

Métodos de medição da altura comercial de árvores na região Amazônica

Methods of measuring the commercial height of trees in the Amazonian region

**Janiel Cerqueira da Silva¹, Adriano Ribeiro de Mendonça^{1*}, Gilson Fernandes da Silva¹,
Rafaella De Angeli Curto², Livia Thaís Moreira de Figueiredo³ e
Mayra Luiza Marques da Silva⁴**

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar diferentes métodos de medição da altura comercial de árvores para fins de manejo florestal sustentável em uma floresta nativa da região Amazônica, localizada em um Projeto de assentamento florestal. Os métodos de medição analisados foram: visual realizado por uma pessoa com experiência; clinômetro Suunto; hipsômetro eletrônico Haglöf II; e hipsômetro Vertex IV. Foi realizada medição direta com uma trena à árvore abatida, para fins de avaliações dos métodos indiretos de medição. Os métodos foram comparados por meio da análise gráfica dos resíduos e pelas estatísticas: Viés (V), Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) e Médias das Diferenças absolutas (MD). O tempo médio de execução dos métodos foi comparado pelo teste *t* de Student a 5% de significância. De modo geral, considerando o tempo de execução, exatidão das medidas de altura e o custo de implementação, o clinômetro Suunto e a estimativa visual realizada por uma pessoa experiente foram os métodos com melhores resultados.

Palavras chave: manejo florestal; hipsômetros; eficiência; eficácia

Abstract

The objective of this study was to analyze different methods of measuring the commercial height of trees for purposes of sustainable forest management in a native forest in the Amazon region. The study was carried out in a Forest Settlement Project. The measurement methods used were: visual, performed by a person with experience, Suunto clinometer, Haglöf II electronic hypsometer, Vertex IV hypsometer and direct measurement with a tape measure. The methods were compared by means of graphical analysis of the residues and the statistics Bias (V), Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Differences (MD). The mean time of execution of the measurement was compared by Student's *t* test at 5% significance. In general, considering the execution time, accuracy of height measures and the cost of implementation, the Suunto clinometer and the visual estimation performed by an experienced person were the methods with the best results.

Keywords: forest management; hypsometer; efficiency; effectiveness

INTRODUÇÃO

A medição da altura das árvores pode ser realizada de forma direta ou indireta, sendo a última realizada com aparelhos denominados hipsômetros. Essa medida é realizada principalmente para: obtenção do volume de madeira ou estoque de carbono; reconhecimento da dinâmica de uma população; definição da qualidade de um local; estudos com fins de otimização; dentre outras finalidades (BINOTI et al., 2013; MARTINS et al., 2016).

1. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Jerônimo Monteiro / ES, Brasil.

2. Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais – ICAA, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Sinop / MT, Brasil.

3. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Pará – UFPA. Altamira / PA, Brasil.

4. Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ. Sete Lagoas / MG, Brasil.

* Autor correspondente: adriano.mendonca@ufes.br

O uso de métodos mais eficientes e eficazes de medição das árvores para a realização de inventários florestais é de grande relevância para o planejamento do uso dos recursos florestais (SANQUETTA et al., 2006). Percebe-se esta necessidade quando se deseja medir a altura de árvores em florestas nativas tropicais, como é o caso das florestas da Amazônia, onde prevalece alta densidade de indivíduos (árvores, cipós).

Diante das dificuldades verificadas, a medição da altura de árvores em planos de manejo florestal sustentável na Amazônia é realizada, normalmente, por meio de estimativa visual. Geralmente um técnico habilitado para a realização dessa atividade utiliza-se de sua experiência para obtenção da medida, o que gera grande incerteza sobre a estimativa encontrada (CURTO et al., 2013). Por outro lado, em florestas plantadas, é corriqueiro o uso de instrumentos de medição como clinômetros e hipsômetros para a obtenção das medidas de altura, os quais apresentam boa acurácia (JESUS et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014).

Estudos direcionados à Amazônia para a utilização de tais instrumentos para realizar a medição de altura com maior exatidão, especificamente, a medição de altura comercial das árvores, ainda são incipientes. Gonçalves et al. (2009), em um estudo realizado em florestas tropicais compararam as medidas de altura comercial obtidas com um dendrômetro a laser modelo LEDHA GEO com as estimativas visuais feitas por quatro equipes, sendo que uma das equipes tinha o conhecimento da medida real. Estes autores concluíram que não houve diferença significativa entre os dados levantados pelos métodos comparados. Em outros biomas, estudos buscando identificar instrumentos e métodos que apresentem eficiência, e em alguns casos eficácia foram desenvolvidos por Curto et al. (2013); Silva et al. (2012a,b). Contudo, estes estudos foram dedicados às tipologias de floresta estacional semidecidual, que se diferenciam claramente das formações florestais encontradas na Amazônia, principalmente em termos do porte e organização das árvores no dossel.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar diferentes métodos de medição da altura comercial de árvores para fins de manejo florestal sustentável em uma floresta nativa da região Amazônica.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

O presente estudo foi realizado em uma área do Projeto de Assentamento Florestal Havaí (PAF Havaí), criado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), sob a Portaria nº 226, de 08 de abril de 2004. A área possui aprovação para o Manejo Florestal Sustentável Comunitário nos municípios de Mâncio Lima e Rodrigues Alves no Estado do Acre, situada entre as coordenadas 07°47' Latitude Sul e 73°14' Longitude Oeste.

Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo equatorial úmido, com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e a temperatura média anual é de 24,5 °C. De acordo com Acre (2010), o período mais seco no Estado do Acre inicia no mês de maio e se prolonga até o mês de outubro e o chuvoso ocorre de novembro a abril, a tipologia florestal predominante na área em que foi realizado o estudo é Floresta Ombrófila Aberta com palmeiras.

Seleção das árvores-amostra

Baseando-se nos mapas do censo do PAF Havaí, foram verificadas as espécies presentes e a quantidade de indivíduos selecionados para a exploração. Com base nestas informações, selecionaram-se as quatro espécies com maior quantidade de indivíduos, sendo estas: abiurana (*Pouteria guianensis* Aubl.), bajião (*Parkia multijuga* Benth.), pau-garrote (*Bagassa guianensis* Aubl.) e ucuuba (*Virola decorticans* Ducke.). Essas espécies são utilizadas com frequência na construção civil para caixarias na região em que foi realizado este estudo. Foram selecionadas 30 árvores-amostra (nove indivíduos de abiurana; sete de bajião, seis de pau-garrote e oito de ucuuba), distribuídas em diferentes classes de diâmetro e altura comercial (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição das árvores-amostra para medição da altura comercial.

Table 1. Distribution of sample trees for measuring commercial height.

Classe de DAP (cm)	Classe da altura comercial (m)					Total
	8 f 11	11 f 14	14 f 17	17 f 20	20 f 23	
58 f 69	0	2	5	2	0	9
69 f 80	0	1	1	4	1	7
80 f 91	2	1	3	1	2	9
91 f 102	0	1	0	0	0	1
102 f 113	0	0	2	0	0	2
113 f 124	0	1	0	0	1	2
Total	2	6	11	7	4	30

Métodos de medição de altura comercial

Com a finalidade de encontrar a melhor alternativa para obtenção da altura comercial de árvores em pé em áreas de manejo florestal sustentável em floresta nativa na Amazônia, foram considerados os seguintes métodos: a) Método 1: Medição da altura comercial feita de forma visual por uma pessoa com experiência; b) Método 2: Medição com o clinômetro Suunto; c) Método 3: Medição com o hipsômetro eletrônico Haglöf II; d) Método 4: Medição com o hipsômetro Vertex IV.

A obtenção da altura comercial pelo método 1 foi realizada por um mateiro com mais de 12 anos de experiência na referida profissão, o qual também foi responsável por identificar as espécies de árvores e realizar as estimativas da altura comercial durante a realização de inventário florestal.

Para a medição da Hc com o método 2 foi utilizado o clinômetro Suunto (modelo PM-5/360PC), com escala em graus (0° a 90°) e em porcentagem (0 a 150%). Neste trabalho, as leituras dos ângulos foram tomadas em graus (°). Para medição da Hc, foram necessárias duas pessoas: uma para manusear o clinômetro Suunto e um ajudante encarregado de esticar a trena para medição da distância horizontal entre o operador e a árvore. Para se obter o valor da Hc, o operador realizou duas leituras de ângulos, uma na base e outra na Hc. Após a obtenção destas medidas, foi aplicada a equação (1):

$$Hc = (\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta) \cdot L \quad (1)$$

em que: Hc = altura comercial (m); α = ângulo formado pela visada da linha do horizonte até a base da árvore (graus); β = ângulo formado pela visada da linha de horizonte até a altura comercial (graus); L = distância entre o operador e a árvore medida (m).

A medição da Hc pelo método 3, assim como o método 2, necessitou de duas pessoas: o operador do hipsômetro eletrônico Haglöf II e um auxiliar para medição da distância do operador até a árvore, com auxílio de uma trena. Para medir a Hc, inicialmente foi obtida a distância entre o operador e a árvore, e essa distância registrada no instrumento. Em seguida, o operador realizou os procedimentos de visada da base e da Hc e, posteriormente, visualizou o valor da medida de Hc direto no visor do instrumento, sem a necessidade de realizar cálculos posteriores.

Para a medição da Hc pelo método 4, primeiramente foi realizada a calibração do hipsômetro Vertex IV de acordo com o manual do aparelho (HAGLÖF SWEDEN AB, 2018). As principais etapas da calibração consistiram em: i) após a retirada do aparelho da caixa, esperou-se um determinado tempo para que o Vertex IV tivesse a mesma temperatura que o ar ambiente; ii) usando uma trena, o operador se posicionou a uma distância conhecida do transponder T3; o operador escolhe a opção CALIBRATE no aparelho e confirma a escolha; quando o visor do aparelho mostra exatamente a distância dele até o transponder, a calibração do Vertex IV estará finalizada. Para maiores detalhes da calibração do aparelho consultem Haglöf Sweden AB (2018). Na medição de alturas com o Vertex IV não há necessidade de realizar a medida de distância com o auxílio de trena. Assim, um ajudante posicionava a baliza com o transponder fixo a 1,30 m na frente da árvore a ser medida, de modo que o operador pudesse realizar a primeira visada mirando o transponder. Em seguida, era feita uma nova visada na Hc. O valor da medida da altura é mostrado automaticamente no visor do aparelho.

Destaca-se que as operações do hipsômetro eletrônico Haglöf II, Clinômetro Suunto e hipsômetro Vertex IV foram realizadas pelo mesmo operador, treinado e com o conhecimento dos principais erros a serem evitados no ato das medições. A equipe para todos os métodos foi a mesma, integrada por um operador dos instrumentos, um mateiro e um anotador. A distância do operador até a árvore foi igual para todos os métodos em que foram utilizados instrumentos de medição da altura. Em geral, a

distância do operador a árvore variou entre 8 a 22 metros. Já para estimativa feita de forma visual por uma pessoa experiente não foi aplicada a mesma distância do operador a árvore, pois o profissional localizava-se a uma distância suficiente para fazer a leitura e a obtenção da altura foi feita de forma instantânea. O ponto de visada da Hc foi o mesmo para todos os métodos.

Neste estudo, considerou-se como Hc a distância vertical iniciando na base até a primeira bifurcação ou injúria. A altura comercial real (testemunha) de cada árvore foi obtida utilizando-se uma trena, logo após a árvore ser abatida. Tal medição foi realizada após a obtenção da Hc das árvores pelos diferentes métodos propostos.

Exatidão dos métodos de medição da altura comercial das árvores

Após a obtenção das medidas de altura comercial, os métodos foram avaliados pela análise gráfica dos erros de medição dados pela expressão 2.

$$ER = \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \cdot 100 \quad (2)$$

em que: ER = erro relativo (%); Y_i = altura da i-ésima árvore medida de forma direta com a trena (m); \hat{Y}_i = altura da i-ésima árvore medida pelos métodos avaliados (m).

As análises gráficas dos erros percentuais foram realizadas com o intuito de verificar eventuais tendências na obtenção das alturas. Além disso, os métodos foram avaliados por meio das estatísticas complementares: Viés (V); Média das Diferenças Absolutas (MD) e Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME), para as quais, quanto mais próximos de zero os valores, mais exato é o método avaliado.

a) Viés (V):

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n} \quad V(\%) = \frac{V}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (3)$$

b) Médias das Diferenças Absolutas (MD):

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad MD(\%) = \frac{MD}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (4)$$

c) Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME):

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad RQME(\%) = \frac{RQME}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (5)$$

em que: n = número de observações; \bar{Y} = média das alturas medidas com a trena (m).

Análise conjunta dos atributos tempo de execução, exatidão e custo de implementação dos métodos de medição

Objetivando analisar o tempo necessário para obtenção das medidas de altura pelos métodos 2, 3 e 4, foi registrado o tempo de operação de cada método utilizando um cronômetro. Inicialmente, foi registrado o tempo necessário para o operador se deslocar da base da árvore em busca de um local ideal para uma possível visualização da mesma e a identificação do ponto ao longo do fuste para a medida da altura comercial, cujo tempo foi considerado igual para todos os métodos. Na sequência, foram realizadas as operações necessárias para obtenção da altura comercial de cada método e cronometrado o tempo, sendo somado ao tempo de deslocamento para compor o tempo total da operação de cada método. Para o clinômetro Suunto não foi computado o tempo gasto para o cálculo da altura total no escritório e o tempo gasto para calibração do hipsômetro Vertex IV. Considerando o tempo necessário para realizar as operações, os métodos foram avaliados por meio do teste t de Student para as médias a 5% de significância.

Para se calcular o valor de custo de implementação de cada método, inicialmente foi realizada uma pesquisa de mercado quanto ao valor dos instrumentos, sendo considerado os menores preços encontrados. No cálculo do custo do operador e dos ajudantes, foi considerado o valor da diária cobrada na região de estudo. Por fim, foi realizado um somatório e calculado o custo do método. Vale ressaltar que ao calcular o custo de implementação dos métodos, foi feita a análise de custo considerando apenas um dia de trabalho de medição.

Visando indicar o melhor método para obtenção da altura comercial das árvores, foi realizada uma identificação do método que necessitou de menor tempo para execução, maior exatidão na realização das medidas e por fim, de menor custo de implementação e operação. Para análise desses atributos, foi feito um ranking com notas de um a quatro para cada método analisado, recebendo menor (1) o método que obteve melhor resultado no atributo avaliado e assim sucessivamente até o pior resultado (nota 4). Em caso de empate no mesmo atributo os métodos receberam a mesma nota.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Exatidão dos métodos avaliados para medição da altura comercial

Pela análise gráfica dos erros relativos dos métodos de obtenção da altura comercial das árvores (Figura 1), observou-se que os valores as medidas obtidas pela estimativa visual apresentaram tendência em subestimar a altura comercial das árvores, com erro distribuído no intervalo de $\pm 40\%$. Já para o clinômetro Suunto, a maioria dos resíduos encontra-se no intervalo de $\pm 20\%$, não apresentando uma tendência clara na medição da altura comercial. Analisando o hipsômetro eletrônico Haglöf II, verificou-se que este instrumento teve tendência em superestimar o valor da altura comercial e a maioria dos resíduos encontra-se no intervalo de -40 a 20%. Quando se emprega o Vertex IV, observou-se claramente que o instrumento teve tendência em superestimar as medidas de altura comercial, apresentando variação residual no intervalo de -50 a 1%. Considerando a análise gráfica dos resíduos, o clinômetro Suunto foi o aparelho que apresentou uma melhor distribuição dos resíduos, sendo considerado o melhor aparelho para obtenção da altura comercial, pela referida análise, dentre os métodos testados. Tendência em superestimar a altura de árvores com o hipsômetro Vertex também foi verificada por Jesus et al. (2012) em um estudo realizado em um povoamento clonal de *Eucalyptus*. Os autores encontraram tendência em superestimar a altura real em toda a amplitude dos dados, assim como ocorrido nesta pesquisa. Já Curto et al. (2013) e Silva et al. (2012a) verificaram tendência contrária, em que o hipsômetro Vertex, para obtenção da altura total de árvores em áreas de Floresta Estacional Semidecidual no sul do Espírito Santo, apresentou uma leve tendência em subestimar a altura, sendo essa cada vez maior a medida que se aumenta a altura das árvores.

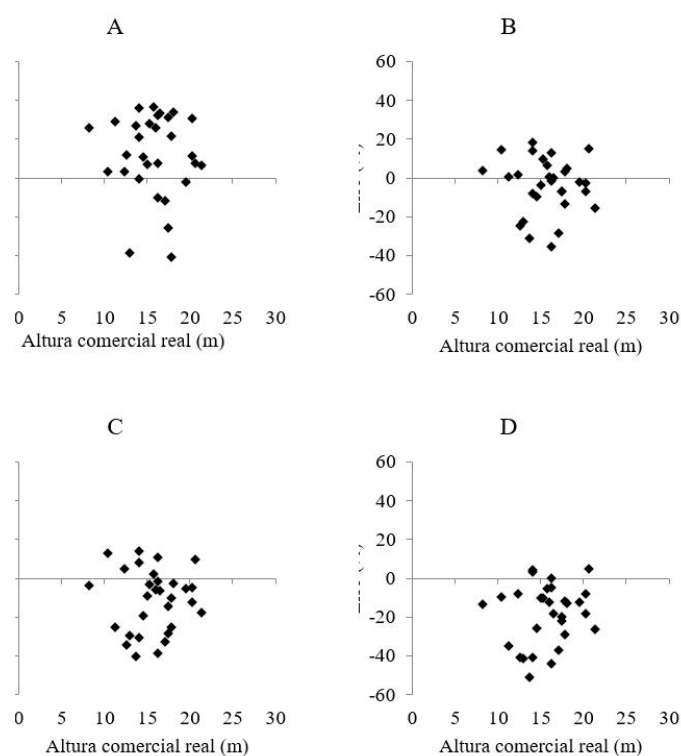


Figura 1. Distribuição dos resíduos da altura comercial (H_c), em percentagem, para o método de estimativa visual com experiência (A), medição com o Suunto (B), medição com Haglöf II (C) e medição com o Vertex IV (D).

Figure 1. Distribution of the commercial height (H_c) residues for the visual estimation method with experience (A), measurement with Suunto (B), measurement with Haglöf II (C) and measurement with Vertex IV (D).

No entanto, assim como no presente trabalho, Jesus et al. (2012) realizaram a mensuração de árvores de porte menor (média de 16,8 m), do que quando comparadas a mensuração realizada por Curto et al. (2013) e Silva et al. (2012a), em que mensuraram árvores a partir de 15 m de altura, cuja as árvores atingiram até 45m e 30m de altura, respectivamente. Da mesma forma ocorreu com o hipsômetro eletrônico Haglöf II, em que no presente trabalho apresentou tendência em superestimar a altura, porém, em árvores mais altas a tendência foi de subestimar (CURTO et al., 2013).

Em estudo realizado em uma Floresta Estacional Semidecidual, Curto et al. (2013), observaram que as estimativas visuais com treinamento não apresentaram tendências em sub ou superestimar a altura de árvores que variavam entre 15 e 18 metros, correspondendo em média a altura comercial das árvores avaliadas no presente trabalho. Porém, o treinamento recebido no referido trabalho foi baseado no conhecimento de medidas reais de outras árvores anteriormente mensuradas, por meio de escalada, podendo-se gerar uma referência para as estimativas visuais. Já no presente trabalho, a estimativa visual é baseada em conhecimento empírico, o que não significa que não pode gerar boas estimativas. Além disso, o que ocorreu é específico de um mensurador, de modo que não se pode generalizar para os demais. Andrade et al. (2016), avaliando o desempenho do método de estimativa visual, verificou que este método produziu resultados não acurados da altura de árvores menores ou iguais a 7 m. Neste estudo, estes autores estimaram alturas de árvores de até 9m em uma região de Cerrado sensu stricto.

Ao analisar os resultados da Tabela 2, que contém os valores das estatísticas complementares, notou-se que o clinômetro Suunto obteve a maior exatidão, seguido do hipsômetro eletrônico Haglöf II. Esta diferença, em princípio, não era esperada na medida em que estes três aparelhos analisados utilizam exatamente o mesmo princípio para realizar as medidas, que é o princípio trigonométrico. Sendo assim, em teoria, os procedimentos de medição empregados são basicamente os mesmos, isto é, ficar a uma distância conhecida da árvore objeto, realizar uma medida na base e outro no topo e, dependendo da topografia, somar ou subtrair estas medidas. Como no caso deste trabalho as medidas foram realizadas apenas no plano, este deixa de ser uma fonte de erro.

Tabela 2. Estatísticas complementares para diferentes métodos de estimativa da altura comercial de árvores em uma floresta na Amazônia.

Table 2. Complementary statistics for different methods of estimating the commercial height of trees in a forest in the Amazon.

Estatísticas	Visual	Suunto	Haglöf II	Vertex IV
V (%)	11,40	-4,00	-11,22	-18,09
MD (%)	20,28	10,74	15,11	18,96
RQME (%)	24,10	14,20	18,81	23,10

Em que: V = Viés, MD = Média das Diferenças Absolutas; RQME = Raiz do Quadrado Médio do Erro.

Nesse sentido, pode-se supor que as eventuais diferenças nas medidas produzidas por cada aparelho podem estar relacionadas a: Ergonomia do aparelho (sua facilidade de uso), experiência do operador, condições climáticas (especialmente no caso do Vertex IV) e eventos aleatórios, como alguma dificuldade imprevista no momento de realização de alguma medida. É importante admitir que os aparelhos empregados estão corretamente graduados, não apresentam defeitos e foram calibrados no momento das medições.

No que diz respeito à questão ergonômica, os aparelhos apresentam aproximadamente o mesmo tamanho e peso, sendo o hipsômetro eletrônico Haglöf II o aparelho menor e mais leve entre os avaliados. No caso do clinômetro Suunto, não é preciso apertar nenhum botão para se realizar as medidas. Para o hipsômetro eletrônico Haglöf II são necessários dois apertos no mesmo botão no momento da medição e no caso do Vertex IV é necessário manter um botão pressionado até o fim da leitura. Basicamente estas são as diferenças no uso destes aparelhos. Outra diferença que pode ser relatada é que no caso do Vertex IV a distância é obtida usando o princípio de transmissão de ondas de som, que pode sofrer uma grande influência do ambiente, especialmente da temperatura e umidade. Os outros dois aparelhos tiveram suas medidas de distância obtidas por trenas. Supõe-se que estas medidas foram obtidas corretamente, o que é fundamental para aplicação do método trigonométrico e obtenção das medidas as mais corretas.

É muito importante mencionar que estas diferenças entre os aparelhos, isto é, seu tamanho, peso, e maneira do manuseio, não foram consideradas isoladamente neste estudo. Sendo assim não se pode afirmar de forma definitiva que alguma característica de um determinado aparelho foi a causa de um determinado erro no processo de medição.

Contudo, chamou a atenção nos resultados a menor exatidão das medidas de altura realizadas com o uso do Vertex IV. Como mencionado, por ser este um aparelho que utiliza o mesmo princípio dos demais, de uso tradicional na medição de altura e um dos mais caros do mercado, pode-se dizer que este não é um resultado esperado. Considerando as diferenças citadas entre os aparelhos avaliados, uma possível explicação para o pior desempenho do Vertex IV pode estar na medição da distância do mensurador até a árvore. As condições de temperatura e umidade relativa do ar da região de estudo são bastante desfavoráveis ao uso de ondas de som como medida de distância.

A temperatura e a umidade relativa do ar possuem efeito sobre a velocidade do som, o que pode acarretar efeito sobre este aparelho uma vez que é baseado em um sensor de ultrassom (BOHN, 1988). Ambientes com altas temperaturas (BOHN, 1988; BORGES; RODRIGUES, 2017) ou umidades relativas (BOHN, 1988) tendem a propagar o som com maior velocidade. Além disso, em temperaturas mais altas do ar, a velocidade do som aumenta à medida que a umidade aumenta (PEPPERL-FUCHS, 2018). Por causa da velocidade do som, é que estes aparelhos devem ser calibrados regularmente em dias com mudanças de temperatura (WEST, 2009).

Segundo o manual do Vertex IV é importante que o sensor de temperatura do aparelho tenha tido tempo suficiente para se adaptar à temperatura ambiente (HAGLÖF SWEDEN AB, 2018). Se o Vertex IV for transportado em uma caixa fechada, com temperatura interna superior à externa, levará mais de 10 minutos para o instrumento se adaptar. Como exemplo, se o Vertex IV for transportado em uma caixa fechada com temperatura interna de 15 °C e a temperatura ambiente for -5 °C, a medição mostrará 10,40m em vez de 10,00m. No caso deste exemplo apresentado pelo manual, o erro encontrado foi de 2 cm por °C. Se a calibração for feita antes que o sensor de temperatura tenha estabilizado, o erro será permanente.

Neste trabalho, o aparelho foi calibrado a cada medição de um grupo de árvores, uma vez que na área do experimento, as árvores estavam dispersas, fato comum em áreas de plano de manejo florestal sustentável na Amazônia. Neste caso, em situações reais, para o mensurador esperar o tempo necessário ao carregar o aparelho na caixa acarretaria em um tempo bem maior para fazer o trabalho de inventário, o que aumentaria o custo desta atividade. Esse pode ser um fato relevante para a falta de precisão deste aparelho no presente estudo, uma vez que o tempo de espera não atingiu o valor mínimo de 10 minutos e as diferenças de temperatura do interior da caixa e o ambiente podem ter sido suficientemente grandes para provocar a superestimação nas medidas que sugere o manual.

Outro fator a ser considerado é a alta densidade de indivíduos, o que dificulta a visualização do ponto de medição da altura da árvore (WEST, 2009) e do *transponder*. Kershaw et al. (2017) e Silva et al. (2012a) sugerem que a distância adequada para se realizar medições de altura seria uma distância equivalente a altura aproximada da árvore. Segundo Silva et al. (2012b), quando a altura de uma árvore é medida a uma distância muito próxima da mesma, diversos fatores atuam e tornam a medição mais passível de erros. Neste trabalho, verificou-se que o mensurador é obrigado a ficar muito próximo da árvore, o que não é conveniente. Em florestas nativas como a estudada, não é possível visualizar a base e o topo da árvore ao mesmo tempo no momento da medição, a menos que se esteja próximo da mesma. Ao ficar mais próximo da árvore, o mensurador é obrigado a inclinar mais o aparelho de medição. Neste caso, pequenas oscilações no aparelho, podem levar a erros mais significativos (SILVA et al., 2012a).

Jesus et al. (2012) avaliando os instrumentos Haga, Suunto e Vertex, para medição de altura das árvores em uma floresta equiânea, observou também que o Clinômetro Suunto se destacou, obtendo medidas de altura total mais próximas da medida real. Mayrinck et al. (2016), analisando estimativa de altura de árvores de uma floresta plantada do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, verificou que as estimativas com o Suunto foram as que mais se aproximaram da altura real das árvores, em relação a Prancheta dendrométrica, hipsômetro eletrônico Haglöf II e Vertex.

É possível verificar também que a estimativa visual resultou em menor viés, na obtenção da altura comercial das árvores, que o hipsômetro Vertex IV, já os valores de MD e RQME foram semelhantes (Tabela 2). Silva et al. (2012a), em um estudo realizado em floresta de Mata Atlântica no Espírito Santo, obtiveram resultado semelhante ao encontrado neste trabalho, em que a medição da altura

total das árvores pelo método visual com treinamento resultou em maior exatidão que as medidas de altura total realizadas com o hipsômetro Vertex.

Feliciano et al. (2016) mediu altura em três varas telescópicas de alta visibilidade com 4,45; 10,75 e 7,8m, respectivamente, por diferentes operadores, a uma distância fixa de 15m, em uma área plana. Estes autores verificaram que o hipsômetro Vertex, juntamente com o Haga e o Blume-Leiss, apresentou os melhores resultados. Destaca-se que, neste trabalho, o ponto de visada é mais fácil de visualizar que árvores nativas em povoamentos densos, como em florestas Amazônicas. Ainda vale ressaltar que foram avaliadas as diferenças entre as médias das medidas das diferentes alturas da régua pelos diferentes aparelhos e não foi realizada uma análise gráfica dos resíduos. Quando se avalia a média não se tem uma noção real da dispersão dos erros, que ajudaria a avaliar a presença ou não de viés das medidas realizadas pelos aparelhos.

Comparação dos atributos tempo de execução, exatidão e custo dos métodos de medição da altura comercial

São apresentadas na Tabela 3 as estatísticas descritivas para o tempo de operações dos métodos de medição da altura comercial das árvores.

Tabela 3. Estatísticas descritivas do tempo de operação dos métodos de medição de altura comercial das árvores em floresta nativa.

Table 3. Descriptive statistics of the operation time of the methods of measuring commercial height of trees in native forest.

Método	Mínimo (s)	Máximo (s)	Média (s)	CV (%)
Suunto	50	230	107	44
Haglöf II	40	205	86	52
Vertex IV	39	205	88	53

O tempo para a estimativa da altura comercial pelo método visual é quase que instantâneo, e por isso não foi computado. Curto et al. (2013) também observaram que as estimativas de altura de árvores pelo método de estimação visual, em geral, consomem um tempo muito baixo em relação aos métodos que utilizam algum instrumento para auxiliar a medição.

Na Tabela 4 estão os resultados do teste *t* para as médias do tempo de obtenção da altura comercial pelos métodos baseados no uso de instrumentos, sendo possível verificar que não houve diferença entre eles quanto ao tempo de execução ($p\text{-valor} > 0,05$).

Tabela 4. Resultados do teste *t* de Student para o tempo médio de execução dos métodos analisados.

Table 4. Student *t* test results for the mean time of execution of the analyzed methods.

Comparação	p-valor
Suunto x Haglöf II	0,0840
Suunto x Vertex IV	0,1307
Haglöf II x Vertex IV	0,8511

Considerando que o hipsômetro Vertex IV permite realizar medições de distância horizontal do operador até a árvore sem a necessidade da trena, este instrumento poderia ter se destacado em relação ao tempo de operação em comparação aos outros métodos. Porém, acredita-se que isso não ocorreu devido a interferência na comunicação entre o *transponder* e o hipsômetro Vertex IV, decorrente das condições climáticas e densidade do sub-bosque. Vale ressaltar que, para este aparelho, não foi incluído o tempo para calibração do aparelho, o que poderia aumentar o tempo gasto para medição das árvores e onerar a atividade de inventário florestal. A maior parte do tempo gasto na execução dos métodos foi na procura de um ponto para visualizar a base e o topo da árvore ao mesmo tempo, porém este foi considerado igual entre os métodos.

Curto et al. (2013), em um estudo realizado em um fragmento de floresta nativa de Mata Atlântica no Espírito Santo, que se encontra em grande parte degradado, chegaram à conclusão de que as medidas de altura total das árvores realizadas em diferentes condições do terreno com o hipsômetro Vertex III resultaram em menor tempo de execução que as medidas de altura obtidas com o hipsômetro

eletrônico Haglöf. Estes resultados destacam a importância em se observar as condições ambientais no momento em que se deseja selecionar equipamentos para medição de altura.

Os custos para implementação dos métodos, sendo incluído o valor dos instrumentos, custo de serviço do operador e ajudante estão apresentados na Tabela 5. Percebe-se que o método que resultou em menor custo para implementação e execução, foi a estimativa visual com experiência. O hipsômetro Vertex IV resultou em alto custo total comparado aos outros métodos, devido ao seu alto custo de aquisição.

Tabela 5. Custo de implementação dos métodos de obtenção de altura comercial de árvores em uma floresta nativa na Amazônia.

Table 5. Cost of implementing of the methods to obtain commercial height of trees in a native forest in the Amazon.

Método	Custo de aquisição (US\$)	Custo Operador (US\$) *	Trena (US\$/un.)	Custo Ajudante (US\$) **	Custo Total (US\$) ***
Visual	--	15,22	--	--	15,22
Suunto	212,11	15,22	31,71	7,61	266,65
Haglöf II	502,24	15,22	31,71	7,61	556,78
Vertex IV	4.514,87	15,22	--	7,61	4.537,70

* Custo unitário do serviço do operador; ** Custo unitário do serviço do ajudante; Cotação = 3,2853.

Um aspecto importante quando se faz menção aos equipamentos eletrônicos diz respeito à sua resistência ao uso diário e a sua facilidade ou não de manutenção. Neste caso, o clinômetro Suunto pode ser muito vantajoso uma vez que se trata de um aparelho bem mais rústico e resistente. Por outro lado, equipamentos eletrônicos dessa natureza, uma vez danificados, pode ser bem difícil encontrar uma manutenção adequada.

A Tabela 6 contém as notas referentes aos atributos tempo de execução, exatidão e custo dos métodos de obtenção de altura comercial das árvores em uma floresta nativa da região Amazônica. Observa-se que dos métodos avaliados, o clinômetro Suunto e a estimativa feita de forma visual por uma pessoa experiente se destacaram em comparação aos demais métodos. A diferença entre estes dois métodos foi que o primeiro resultou em maior exatidão das medidas que o segundo, fato este considerado de grande importância quando se deseja obter o volume de madeira a ser explorado em planos de manejo. O hipsômetro eletrônico Haglöf II se destacou em comparação ao Vertex IV, pois apresentou maior exatidão, além de menor custo de implementação e execução.

Tabela 6. Notas atribuídas aos atributos dos métodos de medição da altura comercial de árvores de espécies nativas.

Table 6. Notes attributed to the attributes of the methods of measuring the commercial height of native species.

Método	Tempo de execução	Exatidão	Custo	Total
Visual com experiência	1	3	1	5
Suunto	2	1	2	5
Haglöf II	2	2	3	7
Vertex IV	2	4	4	10

Embora os resultados encontrados na Tabela 6 sugiram que usar o Clinômetro Suunto ou a estimativa visual levará ao mesmo resultado final, uma discussão mais detalhada deve ser feita no momento de se decidir qual método usar. O Clinômetro Suunto foi o que produziu os resultados mais acurados, porém, muitas vezes a acurácia dos resultados não tem sido prioridade do mensurador em planos de manejo na região Amazônica. Fatores como o custo e o tempo de medição são priorizados em detrimento da acurácia, dando vantagem assim ao método de estimativa visual. Assim, deve-se ponderar sobre: Para que fim estas informações são destinadas? Qual é o prejuízo que se tem quando se utiliza informações dendrométricas com menor acurácia no manejo da floresta? Valeria a pena utilizar informações mais acuradas mesmo que isso implique em maior tempo e custo?

Mesmo que se chegue à conclusão que as medidas obtidas por estimativa visual, ainda que não sejam as mais acuradas, são satisfatórias, outros aspectos devem ser levados em conta. O método de estimativa visual depende exclusivamente do fator humano, sendo o resultado da estimativa da altura da árvore resultado da experiência do mensurador, mas também das suas condições de saúde,

humor, de boas relações com quem o contrata, entre outros aspectos. Tais questões são difíceis de serem controladas e aferidas, trazendo a este método um grande grau de incerteza. Além disso, mesmo que os aspectos humanos mencionados sejam favoráveis, seria necessário que o operador tivesse habilidade e experiência em realizar estimativas visuais. Contudo, encontrar profissionais com todas essas características provavelmente não deve ser uma tarefa fácil.

CONCLUSÕES

O clinômetro Suunto obteve a maior exatidão entre os métodos analisados.

Não houve diferença entre os instrumentos analisados considerando o tempo médio de medição da altura comercial de espécies nativas da Amazônia.

O método de estimativa da altura comercial de forma visual realizado por uma pessoa experiente resultou em menor custo de implementação, porém houve leve tendência em subestimar a altura.

Considerando o tempo de execução, exatidão das medidas de altura e o custo de implementação, o clinômetro Suunto e a estimativa visual realizada por uma pessoa experiente foram os métodos com melhores resultados.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRE. **Zoneamento ecológico-econômico do Acre**. Fase II. Documento síntese. Rio Branco: Sema, 2010. Disponível em: <http://www.agencia.ac.gov.br/wp-content/uploads/2011/10/downloads_zee_resumo_educativo.pdf>.16 >Acesso em: 05 jan. 2018.

ANDRADE, V. C. L.; RIBEIRO, J. R.; PINTO, I. O.; SANTOS, M. J. F.; TELES, L. B.; TERRA, D. L. C. V. Hipsômetros baseados no princípio geométrico avaliados em área de cerrado sensu stricto. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 5, p. 333-336, 2016.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; SILVA, A. Redução dos custos em inventário de povoamento equiâneos. **Agrária**, Recife, v. 8, n. 1, p. 125-129, 2013.

BOHN; D. S. Environmental effects on the speed of sound. **Journal of the Audio Engineering Society**, New York, v. 36, n.4, p.223-231, 1988.

BORGES, A. N.; RODRIGUES; C. G. **Introdução a física acústica**. São Paulo: Livraria de Física. 2017. 150 p.

CURTO, R. A.; SILVA, G. F.; SOARES C. P. B.; MARTINS, L. T. 4; DAVID, H. C. Métodos de estimativa de altura de árvores em floresta estacional semidecidual. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p.105-116, 2013.

FELICIANO; M. E.; RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; VITOR, P. C. G. Avaliação de diferentes hipsômetros na estimativa da altura total. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n.2, p.01-05, 2016.

GONÇALVES, D. A.; ELDIK, T. V.; POKORNY, B. O uso de dendrômetro a laser em florestas tropicais: aplicações para o manejo florestal na Amazônia. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 175-187, 2009.

HAGLÖF SWEDEN AB. **Users guide Vertex IV and Transponder T3**. 2007. Disponível em: <www.haglof.jp/download/vertex_iv_me.pdf> Acesso em: 18 dez. 2018.

JESUS, C. M.; MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; IMANÃ-ENCINAS, J. Avaliação de diferentes hipsômetros para medição da altura total em um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 291, 2012.

KERSHAW, J. A.; DUCEY, M. J.; BEERS, T. W.; HUSCH, B. **Forest mensuration**. 5.ed. New York: John Wiley & Sons, 2017. 630 p.

MARTINS, E. R.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; DUTRA, G. C. Configuração de redes neurais artificiais para estimação da altura total de árvores de eucalipto. **Agrária**, Recife, v. 11, n. 2, p. 117-123, 2016.

MAYRINCK, R. C.; OLIVEIRA, X. M. DE; SILVA, G. C. C.; VITOR, P. C. G.; FERRAZ FILHO, A. C. Avaliação de hipsômetros e operadores na mensuração de árvores de *Eucalyptus urograndis* de tamanhos diferentes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n.5, p.90-94, 2016.

OLIVEIRA, X. M.; OLIVEIRA, R. R.; RAMALHO, F. M. G.; CABACINHA, C. D; ASSIS, A. L. Precisão e tempo de operação de alguns instrumentos para medir altura de árvores. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n. 18, p.2336-2344, 2014.

PEPPERL-FUCHS. **Sensores ultrassônicos (parte 4)**: influências na precisão da medição. 2018. Disponível em: < <https://www.pepperl-fuchs.com/brazil/pt/25518.htm> >. Acesso em: 18 dez. 2018.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; DALLA CÔRTE, A. P.; FERNANDES, L. A. V. **Inventários florestais: planejamento e execução**. Curitiba: Multi-Graphic, 2006. 271 p.

SILVA, G. F.; CURTO, R. A.; SOARES, C. P. B.; PIASSI, L. C. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 341-348, 2012a.

SILVA, G. F.; OLIVEIRA, O. M.; SOUZA, C. A. M.; SOARES, C. P. B.; LEMOS, R. Influência de diferentes fontes de erro sobre as medições de alturas de árvores. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 397-405, 2012b.

WEST, P. W. **Tree and forest measurement**. 2.ed. Berlin: Springer. 2009. 189 p.

Recebido em: 08/02/2018

Aceito em: 14/02/2019