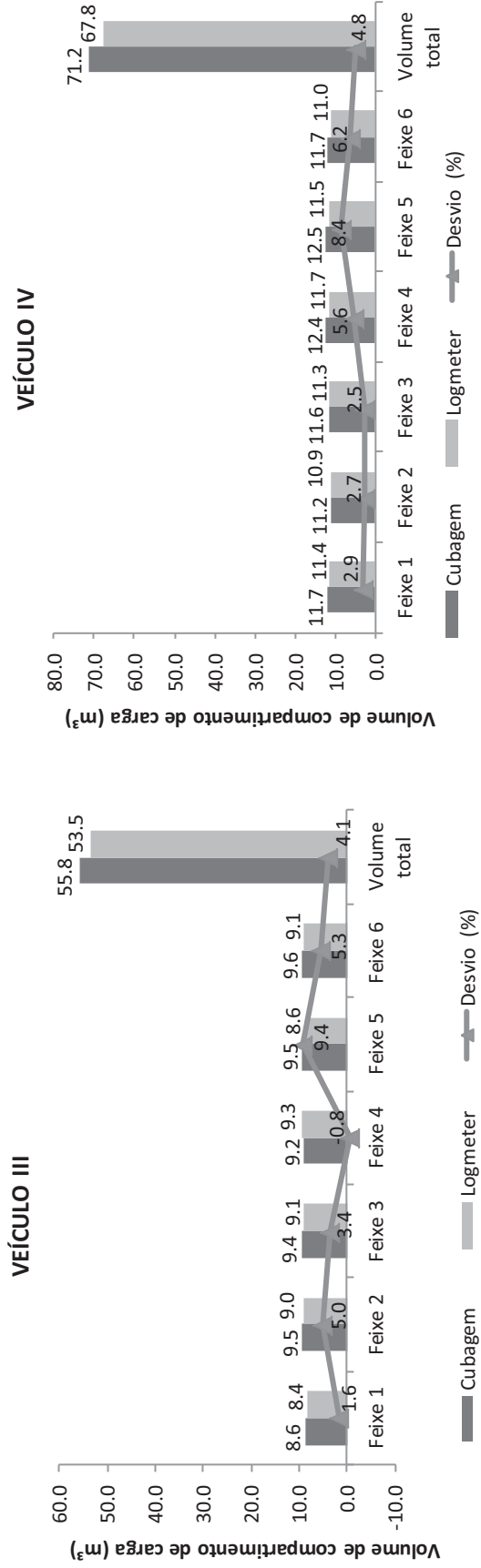
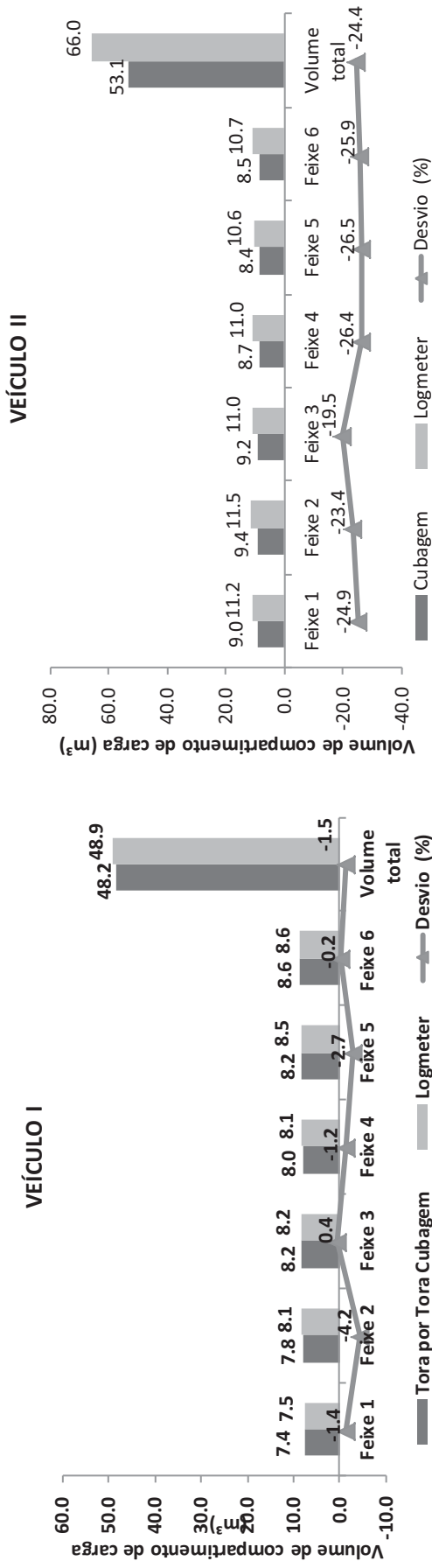


Figura 3. Volume e desvios de madeira estimada pelo método de cubagem a laser e cubagem rigorosa.

Silva et al., (2005) em seus estudos de desenvolvimento de uma metodologia para segmentação de toras de madeira para cubagem de pilhas de madeira utilizando fotografias digitais com a finalidade de cubagem de árvores abatidas verificou um desvio médio inferior a 2,0% em volume (m³) da pilha em relação a cubagem rigorosa.

O veículo I apresentou desvio de -1,5%. Os veículos III e IV apresentaram desvios de 4,1% e 4,8%, respectivamente. Estes valores são considerados adequados dentro dos limites aceitáveis pelo fabricante do *scanner* a laser (até 5%). O veículo II apresentou desvio muito elevado, aproximadamente -24%. Este veículo analisando as imagens de carga (Figura 2) apresenta um grande número de toras por feixe com média de 986 toras/feixe, e diâmetro médio de 5,7 cm, estes fatores podem ter causado os erros em medição de volume sólido que variaram de 11,2 cm até 11,5 cm.

Em seus estudos utilizando o programa DIGITORA, com estimação de volume a partir de imagens, Bertola (2002), verificou um desvio médio de 0,424% entre os fatores de empilhamento obtidos pelas fotos e os fatores obtidos por cubagem rigorosa. Carvalho et al. (1992) comparando o sistema TOROS em relação ao cubagem rigorosa na medição de madeira empilhada verificou desvios inferiores a 10%.

Estudos de Torquato (1983), Carrilo et al. (1985), Rezende (1988), Bertola (2002) também destacam o diâmetro de toras como fatores passíveis de causar variação na aferição do volume de toras. Carrillo et al.(1985) encontraram diferenças significativas entre o fator de empilhamento de diferentes classes de diâmetro. Rezende (1988) em seus estudos verificou que a utilização de fotografias digitais apresentou tendência de subestimação dos fatores de empilhamento em pilhas de madeira de eucalipto, principalmente em com toras de maiores diâmetros, da mesma forma, no presente estudo, os feixes com toras de maiores diâmetros proporcionaram uma subestimativa dos valores de volume, enquanto que feixes com toras de menores diâmetros superestimaram os valores de volume sólido.

Desta forma, a utilização de *scanner* a laser deve considerar o diâmetro das toras evitando toras com diâmetros muito pequenos, além de analisar o número de toras por feixe, desviando-se dos elevados valores, quando se procura a precisão e exatidão em medições de volume sólido da madeira entrante em uma fábrica.

Nas tabelas 2 e 3 encontram-se as análises de variância e as médias de volume médio das toras para os métodos de cubagem rigorosa e a laser em função do diâmetro. Observa-se que há diferenças significativas entre os volumes médios de toras para os dois métodos de medição nos veículos 2, 3 e 4, estes veículos apresentaram números de toras por feixe superiores a 307 peças e isto pode ter acarretado em desvios de medição dos volumes sólidos.

Tabela 2. Análise de variância dos volumes médios das toras para os métodos de cubagem rigorosa e a laser em função do diâmetro de tora.

FV	GL	QM	F
Método de aferição	1	2,9611E-09	4,0000E-03 ^{ns}
Diâmetro	3	1,2400E-03	1,5886E+03**
Método de aferição*Diâmetro	3	9,0000E-06	1,1159E+01**
Erro	40	7,8058E-07	
Total	47		
CV (%)	3,52		

Tabela 3. Médias de volume de madeiras em relação ao diâmetro das toras para os quatro caminhões analisados sob os dois métodos de cubagem.

Método de aferição	Diâmetro							
	1	2	3	4	1	2	3	4
A - Rigorosa	0,0304	Ca	0,0089	Aa	0,0288	Bb	0,0324	Db
B - Laser	0,0309	Ca	0,0111	Ab	0,0276	Ba	0,0308	Ca

*Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey (5%). Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

O veículo 1 apresentou similaridade entre os métodos de aferição com volume de 0,030 m³ por tora, aproximadamente. A partir das imagens geradas, observa-se que esta carga apresentou boa uniformidade de suas características com diâmetro médio de 10,3 cm e comprimento médio de 3,4 m e desta forma, proporcionou uma boa aferição por meio de sensor a laser.

Apenas o veículo II apresentou variação em relação à aferição de volume com a utilização do sensor a laser. A menor precisão do método no veículo II deve-se ao menor diâmetro das toras, com tendência a acomodamento de qualidade inferior, maior presenças de espaços vazios, tora sob tora, características que não favorecem a aferição correta do sistema a laser. Isto indica que para diâmetros em

torno de 10 cm e comprimentos de 3,5 m, a utilização da metodologia de escaneamento a laser apresenta-se com elevada precisão de medição do volume sólido da carga.

Pode-se considerar que as diferenças em confecção da carga e acomodação das toras (Figura 2) foram determinantes para o sucesso na medição de volume do laser, pois este método não contabiliza os espaços vazios e caso a acomodação da carga não ocorra adequadamente algumas toras não podem ser contabilizadas e calculadas, este fato evidenciou os maiores desvios encontrados entre os métodos de aferição (figura 3).

4 CONCLUSÃO

O método de cubagem a laser apresentou elevado potencial na determinação de volume de madeira de eucalipto.

Os menores diâmetros de toras e maior número de toras por feixe são fatores passíveis de causar erros na aferição do volume sólido de madeira podendo acarretar em superestimação dos valores na medição a laser *scanner*.

O método de sistema a laser *scanner* necessita de ajustes para minimizar os desvios e as diferenças em relação à cubagem rigorosa, garantindo melhor precisão em utilização para aferição do volume sólido de madeira.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E.J.G. de et al. Relações dendrométricas em fragmentos de povoamentos de pinus, em Minas Gerais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.32, n.72, p.355, 2012.

BATISTA, J.L.F.; COUTO, H.T.Z. O estéreo. **Metrum**, n. 2, 19 p., 2002.

CARVALHO, F.D.; CORREIA, B.B.; DAVIES, R.; RODRIGUES, F.C.; FREITAS, J.C. Image processing system for the measurement of timber truck loads. In: Supplementary volume, 1992, Hong Kong. **Proceedings...** Hong Kong: University of Hong Kong, 1992. p.39-45.

COLHEITA DE MADEIRA. Suzano adquire um terceiro sistema de medição de madeira Logmeter ® 4000. 2010. Disponível em:
<<http://www.colheitademadeira.com.br/informativos/106/suzano-adquire-um-terceirosistema-Logmeter-®-4000.html>>. Acesso em: 28 Nov 2018.

GARBER S.M.; MAGUIRE D.A. Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures. **Forest Ecology and Management**. 2003. vol 179. n.1. p. 507-522.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 2. ed., New York: John Willey & Sons, 1972. 410p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC. 1992. 269 p.

FIGUEIREDO FILHO, A. Estudo de modelos matemáticos para estimar o volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida da Amazônia brasileira. **Revista Floresta**, Curitiba, v.13, n.1, p.7, jun. 1982. Resumos.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; CARNEIRO, M. R. A. Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer). **Canadian Journal of Forest Research**, Toronto, v. 30, n. 6, p. 990-997, 2000.

GOMES, A.M.A. **Medição dos arboredos**. Lisboa: Livraria Sá da Costa, 1957. 413p.

IPEF. “**IPEF Notícias**”. Número 196. Janeiro, Fevereiro, Março 2009. Ano 35. 12 p.

INMETRO. **Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**. Portaria n. 130 de 7/12/1999.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2009. 316 p.

JONSSON, Johan. Automation of pulp wood measuring. 2009.

LIMA, G. C. P., KOHLER, S. V., SILVESTRE, R., NAVROSKI, M. C., BONAZZA, M., ALLEGRETTI, G., & SCARIOTI, R. ACURACIDADE DE MÉTODOS DE CUBAGEM PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DE Pinus taeda L. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 1, n. 1, 2015.

NYLINDER, M.; KUBENKA, T.; HULTMÅS. M. **Roundwood Measurement of Truck Loads b Laser Scanner**. Field study at Arauco pulp mil Nueva Aldea, 200. 1-9.

THIERSCH, C. R. **Modelagem da densidade básica, do volume e do peso seco para plantios de clones de Eucalyptus spp**. UFLA: Lavras, 2002. 197 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, 2002.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2012. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>.

SCOLFORO, J.R.; FILHO, A.F. **Mensuração florestal 2: Volumetria**. ESAL/FAEPE, p. 106-114, 1992.

SFB - Serviço Florestal Brasileiro. **Florestas do Brasil em resumo**. Brasília: SFB. 2010. 152 p.

SILVA, M. C. da, SOARES, V. P., PINTO, F. D. A. C., SOARES, C. P. B., & RIBEIRO, C. A. Á. S. Determinação do volume de madeira empilhada através do processamento de imagens digitais. **SCIENTIA FORESTALIS**. n. 69, p.104-114, 2005.

SOARES, C.P.B; RIBEIRO, J.C.; NASCIMENTO FILHO, M.B.; RIBEIRO, J.C.L. Determinação de fatores de empilhamento através de fotografias digitais. **Revista Árvore**. vol.27 n.4 Viçosa, 2003.

STERNADT, G. H. **Cubagem de toras de mogno: comparação do processo do IBAMA e o adotado por madeireiras**. [S.L]: IBAMA, 2001. 65 p.