



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LUCAS DE ALMEIDA BASILIO

**AVALIAÇÃO DO USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) PARA
OBTENÇÃO DA ALTURA TOTAL DE POVOAMENTOS DE *Pinus* sp.**

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO – 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LUCAS DE ALMEIDA BASILIO

**AVALIAÇÃO DO USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) PARA
OBTENÇÃO DA ALTURA TOTAL DE POVOAMENTOS DE *Pinus* sp.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO – 2020

**AVALIAÇÃO DO USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) PARA
OBTENÇÃO DA ALTURA TOTAL DE POVOAMENTOS DE *Pinus* sp.**

LUCAS DE ALMEIDA BASILIO

APROVADA EM: 04/12/2020

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. MARCO ANTONIO MONTE – UFRRJ
Membro

Prof. Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO – UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Deus, toda honra e toda a glória sejam dadas à Ele.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me criado e ajudado estando ao meu lado durante todos os dias da minha vida, seja nos momentos bons ou nos ruins;

Aos meus pais Elis e Wellington que me criaram, formaram, educaram e tornaram os meus estudos possíveis, sem os quais, nada do que foi aqui descrito seria possível;

Ao meu professor e orientador Bruno, por ter dado todo o suporte necessário para tornar esse estudo possível;

À minha namorada Joanna que me auxiliou de inúmeras formas estando sempre do meu lado, contribuindo de forma direta e indireta na execução desse trabalho, bem como na minha formação;

Aos colegas Filipe, Karen, Isabela e Danilo, que foram extremamente importantes na coleta de dados desse trabalho e com quem cultivei forte amizade do início ao fim do curso, juntamente com a Isabella, Lucas e Bruna;

Ao professor Marco Monte por estar sempre disponível a ajudar, sendo fundamental para o esclarecimento de questões relacionadas à estatística;

Às colegas Julia e Geórgia que me auxiliaram com diversos conselhos na escrita desse trabalho;

À minha avó Vera (em memória) que sempre me apoiou em todas as fases da minha vida e, juntamente com minha tia Rosa, foi fundamental na minha formação;

Ao Micael por ter disponibilizado o VANT para a coleta de dados da pesquisa;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ pelo incentivo financeiro.

RESUMO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) vêm sendo utilizados frequentemente na obtenção de variáveis dendrométricas. O presente estudo teve como objetivo avaliar a performance de três parâmetros do *software* FUSION/LDV v3.80 na estimativa da altura total (Ht) média em povoamento florestal de *Pinus* sp., a partir de dados de VANT: i) resolução espacial (RE) dos Modelos Digitais de Terreno (DTM), Superfície (DSM) e Altura de Copa (CHM); ii) *cellsize* (C) e iii) *smooth* (S), ambos situados no algoritmo *GroundFilter*. Coletou-se a variável altura total de 106 indivíduos arbóreos, utilizando-se o hipsômetro Vertex III. Realizou-se o sobrevoo do VANT DJI Phantom 4 para capturar imagens do mesmo local. A partir da nuvem de pontos gerada, foram produzidos 1224 CHMs e médias de alturas totais estimadas, cada uma resultante de uma combinação de parâmetros (ou tratamentos) diferente. A média das alturas totais observadas foi comparada com as estimadas e avaliadas estatisticamente por meio do Viés (V) de todas as médias de altura. Calculou-se, também, a Média das Diferenças absolutas (MD), o Desvio Padrão das Diferenças (DPD), o teste de correlação de Pearson (R) e um teste t de student nos tratamentos de menor Viés. O melhor tratamento foi RE:2,0 m; C:37; sem *smooth*; entretanto, outros tratamentos também apresentaram resultados satisfatórios, principalmente aqueles em que o *smooth* não foi aplicado. Dividiu-se as alturas totais nas classes: inferior ($21,0 \text{ m} \leq \text{Ht} < 26,0 \text{ m}$), intermediária ($26,0 \text{ m} \leq \text{Ht} < 31,0 \text{ m}$) e superior ($31,0 \text{ m} \leq \text{Ht} < 36,0 \text{ m}$). Indivíduos pertencentes à classe inferior tenderam a ter suas Hts superestimadas, enquanto o oposto ocorre nos indivíduos da classe superior. A classe intermediária apresentou equilíbrio na distribuição dos resíduos. Conclui-se que a definição errada dos parâmetros pode aumentar significativamente os erros de medição e que o VANT é uma ferramenta de enorme potencial a ser utilizada na mensuração florestal especialmente para a obtenção da altura total.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, Fotogrametria.

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have been used frequently to obtain dendrometric variables. The present study aimed to evaluate the performance of three parameters of the FUSION/LDV v3.80 software in estimating the average total height (Ht) of the *Pinus* sp. Forest, from UAV data: (I) spatial resolution (RE) of the Digital Terrain Model (DTM), Digital Surface Model (DSM) and Canopy Height Model (CHM); (ii) cell size (C) and (iii) smooth (S), both located in the GroundFilter algorithm. The total height of 106 trees was collected by using the Vertex III hypsometer. An overflight of the DJI Phantom 4 UAV was performed to capture images from the same location. From the point cloud, 1224 CHMs and average of estimated total heights were found, each one with a different combination of parameters (or treatment). The mean of the observed total height was compared with all average of estimated total heights and statistically evaluated through the bias (V) of all height averages. The Mean of the Absolute Differences (MD), the Standard Deviation of the Differences (DPD), the Pearson correlation test (R) and a student t test in the treatments with the lowest Bias were also calculated. The best treatment was RE: 2.0 m; C: 37; without smooth; however, other treatments also presented satisfactory results, especially those in which *smooth* was not applied. The total heights were divided into the following classes: lower ($21.0 \text{ m} \leq \text{Ht} < 26.0 \text{ m}$), intermediate ($26.0 \text{ m} \leq \text{Ht} < 31.0 \text{ m}$) and upper ($31.0 \text{ m} \leq \text{Ht} < 36, 0 \text{ m}$). Individuals belonging to the lower class tend to have their overestimated, while the opposite occurs to those in the upper class. The intermediate class showed balance in the distribution of waste. It is concluded that the wrong definition of the parameters can significantly increase the measurement errors and that the UAV is a tool of enormous potential to be used in the forest measurement, especially to obtain the total height.

Keywords: Geoprocessing, Remote Sensing, Photogrammetry.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	1
2.1 Altura total	1
2.2 VANT.....	2
2.3 FUSION	3
2.3.1 <i>GroundFilter</i>	3
2.3.2 Modelos Digitais de Terreno, Superfície e Altura de Copa	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	4
3.1 Área de estudo	4
3.2 Aquisição dos dados.....	5
3.2.1 Métodos tradicionais.....	5
3.2.2 VANT.....	6
3.3 Geração e características da nuvem de pontos	6
3.4 Geração dos modelos no FUSION	8
3.4.1 Filtragem do chão (<i>GroundFilter</i>)	9
3.4.2 Geração do DTM, DSM e CHM	11
3.4.3 Extração dos máximos locais.....	11
3.5 Avaliação estatística dos dados.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4.1 Resultados Gerais.....	13
4.1.1 Ausência do <i>smooth</i>	13
4.1.2 Presença do <i>smooth</i>	16
4.1.3 Avaliação estatística	22
4.2 Resultados das classes de altura	23
4.2.1 Análise de resíduos para ausência do <i>smooth</i>	23

4.2.2 Análise de resíduos para presença do <i>smooth</i>	24
4.2.3 Análises estatísticas.....	25
5. CONCLUSÕES.....	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
APÊNDICE A – Script utilizado no processamento dos dados.....	33
ANEXO A – Sintaxe da ferramenta <i>Catalog</i>.....	34
ANEXO B – Sintaxe da ferramenta <i>GroundFilter</i>.....	35
ANEXO C – Sintaxe da ferramenta <i>GridSurfaceCreate</i>	36
ANEXO D – Sintaxe da ferramenta <i>DTM2ASCII</i>	37
ANEXO E – Sintaxe da ferramenta <i>CanopyModel</i>.....	38
ANEXO F – Sintaxe da ferramenta <i>ClipData</i>	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sumário da estatística descritiva das alturas totais mensuradas em campo.	6
Tabela 2: Resumo das estatísticas dos retornos da nuvem de pontos. Fonte: Elaboração Própria.	7
Tabela 3: Sumário do nº de tratamentos obtidos em cada resolução espacial (RE).	13
Tabela 4: Tratamentos com menor Viés em cada resolução espacial abordada.	15
Tabela 5: Diferença entre as <i>Hts</i> médias observada e estimada (em metros) em povoamentos de <i>Pinus</i> sp., obtidas em diferentes janelas (<i>smooth</i>) e tamanho de células (<i>cellsize</i>), na resolução espacial (RE) de 0,1 m.	17
Tabela 6: Diferença entre as <i>Hts</i> médias observada e estimada (em metros) em povoamentos de <i>Pinus</i> sp., obtidas em diferentes janelas (<i>smooth</i>) e tamanho de células (<i>cellsize</i>), na resolução espacial (RE) de 0,2 m.	18
Tabela 7: Diferença entre as <i>Hts</i> médias observada e estimada (em metros) em povoamentos de <i>Pinus</i> sp., obtidas em diferentes janelas (<i>smooth</i>) e tamanho de células (<i>cellsize</i>), na resolução espacial (RE) de 0,5 m.	19
Tabela 8: Diferença entre as <i>Hts</i> médias observada e estimada (em metros) em povoamentos de <i>Pinus</i> sp., obtidas em diferentes janelas (<i>smooth</i>) e tamanho de células (<i>cellsize</i>), na resolução espacial (RE) de 1,0 m.	20
Tabela 9: Diferença entre as <i>Hts</i> médias observada e estimada (em metros) em povoamentos de <i>Pinus</i> sp., obtidas em diferentes janelas (<i>smooth</i>) e tamanho de células (<i>cellsize</i>), na resolução espacial (RE) de 2,0 m.	21
Tabela 10: Tratamentos com menor Viés em cada resolução espacial com a presença do filtro <i>smooth</i> . Fonte: Elaboração própria.	22
Tabela 11: Avaliação estatística dos tratamentos selecionados. O destaque em cinza revela os tratamentos que apresentaram os melhores resultados. Fonte: Elaboração própria.	22
Tabela 12: Resultado e <i>ranking</i> das estatísticas: Viés (V), Média das Diferenças absolutas (MD) e Desvio-Padrão das Diferenças (DPD) das classes de altura (1 – classe inferior, 2 – classe intermediária e 3 – classe superior) para os tratamentos: resolução espacial (RE), <i>cellsize</i> (C) e <i>smooth</i> (S). O destaque em cinza revela os tratamentos que apresentaram os melhores resultados.	26
Tabela 13: Testes de correlação de Pearson e t de Student em função de cada classe de altura.	27

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Localização da área de estudo no Brasil (A), Rio de Janeiro (B) e imagem aérea ortorretificada da população de estudo (C), gerada pelo VANT. 5
- Figura 2:** Nuvem de pontos da população de estudo, visualizada no *software* Fusion/LDV v3.80. Fonte: Elaboração própria. 7
- Figura 3:** Modelo rasterizado da densidade da nuvem de pontos (D) do local, produzido no *software* Fusion/LDV v.3.80. Fonte: o autor. 8
- Figura 4:** Fluxograma do processamento de dados no *software* FUSION/LDV v3.80, para a geração do DTM, DSM e CHM. Fonte: o autor. 9
- Figura 5:** Peso (π) em função do resíduo (v_i), calculado em cada ponto do modelo de superfície intermediária, na condição em que $g < v_i \leq g + w$ 10
- Figura 6:** Diagrama das ferramentas utilizadas para a extração dos valores dos pixels do CHM, através da ferramenta *ModelBuilder* do ArcGIS v10.6. 12
- Figura 7:** Distribuição das alturas totais médias estimadas pelo VANT em função do *cellsize*. Altura total média observada: 28,90 m (linha tracejada). Ponto vermelho: pelo menos um máximo local da população não apresentou valor de dados; ponto azul: todos os máximos locais da população apresentaram valor de dados. 14
- Figura 8:** Distribuição dos resíduos das alturas totais observadas em função do Erro (%), para as classes: inferior, intermediária e superior. RE = Resolução Espacial e C = *Cellsize*. Fonte: o autor. 24
- Figura 9:** Distribuição dos resíduos das alturas totais observadas em função do Erro (%), para as classes: inferior, intermediária e superior. RE = Resolução Espacial; S = smooth; e C = *Cellsize*. Fonte: o autor. 25

1. INTRODUÇÃO

A altura total é uma variável dendrométrica importante e serve como um forte indicador biológico e comercial (PANAGIOTIDIS et al., 2016). Os métodos tradicionais de mensuração dessa variável podem apresentar desvantagens como imprecisão nos resultados gerados em ambientes de declive em florestas nativas (CURTO et al., 2013), requerimento de treinamento para operadores (MAYRINCK et al., 2016), além dos custos e tempo necessários para a obtenção dos dados serem muito elevados. Em muitos casos, a obtenção dessa variável pode ser prejudicada pela dificuldade na visualização do limite superior de árvores de copas largas ou muito fechadas (KERSHAW, 2016).

Pensando nessa dificuldade, diversos métodos modernos vêm sendo utilizados em estudos florestais com resultados promissores, como em aplicativos de smartphones (CURTO et al., 2019) e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) com sensores RGB (KRAUSE, 2019) e *Light Detection And Ranging* (LiDAR) (SANKEY et al., 2017). Sensores remotos de alta resolução espacial apresentam grande precisão na detecção de árvores individuais, bem como na obtenção de suas alturas totais (ZARCO TEJADA et al., 2014; MOHAN et al., 2017; HENTZ, 2018).

Comparados à tecnologia LiDAR, os VANTs têm apresentado resultados similares ou muitas das vezes mais compensatórios (devido à alta resolução espacial e menor custo) na obtenção de dados de forma remota (ATAÍDE, 2016; MOE et al., 2020). Alguns estudos utilizando o *software* FUSION/LDV v3.80 (MCGAUGHEY, 2016) evidenciam a similaridade desses resultados (BIRDAL; AVDAN; TURK, 2017).

No processamento de dados, a escolha do algoritmo de filtragem do solo e parâmetros como a resolução espacial, são relevantes para que se tenham modelos que representem as características reais do terreno (LIU, 2008). O Fusion apresenta uma série de ferramentas com parâmetros que podem ser configurados para a obtenção de resultados mais precisos (BASILIO; MENDONÇA, 2019). Montealegre, Lamelas e De La Riva (2015), destacam a ausência de orientação na configuração adequada desses parâmetros. Esse fato pode ser considerado uma das desvantagem na utilização desse método, uma vez que é requerido o conhecimento prévio nos dados do usuário para o estabelecimento adequado desses parâmetros (ZEYBECK; SANLIOGLU, 2019) e assim, obter resultados mais precisos, por exemplo, na geração dos Modelos Digitais de Terreno (CRESPO PEREMARCH et al., 2020). Supõe-se, então, que a combinação adequada de alguns desses parâmetros influencia na precisão da estimativa da altura total média dos povoamentos florestais.

O presente estudo tem como objetivo avaliar a performance do VANT e a influência da combinação de três parâmetros do *software* FUSION/LDV v3.80: i) resolução espacial dos Modelos Digitais de Terreno (DTM), Superfície (DSM) e Altura de Copa (CHM); ii) *cellsize* (C); e iii) *smooth* (S), ambos situados no algoritmo *Groundfilter*; na estimativa da altura total média em povoamento florestal de *Pinus* sp. Além disso, pretende-se analisar a influência desses parâmetros nas classes de altura dos indivíduos arbóreos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Altura total

A altura é a distância linear de um objeto à superfície da terra (Kershaw et al., 2016). Assim, as árvores possuem diferentes alturas que compõem diferentes variáveis, sendo classificadas de acordo com a distância do solo até um determinado ponto referencial, ao longo do eixo do tronco, sendo elas: altura do toco (até a posição basal do tronco a ser cortado), altura comercializável (até a posição final da última porção utilizável do tronco), altura do fuste (até a ponta inferior da coroa) e altura total (até a ponta superior da árvore) (Kershaw et al., 2016).

O conhecimento da altura total é importante, pois a mesma é utilizada em equações hipsométricas e volumétricas (LEITE; ANDRADE, 2003). A forma tradicional de obtenção dessa variável ocorre por meio de hipsômetros, que consistem em equipamentos cujos métodos de medição se diferem entre aqueles baseados em relações trigonométricas ou geométricas (VAN LAAR, 2007).

Diversos estudos comparativos envolvendo métodos tradicionais de mensuração de altura total de indivíduos arbóreos têm sido realizados, comprovando a eficácia do hipsômetro Vertex (SILVA et al., 2012; CORTE et al., 2016; FELICIANO et al., 2016), o qual apresenta erros não significativos (VASILESCU, 2013) e demonstra ser uma ótima ferramenta a ser utilizada como referência de altura observada em estudos comparativos.

2.2 VANT

Os sensores remotos são dispositivos que permitem a obtenção de informações de objetos sem que haja o contato com os mesmos. Algumas plataformas que estruturam o uso desses sensores têm sido utilizadas em larga escala em estudos no setor florestal, a nível orbital (BATISTA, 2004; BERRA et al., 2012), terrestre (LINGNAU et al., 2008) e aéreo (DASH et al., 2017; LIU et al., 2018).

Dentre as plataformas terrestres, destacam-se os VANTs, por não necessitarem de piloto para serem operados, gerarem produtos de alta resolução espacial e permitirem a aquisição dos produtos rapidamente. Os sensores com resposta espectral para a região do visível (RGB) acoplados aos VANTs são uma ótima alternativa de baixo custo para a obtenção de variáveis dendrométricas, possível através de técnicas de fotogrametria (EUGENIO; FERNÁNDEZ LANDA; MERINO, 2018).

O *Structure from Motion* (SfM) é uma técnica baseada nos princípios da fotogrametria, onde determinado ambiente é recriado através da captura, sobreposição e combinação de imagens fotográficas em diferentes perspectivas (MATHEWS, 2013). Essa técnica permite a aquisição de nuvens de pontos de alta qualidade e densidade, que são condições determinantes para a obtenção de alturas totais confiáveis (GANZ; KABER; ADLER, 2019).

Nuvem de pontos proveniente da combinação de imagens permite a localização e mensuração das alturas totais dos indivíduos arbóreos (BIRDAL; AVDAN; TÜRK, 2017). Nuvens de pontos derivadas de VANT têm sido utilizadas como base para a medição florestal, produzindo resultados semelhantes às nuvens derivadas da tecnologia *Light Detection and Ranging* (LiDAR) (BEDELL et al. 2017). Ainda, estudos têm demonstrado que a predição da altura total média do povoamento florestal em nuvens de

pontos de densidade reduzida apresenta resultados semelhantes aos de nuvens de pontos de alta densidade (SILVA et al., 2017).

2.3 FUSION

2.3.1 *GroundFilter*

O *GroundFilter* é um algoritmo do *software* Fusion, cujo princípio é baseado em predição linear, através do modelo adaptado por Kraus e Pfeifer (1998). A utilização do algoritmo baseado em predição linear para a filtragem do solo, permite o fornecimento de DTMs precisos (SILVA et al., 2018). Além disso, filtros de chão baseados em predição linear apresentam boa performance em nuvens de pontos de alta e média densidade (STULAR; LOZIC, 2020).

O processamento ocorre de forma iterativa e é iniciado com a criação de uma superfície contendo pesos iguais para todos os retornos, resultando em uma superfície situada entre o verdadeiro solo e a superfície do dossel (MCGAUGHEY, 2016). A distância e direção da superfície são usadas para o cálculo dos pesos de cada retorno e expressos pela seguinte equação:

$$pi = \begin{cases} 1 & \text{se } vi \leq g \\ \frac{1}{1+(a(vi-g)^b)} & \text{se } g < vi \leq g + w \\ 0 & \text{se } g + w < vi \end{cases} \quad (1)$$

Os parâmetros a e b determinam a inclinação da função peso (pi), na condição em que o valor residual (vi) é maior que o parâmetro g e menor ou igual à soma dos parâmetros $g + w$. Os valores dos parâmetros g e w são fixos em cada iteração. Após a iteração final, os pontos cujas elevações satisfazem as duas primeiras condições expressas na equação (1) são considerados como sendo pertencentes ao terreno.

2.3.2 Modelos Digitais de Terreno, Superfície e Altura de Copa

O Modelo Digital de Terreno, do inglês, *Digital Terrain Model* (DTM), consiste em um modelo rasterizado que representa a superfície de um terreno (também denominado como terra nua ou superfície do solo). Um DTM de alta qualidade, é aquele que elimina os pontos da vegetação sem eliminar os pontos de retorno da superfície do solo (KRAUS; PFEIFER, 1998).

Hung et al. (2018) verificou que VANTs podem ser utilizados em vegetação florestal esparsa sem que a qualidade dos resultados seja comprometida. Fatores como o tipo de sítio mapeado, altitude de voo, cobertura florestal e tipo de algoritmo de filtragem afetam a qualidade do DTM gerado (HYPPA et al., 2005; SILVA et al., 2018).

O Modelo Digital de Superfície, do inglês, *Digital Surface Model* (DSM) proveniente de VANT representa a superfície de um determinado local, podendo ser o terreno ou objetos localizados acima.

O DSM pode ser utilizado como referência de máximo local para o cálculo da altura total de indivíduos arbóreos (KIRÁLY, 2007). Além disso, permite uma boa

representação de locais em terrenos relativamente planos (CÂNDIDO et al., 2014) e em condições climáticas desfavoráveis (GASPAROVIC et al., 2017).

O Modelo de Altura de Copa, em inglês, *Canopy Height Model* (CHM) consiste na diferença entre o DSM e o DTM, ou seja, remove o efeito do relevo na altura das árvores, normalizando o terreno. (POPESCU et al., 2004; MOHAN et al., 2017; 2019). Segundo Mielcarek, Stereńczak e Khosravipour (2018) o método de geração do CHM influencia na precisão da estimativa da altura das árvores. Além disso, a escolha de filtros para suavizar o CHM tem uma influência significativa na detecção de copas de árvores (PANAGIOTIDIS et al., 2017).

Os CHMs possuem larga aplicação no setor florestal, como na detecção de árvores individuais (YAAKUB; MISMAN; OMAR, 2020), determinação da largura da copa (GULCI, 2019), obtenção da altura total (BIRDAL; AVDAN; TURK, 2017) e/ou determinação da biomassa (EDSON; WING, 2019), por exemplo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em um povoamento florestal equiâneo de *Pinus* sp. (43°41'14" W e 22°45'57" S), situado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica-RJ (Figura 1). A altitude média do local é de 26 m, relevo plano e abrange uma área de aproximadamente 0,7 hectares. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com precipitação anual média de 1300 a 1600 mm e temperatura anual média de 22 a 24 °C (Alvares et al., 2013).

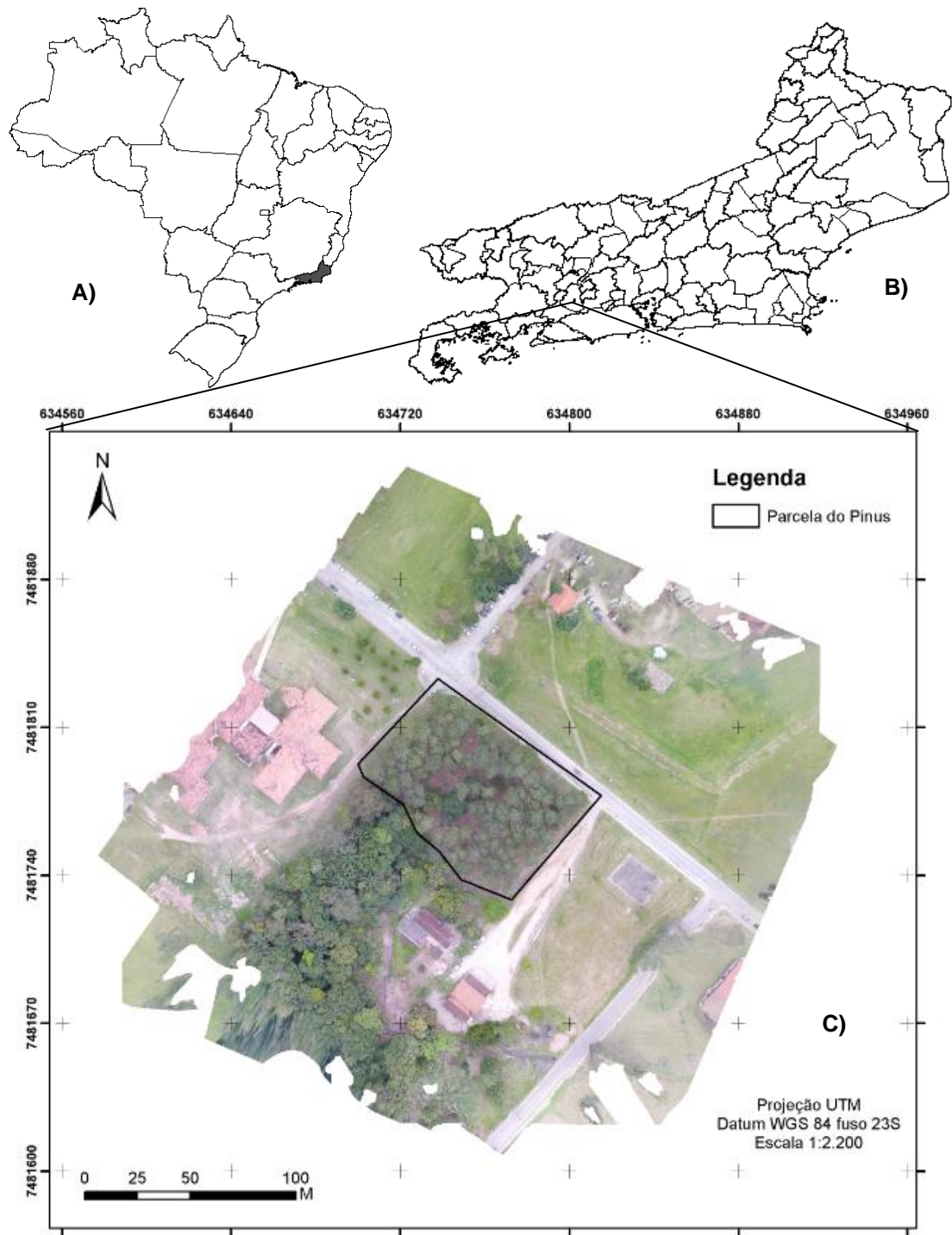


Figura 1: Localização da área de estudo no Brasil (A), Rio de Janeiro (B) e imagem aérea ortorretificada da população de estudo (C), gerada pelo VANT.

3.2 Aquisição dos dados

3.2.1 Métodos tradicionais

Esta etapa do trabalho consistiu no levantamento dos dados em campo, realizado em dezembro de 2018, para a coleta das variáveis: altura total e posicionamento geoespacial de cada indivíduo arbóreo. Esse procedimento foi realizado com os 106 indivíduos pertencentes ao gênero *Pinus*. Optou-se pela medição censitária, não sendo,

ainda, estabelecido um diâmetro mínimo de medição, uma vez que não foram encontrados indivíduos arbóreos jovens no local. Cabe ressaltar que indivíduos pertencentes à gêneros diferentes não foram mensurados.

A altura total foi obtida com a utilização do hipsômetro Vertex III, previamente calibrado. A distância de medição entre o Vertex e o transponder foi sempre maior ou igual à altura da árvore, de forma a minimizar os erros (KERSHAW, 2017).

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas da variável altura total. Os indivíduos também foram divididos em três classes de altura total (Ht), com amplitude de 5 m, de modo que a amplitude total permitisse a inclusão das alturas mínima e máxima da população de estudo.

Tabela 1: Sumário da estatística descritiva das alturas totais mensuradas em campo.

Descrição	Classes Amplitude (m)	N	Altura total (m)			DP	CV (%)
			Média	Mínima	Máxima		
Inferior	$21,0 \leq Ht < 26,0$	19	24,5	21,2	25,9	1,19	4,84
Intermediária	$26,0 \leq Ht < 31,0$	61	28,7	26,2	30,9	1,22	4,25
Superior	$31,0 \leq Ht < 36,0$	26	32,5	31,0	35,4	1,19	3,67
Total	-	106	28,9	21,2	35,4	2,84	9,81

Onde: N = nº de árvores, DP = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de Variação e Ht = Altura total.

Em relação ao posicionamento geoespacial, utilizou-se o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) portátil Garmin 64s para a demarcação dos pontos e identificação de cada indivíduo arbóreo. A leitura somente foi obtida após a estabilização do equipamento em relação aos satélites, resultando em uma precisão de 3 m. Foi utilizada a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 23K e o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) 2000 como Datum.

3.2.2 VANT

Nesta etapa, recorreu-se à plataforma DJI Phantom 4 para o mapeamento total da área. As imagens foram capturadas em formato JPEG, por meio do sensor RGB integrado FC330, do tipo CMOS 1/2.3", com 12,4 Megapixels e resolução de 4.000 x 3.000 pixels. A lente possui um FOV de 94°, distância focal de 20 mm (formato equivalente a 35 mm) com escala f/2.8 e velocidade ISO-100. O sobrevoo ocorreu de forma autônoma através de um plano predeterminado, com 6 linhas de voo, no dia 20 de setembro de 2018, à uma altura de 72 metros, com sobreposição de 70% das cenas, resultando em uma resolução espacial de 0,03 m. Devido à baixa altitude, não foi necessário realizar correção atmosférica.

3.3 Geração e características da nuvem de pontos

Foram obtidas 78 imagens pelo VANT. Utilizou-se o *software online* livre PrecisionMapper (Precision Hawk, 2019) para o processamento fotogramétrico, resultando na produção da nuvem de pontos (visualizada no *software* LDV v.1.64 - Figura 2) e da imagem georreferenciada representando o ortomosaico completo.

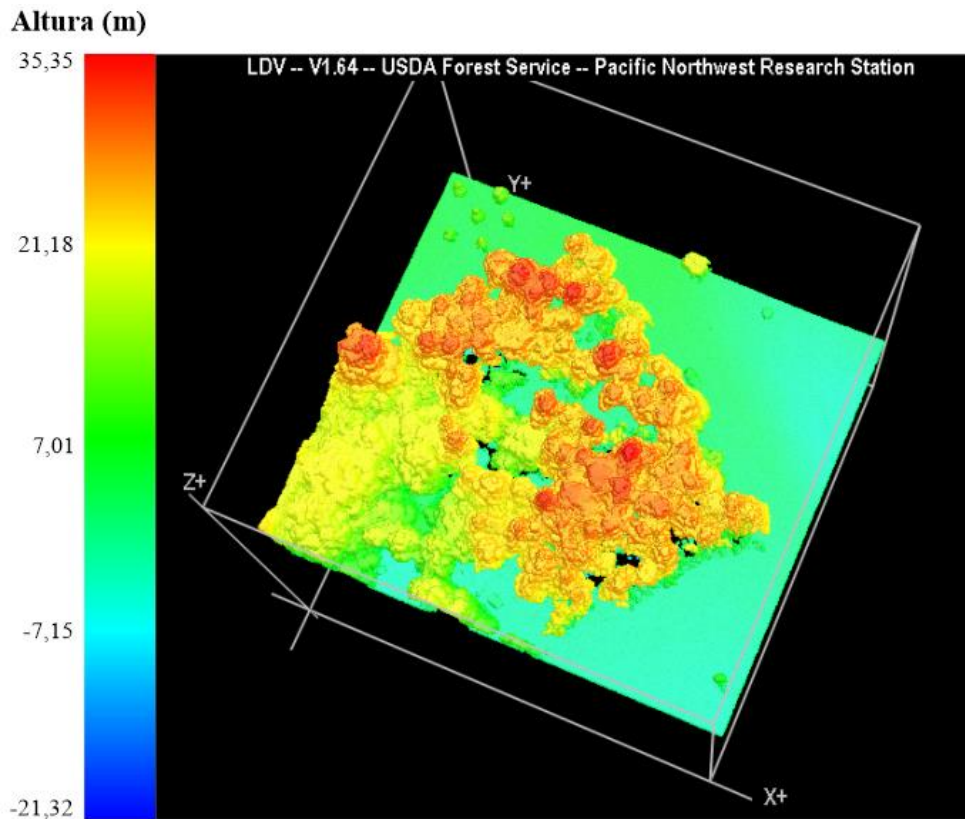


Figura 2: Nuvem de pontos da população de estudo, visualizada no *software* Fusion/LDV v3.80. Fonte: Elaboração própria.

A nuvem de pontos foi processada por meio do algoritmo *Catalog*, do *software* Fusion, gerando um relatório com estatísticas que descrevem a nuvem de pontos (Tabela 2). A sintaxe e os detalhes dos parâmetros das linhas de comando se encontram no Anexo A.

Tabela 2: Resumo das estatísticas dos retornos da nuvem de pontos. Fonte: Elaboração Própria.

Estatísticas dos retornos	Resultados / unidade
Total	5.687.345,00 pts
Elevação mínima	- 23,23 m
Elevação máxima	35,35 m
Densidade mínima	1,00 pts/m ²
Densidade máxima	923,00 pts/m ²
Densidade média	83,71 pts/m ²
Desvio padrão da densidade	66,66 pts/m ²

A Figura 3 apresenta o mapa da densidade de pontos da nuvem, produzido pelo *switch* “*density*” do algoritmo *Catalog*, onde definiu-se a área de cada pixel como sendo de 1 m² e os valores mínimo e máximo aceitáveis de retornos, respectivamente, 5 e 20 pts/m². O mapa foi produzido levando em consideração os valores mínimo e máximo das coordenadas x e y da nuvem de pontos, de modo que todos os retornos fossem incluídos, resultando em um arquivo rasterizado, contendo 334 linhas e 348 colunas de pixels. A

classificação quanto a densidade de pontos da nuvem foi ilustrada por meio de coloração e está especificada na legenda.

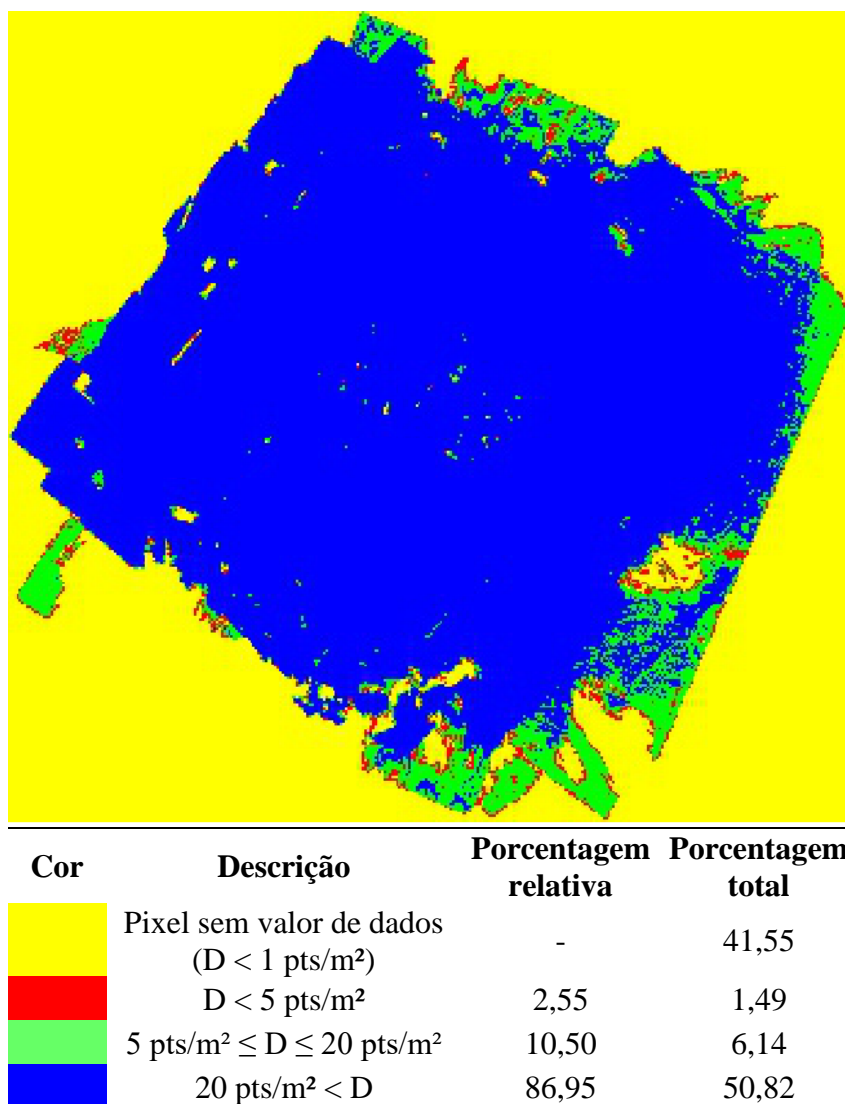


Figura 3: Modelo rasterizado da densidade da nuvem de pontos (D) do local, produzido no *software* Fusion/LDV v.3.80. Fonte: o autor.

Registrou-se a porcentagem das classes de pixels de acordo com a área total do mapa, além da porcentagem relativa, que considera apenas o total de pixels que contém pelo menos 1 retorno. O valor mínimo de retornos em determinado pixel é igual a 1, caso essa condição não fosse efetivada, o pixel seria classificado como “sem valor de dados”. Essa classificação apresentou um valor percentual total de 41,55 e também leva em consideração a área que não foi mapeada.

É importante ressaltar que, quanto ao ambiente em que estão inseridos, todos os retornos da nuvem se encontraram na classe de pontos “não classificados”, fazendo-se necessária a separação entre os pontos pertencentes ao terreno e os demais.

3.4 Geração dos modelos no FUSION

A partir da nuvem de pontos, utilizou-se o *software* Fusion para executar uma série de processamentos (Figura 4) a fim de obter o Modelo Digital de Terreno (DTM), o Modelo Digital de Superfície (DSM) e o Modelo de Altura de Copa (CHM).

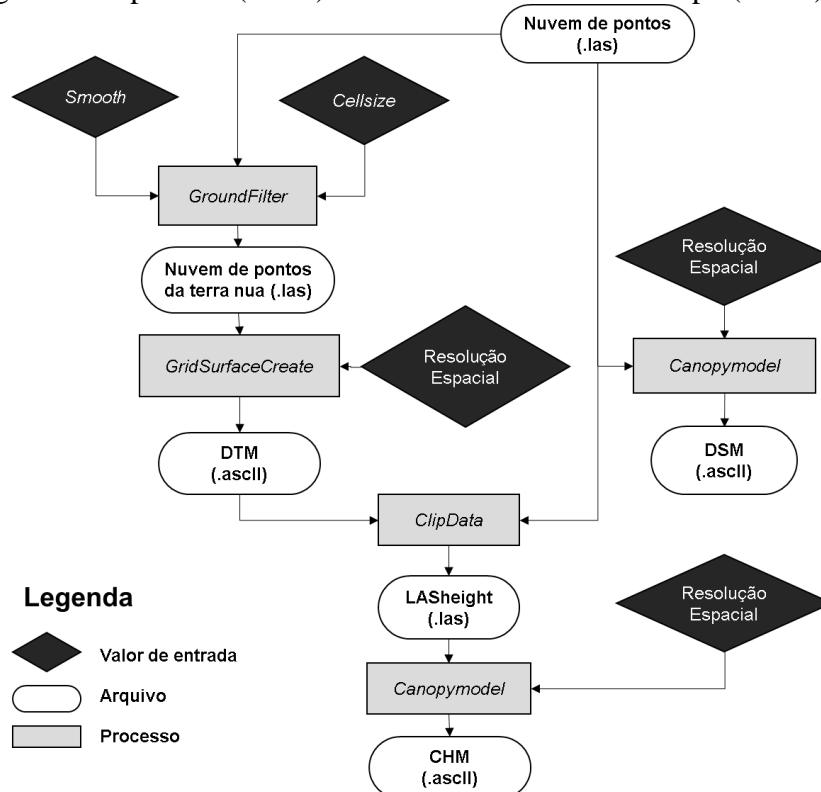


Figura 4: Fluxograma do processamento de dados no *software* FUSION/LDV v3.80, para a geração do DTM, DSM e CHM. Fonte: o autor.

O *software* FUSION/LDV v3.80 possui uma série de programas/ferramentas projetados para serem executados no prompt de comando ou em lote (*batch*). Esses programas possuem parâmetros obrigatórios e opcionais (*Switches*) que controlam o processamento dos dados. As informações quanto à execução de cada um dos programas utilizados foram detalhadas e se encontram do item 3.4.1 ao 3.4.4. Foram registrados apenas os *Switches* utilizados na execução de cada programa. Utilizou-se o editor de textos *Notepad++* para a execução das linhas de comando.

3.4.1 Filtragem do chão (*GroundFilter*)

O algoritmo *GroundFilter* separou todos os pontos da nuvem pertencentes ao terreno. Dois parâmetros foram avaliados nesse algoritmo, o *smooth*, que consiste em um filtro que provê uma “suavização” dos pontos pertencentes ao terreno à uma janela de pixels $s \times s$ predefinida, e o *cellsize*, que consiste no tamanho do pixel (em metros) usado para a formação da nuvem de pontos do terreno. A sintaxe do algoritmo e os parâmetros das linhas de comando são apresentados no Anexo B.

Utilizou-se os valores padrões do *software* para os parâmetros g , w , a e b , sendo, respectivamente, -2,0; 2,5; 1,0; e 4,0. Por esse motivo, os mesmos não se encontram na lista de *Switches*, embora tenham sido utilizados. Ao substituir esses valores na equação (1), tem-se a seguinte equação:

$$p_i = \begin{cases} 1 & \text{se } v_i \leq -2 \\ \frac{1}{1+(v_i+2)^4} & \text{se } -2 < v_i \leq 0,5 \\ 0 & \text{se } 0,5 < v_i \end{cases} \quad (2)$$

Conforme demonstrado, quanto mais próximo de -2 for o valor de v_i , mais próximo de 1 será o p_i , e quanto mais próximo de 0,5 for o v_i , mais próximo de 0 será o p_i . A condição e que v_i se encontra entre g e $g + w$ foi expressa na Figura 5.

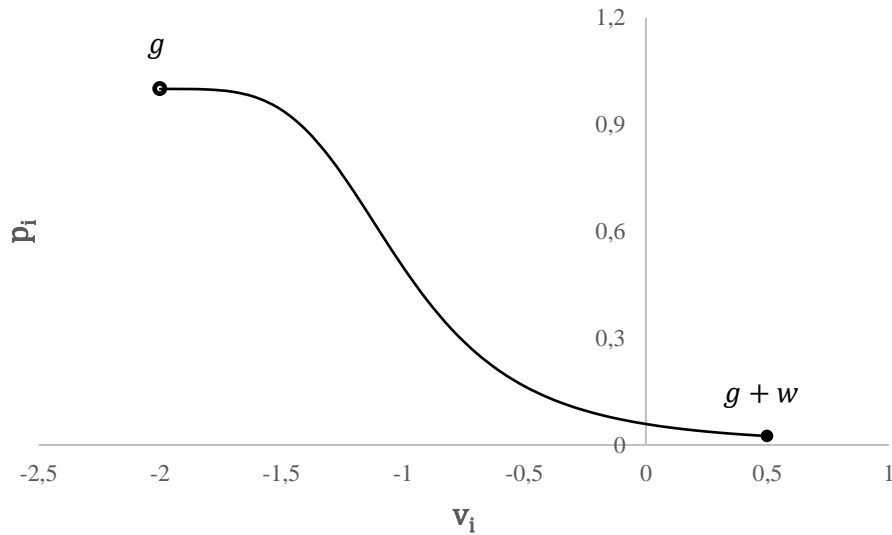


Figura 5: Peso (p_i) em função do resíduo (v_i), calculado em cada ponto do modelo de superfície intermediária, na condição em que $g < v_i \leq g + w$.

Além disso, o número de iterações utilizado (também padronizado pelo *software*) foi 5. Stular e Lozic (2020) concluíram que aumentar o número de iterações pode reduzir os erros na filtragem do solo, ao custo de um aumento no tempo do processamento dos dados.

Adotou-se como valor de entrada para o *cellsize*, números inteiros crescentes de 1 a 80. Já para os tratamentos com a presença do *smooth*, foram selecionados números ímpares crescentes a partir de 3, até determinado valor c do *cellsize* em que pelo menos um pixel de máximo local do CHM não apresentasse valor de dados, ou seja, não contivesse pelo menos um retorno. O Quadro apresenta de forma resumida esse método de seleção.

Quadro 1: Método de seleção dos tratamentos *smooth* e *cellsize* do algoritmo *GroundFilter*.

		Cellsize			
		1	2	...	80
Smooth	Ausente	$\overline{Ht}(0,1)$	$\overline{Ht}(0,2)$	$\overline{Ht}(0,...)$	$\overline{Ht}(0,80)$
	3x3	$\overline{Ht}(3x3,1)$	$\overline{Ht}(3x3,2)$	$\overline{Ht}(3x3,...)$	-
	5x5	$\overline{Ht}(5x5,1)$	$\overline{Ht}(5x5,2)$	$\overline{Ht}(5x5,...)$	-
	...	$\overline{Ht}(...,1)$	$\overline{Ht}(...,2)$	$\overline{Ht}(.....)$	-
	nxn	$\overline{Ht}(nxn,1)$	$\overline{Ht}(nxn,2)$	$\overline{Ht}(nxn,...)$	-

\overline{Ht} = média das alturas totais da população de estudo; Células sublinhadas = médias de alturas totais em que pelo menos um indivíduo não apresentou valor de dados.

Esse método foi aplicado sistematicamente em cada uma das resoluções espaciais escolhidas para a geração dos modelos (DTM, DSM e CHM), gerando diferentes combinações de parâmetros, denominadas “tratamentos”, que afetam o ponto de maior elevação do CHM e, conseqüentemente, a altura total dos indivíduos.

3.4.2 Geração do DTM, DSM e CHM

O modelo de superfície intermediária gerado no *GroundFilter* foi processado pelo algoritmo *GridSurfaceCreate*, o qual criou um modelo rasterizado utilizando a elevação média de todos os pontos contidos dentro do pixel, gerando o Modelo Digital de Terreno (DTM). A sintaxe do algoritmo é apresentada no Anexo C. Posteriormente, o algoritmo *DTM2ASCII* converteu o formato .dtm do Modelo Digital de Terreno em formato .ascii. A sintaxe encontra-se no Anexo D.

Para computar o Modelo Digital de Superfície (DSM), utilizou-se a ferramenta *CanopyModel*. Nessa ferramenta, as elevações de cada pixel foram os retornos mais elevados da nuvem de pontos inseridos nele. A sintaxe desse algoritmo é apresentada no Anexo E. Em seguida, o algoritmo *DTM2ASCII* converteu o formato .dtm do Modelo Digital de Superfície em formato .ascii.

Com a ferramenta *ClipData*, o DTM foi subtraído da nuvem de pontos original para formar a nuvem de pontos normalizada (*LASheight*). A sintaxe do algoritmo se encontra no Anexo F. Por fim, o *CanopyModel* (Anexo E) utilizou os retornos com elevação mais alta da nuvem de pontos normalizada para computar Modelo de Altura de Copa (CHM), sendo esse, o modelo utilizado para calcular a altura das árvores. Em seguida, o algoritmo *DTM2ASCII* converteu o formato .dtm do Modelo de Altura de Copa em formato .ascii.

As configurações escolhidas para os algoritmos *GridSurfaceCreate* e *CanopyModel*, foram: sistema de coordenadas UTM; zona 23; datum horizontal desconhecido; datum vertical desconhecido; unidade para as coordenadas *x*, *y* e *z* em metros. Adotou-se como valor de entrada para as resoluções espaciais (parâmetro *cellsize* dos algoritmos *GridSurfaceCreate* e *CanopyModel*) do DTM, DSM e CHM: 0,1 m; 0,2 m; 0,5 m; 1,0 m e 2,0 m.

3.4.3 Extração dos máximos locais

Utilizando-se o *software* ArcGIS Desktop v10.6, os pontos de cada indivíduo, coletados com o GPS, foram ajustados manualmente de modo que coincidisse com o pixel de maior elevação de cada indivíduo arbóreo (pertencente ao gênero *Pinus* sp.) do DSM, sendo esses os mesmos pontos a serem utilizados na extração em todos os modelos de CHM. Esse procedimento foi realizado em cada uma das 5 resoluções espaciais predefinidas, de modo que os pontos só pudessem ser usados para a extração nos tratamentos pertencentes à resolução espacial especificada.

Após os ajustes, trabalhou-se apenas com o CHM para executar a extração. Com essa finalidade, desenvolveu-se um modelo através da função *ModelBuilder*, permitindo a realização de uma sequência de processamentos representados pelo fluxograma da Figura 6. Inicialmente, converteu-se o formato do CHM de ASCII para TIFF, definindo posteriormente sua projeção para UTM, zona 23S e Datum WGS84. Em seguida, extraiu-se os valores de elevação dos pixels coincidentes aos pontos ajustados, sendo o resultado registrado na tabela de atributos dos pontos como a altura total estimada de cada indivíduo arbóreo. Por fim, a tabela de atributos foi exportada para o formato XLS, onde os dados da altura total estimada foram comparados com os dados observados em campo e avaliados.

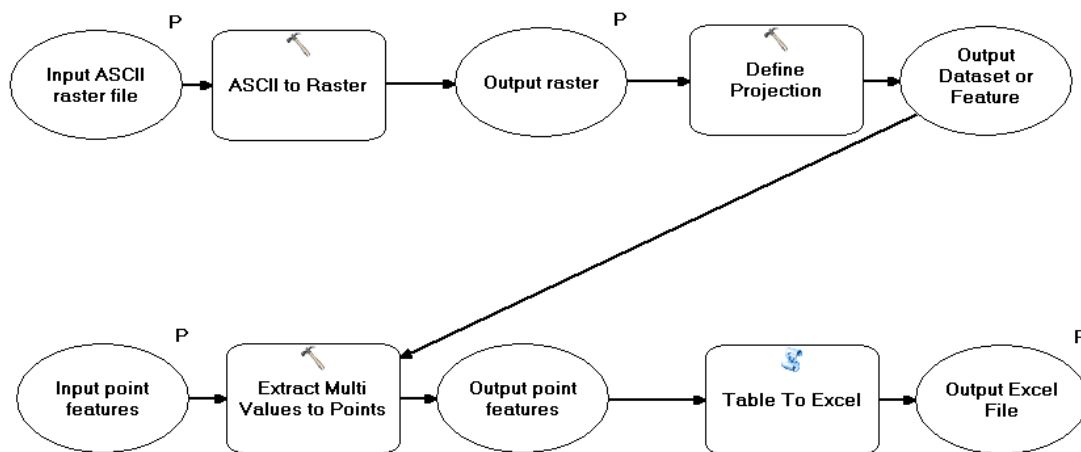


Figura 6: Diagrama das ferramentas utilizadas para a extração dos valores dos pixels do CHM, através da ferramenta *ModelBuilder* do ArcGIS v10.6.

Os procedimentos supracitados, realizados nos *softwares* Fusion/LDV v3.80 e ArcGIS Desktop v10.6 e representados pelos fluxogramas das Figuras Figura 4 e Figura 6, foram realizados repetidamente em cada tratamento das variáveis *smooth*, *cellsize* e resolução espacial dos modelos.

Em resumo, foram produzidos 1.224 CHMs, que resultaram no mesmo número de médias de alturas totais (estimadas pelo VANT) no povoamento de *Pinus* sp., onde em cada uma, realizou-se um tratamento diferente para as variáveis: *cellsize*, *smooth* e resolução espacial do DTM, DSM e CHM. Os resultados foram resumidos e apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Sumário do nº de tratamentos obtidos em cada resolução espacial (RE).

RE	Nº de tratamentos sem <i>smooth</i>	Nº de tratamentos com <i>smooth</i>
0,1 m	80	116
0,2 m	80	137
0,5 m	80	190
1,0 m	80	190
2,0 m	80	191
Total	400	824

As análises foram iniciadas relacionando as *Hts* médias estimadas com a observada em campo. Os resultados apresentados foram separados, inicialmente, entre aqueles com ausência ou presença do filtro *smooth*, sendo representados, respectivamente, por meio de gráficos e tabelas. Em seguida, separou-os de acordo com a resolução espacial utilizada na geração dos modelos e com os valores inseridos no *cellsize*.

3.5 Avaliação estatística dos dados

Foram realizados testes estatísticos como o de correlação de Pearson e o teste *t* de student para amostras independentes, a 5% de probabilidade em cada CHM gerado, com as seguintes hipóteses:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$, a média entre a altura observada (μ_1) e estimada (μ_2) não diferem significativamente;
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$, a média entre a altura observada e estimada diferem significativamente.

Aplicou-se também uma análise gráfica de resíduos e a metodologia de avaliação de dados adotada por Silva (2012), Mendonça (2006) e De Souza (2007), através da comparação do Viés (V), Média das Diferenças absolutas (MD), e Desvio-Padrão das Diferenças (DPD), para os tratamentos do *GroundFilter* com melhores resultados em cada resolução espacial adotada. Para a procedência dos cálculos, foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$\text{Viés (V): } V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n}$$

$$\text{Média das Diferenças absolutas (MD): } MD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n}$$

$$\text{Desvio-Padrão das Diferenças (DPD): } DPD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - (\sum_{i=1}^n d_i)^2/n}{n-1}}$$

Onde Y_i = altura total observada (Vertex); \hat{Y}_i = altura total estimada (VANT); n = número total de indivíduos; e $d_i = Y_i - \hat{Y}_i$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados Gerais

4.1.1 Ausência do *smooth*

As alturas totais (H_t) médias estimadas pelo VANT foram relacionadas com diferentes valores de tamanho de células ($cellsize$) (Figura 7), sem a suavização (*smooth*), para as cinco resoluções espaciais. A H_t média observada, ou seja, aquela obtida através de métodos tradicionais de mensuração, foi representada pela linha tracejada (28,90 m). Os pontos vermelhos foram considerados como erros e representam as H_t s médias estimadas cuja população teve pelo menos um indivíduo em que o pixel de maior elevação não possui valor de dados. O número de erros (médias de alturas totais em que pelo menos um máximo local da população não apresentou valor de dados) para cada resolução espacial foi de: 42 erros: 0,1 m; 43 erros: 0,2 m; 16 erros: 0,5 m; 28 erros: 1 m; e 28 erros: 2 m.

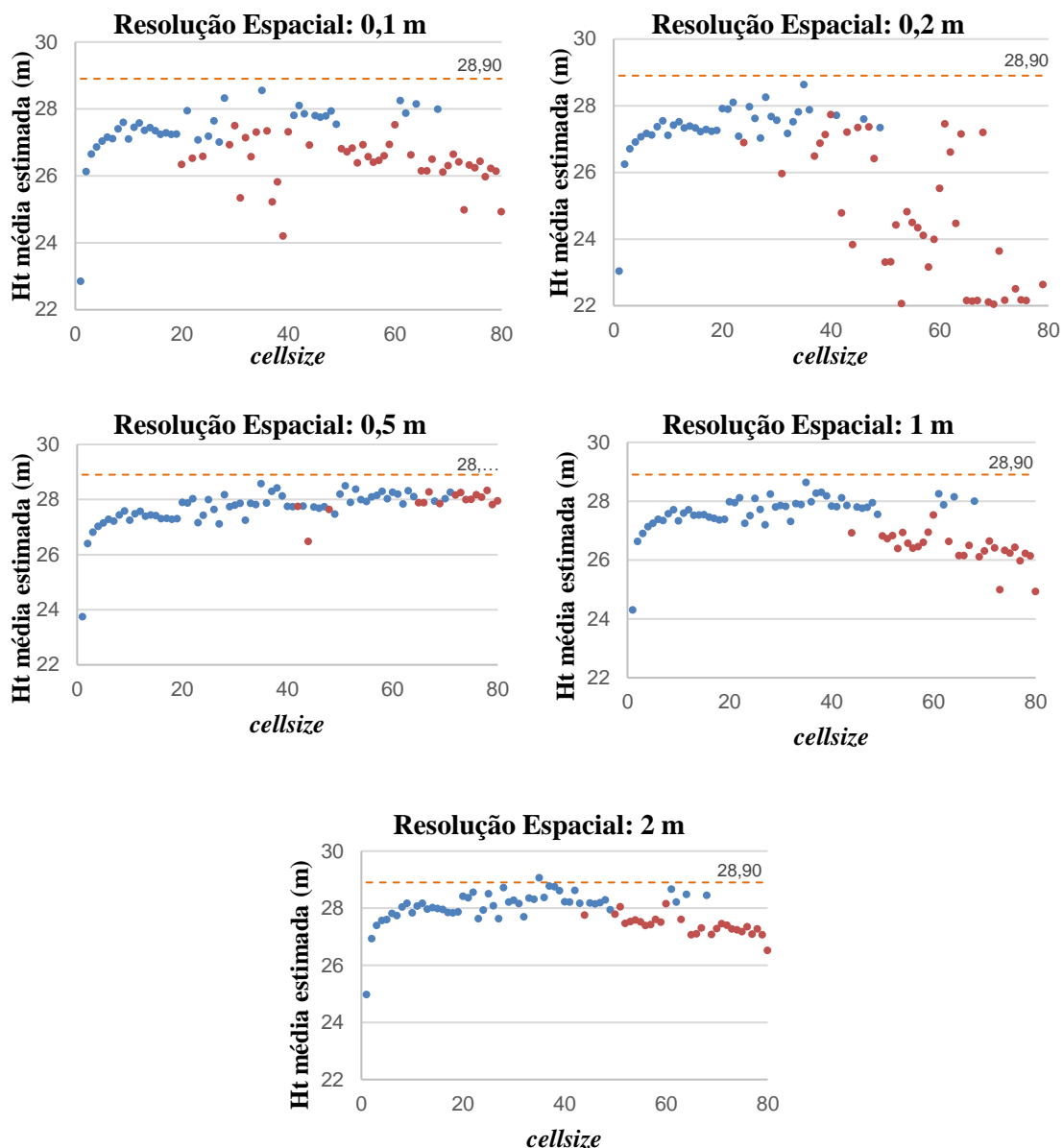


Figura 7: Distribuição das alturas totais médias estimadas pelo VANT em função do $cellsize$. Altura total média observada: 28,90 m (linha tracejada). Ponto vermelho: pelo menos um máximo local da população não apresentou valor de dados; ponto azul: todos os máximos locais da população apresentaram valor de dados.

Observou-se que conforme o valor de entrada do parâmetro *cellsize* do *GroundFilter* é aumentado, a *Ht* média estimada tende a aumentar sua precisão de forma logarítmica, se aproximando do valor observado em campo. Nota-se que, quando comparados aos demais, os valores iniciais do *cellsize* possuem uma distância bem mais acentuada do valor observado em campo. Essa distância foi expressiva em todas as resoluções espaciais, indicando que valores muito baixos de *cellsize* tendem a diminuir a precisão na estimativa da altura total média do povoamento.

O *cellsize* que apresentou o menor Viés, na maioria das resoluções espaciais (0,1 m; 0,2 m; 0,5 m; e 1,0 m), foi o 35. Entretanto, o tratamento em que a média das alturas totais estimadas mais se aproximou da observada, encontra-se na resolução espacial de 2 metros, onde o *cellsize* é igual a 37. Nesse caso, a diferença entre as alturas foi de apenas 0,14 metros, representando um erro de -0,48%. Contudo, o pior resultado, encontrado na RE de 0,1 m e *cellsize* 1, apresentou um erro de -20,93% que representa uma diferença de 6,05 metros em relação à média observada. Esses fatos reforçam a ideia de que a utilização de parâmetros adequados no algoritmo de filtragem pode melhorar a precisão dos resultados (CRESPO PEREMARCH et al., 2020).

Os gráficos de dispersão demonstram que a resolução espacial de 0,5 metros foi a que apresentou maior estabilidade nas médias em relação às demais, sendo ainda, a que apresentou a menor quantidade de erros. Esse fato significa que, embora essa resolução não apresente médias de alturas tão próximas da observada, é a que tem menos probabilidade de apresentar erro na altura total dos indivíduos.

Conforme observado, a altura total foi subestimada na grande maioria dos resultados, ocorrendo apenas um caso em que a altura foi superestimada (resolução espacial de 2 metros e *cellsize* 35). Esse fato comprova a tendência de as alturas das árvores obtidas através de VANT serem subestimadas (GUERRA HERNÁNDEZ et al., 2018; KRAUSE et al., 2019). Uma outra hipótese a ser levantada para explicar o ocorrido, é de que o algoritmo do *GroundFilter* do *software* FUSION/LDV v3.80 tende a modelar o DTM acima do terreno real. Como o DSM é constante para cada resolução espacial e, considerando a equação: $CHM = DSM - DTM$, aumentar os valores do DTM faz com que os valores de máximo local das árvores do CHM seja inferiores e, conseqüentemente, as alturas totais também. A modelagem do DTM acima do terreno real poderia ser explicada pela presença de sub-bosque no local, um dossel mais denso e fechado, ou ainda as configurações do voo como o nível de sobreposição das cenas, altitude e inclinação da câmera, que podem influenciar no número de pontos presentes no nível do solo e conseqüentemente na representação precisa do DTM (FERNÁNDEZ et al., 2016).

Os tratamentos cuja altura total dos indivíduos resultou no Viés mais próximo de zero em cada RE, ou seja, aqueles que apresentaram menor erro sistemático na medição da altura dos indivíduos, foram selecionados (Tabela 4) para análises estatísticas posteriores. Conforme pode se observar, para a maioria das resoluções espaciais, o *cellsize* 35 apresentou os melhores resultados. O que revela que esta configuração de ajuste do modelo, *cellsize* de 35, é apropriada para diferentes resoluções finais.

Tabela 4: Tratamentos com menor Viés em cada resolução espacial abordada.

<i>cellsize</i>	Resolução Espacial				
	0,1 m	0,2 m	0,5 m	1 m	2 m
	35	35	35	35	37

4.1.2 Presença do *smooth*

As Tabelas Tabela 5, Tabela 6, Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9 foram divididas em função de suas respectivas resoluções espaciais e relacionam os valores do *cellsize* com as janelas do *smooth*, tendo como resultado o Viés da altura total média em cada tratamento. Os tratamentos que apresentaram o Viés mais próximo de zero, em cada tabela, foram destacados.

Em todos os tratamentos a média das alturas totais do povoamento foi subestimada, não ocorrendo nenhum caso que resultou na superestima. Esse fato indica que a aplicação do filtro *smooth* não altera a tendência de modelagem do DTM acima do terreno real.

Ao analisar as tabelas, é possível notar que a diferença entre as alturas estimada e observada tende a diminuir, conforme o *cellsize* é elevado. Ainda, quando a janela *smooth* aumenta, o erro tende a ocorrer em valores menores de *cellsize*. O oposto ocorre à medida em que a RE é aumentada, tendo como consequência a possibilidade de aumentar os valores da janela *smooth* e do *cellsize*.

A Resolução Espacial de 2 m, juntamente com a janela *smooth* 3x3 e *cellsize* 22, apresentou o melhor resultado, representando uma diferença de apenas 0,17 m entre a altura observada e a estimada, e um erro de 0,59%. Entretanto, a maior diferença encontra-se na Resolução Espacial de 0,1 m, janela *smooth* 3x3 e *cellsize* 14, sendo esta, igual a 2,29 m, representando um erro de 7,92%.

Também é possível perceber que, quando comparados ao *cellsize*, as médias não variam muito significativamente à medida que a janela *smooth* aumenta. Isso mostra que a escolha do valor do *cellsize* é bem mais determinante do que a escolha do valor a ser utilizado no *smooth*.

Tabela 5: Diferença entre as *Hts* médias observada e estimada (em metros) em povoamentos de *Pinus* sp., obtidas em diferentes janelas (*smooth*) e tamanho de células (*cellsize*), na resolução espacial (RE) de 0,1 m.

Resolução Espacial: 0,1 m																
Janela	Cellsize															
<i>Smooth</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3 x 3	2,29	1,98	1,78	1,65	1,38	1,20	1,08	1,33	1,19	1,05	0,77	0,80	1,28	0,69	1,11	3,36
5 x 5	2,17	1,91	1,68	1,54	1,39	0,99	1,03	1,15	1,07	1,13	3,48					
7 x 7	2,08	1,86	1,68	1,45	1,29	0,97	1,03	1,12	1,58							
9 x 9	2,04	1,83	1,69	1,42	1,27	1,16	1,17	1,79								
11 x 11	2,02	1,87	1,73	1,47	1,25	1,31	1,50	3,34								
13 x 13	2,02	1,90	1,76	1,44	1,70											
15 x 15	2,02	1,94	1,78	1,47	2,14											
17 x 17	2,02	1,93	1,70	1,50	2,47											
19 x 19	2,04	1,90	1,67	1,51	2,67											
21 x 21	2,07	2,07	1,66	1,50	3,35											
23 x 23	2,08	1,90	1,65	1,73	1,73											
25 x 25	2,09	1,88	1,64	2,25												
27 x 27	2,10	1,85	1,62	3,02												
29 x 29	2,11	1,84	2,12	3,69												
31 x 31	2,12	1,82	2,26													
33 x 33	2,12	1,79	2,26													
35 x 35	2,12	1,77	2,64													
37 x 37	2,12	1,76	3,35													
39 x 39	2,11	1,76	3,57													
41 x 41	2,09	1,73	4,12													
43 x 43	2,07	1,70	5,62													
45 x 45	2,06	2,14														

Destaque em cinza: tratamentos que apresentaram o Viés mais próximo de zero; Sublinhado: pelo menos um indivíduo arbóreo da população não apresentou valor de dados em seu pixel de maior elevação pelo menos um indivíduo.

Tabela 6: Diferença entre as *Hts* médias observada e estimada (em metros) em povoamentos de *Pinus* sp., obtidas em diferentes janelas (*smooth*) e tamanho de células (*cellsize*), na resolução espacial (RE) de 0,2 m.

Resolução Espacial: 0,2 m																	
Janela	<i>Cellsize</i>																
<i>Smooth</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3 x 3	2,22	1,93	1,78	1,66	1,42	1,26	1,13	1,37	1,20	1,07	0,77	0,83	1,29	0,67	1,11	0,88	1,99
5 x 5	2,10	1,89	1,69	1,57	1,42	1,03	1,06	1,13	1,07	1,13	1,10						
7 x 7	2,02	1,87	1,69	1,46	1,31	1,01	1,05	1,12	1,12	1,30							
9 x 9	2,00	1,84	1,71	1,43	1,28	1,09	1,18	1,15	1,60								
11 x 11	2,00	1,88	1,72	1,47	1,27	1,14	1,23	1,15	1,90								
13 x 13	2,01	1,90	1,74	1,44	1,31	1,23	1,42	1,85									
15 x 15	2,01	1,94	1,75	1,46	1,60												
17 x 17	2,01	1,92	1,69	1,50	1,69												
19 x 19	2,03	1,89	1,66	1,50	1,71												
21 x 21	2,05	1,87	1,64	1,50	1,99												
23 x 23	2,07	1,87	1,63	1,57	2,71												
25 x 25	2,06	1,85	1,63	1,53	4,25												
27 x 27	2,08	1,82	1,61	1,46	4,61												
29 x 29	2,08	1,81	1,61	2,53													
31 x 31	2,10	1,79	1,67	3,28													
33 x 33	2,10	1,76	1,61	4,13													
35 x 35	2,10	1,74	1,85														
37 x 37	2,10	1,73	1,79														
39 x 39	2,09	1,72	2,79														
41 x 41	2,07	1,69	3,84														
43 x 43	2,05	1,68	4,33														
45 x 45	2,03	1,74	5,19														
47 x 47	2,03	1,71	5,40														
49 x 49	2,01	1,67	5,61														
51 x 51	2,01	1,88															

Destaque em cinza: tratamentos que apresentaram o Viés mais próximo de zero;
 Sublinhado: pelo menos um indivíduo arbóreo da população não apresentou valor de dados em seu pixel de maior elevação pelo menos um indivíduo.

Tabela 7: Diferença entre as *Hts* médias observada e estimada (em metros) em povoamentos de *Pinus* sp., obtidas em diferentes janelas (*smooth*) e tamanho de células (*cellsize*), na resolução espacial (RE) de 0,5 m.

		Resolução Espacial: 0,5 m																															
Janela		Cellsize																															
<i>Smooth</i>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	34	35	36	
3 x 3		2,14	1,84	1,70	1,58	1,39	1,24	1,13	1,36	1,20	1,12	0,85	0,91	1,29	0,75	1,12	0,88	1,24	1,23	0,63	1,27	0,94	0,84	0,83	0,90	0,66	1,32	0,90	0,41	1,01	0,73	0,98	
5 x 5		2,02	1,79	1,64	1,54	1,39	1,07	1,08	1,15	1,09	1,14	0,88	0,88	1,21	1,01	0,88	1,66																
7 x 7		1,94	1,77	1,65	1,45	1,30	1,05	1,08	1,13	1,14	1,03	0,86	1,13	0,96	1,49																		
9 x 9		1,91	1,77	1,67	1,42	1,28	1,13	1,19	1,16	1,18	1,07	0,98	1,19	1,67																			
11 x 11		1,91	1,79	1,69	1,45	1,28	1,16	1,23	1,19	1,14	1,00	0,94	1,13	1,06																			
13 x 13		1,90	1,83	1,69	1,41	1,30	1,22	1,32	1,13	1,87																							
15 x 15		1,90	1,85	1,70	1,42	1,31	1,24	1,33	3,01																								
17 x 17		1,92	1,83	1,63	1,46	1,32	1,25	1,52																									
19 x 19		1,93	1,81	1,61	1,46	1,34	1,24	1,71																									
21 x 21		1,94	1,80	1,59	1,46	1,31	1,94																										
23 x 23		1,95	1,80	1,58	1,45	1,50																											
25 x 25		1,95	1,78	1,58	1,45	1,97																											
27 x 27		1,96	1,75	1,56	1,37	2,81																											
29 x 29		1,97	1,74	1,56	1,60																												
31 x 31		1,96	1,73	1,54	1,80																												
33 x 33		1,97	1,69	1,49	2,03																												
35 x 35		1,98	1,48	1,48	3,08																												
37 x 37		1,98	1,67	1,42	3,56																												
39 x 39		1,98	1,66	1,63																													
41 x 41		1,96	1,64	2,09																													
43 x 43		1,95	1,62	2,61																													
45 x 45		1,94	1,61	3,11																													
47 x 47		1,93	1,58	3,60																													
49 x 49		1,92	1,55	3,58																													
51 x 51		1,92	1,51	3,62																													
53 x 53		1,91	1,45	3,63																													
55 x 55		1,90	1,66																														

Destaque em cinza: tratamentos que apresentaram o Viés mais próximo de zero; Sublinhado: pelo menos um indivíduo arbóreo da população não apresentou valor de dados em seu pixel de maior elevação pelo menos um indivíduo.

Tabela 8: Diferença entre as *Hts* médias observada e estimada (em metros) em povoamentos de *Pinus* sp., obtidas em diferentes janelas (*smooth*) e tamanho de células (*cellsize*), na resolução espacial (RE) de 1,0 m.

Resolução Espacial: 1 m																												
Janela	Cellsize																											
Smooth	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
3 x 3	2,03	1,72	1,61	1,46	1,27	1,15	1,02	1,28	1,13	1,04	0,75	0,82	1,22	0,67	1,06	0,82	0,98	1,00	0,78	1,17	1,16	0,59	1,20	0,94	0,79	0,88	0,84	<u>2,30</u>
5 x 5	1,91	1,71	1,53	1,43	1,29	0,97	1,01	1,07	1,03	1,08	0,79	0,78	1,15	0,93	0,82	0,91	1,02	1,01	1,14	<u>1,58</u>								
7 x 7	1,83	1,66	1,55	1,35	1,25	0,98	1,00	1,07	1,08	0,95	0,78	1,06	0,90	1,06	<u>1,57</u>													
9 x 9	1,81	1,68	1,58	1,34	1,24	1,05	1,13	1,09	1,12	1,01	1,03	1,15	<u>1,93</u>															
11 x 11	1,81	1,69	1,60	1,38	1,22	1,10	1,18	1,13	1,08	1,10	<u>2,01</u>																	
13 x 13	1,80	1,73	1,59	1,33	1,23	1,16	1,26	1,07	<u>1,58</u>																			
15 x 15	1,81	1,74	1,60	1,34	1,23	1,19	1,24	<u>1,57</u>																				
17 x 17	1,81	1,74	1,55	1,37	1,25	1,18	1,35	<u>2,14</u>																				
19 x 19	1,82	1,72	1,51	1,35	1,26	1,33	<u>1,92</u>																					
21 x 21	1,83	1,72	1,50	1,36	1,24	<u>1,66</u>																						
23 x 23	1,87	1,70	1,50	1,36	<u>1,35</u>																							
25 x 25	1,88	1,69	1,49	1,34	<u>1,94</u>																							
27 x 27	1,86	1,67	1,46	1,29	<u>2,24</u>																							
29 x 29	1,86	1,65	1,47	1,41	<u>2,67</u>																							
31 x 31	1,87	1,64	1,46	<u>1,74</u>																								
33 x 33	1,87	1,61	1,40	<u>2,00</u>																								
35 x 35	1,87	1,60	1,40	<u>2,25</u>																								
37 x 37	1,86	1,59	1,35	<u>2,68</u>																								
39 x 39	1,89	1,58	<u>1,80</u>																									
41 x 41	1,86	1,86	<u>1,76</u>																									
43 x 43	1,86	1,55	<u>2,31</u>																									
45 x 45	1,85	1,53	<u>2,51</u>																									
47 x 47	1,83	1,51	<u>2,97</u>																									
49 x 49	1,84	1,47	<u>2,96</u>																									
51 x 51	1,83	1,43	<u>2,91</u>																									
53 x 53	1,83	1,37	<u>2,89</u>																									
55 x 55	1,82	1,49	<u>2,86</u>																									
57 x 57	1,81	<u>2,08</u>																										

Destaque em cinza: tratamentos que apresentaram o Viés mais próximo de zero; Sublinhado: pelo menos um indivíduo arbóreo da população não apresentou valor de dados em seu pixel de maior elevação pelo menos um indivíduo.

Tabela 9: Diferença entre as *Hts* médias observada e estimada (em metros) em povoamentos de *Pinus* sp., obtidas em diferentes janelas (*smooth*) e tamanho de células (*cellsize*), na resolução espacial (RE) de 2,0 m

Resolução Espacial: 2 m																												
Janela	Cellsize																											
<i>Smooth</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
3 x 3	1,57	1,28	1,13	1,01	0,78	0,70	0,55	0,80	0,70	0,54	0,30	0,35	0,82	0,23	0,64	0,35	0,57	0,55	0,31	0,78	0,79	<u>0,17</u>	0,80	0,48	0,37	0,58	0,44	<u>1,17</u>
5 x 5	1,44	1,04	1,20	0,99	0,85	0,53	0,55	0,64	0,60	0,68	0,34	0,37	0,73	0,48	0,38	0,54	0,61	0,62	0,62	<u>0,92</u>								
7 x 7	1,35	1,23	1,12	0,93	0,84	0,57	0,57	0,64	0,64	0,54	0,33	0,65	0,49	0,64	<u>0,92</u>													
9 x 9	1,32	1,19	1,16	0,93	0,81	0,63	0,71	0,68	0,69	0,61	0,51	0,76	<u>1,28</u>															
11 x 11	1,31	1,26	1,16	0,96	0,81	0,68	0,76	0,76	0,69	0,62	<u>1,36</u>																	
13 x 13	1,30	1,30	1,20	0,95	0,82	0,76	0,87	0,69	<u>1,19</u>																			
15 x 15	1,29	1,29	1,21	0,97	0,83	0,77	0,91	<u>1,13</u>																				
17 x 17	1,35	1,31	1,15	1,01	0,85	0,83	0,83	<u>1,50</u>																				
19 x 19	1,39	1,31	1,16	1,03	0,86	0,82	<u>1,21</u>																					
21 x 21	1,41	1,31	1,10	1,00	0,89	<u>1,25</u>																						
23 x 23	1,40	1,30	1,08	1,00	0,83	<u>1,82</u>																						
25 x 25	1,41	1,29	1,06	0,98	<u>1,63</u>																							
27 x 27	1,40	1,24	1,05	0,96	<u>1,67</u>																							
29 x 29	1,43	1,23	1,05	0,92	<u>1,77</u>																							
31 x 31	1,45	1,22	1,03	<u>1,06</u>																								
33 x 33	1,46	1,19	1,05	<u>1,29</u>																								
35 x 35	1,46	1,17	1,06	<u>1,86</u>																								
37 x 37	1,45	1,16	0,99	<u>1,79</u>																								
39 x 39	1,43	1,43	<u>1,11</u>																									
41 x 41	1,41	1,12	<u>1,10</u>																									
43 x 43	1,43	1,09	<u>1,73</u>																									
45 x 45	1,41	1,08	<u>1,88</u>																									
47 x 47	1,41	1,05	<u>1,79</u>																									
49 x 49	1,41	1,03	<u>1,83</u>																									
51 x 51	1,40	1,03	<u>1,96</u>																									
53 x 53	1,40	0,98	<u>1,94</u>																									
55 x 55	1,40	0,96	<u>1,86</u>																									
57 x 57	1,39	<u>1,62</u>																										

Destaque em cinza: tratamentos que apresentaram o Viés mais próximo de zero; Sublinhado: pelo menos um indivíduo arbóreo da população não apresentou valor de dados em seu pixel de maior elevação pelo menos um indivíduo.

A Tabela 10 exibe os tratamentos selecionados por apresentarem viés mais próximo de zero em relação aos demais, para serem avaliados estatisticamente. Esses tratamentos foram considerados os melhores, na presença do filtro *smooth*, em cada resolução espacial. Em todas as tabelas, os melhores resultados foram encontrados na janela *smooth* 3x3, considerando o menor desvio de altura total média.

Tabela 10: Tratamentos com menor Viés em cada resolução espacial com a presença do filtro *smooth*. Fonte: Elaboração própria.

	Resolução Espacial				
	0,1 m	0,2 m	0,5 m	1 m	2 m
<i>Cellsize</i>	14	14	31	22	22
Janela <i>Smooth</i>	3x3	3x3	3x3	3x3	3x3

4.1.3 Avaliação estatística

Algumas análises estatísticas foram realizadas para comparar os melhores tratamentos, considerando as informações das tabelas 4 e 10. Em todos os casos, a aplicação do filtro *smooth* resultou na piora dos resultados dos parâmetros avaliados (Tabela 11). O filtro *smooth* aumentou o viés, a média das diferenças absolutas e o desvio padrão das diferenças, além de diminuir o valor-p e a correlação das alturas totais nas cinco resoluções espaciais. Entretanto, observa-se que todos os tratamentos apresentaram bons resultados, onde em todos os testes *t* de student, rejeitou-se a hipótese H_1 e aceitou-se a hipótese H_0 , ou seja, a média entre as alturas totais observada e estimada não diferem significativamente entre si.

Tabela 11: Avaliação estatística dos tratamentos selecionados. O destaque em cinza revela os tratamentos que apresentaram os melhores resultados. Fonte: Elaboração própria.

Testes Estatísticos	RE 0,1 m		RE 0,2 m		RE 0,5 m		RE 1 m		RE 2 m	
	<i>C</i> 35	<i>C</i> 14 <i>S</i> 3x3	<i>C</i> 35	<i>C</i> 14 <i>S</i> 3x3	<i>C</i> 35	<i>C</i> 31 <i>S</i> 3x3	<i>C</i> 35	<i>C</i> 22 <i>S</i> 3x3	<i>C</i> 37	<i>C</i> 22 <i>S</i> 3x3
V	0,3524	0,6854	0,2676	0,6653	0,3242	0,4124	0,2663	0,5854	0,1405	0,1736
MD	1,3072	1,5454	1,2880	1,5392	1,2760	1,3875	1,2843	1,4136	1,5210	1,6194
DPD	1,5837	1,7162	1,5779	1,7247	1,5547	1,6607	1,5761	1,6318	1,8727	1,9432
R	0,83	0,80	0,83	0,80	0,84	0,81	0,83	0,82	0,75	0,73
Valor-p	0,33	0,06	0,46	0,07	0,37	0,26	0,46	0,11	0,69	0,63

Onde, *C* = *cellsize*; *S* = *smooth*; V = Viés; MD = Média das Diferenças absolutas; DPD = Desvio Padrão das Diferenças; R = Coeficiente de correlação de Pearson; e Valor-p = Nível descritivo do teste *t*.

A resolução espacial de 2 m apresentou os melhores resultados de Viés e Valor-p, conforme também observado por Vuong et al. (2014), que compararam essa resolução espacial com a de 1 m em diferentes CHMs. Entretanto, essa resolução apresentou os piores resultados para os parâmetros MD, DPD e R, tanto na ausência, quanto na presença do *smooth*. Este fato indica que, individualmente, a diferença entre as alturas totais estimada e observada de cada um dos 106 indivíduos arbóreos é mais elevada do que nas demais resoluções. Contudo, por apresentar um Viés baixo e Valor-p elevado, os valores das alturas subestimados tendem a ser compensados pelas alturas superestimadas, fazendo com que essa diferença seja compensada.

De acordo com os testes estatísticos, os tratamentos que mais se destacaram positivamente não possuem *smooth* e foram os seguintes: RE de 2 m e *cellsize* 37; e RE de 0,5

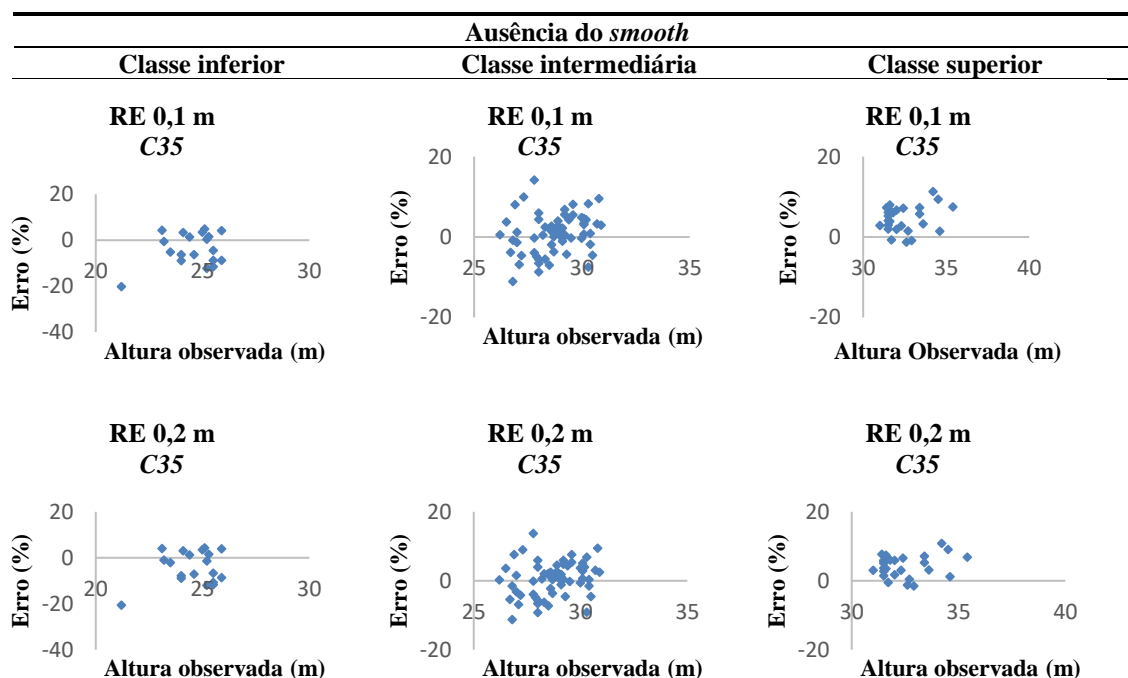
m e *cellsize* 35. O primeiro apresentou o menor Viés e maior Valor-p, enquanto no segundo, obtiveram-se os menores valores de MD e DPD e maior valor do R. Com isso, ao fazer uma abordagem individual das árvores, a combinação da RE de 0,5 m, *cellsize* 35 e ausência do *smooth* demonstraram ser a melhor alternativa, ao passo que, em nível de povoamento, a RE de 2 m, *cellsize* de 35 e ausência do *smooth* evidenciou ser o tratamento ideal.

4.2 Resultados das classes de altura

Após a análise geral, os indivíduos foram divididos em classes de acordo com sua Ht. As Figuras Figura 8 e Figura 9 apresentam, respectivamente, gráficos de resíduos para os tratamentos sem e com a utilização do *smooth*, relacionando a altura total observada e erro (%) dos indivíduos arbóreos, de acordo com cada classe de altura e RE escolhida.

4.2.1 Análise de resíduos para ausência do *smooth*

A Figura 8 demonstra que, para a classe inferior, a altura obtida pelo VANT tende a ser superestimada em todas as REs, com destaque para uma maior dispersão dos pontos na RE de 2 m, em relação às demais. A classe intermediária apresentou homogeneidade na porcentagem dos erros em todas as REs. Na classe superior as alturas obtidas pelo VANT foram demasiadamente subestimadas em todas as REs. Esses resultados corroboram com o estudo apresentado por Hentz (2018), que aponta a tendência de as alturas totais obtidas por VANT, superestimarem as árvores menores e subestimarem as maiores.



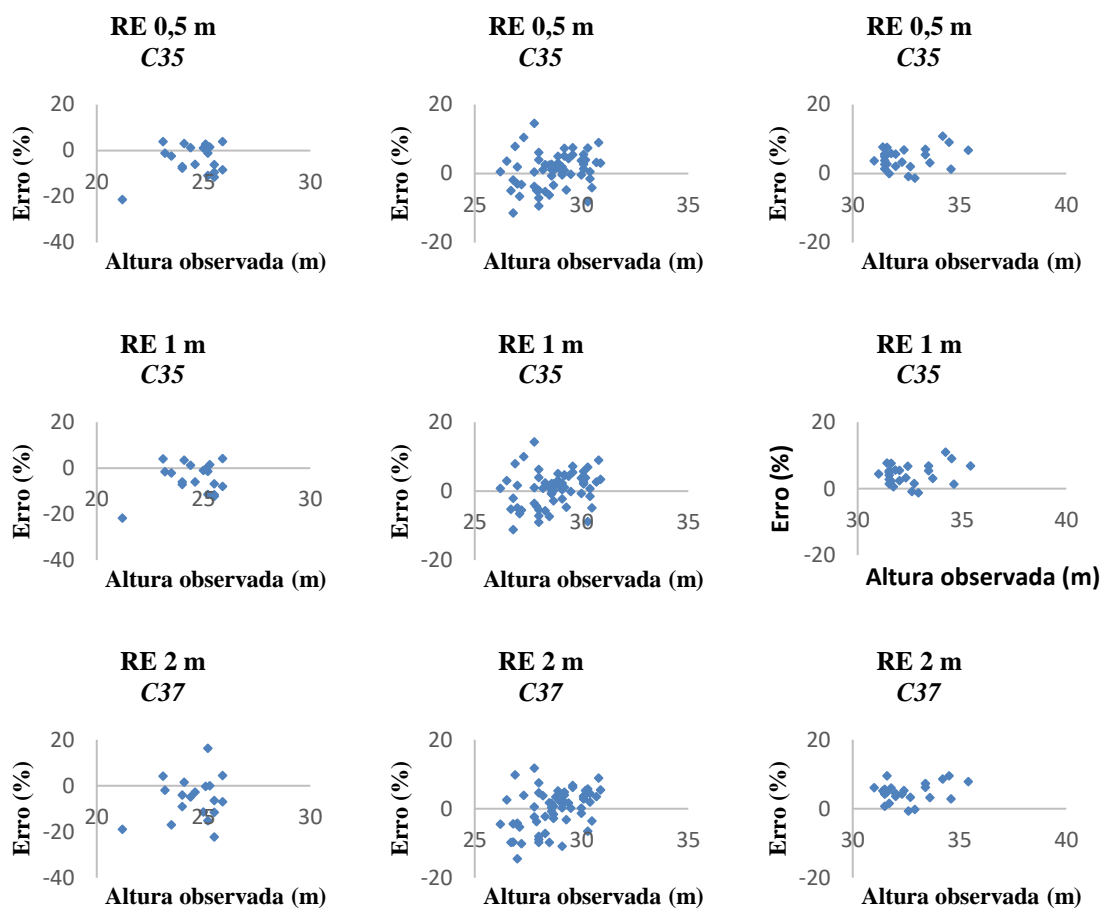


Figura 8: Distribuição dos resíduos das alturas totais observadas em função do Erro (%), para as classes: inferior, intermediária e superior. RE = Resolução Espacial e C = *Cellsize*. Fonte: o autor.

4.2.2 Análise de resíduos para presença do *smooth*

Os gráficos dispostos na Figura 9 são bastante similares aos gráficos da Figura 8, onde os indivíduos da classe inferior também apresentaram tendência a terem suas alturas totais superestimadas. Ainda, em relação às demais resoluções dessa mesma classe, a distribuição dos pontos para as REs de 0,1 m e 0,2 m apresentaram maior equilíbrio, enquanto a RE de 2 m apresentou maior tendência a superestimar a altura. A classe intermediária apresentou equilíbrio na dispersão dos pontos em todas as REs. Por fim, em todas as REs da classe superior, a altura total tende a ser subestimada.

Outro fator a ser destacado é que a aplicação do filtro *smooth* não influenciou na tendência de dispersão dos pontos, uma vez que os gráficos da ausência e presença desse filtro são bastante similares.

	Presença do <i>smooth</i>	
Classe inferior	Classe intermediária	Classe superior

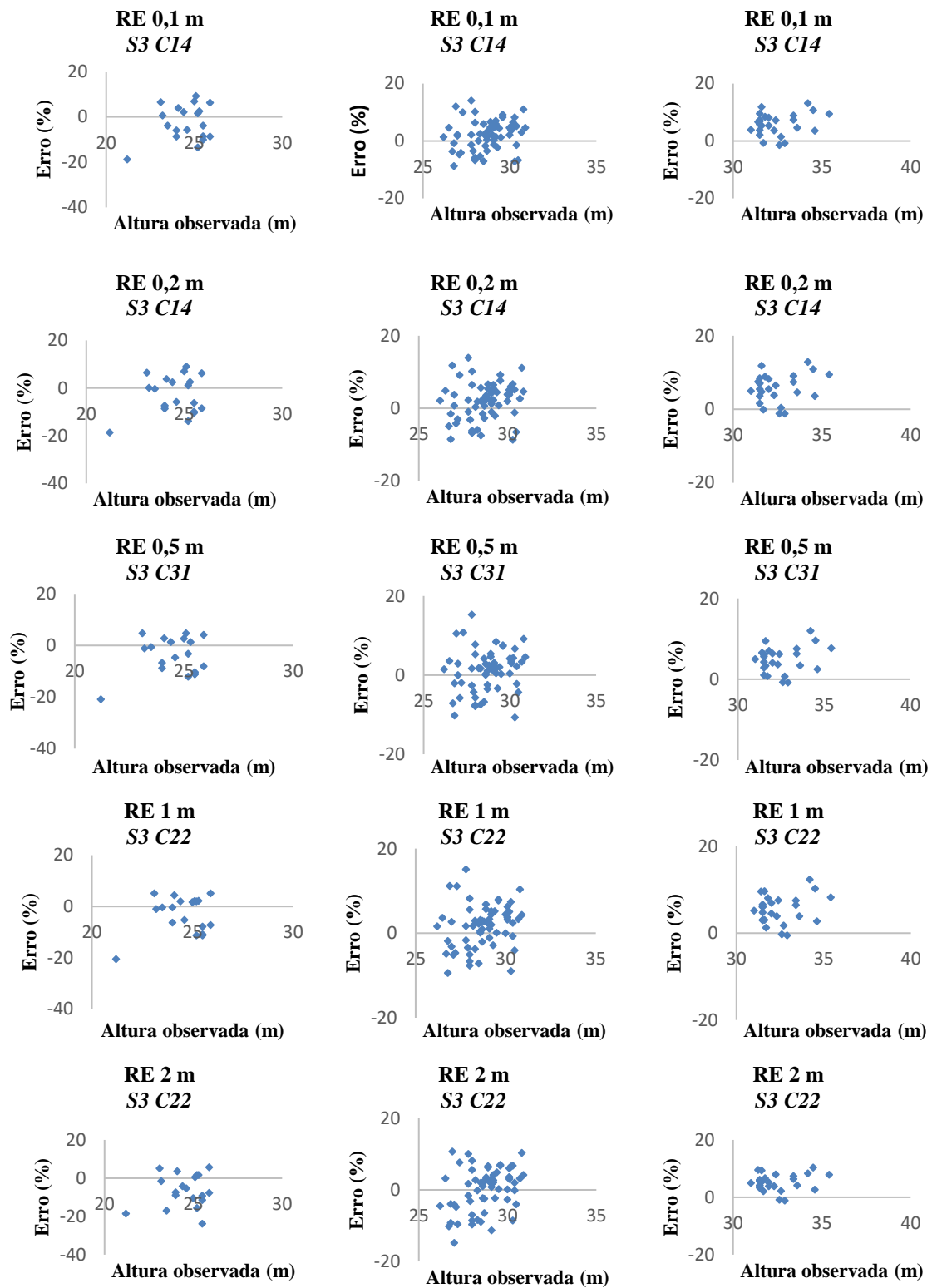


Figura 9: Distribuição dos resíduos das alturas totais observadas em função do Erro (%), para as classes: inferior, intermediária e superior. RE = Resolução Espacial; S = smooth; e C = Cellsize. Fonte: o autor.

4.2.3 Análises estatísticas

Os cálculos estatísticos V, MD e DPD foram computados, comparados com cada tratamento em função da classe de altura e melhor tratamento de cada resolução espacial e classificados (de 1 a 10) de acordo com seus resultados, na Tabela 12. O ordenamento se deu de forma crescente a partir dos valores que mais se aproximam de 0. Em seguida, os valores da classificação foram somados horizontalmente.

Tabela 12: Resultado e *ranking* das estatísticas: Viés (V), Média das Diferenças absolutas (MD) e Desvio-Padrão das Diferenças (DPD) das classes de altura (1 – classe inferior, 2 – classe intermediária e 3 – classe superior) para os tratamentos: resolução espacial (RE), *cellsize* (C) e *smooth* (S). O destaque em cinza revela os tratamentos que apresentaram os melhores resultados.

Tratamento	Classe de altura	V	MD	DPD	V	MD	DPD	Total
Ausência do <i>smooth</i>								
RE 0,1 m C 35	1	-0,878	1,490	1,657	4	4	3	11
	2	0,250	1,141	1,422	5	2	2	9
	3	1,491	1,563	1,085	4	4	7	15
RE 0,2 m C 35	1	-0,970	1,536	1,674	6	5	5	16
	2	0,176	1,135	1,419	3	1	1	5
	3	1,386	1,466	1,058	1	3	5	9
RE 0,5 m C 35	1	-0,963	1,411	1,570	5	2	1	8
	2	0,263	1,153	1,423	6	3	3	12
	3	1,409	1,465	1,012	2	2	4	8
RE 1,0 m C 35	1	-1,058	1,425	1,578	8	3	2	13
	2	0,192	1,164	1,433	4	4	4	12
	3	1,409	1,464	1,004	3	1	3	7
RE 2,0 m C 37	1	-1,356	2,048	2,284	9	10	10	29
	2	0,006	1,335	1,630	1	9	9	19
	3	1,550	1,572	0,888	5	5	1	11
Presença do <i>smooth</i>								
RE 0,1 m C 14 S 3x3	1	-0,610	1,634	1,860	1	7	7	15
	2	0,570	1,334	1,503	10	7	7	24
	3	1,903	1,977	1,267	10	10	9	29
RE 0,2 m C 14 S 3x3	1	-0,647	1,655	1,905	2	8	8	18
	2	0,551	1,325	1,494	9	8	6	23
	3	1,892	1,956	1,273	9	9	10	28
RE 0,5 m C 31 S 3x3	1	-0,983	1,541	1,697	7	6	6	19
	2	0,347	1,239	1,507	7	5	8	20
	3	1,586	1,624	1,069	6	6	6	18
RE 1,0 m C 22 S 3x3	1	-0,732	1,373	1,669	3	1	4	8
	2	0,487	1,262	1,466	8	6	5	19
	3	1,779	1,799	1,093	8	8	8	24
RE 2,0 m C 22 S 3x3	1	-1,569	2,047	2,069	10	9	9	28
	2	0,064	1,429	1,717	2	10	10	22
	3	1,705	1,753	0,963	7	7	2	16

Realizou-se uma análise comparativa entre a pontuação total dos tratamentos com presença e ausência do filtro *smooth*. Percebeu-se que a aplicação desse filtro prejudicou o resultado da *Ht* média na maioria das classes das resoluções espaciais, com exceção da classe inferior de *Ht* nas REs de 1,0 m e 2,0 m, que apresentaram uma respectiva queda na pontuação de 13 para 8 e 29 para 28, após a aplicação.

Para a classe inferior, os melhores tratamentos foram: resolução espacial de 0,5 m, *cellsize* 35, e ausência de *smooth*; e resolução espacial de 1,0 m, *cellsize* 22 e janela *smooth* 3x3. Na classe intermediária, o tratamento de resolução espacial de 0,2 m, *cellsize* 35 e ausência de *smooth* obteve o maior destaque. Por fim, na classe superior, destacou-se o tratamento de resolução espacial de 1,0 m, *cellsize* 35 e ausência de *smooth*.

O teste *t* de student e o teste de correlação de Pearson também foram aplicados em cada classe de altura dos tratamentos selecionados, conforme demonstra a Tabela 13. Em quase todos os tratamentos, a classe inferior apresentou correlação de moderada a fraca e diferença não significativa entre as *Hts*, com exceção de ambos os tratamentos que se encontram na RE de 2,0 m e na RE de 1,0 m sem o *smooth*. A classe intermediária também apresentou correlação de moderada a fraca, com os piores resultados encontrados nos tratamentos em que a RE é igual a 2,0 m. Esse fato se contrasta com os resultados do valor-p nessa RE, o qual é bastante elevado e indica a alta probabilidade de que as médias dos métodos de medição não diferem entre si em indivíduos de classe de altura intermediária. Na classe superior a correlação foi de moderada a forte, entretanto, foi onde os menores resultados de valor-p foram encontrados.

Tabela 13: Testes de correlação de Pearson e t de Student em função de cada classe de altura.

Resolução Espacial	Classe de altura	Sem <i>smooth</i>		Com <i>smooth</i>	
		<i>R</i>	Valor-p	<i>R</i>	Valor-p
0,1 m	1	0,46	0,09	0,42	0,26
	2	0,53	0,34	0,52	0,04
	3	0,65	1,1x10 ⁻⁴	0,56	4,8x10 ⁻⁶
0,2 m	1	0,48	0,07	0,44	0,25
	2	0,53	0,50	0,53	0,04
	3	0,66	2,8 x10 ⁻⁴	0,56	5,9x10 ⁻⁶
0,5 m	1	0,49	0,06	0,50	0,07
	2	0,54	0,32	0,53	0,21
	3	0,68	1,9 x10 ⁻⁴	0,65	4,0x10 ⁻⁵
1,0 m	1	0,52	0,04	0,50	0,17
	2	0,53	0,46	0,52	0,07
	3	0,69	1,9 x10 ⁻⁴	0,65	8,3x10 ⁻⁶
2,0 m	1	0,36	0,04	0,45	0,01
	2	0,35	0,98	0,35	0,81
	3	0,73	2,83 x10 ⁻⁵	0,72	1,5x10 ⁻⁵

Onde, classe 1 = classe inferior; classe 2 = classe intermediária; e classe 3 = classe superior.

Em relação à correlação, os melhores tratamentos para as classes: inferior, intermediária e superior, encontram-se, respectivamente, nas resoluções espaciais de 1,0 m, 0,5 m, e 2,0 m, todos com ausência do filtro *smooth*. Em todos os tratamentos, o valor-p da classe superior apresentou diferenças significativas.

5. CONCLUSÕES

A definição dos valores dos parâmetros *smooth* e *cellsize* do *GroundFilter* e a resolução espacial dos modelos digitais de superfície (DSM), terreno (DTM) e de altura de copa (CHM) influenciam de maneira significativa no resultado da altura total média da população.

Praticamente em todos os resultados a altura foi subestimada, demonstrando que o *GroundFilter* tende a modelar o DTM abaixo do terreno real. De acordo com os resultados

estatísticos evidenciados, o uso do filtro *smooth* não é recomendado, uma vez que, em todos os casos, sua aplicação elevou o erro. Entretanto, a janela 3x3 desse filtro também apresentou bons resultados, sendo essa, a janela recomendada em caso de aplicação. Além disso, conforme o *cellsize* aumenta, a *Ht* média tende a crescer de forma logarítmica, se aproximando do valor real observado. A resolução espacial de 2 m apresenta os melhores resultados dentre as cinco testadas, tanto na presença quanto na ausência do filtro *smooth*.

Em relação às classes de altura, as análises demonstram que para a classe inferior, a altura obtida pelo VANT tende a ser superestimada em todas as REs, enquanto a classe intermediária apresenta equilíbrio na distribuição dos resíduos em todas as REs e na classe superior, as alturas obtidas pelo VANT são demasiadamente subestimadas.

Como comprovado pelo teste t de student, as alturas obtidas entre os dois métodos não diferem significativamente entre si, a uma probabilidade de 5%, além de possuírem alta correlação entre si, como demonstram os testes de correlação de Pearson. Conclui-se, então, que o VANT é uma ferramenta potencial a ser utilizada na mensuração florestal, tornando necessários estudos com outras variáveis e povoamentos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ATAÍDE, Danilo Henrique dos Santos. **Aplicação de VANT no mapeamento do uso e cobertura do solo e na geração de modelos 3D da paisagem**. 2015. Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

BASILIO, L. A.; MENDONÇA, B. A. F. AVALIAÇÃO DO USO DE VANT (VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO) PARA A OBTENÇÃO DA ALTURA TOTAL DE INDIVÍDUOS ARBÓREOS EM DIFERENTES RESOLUÇÕES ESPACIAIS. 2019. Disponível em: <https://even3.blob.core.windows.net/anais/195200.pdf>. Acesso em: 15 nov 2020.

BATISTA, Antonio Cartos. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p 1-5, 2004.

BEDELL, Emily et al. Unmanned aerial vehicle-based structure from motion biomass inventory estimates. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 11, n. 2, p. 026026, 2017.

BERRA, Elias Fernando et al. Estimativa do volume total de madeira em espécies de eucalipto a partir de imagens de satélite Landsat. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 853-864, 2012.

BIRDAL, Anıl Can; AVDAN, Uğur; TÜRK, Tarık. Estimating tree heights with images from an unmanned aerial vehicle. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 8, n. 2, p. 1144-1156, 2017.

BUJÁN, Sandra et al. DecHPoints: A new tool for improving LiDAR data filtering in urban areas. **PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science**, p. 1-17, 2020.

CÂNDIDO, A. K. A. A. et al. Modelo Digital de Superfície gerado a partir de imagens de VANT. *In: 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2014, Campo Grande*, p. 296-303. **Anais 2014**.

CORTE, A. P. D. et al. Desempenho de diferentes equipamentos para mensuração de diâmetro a 1, 30 m, altura individual total e volume do fuste em *Cryptomeria japonica* (Thunb. Ex L. f.) D. Don. **Enciclopédia Biosfera**, Curitiba, v. 13, n. 23, p. 432-441, 2016.

CRESPO PEREMARCH, P. et al. COMPARING THE GENERATION OF DTM IN A FOREST ECOSYSTEM USING TLS, ALS AND UAV-DAP, AND DIFFERENT SOFTWARE TOOLS. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 43, p. 575-582, 2020.

CURTO, Rafaella De Angeli et al. Métodos de estimação de altura de árvores em floresta estacional semidecidual. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 105-116, 2013.

CURTO, Rafaella De Angeli et al. Operacionalidade de aplicativos de smartphone para mensuração de altura de árvores em região de ecótono Cerrado-Amazônia. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 2, p. 218-225, 2019.

DASH, Jonathan P. et al. Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 131, p. 1-14, 2017.

DE SOUZA, C. A. M. **Avaliação de modelos de taper não segmentados e segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp.** 2007. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), v. 94, 2007.

EDSON, Curtis; WING, Michael G. Airborne light detection and ranging (LiDAR) for individual tree stem location, height, and biomass measurements. **Remote Sensing**, v. 3, n. 11, p. 2494-2528, 2011.

EUGENIO, A.; FERNÁNDEZ-LANDA, A.; MERINO-DE-MIGUEL, S. Modelos 3D derivados de fotogrametría terrestre para la estimación de variables de inventario forestal. **Revista de Teledetección**, n. 51, p. 113-124, 2018.

FELICIANO, Marya Eduarda et al. Avaliação de diferentes hipsômetros na estimativa da altura total. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n. 2, p. 1-5, 2016.

FERNÁNDEZ, L. B. et al. Accuracy assessment of LiDAR-derived digital elevation models in a rural landscape with complex terrain. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 10, n. 1, p. 016014, 2016.

GANZ, Selina; KÄBER, Yannek; ADLER, Petra. Measuring tree height with remote sensing—A comparison of photogrammetric and LiDAR data with different field measurements. **Forests**, Freiburg, v. 10, n. 8, p. 694, 2019.

GAŠPAROVIĆ, Mateo et al. The evaluation of photogrammetry-based DSM from low-cost UAV by LiDAR-based DSM. **South-east European forestry**, v. 8, n. 2, p. 117-125, 2017.

GUERRA-HERNÁNDEZ, Juan et al. Comparison of ALS-and UAV (SfM)-derived high-density point clouds for individual tree detection in Eucalyptus plantations. **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 15-16, p. 5211-5235, 2018.

GÜLCI, Sercan. The determination of some stand parameters using SfM-based spatial 3D point cloud in forestry studies: an analysis of data production in pure coniferous young forest stands. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 8, p. 495, 2019.

HENTZ, Ângela Maria Klein. **Obtenção de informação dendrométricas para inventário florestal automatizado por meio de veículo aéreo não tripulado (VANT)**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

HYYPPÄ, Hannu et al. Factors affecting the quality of DTM generation in forested areas. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Enschede, v. 36, n. 3/W19, p. 85-90, 2005.

HUNG, Marcelo Ng Wei Ban et al. Levantamento com veículo aéreo não tripulado para geração de modelo digital do terreno em bacia experimental com vegetação florestal esparsa. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 43, p. 215-231, 2018.

KERSHAW JR, J. A. et al. HEIGHT. *In*: KERSHAW JR, John A. et al **Forest mensuration**. John Wiley & Sons, 2016.

KIRÁLY, G.; BROLLY, G. Tree height estimation methods for terrestrial laser scanning in a forest reserve. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 36, n. 3/W52, p. 211-215, 2007.

KRAUS, Karl; PFEIFER, Norbert. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and remote Sensing**, Vienna, v. 53, n. 4, p. 193-203, 1998.

KRAUSE, Stuart et al. UAV-based photogrammetric tree height measurement for intensive forest monitoring. **Remote Sensing**, v. 11, n. 7, p. 758, 2019.

LEITE, Helio Garcia; ANDRADE, Valdir Carlos Lima de. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 301-310, 2003.

LINGNAU, Christel et al. Mensuração de alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre Individual tree height mensuration with laser terrestrial data. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 4, p. 85-96, 2008.

- LIU, Kun et al. Estimating forest structural attributes using UAV-LiDAR data in Ginkgo plantations. **ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing**, v. 146, p. 465-482, 2018.
- LIU, Xiaoye. Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. **Progress in physical geography**, v. 32, n. 1, p. 31-49, 2008.
- MATHEWS, Adam J.; JENSEN, Jennifer LR. Visualizing and quantifying vineyard canopy LAI using an unmanned aerial vehicle (UAV) collected high density structure from motion point cloud. **Remote sensing**, v. 5, n. 5, p. 2164-2183, 2013.
- MAYRINCK, Rafaella Carvalho et al. 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.
- MCGAUGHEY, R. J. FUSION/LDV: Software for LIDAR data analysis and visualization. October 2016–FUSION Version 3.60+. **Pacific Northwest Research Station, United States Department of Agriculture Forest Service**, 2016.
- MENDONÇA, A. R de. **Avaliação de uma metodologia para otimização do volume de toras comerciais de Eucalyptus sp. em função da qualidade do fuste**. 2006. Tese (Mestrado em Produção Vegetal), UFES, ES, 2006.
- MIELCAREK, Miłosz; STERENÍCZAK, Krzysztof; KHOSRAVIPOUR, Anahita. Testing and evaluating different LiDAR-derived canopy height model generation methods for tree height estimation. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 71, p. 132-143, 2018.
- MOE, Kyaw Thu et al. Comparing Individual Tree Height Information Derived from Field Surveys, LiDAR and UAV-DAP for High-Value Timber Species in Northern Japan. **Forests**, v. 11, n. 2, p. 223, 2020.
- MOHAN, Midhun et al. Individual tree detection from unmanned aerial vehicle (UAV) derived canopy height model in an open canopy mixed conifer forest. **Forests**, v. 8, n. 9, p. 340, 2017.
- MOHAN, Midhun et al. Optimizing individual tree detection accuracy and measuring forest uniformity in coconut (*Cocos nucifera* L.) plantations using airborne laser scanning. **Ecological Modelling**, v. 409, p. 108736, 2019.
- MONTEALEGRE, Antonio Luis; LAMELAS, María Teresa; DE LA RIVA, Juan. A comparison of open-source LiDAR filtering algorithms in a Mediterranean forest environment. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 8, n. 8, p. 4072-4085, 2015.
- PANAGIOTIDIS, Dimitrios et al. Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. **International journal of remote sensing**, v. 38, n. 8-10, p. 2392-2410, 2016.
- POPESCU, Sorin C.; WYNNE, Randolph H. Seeing the trees in the forest. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 70, n. 5, p. 589-604, 2004.

Precision Hawk. (2019). Precision Mapper. Recuperado de <https://www.precisionhawk.com/precisionmapper>. Acesso em: 27 dez 2018.

SANKEY, Temuulen et al. UAV lidar and hyperspectral fusion for forest monitoring in the southwestern USA. **Remote Sensing of Environment**, v. 195, p. 30-43, 2017.

SILVA, C. A. et al. Efeito da densidade de pontos LiDAR na predição da altura em plantações de Pinus taeda L. Effect of LiDAR density points on the prediction of height in Pinus taeda L. plantations. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 45, n. 115, p. 481-492, 2017.

SILVA, Carlos Alberto et al. Comparing the performance of ground filtering algorithms for terrain modeling in a forest environment using airborne LiDAR data. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 2, 2018.

SILVA, Gilson Fernandes da et al. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 341-348, 2012.

ŠTULAR, Benjamin; LOZIĆ, Edisa. Comparison of Filters for Archaeology-Specific Ground Extraction from Airborne LiDAR Point Clouds. **Remote Sensing**, v. 12, n. 18, p. 3025, 2020.

VAN LAAR, Anthonie; AKÇA, Alparslan. TREE HEIGHT. *In: Forest mensuration*. Springer Science & Business Media, 2007.

VASILESCU, Maria Magdalena. Standard error of tree height using Vertex III. **Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II**, Transilvania, v. 6, n. 2, p. 75, 2013.

VUONG, Hai Hong. **Using liDAR to estimate the total aboveground live biomass of redwood stands in South Fork Caspar Creek Watershed, Jackson Demonstration State Forest, Mendocino, California**. 2014. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais: Floresta, Bacia hidrográfica e ciências da Terra selvagem) - Humboldt State University, 2014.

YAAKUB, Siti Yasmin; MISMAN, Muhamad Afizzul; OMAR, Hamdan. Identifying Tall Trees in Man-Made Tropical Rain Forest using Airborne LiDAR Point-Cloud. *In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Selangor, p.540, 2020

ZARCO TEJADA, Pablo J. et al. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. **European journal of agronomy**, v. 55, p. 89-99, 2014.

ZEYBEK, Mustafa; ŞANLIOĞLU, İsmail. Point cloud filtering on UAV based point cloud. **Measurement**, v. 133, p. 99-111, 2019.

APÊNDICE A – Script utilizado no processamento dos dados

```
20 set PROD_DIR=C:\FAPERJ\Scripts
21 cd %PROD_DIR%
22 set LAS_DIR=C:\FAPERJ\
23 set PROJ=Pinus
24 set SHP=C:\FAPERJ\Scripts

26 mkdir 00_catalog
27 A:\FUSION\catalog /density:1,5,20 %LAS_DIR%\*.las
   %PROD_DIR%\00_catalog\%PROJ%

29 mkdir 01_groundfilter
30 A:\FUSION\groundFilter /smooth:9
   %PROD_DIR%\01_groundfilter\%PROJ%_solo.las 13 %LAS_DIR%\*.las

32 mkdir 02_dtm
33 A:\FUSION\GridSurfaceCreate %PROD_DIR%\02_dtm\%PROJ%_dtm.dtm 0.5 M M
   1 23 0 0 %PROD_DIR%\01_groundfilter\%PROJ%_solo.las
34 A:\FUSION\dtm2ascii %PROD_DIR%\02_dtm\%PROJ%_dtm.dtm

36 mkdir 03_dsm
37 A:\FUSION\canopymodel %PROD_DIR%\03_dsm\%PROJ%_dsm.dtm 0.5 M M 1 23
   0 0 %LAS_DIR%\*.las
38 A:\FUSION\dtm2ascii %PROD_DIR%\03_dsm\%PROJ%_dsm.dtm

40 mkdir 04_LASheight
41 A:\FUSION\ClipData /dtm:%PROD_DIR%\02_dtm\%PROJ%_dtm.dtm /height
   /zmin:0 /zmax:60 %LAS_DIR%\*.las
   %PROD_DIR%\04_LASheight\%PROJ%_norm.las 634543.02 7481564.55 634944.65
   7481963.61

43 mkdir 05_chm
44 A:\FUSION\canopymodel %PROD_DIR%\05_chm\%PROJ%_chm.dtm 0.5 M M 1 23
   0 0 %PROD_DIR%\04_LASheight\%PROJ%_norm.las
45 A:\FUSION\dtm2ascii %PROD_DIR%\05_chm\%PROJ%_chm.dtm
```

ANEXO A – Sintaxe da ferramenta *Catalog*

Catalog [switches] datafile [catalogfile]

Descrição detalhada dos parâmetros da linha de comando da ferramenta *Catalog*. Fonte: Adaptado de McGaughey (2016).

<i>datafile</i>	Arquivo contendo dados LIDAR ou arquivo de texto contendo uma lista de nomes de arquivos (formato .txt).
<i>catalogfile</i>	Nome do arquivo de saída após o processamento dos dados.
<i>Switches</i>	
<i>density:area,min,max</i>	Cria uma imagem para todos os arquivos de dados, onde é possível visualizar a densidade de retorno da área. O parâmetro <i>area</i> refere-se à área do pixel (m ²), enquanto os parâmetros <i>min</i> e <i>max</i> se referem, respectivamente, às densidades de pontos mínima e máxima aceitáveis pela unidade de área.

ANEXO B – Sintaxe da ferramenta *GroundFilter*

GroundFilter [switches] *outputfile* *cellsize* *datafile1* *datafile2* ...

Descrição detalhada dos parâmetros da linha de comando da ferramenta *GroundFilter*. Fonte: Adaptado de McGaughey (2016).

<i>outputfile</i>	Nome do arquivo de saída contendo os pontos classificados como pertencentes ao terreno.
<i>cellsize</i>	Tamanho do pixel utilizado em modelos de superfície intermediária (não é o tamanho do pixel utilizado no DTM).
<i>datafile1</i>	Primeiro arquivo de dados processado (em formato .lda, .las ou .ascii).
<i>datafile2</i>	Segundo arquivo de dados processado (em formato .lda, .las ou .ascii).
<i>Switches</i>	
<i>smooth:#</i>	Utiliza um filtro de foco médio para o modelo de superfície intermediária em uma janela # x #.

ANEXO C – Sintaxe da ferramenta *GridSurfaceCreate*

GridSurfaceCreate [switches] *surfacefile* *cellsize* *xyunits* *zunits* *coordsys* *zone*
horizdatum *vertdatum* *datafile1* *datafile2* ...

Descrição detalhada dos parâmetros da linha de comando da ferramenta *GridSurfaceCreate*.
Fonte: Adaptado de McGaughey (2016).

<i>surfacefile</i>	Nome do arquivo de saída (formato .dtm).
<i>cellsize</i>	Tamanho do pixel do modelo (resolução espacial).
<i>xyunits</i>	Unidades para os dados XY: M para metros, F para pés.
<i>zunits</i>	Unidades para os dados de elevação: M para metros, F para pés.
<i>coordsys</i>	Sistema de coordenadas para o modelo 0 para desconhecido, 1 para UTM, 2 para plano estadual.
<i>zone</i>	Zona do sistema de coordenadas para o modelo (0 para desconhecido).
<i>horizdatum</i>	Datum horizontal para o modelo: 0 para desconhecido, 1 para NAD27, 2 para NAD83.
<i>vertdatum</i>	Datum vertical para o modelo: 0 para desconhecido, 1 para NGVD29, 2 para NAVD88, 3 para GRS80.
<i>datafile1</i>	Primeiro arquivo de dados processado (em formato .lda, .las ou .ascii).
<i>datafile2</i>	Segundo arquivo de dados processado (em formato .lda, .las ou .ascii).

ANEXO D – Sintaxe da ferramenta *DTM2ASCII*

DTM2ASCII [switches] inputfile [outputfile]

Descrição detalhada dos parâmetros da linha de comando da ferramenta *DTM2ASCII*. Fonte: Adaptado de McGaughey (2016).

<i>inputfile</i>	Nome do arquivo .dtm a ser convertido em formato .ascii.
<i>outputfile</i>	Nome do arquivo convertido.

ANEXO E – Sintaxe da ferramenta *CanopyModel*

CanopyModel [switches] *surfacefile* *cellsize* *xyunits* *zunits* *coordsys* *zone* *horizdatum* *vertdatum* *datafile1* *datafile2* ...

Descrição detalhada dos parâmetros da linha de comando da ferramenta *CanopyModel*. Fonte: Adaptado de McGaughey (2016).

<i>surfacefile</i>	Nome do arquivo de saída da superfície da copa (formato .dtm).
<i>cellsize</i>	Tamanho do pixel do modelo (resolução espacial).
<i>xyunits</i>	Unidades para os dados XY: M para metros, F para pés.
<i>zunits</i>	Unidades para os dados de elevação: M para metros, F para pés.
<i>coordsys</i>	Sistema de coordenadas para a superfície da copa: 0 para desconhecido, 1 para UTM, 2 para plano estadual.
<i>zone</i>	Zona do sistema de coordenadas para o modelo (0 para desconhecido).
<i>horizdatum</i>	Datum horizontal para a superfície da copa: 0 para desconhecido, 1 para NAD27, 2 para NAD83.
<i>vertdatum</i>	Datum vertical para a superfície da copa: 0 para desconhecido, 1 para NGVD29, 2 para NAVD88, 3 para GRS80.
<i>datafile1</i>	Primeiro arquivo de dados processado (em formato .lda, .las ou .ascii).
<i>datafile2</i>	Segundo arquivo de dados processado (em formato .lda, .las ou .ascii).

ANEXO F – Sintaxe da ferramenta *ClipData*

ClipData [switches] InputSpecifier SampleFile [MinX MinY MaxX MaxY]

Descrição detalhada dos parâmetros da linha de comando da ferramenta *ClipData*. Fonte: Adaptado de McGaughey (2016).

<i>InputSpecifier</i>	Modelo de arquivo de dados, nome de um arquivo de texto contendo uma lista de nomes de arquivos (formato .txt) ou um arquivo CSV do <i>catalog</i> .
<i>SampleFile</i>	Nome do arquivo de subamostra (a extensão será adicionada) ou um arquivo de texto contendo informações de amostra para 1 ou mais amostras. Cada linha no arquivo de texto deve ter o nome do arquivo de subamostra e os valores MinX MinY MaxX MaxY para a área de amostra separados por espaços ou vírgulas. O nome do arquivo de saída não pode conter espaços.
<i>MinX MinY</i>	Canto inferior esquerdo da caixa delimitadora da área amostrada.
<i>MaxX MaxY</i>	Canto superior direito da caixa delimitadora da área amostrada.
<i>Switches</i>	
<i>dtm:file</i> <i>ground:file</i>	Utiliza o modelo de superfície de terra nua especificado para normalizar os dados, ou seja, subtrai a elevação da superfície de terra nua com a elevação de cada ponto. Utiliza o /zmin para incluir pontos acima de zmin e /zmax para incluir pontos abaixo de zmax. Em operação, apenas os modelos que cobrem a área de amostra serão usados para normalizar os dados do ponto.
<i>zmin:#</i>	Inclui pontos acima da elevação #.
<i>zmax:#</i>	Inclui pontos abaixo da elevação #.
<i>height</i>	Converte os pontos de elevação em alturas acima do chão utilizando o DTM especificado.