

Aplicativos e *smartphones* para mensuração da altura de árvores em plantio florestal

Rafaella De Angeli Curto¹ , Mônica Ferreira Pinto² , Charlotte Wink³ , Emanuel José Gomes de Araújo¹ , Sítia Valério Kohler⁴ 

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Rodovia BR 465, Km 07, s/n - Zona Rural, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil

²Somar Ambiental e Engenharia, Rua das Castanheiras, nº 1.001, Sala 908, Setor Comercial, CEP 78550-290, Sinop, MT, Brasil

³Universidade Federal de Mato Grosso, Avenida Alexandre Ferronato, nº 1.200, Setor Industrial, CEP 78557-267, Sinop, MT, Brasil

⁴Universidade Federal Rural da Amazônia, Rodovia PA 275 s/n, Km 13, Zona Rural, CEP 68515-000, Parauapebas, PA, Brasil

*Autor correspondente:
rafaellacurto@yahoo.com.br

Termos para indexação:

Medição
Precisão
Estimativa

Index terms:

Measurement
Precision
Estimation

Histórico do artigo:

Recebido em 28/05/2020
Aprovado em 21/10/2021
Publicado em 23/05/2022

Resumo - O presente trabalho teve como objetivo avaliar a exatidão de aplicativos, *smartphones* e mensuradores, na inferência da altura total em um plantio florestal. Foram selecionadas, aleatoriamente, 30 árvores em um plantio de *Tectona grandis*, sendo elas mensuradas por três aplicativos (*Measure height*, *Two point height* e *Hypsometer*), três *smartphones* (Samsung Galaxy S8, S6 e J7) e por três mensuradores. Posteriormente, as árvores foram abatidas, sendo obtidas suas alturas reais com auxílio de uma trena. Para avaliar a precisão, foi realizado teste *t* para amostras independentes, após verificação de homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett e normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, todos a 95% de confiança. Adicionalmente, foi realizada análise gráfica de resíduos, bem como estatísticas complementares (viés, média das diferenças absolutas, desvio padrão das diferenças e raiz do erro quadrático médio). Concluiu-se que, dependendo do aplicativo utilizado, há *smartphones* que não são indicados para mensuração de altura. O aplicativo de melhor desempenho foi o *Hypsometer*. E o *smartphone* Galaxy S6 apresentou melhor estimativa, preferencialmente para o aplicativo *Two point height*. A experiência do mensurador confirma-se como requisito fundamental na estimativa da altura, utilizando aplicativos e *smartphones*.

Applications and smartphones for measuring the height of trees in planted forest



Abstract - The present work had as objective to evaluate the accuracy of applications, smartphones and measurers in inferring the total height in a planted forest. Thirty trees were randomly selected, measured in a *Tectona grandis* stand, by three applications (*Measure height*, *Two point height* and *Hypsometer*), three smartphones (Samsung Galaxy S8, S6 and J7) and three measurers. The trees were logged and their real heights were obtained with a tape measure. To assess accuracy, a t-test for independent samples was performed, after verification of homogeneity of variances by Bartlett's test and normality by the Shapiro-Wilk test, all at 95% confidence levels. In addition, graphical analysis of residues was performed, as well as complementary statistics (bias, mean of absolute differences, standard deviation of differences and root of mean square error). We concluded that depending on the application used, there are smartphones that are not indicate for height measurement. The best-performing application is the *Hypsometer*. Galaxy S6 smartphone presented the best estimate, preferably for the *Two point height* application. The measurer experience was confirmed as essential requirement in height estimation using applications and smartphones.

Introdução

A mensuração florestal permite o conhecimento sobre o estoque do volume de madeira da floresta, para um adequado planejamento de atividades no manejo florestal. Com isso, empresas florestais vêm buscando aprimoramento de métodos de avaliação do potencial da floresta, para uma melhor elaboração de suas atividades. Isso envolve a quantificação do estoque de madeira para conhecer a produtividade e produção esperada.

O volume, a altura e o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) são as variáveis mais importantes a serem mensuradas em um povoamento florestal. No entanto, medir altura é bem mais oneroso do que medir o diâmetro, já que erros de medição podem estar associados à dificuldade de enquadramento da base e topo em campo, sendo necessária a visualização simultânea para realizar a mensuração de forma adequada (Machado & Figueiredo Filho, 2014).

A altura constitui-se em uma característica da árvore que pode ser medida ou estimada, sendo útil para o cálculo do volume, para o monitoramento dos incrementos em altura e, em determinadas situações como no uso de índices de sítio, pode ser um indicador da qualidade produtiva de um local. Dessa forma, é necessário que as medidas de altura apresentem os menores erros possíveis (Silva et al., 2012). No entanto, a avaliação dessa variável em campo demanda recursos que geram implicações e custos diversos, além da demanda de tempo.

A constante busca por alternativas que sejam viáveis economicamente tornam os *smartphones* uma opção, devido ao menor custo de aquisição, dependendo do aparelho, e sua fácil utilização (Gichamba & Lukandu, 2012), contando com aplicativos gratuitos em vários seguimentos, contidos em um aparelho celular multifuncional. Esses aplicativos abrangem diferentes funções, como por exemplo bússola (*Compass galaxy*), GPS (*Google Maps*), bem como para medir comprimento, ângulo, distância, altura, largura e área. Há ainda aqueles desenvolvidos para a área florestal, que visam obtenção de altura de árvores (Villasante & Fernandez, 2014), mensuração de pilhas de madeira (*Timbeter*), cubagem (*Timberlog* – calculadora de volume de madeira), entre outros.

Os aplicativos para mensuração fazem uso dos sensores presentes nos *smartphones*, para captar mudanças no movimento, medindo a força da aceleração aplicada

ao dispositivo (acelerômetro), sendo possível detectar a posição angular, repassando assim essa informação ao aplicativo, que transforma a informação em valores de altura. Em alguns celulares, a rotação (giroscópio) ao longo de cada um dos três eixos pode ser obtida (Oliveira & Gonçalves, 2017), medindo-se a velocidade angular, detectando se o aparelho celular for girado em seu próprio eixo, para cima ou para baixo. De forma combinada, esses dois sensores oferecem características encontradas nos hipsômetros trigonométricos. Villasante & Fernandez (2014), testando dois *smartphones* para avaliar a precisão da altura obtida por aplicativos, observaram que a presença do giroscópio reduz os erros da estimativa. Assim, dependendo das características dos sensores presentes no *smartphone*, pode-se obter uma precisão diferenciada para as medições de altura.

Adicionalmente, os operadores de *smartphones* devem estar atentos para não causar erros não aleatórios, sendo importante serem treinados para o uso de cada tipo de equipamento, garantindo maior exatidão na estimativa (Silva et al., 2012; Mayrinck et al., 2016; Curto et al., 2018).

Bijak & Sarzyński (2015), ao analisarem aplicativos de *smartphones* em povoamento de *Pinus*, concluíram que os aplicativos produzem erros na estimativa da altura e necessitariam de melhorias. Lauro et al. (2018) também não recomendaram o uso de um aplicativo de *smartphone* para a obtenção de altura em sistema integrado, atribuindo a este resultado as características do *smartphone* utilizado. No entanto, o uso do aplicativo *Hypsometer*, dependendo do aparelho celular utilizado, foi indicado por Curto et al. (2019), quando testaram em fragmento de floresta nativa, e por Harfouche et al. (2019), que desenvolveram seu trabalho em plantio homogêneo e em árvores isoladas.

Deste modo, o objetivo deste estudo foi avaliar a exatidão de aplicativos, *smartphones* e mensuradores na mensuração da altura total de árvores, em um plantio de *Tectona grandis*, visando minimizar erros e consequente possibilidade de tomada de decisões de estratégias para um planejamento florestal mais adequado.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa Agrossilvipastoril (11°52'23"S e 55°29'54"W,

384 m de altitude), em Sinop, MT. O experimento é composto por plantio de *Tectona grandis* L. f. com 52 meses, em uma área de 1,44 ha, com espaçamento de 3,5 x 3,5 m entre linhas e plantas, sem realização de desbaste.

A região apresenta precipitações totais anuais que variam de 1.327 a 1.974 mm, com temperaturas médias mensais variando entre 23,5 °C e 25,5 °C e máximas inferiores a 36 °C. Pelas classificações de Köppen e de Thornthwaite, a região é do tipo climático Aw e B2wA'a (Mota et al., 2013). O solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, textura argilosa, horizonte A moderado e com relevo plano (Viana et al., 2015).

Seleção dos smartphones e aplicativos

Foram testados *smartphones* disponíveis, da marca Samsung: 1) Galaxy S8, modelo SM-G950FD - tela de 5,8 polegadas, câmera de 12 megapixels, sensor acelerômetro de três eixos com resolução de 0,0023942017 m s⁻² e sensor giroscópio também de três eixos, com resolução de 0,00061086525 rad s⁻¹; 2) Galaxy S6 modelo SM-G920I - tela de aproximadamente 5,1 polegadas, câmera de 16 megapixels, sensor acelerômetro de três eixos com resolução de 0,0011971008 m s⁻² e giroscópio 0,0010652645 rad s⁻¹; e 3) Galaxy J7, modelo SM-J700M - tela de aproximadamente 5,5 polegadas, câmera de 15 megapixels, sensor acelerômetro de três eixos com resolução de 0,0011971008 m s⁻², sem giroscópio. As informações dos componentes de cada modelo foram obtidas por meio do aplicativo *Phone Tester* (Torres, 2016).

Para a seleção dos aplicativos a serem utilizados para a mensuração da altura das árvores, verificou-se dentre os aplicativos gratuitos na plataforma de downloads *google play*, os que fossem compatíveis e estivessem disponíveis para os três modelos de *smartphones* em teste, sendo todos baseados no sistema operacional *android*. Foram selecionados os aplicativos *Measure height*, *Two point height* e o *Hypsometer*.

Coleta dos dados

Foram selecionadas 30 árvores, por amostragem aleatória, sendo medidos seus respectivos diâmetros a 1,30 m do solo (DAP), e mensuradas a altura total por três mensuradores. Cada um registrou a altura de cada árvore utilizando os três aplicativos, com os três diferentes modelos de *smartphone*. Foram realizadas 27 medidas para cada árvore (3 *smartphones* x 3 aplicativos x 3 mensuradores), totalizando 810 mensurações.

Todos os aplicativos utilizados são baseados no princípio trigonométrico. Por esse motivo, foi necessário obter previamente a distância do mensurador até cada árvore, com auxílio de uma trena. Para que os mensuradores tivessem o mesmo ponto de visada para mensuração da altura, a distância necessária para cada medição foi marcada no solo.

Outra informação necessária para as estimativas com os aplicativos foi a altura da visada, variando de acordo com a altura do olho do mensurador. Uma vez que os mensuradores possuíam alturas diferentes, esta informação foi ajustada no momento da medição, de acordo com cada mensurador, resultando nas alturas dos olhos de 1,58 m, 1,56 m, e 1,63 m, para os mensuradores 1, 2 e 3, respectivamente. Dentre os mensuradores, o 2 possuía experiência prática com a mensuração de altura de árvores, tendo utilizado e testado previamente todos os aplicativos, enquanto os mensuradores 1 e 3 realizaram apenas testes de verificação do funcionamento de cada aplicativo.

Com o aplicativo *Measure height*, versão 1.4, desenvolvido pela Deskis OÜ (2014), foi inserida previamente a altura do olho do mensurador. Na sequência, escolheu-se a opção de medir somente altura. Após inserir a distância até a árvore, o aparelho celular foi apontado para a copa, de forma que uma cruz disponível na tela interceptasse a ponta da árvore mensurada. Para o registro da altura, pressionou-se a tela.

O aplicativo *Two point height*, versão 0.05, desenvolvido pela Omega Centauri Software (2014), é o único dentre os aplicativos utilizados que não foi desenvolvido para a área florestal. O registro dos ângulos foi feito pressionando-se a tela. Inicialmente o mensurador mirava pela tela do celular a base da árvore e posteriormente o topo. Em seguida, em uma segunda tela, foi inserida a distância até a árvore e a altura do olho do mensurador, obtendo-se assim a altura da árvore.

O *Hypsometer*, versão 1.11, desenvolvido por Makinosoft (2017), considera a altura do olho automaticamente a 1,60 m do solo. Para a inserção da distância no aplicativo, movimentou-se lentamente o aparelho celular até encontrar o valor igual ao da distância que se pretendia registrar, devendo-se pressionar a tela. Após o registro da distância, apontou-se para o topo da árvore, mantendo-se as mãos estáveis. Após a estabilização da altura, o valor indicado deveria ser registrado manualmente em uma ficha de campo.

Posteriormente às mensurações com os aplicativos, as árvores foram derrubadas, sendo medida a altura total de cada árvore com uma trena (altura real).

Análise dos dados

As alturas reais e as estimadas com o uso dos diferentes aplicativos, *smartphones* e mensuradores, foram avaliadas pelo teste Bartlett (Snedecor & Cochran, 1989), para verificação da homogeneidade das variâncias e pelo teste Shapiro-Wilk para avaliação da normalidade dos dados. Realizou-se o teste *t* para amostras independentes, comparando as médias das alturas totais estimadas pelos aplicativos, *smartphones* e mensuradores com a média da altura real, todos a 95% de confiança.

Visando verificar tendências nas estimativas de altura, foi realizada análise gráfica de resíduos, complementada pelo cálculo do viés (V), que indica tendências em sub e superestimar quando os resultados são respectivamente negativos e positivos; média das diferenças absolutas (MD), que representa a amplitude dos erros; desvio padrão das diferenças (DPD), que indica o quanto homogêneo são os resíduos; e a raiz do erro quadrático médio (RMSE), demonstrando os erros médios (Tabela 1). Quanto menor o valor das estatísticas, melhor a estimativa da altura. Todas as estatísticas complementares foram relativizadas (%), pela divisão da altura média real das árvores, visando facilitar a comparação entre as estimativas.

Posteriormente, atribuiu-se pesos de 1 a 3 às análises estatísticas complementares (V, MD, DPD e RMSE), onde a estatística que representou a maior exatidão da estimativa recebeu o menor peso (1), conforme descrito por Silva et al. (2012). Para avaliar o desempenho de cada aplicativo, os pesos para cada estatística foram atribuídos considerando o uso de um mesmo *smartphone* por um mesmo mensurador, sendo realizado o somatório dos pesos obtidos com todos os *smartphones* e todos os mensuradores, para um mesmo aplicativo, considerando-se o melhor o que resultou no menor somatório dos pesos. O melhor *smartphone* e o melhor mensurador foram definidos de forma semelhante, considerando o melhor resultado o que apresentou menor somatório dos pesos.

Tabela 1. Estatísticas complementares e respectivos estimadores para avaliação de aplicativos, *smartphones* e mensuradores na mensuração da altura total de árvores de *Tectona grandis*.

Table 1. Complementary statistics and respective estimators for the evaluation of applications, smartphones and measurers in the total height measuring of *Tectona grandis* trees.

Estatística	Estimador
Resíduo (%)	$R = \frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i} \cdot 100$
Viés (V)	$V = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i - \sum_{i=1}^n Y_i}{n}$
Média das diferenças absolutas (MD)	$MD = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i - Y_i }{n}$
Desvio padrão das diferenças (DPD)	$DPD = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n d_i \right)^2}{n} \right)}{n-1}}$
Raiz do erro quadrático médio (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n}}$

Em que: Y_i = altura da *i*-ésima árvore medida com trena (real), (m); \hat{Y}_i = altura da *i*-ésima árvore medida por aplicativos de *smartphones* (m); n = número de observações; $d_i = (\hat{Y}_i - Y_i)$

Resultados

A altura média real obtida foi de 13,26 m (desvio padrão 0,61 m), e o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) médio foi de 17,66 cm (desvio padrão 1,24 cm). A distância média entre a árvore e o mensurador, tomada para as medições, foi de 17,02 m (desvio padrão 3,30 m).

O teste de Shapiro-Wilk indicou normalidade dos dados (p-valor entre 0,0765 e 0,9480) e o teste de Bartlett (p-valor 0,0633) indicou homogeneidade das variâncias para os dados de altura total medida com trena e por meio dos aplicativos, com os diferentes *smartphones* e mensuradores.

Verificou-se diferença significativa entre a altura total real, obtida de forma direta pela derrubada das árvores, e a altura total estimada pelos aplicativos *Measure height* e *Two point height* ao utilizar o celular J7. Também foram estatisticamente diferentes da altura real, as estimativas realizadas pelo mensurador 1 (M1), ao utilizar qualquer um dos *smartphones* com o aplicativo *Measure height* e utilizando os celulares S8 e J7 com o aplicativo *Hypsometer* (Tabela 2).

Pela análise gráfica dos resíduos para o aplicativo *Measure height* (Figura 1), observa-se que existe uma tendência em subestimar os valores da altura, sendo

o *smartphone* J7 o que mais subestimou as alturas. Apesar das subestimativas, o mensurador 2 (M2) foi o que estimou as alturas com menor amplitude de erros.

Para o aplicativo *Two point height*, a análise de resíduos (Figura 2) demonstrou que o *smartphone* J7 apresentou tendência em subestimar a altura, conforme também verificado ao utilizar o aplicativo *Measure height*, porém subestimando menos os valores de altura.

Os resíduos obtidos com as mensurações pelo aplicativo *Hypsometer* (Figura 3) mostram que o desempenho com o J7 resultou em menores resíduos (erros) em comparação com os demais aplicativos (Figuras 1 e 2).

Tabela 2. Médias e p-valor para o teste *t* para amostras independentes da altura total real com as alturas estimadas por aplicativos, *smartphones* e mensuradores.

Table 2. Means and p-value for the *t* test for independent samples of the actual total height with the height estimated by applications, smartphones and measures.

Altura		<i>Measure height</i>			<i>Two point height</i>			<i>Hypsometer</i>		
		S8	S6	J7	S8	S6	J7	S8	S6	J7
M1	\bar{x} (m)	12,74	12,74	11,74	12,94	13,02	12,55	12,90	13,10	12,71
	p-valor	(0,00) *	(0,00) *	(0,00) *	(0,07) ns	(0,17) ns	(0,00) *	(0,02) *	(0,30) ns	(0,00) *
M2	\bar{x} (m)	13,08	13,00	12,06	13,32	13,41	12,78	13,54	13,64	13,43
	p-valor	(0,35) ns	(0,16) ns	(0,00) *	(0,75) ns	(0,45) ns	(0,00) *	(0,10) ns	(0,06) ns	(0,29) ns
M3	\bar{x} (m)	13,39	12,90	11,44	13,52	13,58	12,80	13,38	13,51	13,20
	p-valor	(0,51) ns	(0,05) ns	(0,00) *	(0,22) ns	(0,07) ns	(0,01) *	(0,52) ns	(0,19) ns	(0,70) ns

Em que: * = diferença significativa ($p < 0,05$); ns = diferença não significativa; M1, M2 e M3 = mensurador 1, 2 e 3, respectivamente; S8, S6 e J7: modelos de *smartphones* utilizados; \bar{x} = altura média.

Observa-se que os resultados das estatísticas complementares foram inferiores a 10%, exceto para aplicativo *Measure height*, com o *smartphone* J7, independente do mensurador, apresentando maiores amplitudes de erros (MD) e menor homogeneidade dos resíduos (DPD), além de corresponder a erros médios mais altos (RMSE), corroborando com a análise gráfica de resíduos (Figura 1). Quanto à tendência (V), confirma-se que o aplicativo *Measure height* está subestimando as alturas das árvores (valor de viés negativo), em média em 0,83 m, podendo atingir até 1,82 m.

Os somatórios dos pesos atribuídos às estatísticas complementares, para determinação do melhor

aplicativo, *smartphone* e mensurador estão apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6, respectivamente, em que os valores em itálico representam o somatório dos pesos obtidos com as estatísticas complementares apresentadas na Tabela 3. As melhores estimativas foram obtidas com o aplicativo *Hypsometer* (57). O aplicativo *Measure height* não apresentou resultados satisfatórios para a estimativa de altura (93), conforme também verificado pela análise de resíduos.

Ao analisar os *smartphones*, verifica-se que o S6 e S8 apresentaram desempenhos semelhantes (Tabela 5). No entanto, o menor somatório foi verificado com o S6 (63), cujos melhores desempenhos foram obtidos quando

se utilizou os aplicativos *Measure height* (17) e *Two point height* (18). O J7 (85), apesar do pior desempenho dentre os *smartphones* utilizados (Tabela 5), se destacou com o aplicativo *Hypsometer*, que resultou em menor somatório dos pesos (57) (Tabela 4).

O mensurador 2 se destacou (64), obtendo menor somatório e melhor desempenho ao utilizar o aplicativo *Two point height*, porém concentrou erros no aplicativo *Hypsometer* com os aparelhos S8 e S6 (Tabela 6).

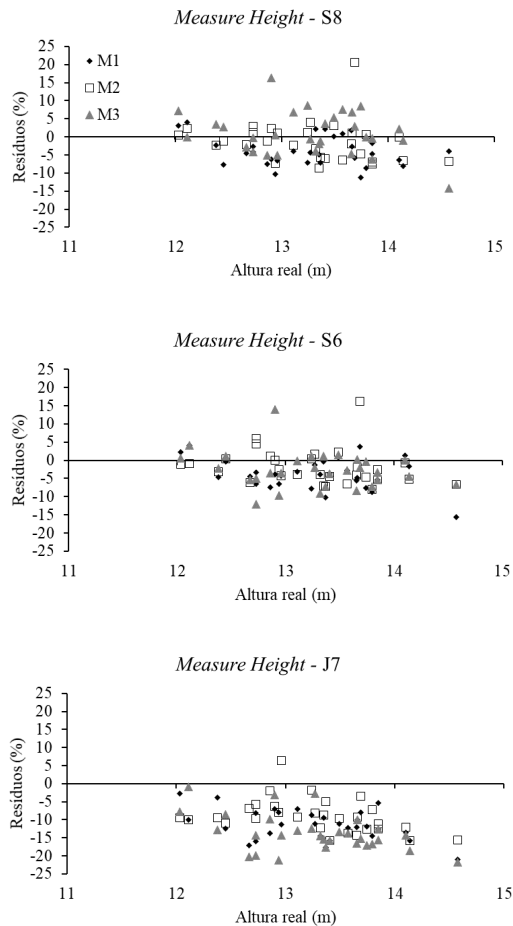


Figura 1. Resíduos (%) da estimativa da altura total com o aplicativo *Measure height*, para os diferentes mensuradores (M1, M2 e M3) e *smartphones* (S8, S6 e J7).

Figure 1. Residuals (%) of the total height estimate with the *Measure height* application, for the different measurers (M1, M2 and M3) and *smartphones* (S8, S6 and J7).

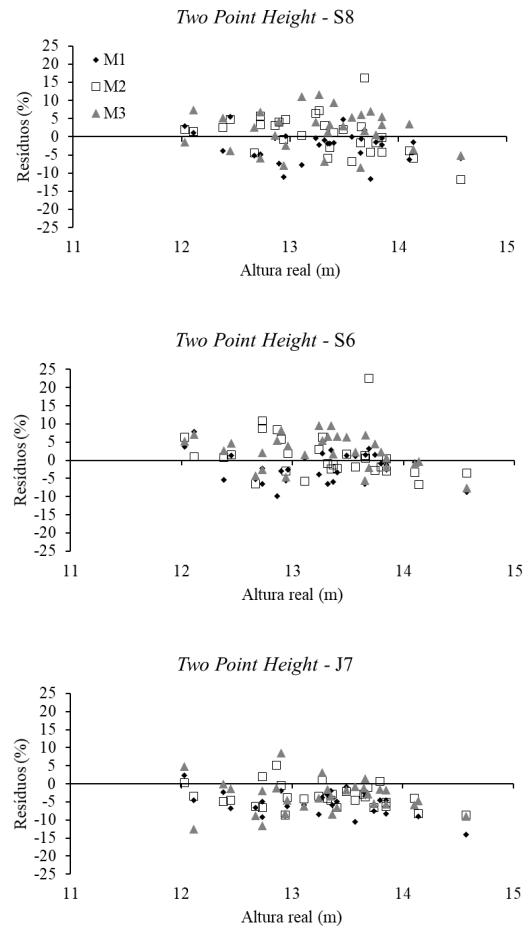


Figura 2. Resíduos (%) da estimativa da altura total com o aplicativo *Two point height*, para os diferentes mensuradores (M1, M2 e M3) e *smartphones* (S8, S6 e J7).

Figure 2. Residuals (%) of the total height estimate with the *Two point height* application, for the different measurers (M1, M2 and M3) and *smartphones* (S8, S6 and J7).

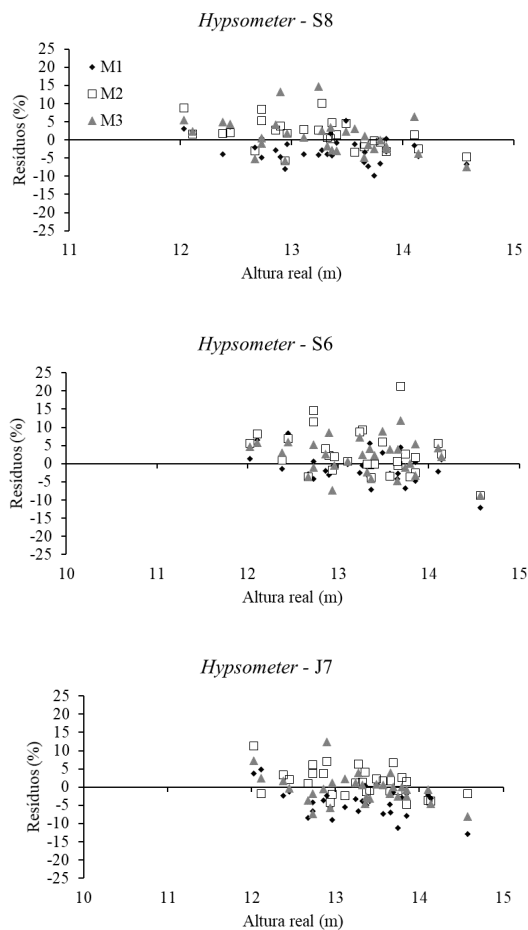


Figura 3. Resíduos (%) da estimativa da altura total com o aplicativo *Hypsometer*, para os diferentes mensuradores (M1, M2 e M3) e *smartphones* (S8, S6 e J7).

Figure 3. Residuals (%) of the total height estimate with the *Hypsometer* application, for the different measurers (M1, M2 and M3) and smartphones (S8, S6 and J7).

Tabela 3. Estatísticas complementares para estimativa da altura total por diferentes aplicativos, *smartphones* e mensuradores.
Table 3. Complementary statistics for estimating total height by different applications, smartphones and measurers.

		<i>Measure height</i>			<i>Two point height</i>			<i>Hypsometer</i>		
	%	S8	S6	J7	S8	S6	J7	S8	S6	J7
M1	V	-3,99	-3,98	-11,49	-2,45	-1,84	-5,35	-2,75	-1,24	-4,20
	MD	4,45	4,34	10,45	3,49	3,26	4,99	3,50	3,07	4,12
	DPD	5,68	5,90	12,34	4,71	4,46	6,39	4,56	4,47	5,78
	RMSE	5,63	5,84	12,31	4,66	4,39	6,36	4,51	4,40	5,73
M2	V	-1,37	-1,97	-9,08	0,42	1,12	-3,68	2,05	2,80	1,24
	MD	3,75	3,77	8,64	4,23	3,81	3,87	3,71	4,35	3,39
	DPD	5,89	5,38	10,35	5,55	6,17	4,92	6,66	6,84	3,92
	RMSE	5,80	5,30	10,31	5,46	6,07	4,88	6,56	6,74	3,86
M3	V	0,97	-2,73	-13,76	1,90	2,37	-3,48	0,84	1,81	-0,47
	MD	4,10	3,88	12,51	4,93	4,01	4,19	3,48	3,93	3,71
	DPD	6,10	5,62	14,77	5,78	5,19	5,69	5,10	5,25	4,11
	RMSE	6,00	5,55	14,74	5,69	5,12	5,63	5,02	5,18	4,05

Em que: M1, M2 e M3 = mensurador 1, 2 e 3, respectivamente; S8, S6 e J7: modelos de *smartphones*; V = viés; MD = média das diferenças absolutas; DPD = desvio padrão das diferenças e RMSE = raiz do erro quadrático médio.

Tabela 4. Somatório dos pesos atribuídos às estatísticas complementares para estimativa da altura total por diferentes aplicativos.
Table 4. Sum of weight attributed to complementary statistics to estimate total height by different applications.

Measure height				Two point height				Hypsometer				
	S8	S6	J7	Soma	S8	S6	J7	Soma	S8	S6	J7	Soma
M1	12	12	12	36	6	6	8	20	6	6	4	16
M2	8	5	12	25	6	7	8	21	10	12	4	26
M3	10	10	12	32	10	7	8	25	4	7	4	15
Total				93				66				57

Em que: M1, M2 e M3 = mensurador 1, 2 e 3, respectivamente; S8, S6 e J7: modelos de *smartphones*. Valores em itálico representam o somatório dos pesos obtidos com as estatísticas complementares apresentadas na Tabela 3.

Tabela 5. Somatório dos pesos atribuídos às estatísticas complementares para estimativa da altura total por diferentes *smartphones*.

Table 5. Sum of weight attributed to complementary statistics to estimate total height by different smartphones.

S8					S6				J7			
	M1	M2	M3	Soma	M1	M2	M3	Soma	M1	M2	M3	Soma
Measure height	6	6	7	19	6	6	5	17	12	12	12	36
Two point height	8	8	10	26	4	9	5	18	12	7	9	28
Hypsometer	8	8	7	23	4	12	12	28	12	4	5	21
Total				68				63				85

Em que: M1, M2 e M3 = mensurador 1, 2 e 3, respectivamente; S8, S6 e J7: modelos de *smartphones*. Valores em itálico representam o somatório dos pesos obtidos com as estatísticas complementares apresentadas na Tabela 3.

Tabela 6. Somatório dos pesos atribuídos às estatísticas complementares para estimativa da altura total por diferentes mensuradores.**Table 6.** Sum of weight attributed to complementary statistics to estimate total height by different measurers.

	M1				M2				M3			
	S8	S6	J7	Soma	S8	S6	J7	Soma	S8	S6	J7	Soma
<i>Measure height</i>	6	5	12	23	7	9	5	21	11	10	7	28
<i>Two point height</i>	8	12	8	28	7	4	4	15	9	8	12	29
<i>Hypsometer</i>	7	4	12	23	11	12	5	28	6	8	7	21
Total				74				64				78

Em que: M1, M2 e M3 = mensurador 1, 2 e 3, respectivamente; S8, S6 e J7: modelos de *smartphones*. Valores em itálico representam o somatório dos pesos obtidos com as estatísticas complementares apresentadas na Tabela 3.

Discussão

O mensurador 1 realizou estimativas diferentes da altura média real, sempre que utilizou o Galaxy J7 e em alguns casos utilizando os outros *smartphones* testados (Tabela 2). Os mensuradores 2 e 3, ao utilizarem o S8 e S6, sempre obtiveram valores de altura próximos à média, resultando em igualdade estatística. Tal fato pode estar relacionado à experiência do mensurador 2 com a prática nesse tipo de mensuração e, apesar de se tratar de uma observação subjetiva, possivelmente resultado de mais cautela do mensurador 3 durante as medições. É importante destacar que, conforme discutido por Silva et al. (2012), o treinamento pode ser eficaz, desde que seja intenso, para que ao longo do tempo se adquira experiência. Além disso, conforme discutido por Curto et al. (2018) ao realizarem medições de altura com e sem treinamento dos mensuradores, o treinamento resultou em maior exatidão dos dados estimados.

Com relação ao aparelho *smartphone* J7, que resultou em estimativas de altura diferentes da média real (Tabela 2) utilizando os aplicativos *Measure height* e *Two point height*, pode-se associar às características do celular, visto que o mesmo não possui sensor giroscópio. Villasante & Fernandez (2014), utilizando celulares com e sem giroscópio, também obtiveram melhores resultados com o aparelho que continha o sensor.

No presente trabalho foram avaliadas árvores de *Tectona grandis* com altura média de 13,26 m. Para esta situação, o aplicativo *Measure height* subestimou a altura, sendo o mesmo resultado observado quando utilizado por Villasante & Fernandez (2014) em mensuração a pontos pré-determinados em um prédio, variando de 4

a 12 m. Verificou-se tal subestimativa quando utilizaram um *smartphone* HTC Desire, com acelerômetro de $0,153 \text{ m s}^{-2}$, sem a presença de giroscópio, e um Galaxy Note, com acelerômetro de $0,0383 \text{ m s}^{-2}$, com giroscópio de $0,000305 \text{ rad s}^{-1}$. Lauro et al. (2018), ao utilizarem o mesmo aplicativo em um *smartphone* Galaxy J5 com acelerômetro de $0,0383 \text{ m s}^{-2}$ e ausência de giroscópio, para medição de árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), com altura média das árvores de 26,8 m, também relataram subestimativa das alturas. Vale destacar que os sensores presentes nos *smartphones* utilizados por esses autores apresentam resolução inferior aos utilizados no presente trabalho. Bijak & Sarzyński (2015), ao estudarem na Polônia Central um complexo florestal de *Pinus sylvestris* L., com alturas variando de 12 a 29 m, observaram subestimativa, principalmente nas maiores alturas, com o *smartphone* Motorola XT1068, cujos sensores não foram especificados. Logo, observa-se que, independente das características do celular e do porte das árvores, estando em povoamento fechado ou aberto (ILPF), o aplicativo *Measure height* apresenta tendência em subestimar a altura.

Villasante & Fernandez (2014) e Bijak & Sarzyński (2015) indicaram que o desempenho ruim do *Measure height* poderia estar relacionado à menor resolução do acelerômetro e ausência do giroscópio. Porém, no presente trabalho, mesmo com celulares com boa resolução do acelerômetro e com a presença do giroscópio, o aplicativo não demonstrou estimativas confiáveis.

Curto et al. (2019) citam que o baixo desempenho do aplicativo *Measure height* para o trabalho de Villasante & Fernandez (2014) deve-se ao fato da

versão utilizada pelos autores estar desatualizada, já que ao utilizarem o mesmo aplicativo, obtiveram boa estimativa, recomendando seu uso. Porém, a comparação feita pelos autores foi baseada na altura estimada com o Vertex, que não é obtida de forma direta. Assim, mesmo com a comprovada exatidão do Vertex, pode ter havido algum desvio em relação à altura real, levando a uma maior aproximação com o valor obtido pelo aplicativo. No presente trabalho utilizou-se a mesma versão que Curto et al. (2019), mas seu uso não foi recomendado, podendo estar relacionado a erro interno do aplicativo na transformação dos valores de distância e ângulos em altura, conforme discutido por Villassante & Fernandez (2014), sugerindo atualizações quanto à calibração e autocorreção do aplicativo.

Lauro et al. (2018) e Bijak & Sarzyński (2015) estimaram árvores com alturas médias maiores, obtendo maior subestimativa ao utilizarem o aplicativo *Measure height*, visto que a inclinação do celular é maior para visualizar o topo, podendo ter ocorrido desvios de leitura, quando adotada distância inferior à altura da árvore.

Bijak & Sarzyński (2015) afirmaram que medições a partir de distâncias maiores resultaram em menores erros, especialmente para árvores mais altas. É importante ressaltar que a distância média tomada para as medições (17,02 m) foi superior à média da altura das árvores (13,26 m). Segundo Silva et al. (2017), a distância tomada para a medição deve ser superior à altura da árvore que se deseja medir. Considerando que para cada árvore avaliada as mensurações foram realizadas na mesma posição por cada mensurador, deduz-se que não foi a distância que afetou o desempenho dos aplicativos, *smartphones* ou mensuradores.

Apesar do desempenho tendencioso do aplicativo *Measure height*, o mensurador 2 obteve menor amplitude de erros em relação aos demais mensuradores, até mesmo ao utilizar o Galaxy J7 onde observa-se a subestimativa dos dados (Figura 1), devendo-se ater à experiência prévia que o mensurador 2 tem na mensuração de altura, seja com hipsômetros, aplicativos e estimacão visual.

Poucos estudos são encontrados utilizando o aplicativo *Two point height* para a mensuração de altura de árvores, já que não foi desenvolvido especialmente para a área florestal. Curto et al. (2019), ao compararem a altura estimada pelo aplicativo com a obtida pelo Vertex em floresta de transição Cerrado-Amazônia, observaram tendência em superestimar (viés positivo) nas maiores alturas (> 23 m), e que a amplitude dos

erros (MD) reduz nas menores alturas (9 a 15,9 m) correspondentes à altura média das árvores avaliadas no presente estudo, onde a tendência dos resíduos não segue um padrão com a variação do mensurador (Figura 2). Mesmo não sendo um aplicativo desenvolvido para a área florestal, apresentou estimativas satisfatórias, podendo estar relacionado ao método de registro dos ângulos, demonstrando maior exatidão em relação ao *Measure height* (Tabela 4).

Com o aplicativo *Hypsometer* observou-se menor amplitude de erros (Figura 3 e Tabela 4), corroborando com Curto et al. (2019), ao utilizarem o mesmo aplicativo em floresta nativa em região de ecótono Cerrado-Amazônia e com Harfouche et al. (2019), quando utilizaram o *Hypsometer* para medição da altura de árvores isoladas de diferentes espécies e em plantio de *Eucalyptus* spp.

Assim, dentre os aplicativos testados, pode-se considerar a indicação de uso do *Hypsometer* para mensuração de altura em fragmento de floresta nativa, em plantios de grande ou pequeno porte ou de árvores isoladas. No entanto, deve-se ter cautela com a altura do olho do mensurador, já que esse aplicativo possui um valor incorporado de 1,60 m. Caso o mensurador seja mais alto, o erro pode aumentar. No presente trabalho, a altura do olho não influenciou a estimativa, pois eram semelhantes ao indicado no aplicativo.

Segundo Curto et al. (2019), um ponto positivo do *Hypsometer* é que não necessita apertar na tela para travar a leitura da altura. No entanto, deve-se memorizar o valor obtido para anotar na ficha de campo, já que a informação não fica registrada. Na prática, o movimento de apertar a tela para travar a medida pode ocasionar erros, conforme ocorreu com os aplicativos *Measure height* e *Two point height*. Adicionalmente, foi possível observar que o *Hypsometer* apresentou melhoria na estimativa da altura com o uso de *smartphones* com melhor resolução do sensor acelerômetro. Isso porque no presente trabalho, ao utilizar o J7, com resolução de $0,0011971008 \text{ m s}^{-2}$ verificou-se menor amplitude de resíduos, quando comparado com Curto et al. (2019), ao usarem um aparelho com $0,009576807 \text{ m s}^{-2}$ de resolução.

O mensurador 2 obteve menor somatório dos pesos atribuídos, mostrando que o treinamento é importante, já que houve um equilíbrio, independente do aplicativo utilizado. Mesmo ao utilizar o aparelho J7, que se mostrou tendencioso em algumas análises, sua estimativa das alturas com o aplicativo *Hypsometer*

apresentou baixo somatório dos pesos, implicando em melhor desempenho. Porém, ao utilizar os demais *smartphones*, concentrou maiores erros quando utilizou os S8 e S6 com o aplicativo *Hypsometer*. Como são *smartphones* com giroscópio, é importante investigar em futuras pesquisas se o giroscópio pode atrapalhar as estimativas com esse aplicativo.

Dentre os aparelhos de *smartphones* avaliados, o Galaxy S6 e S8 apresentaram desempenhos semelhantes, destacando-se o S6 ao utilizar os aplicativos *Measure height* e *Two point height*. Este resultado pode ter ocorrido devido à oscilação presente na tela para registrar a distância quando se utiliza o *Hypsometer*, que tende a ser bem maior para os celulares com giroscópio. O S8 também possui giroscópio ($0,00061086525 \text{ rad s}^{-1}$), porém, com menor resolução que a apresentada no S6 ($0,0010652645 \text{ rad s}^{-1}$). A mudança da direção onde estaria sendo apontado o celular era detectada mais lentamente, não influenciando tanto na mensuração. Com o Galaxy J7, que possuía apenas acelerômetro com a mesma resolução do aparelho S6 ($0,0011971008 \text{ m s}^{-2}$), a oscilação era bem menor, sendo o que resultou em menor somatório de pesos para esse aplicativo.

Em alguns casos, os *smartphones* podem não ser apropriados para alguns aplicativos, sendo dependentes da resolução dos sensores internos e/ou a atualização dos aplicativos. Assim, deve-se avaliar as características de cada celular, bem como a resolução de seus sensores e treinamento prévio dos mensuradores, antes de iniciar atividades de mensuração de altura das árvores em campo.

Conclusões

O aplicativo de melhor desempenho para medição de altura de árvores com altura média de 13,3 m foi o *Hypsometer*. O *smartphone* Galaxy S6 foi o que apresentou melhor desempenho, preferencialmente com o aplicativo *Two point height*. Alguns *smartphones* não são indicados para mensuração de altura.

A experiência do mensurador confirma-se como requisito fundamental na estimativa da altura, utilizando aplicativos e *smartphones*.

Agradecimentos

À Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop (MT), e à pesquisadora Fabiana Rezende, pela disponibilização

da área de estudo. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pela concessão de bolsa de estudo.

Referências

- Bijak, S. & Sarzynski, J. Accuracy of smartphones applications in the field Measure of tree height. **Folia Forestalia Polonica**, v. 57, n. 4, p. 240-244, 2015. <https://doi.org/10.1515/ffp-2015-0025>.
- Curto, R. de A. et al. Operacionalidade de aplicativos de *Smartphones* para mensuração de altura de árvores em região de ecótono Cerrado-Amazônia. **Revista Nativa**, v. 7, n. 2, p. 218-225, 2019. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6310>.
- Curto, R. de A. et al. Treinamento na estimativa da altura de árvores de grande porte em floresta ineqüiana. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 2, p. 170-176, 2018.
- Deskis OU. **Measure height**. 2014. Aplicativo. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ee.deskis.android.height>. Acesso em: 27 out. 2018.
- Gichamba, A. & Lukandu, I. A. A model for designing m-agriculture applications for dairy farming. **The African Journal of Information Systems**, v. 4, n. 4, 2012.
- Harfouche, T. B. et al. Uso de aplicativos em *Smartphone* para medições de árvores. **Biofix Scientific Journal**, v. 4, n. 1, p. 07-15, 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v4i1.62532>.
- Lauro, A. C. et al. Operacionalidade de instrumentos na obtenção de altura total de árvores em sistema agrossilvipastoril. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 4, p. 445-451, 2018.
- Machado, S. A. & Figueiredo Filho, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2014. 316 p.
- Makinosoft. **Hypsometer**. 2017. Aplicativo.. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=makino.android.hypsometer>. Acesso em: 27 out. 2018.
- Mayrinck, R. C. et al. Avaliação de hipsômetros e operadores na mensuração de árvores de *Eucalyptus urograndis* de tamanhos diferentes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 5, p. 90-94, 2016. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i5.3976>.
- Mota, L. L. et al. Balanço hídrico climatológico e classificação climática da região de Sinop, Mato Grosso. **Scientific Electronic Archives**, v. 3, p. 38-44, 2013.
- Oliveira, W. S. & Gonçalves, E. N. Implementação em c: filtro de Kalman, fusão de sensores para determinação de ângulos. **For Science**, v. 5, n. 3, 2017. <http://dx.doi.org/10.29069/forscience.2017v5n3.e287>.
- Omega Centauri Software. **Two point height**. 2014. Aplicativo. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=mobi.omegacentauri.twopoint&hl=en_US. Acesso em: 27 out. 2018.
- Silva, G. F. et al. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. **Revista Árvore**, v. 36, n. 2, p. 341-348, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000200015>.

Silva, G. F. et al. Simulação de erros na medição de altura de árvores inclinadas com aparelhos baseados em princípios trigonométricos. **Revista Nativa**, v. 5, n. 5, p. 372-379, 2017. <https://dx.doi.org/10.5935/2318-7670.v05n05a12>.

Snedecor, G. W. & Cochran, W. G. **Statistical methods**. 8th ed. Iowa: Iowa State University Press, 1989. 247 p.

Torres, M. **Phone tester**. 2016. Aplicativo. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mtorres.phonetester&hl=en_US. Acesso em: 27 out. 2018.

Viana, J. H. M. et al. **Caracterização dos solos do sítio experimental dos ensaios do Projeto Safrinha em Sinop – MT**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 210). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1021201>.

Villasante, A. & Fernandez, C. Measurement errors in the use of *smartphones* as low-cost forestry hypsometers. **Silva Fennica**, v. 48, n. 5, p. 1-11, 2014. <https://dx.doi.org/10.14214/sf.1114>.