

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL  
CAMPUS MONTE CARMELO**

**MÁRIO CUNHA SEQUEIRA**

**ESTIMATIVAS DENDROMÉTRICAS OBTIDAS POR VANT PARA *Swietenia  
macrophylla* KING EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

**MONTE CARMELO/MG  
AGOSTO DE 2022**

MÁRIO CUNHA SEQUEIRA

ESTIMATIVAS DENDROMÉTRICAS OBTIDAS POR VANT PARA *Swietenia  
macrophylla* KING EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda

Coorientador: Prof. Dr. Emanuel Arnoni Costa

MONTE CARMELO/MG  
AGOSTO DE 2022

MÁRIO CUNHA SEQUEIRA

ESTIMATIVAS DENDROMÉTRICAS OBTIDAS POR VANT PARA *Swietenia*  
*macrophylla* KING EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao curso de Engenharia Florestal, Campus  
Monte Carmelo da Universidade Federal de  
Uberlândia como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Florestal

Monte Carmelo, 16 de agosto de 2022

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda  
Orientador

---

Prof. Dr. Milton Serpa Meira Junior (UFU)

---

Prof. Dr. Elias de Sá Farias (UEMG)

MONTE CARMELO/MG  
AGOSTO DE 2022

## RESUMO

Estudos com geotecnologias são incipientes no meio florestal, tornando-se necessária a avaliação da confiabilidade de estimativas geradas. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a compatibilidade entre estimativas dendrométricas obtidas por meio de inventário florestal tradicional e estimativas obtidas por voo de drone para a espécie mogno brasileiro. O plantio possui 2,41 ha, composto pelas espécies cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem.), mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) e café (*Coffea arabica* L.), localizado em Monte Carmelo. Primeiramente, um voo de VANT foi conduzido, onde foi obtida fotografia aérea. Por meio desta imagem, as áreas de copa das árvores selecionadas foram definidas. Após a execução do voo, realizamos a identificação da espécie em campo, além da medição dos diâmetros, alturas totais e comerciais das árvores selecionadas. A partir da correlação entre variáveis e utilizando o método *stepwise*, modelos para estimar o diâmetro à altura do peito (d), a altura comercial (hc) e a altura total (h) foram testados. Posteriormente, a compatibilidade das estimativas das variáveis dendrométricas foi analisada pelo teste F de Graybill. Os resultados demonstram que, para as condições em que o estudo foi realizado, a utilização de imagem de drone gerou estimativas significativamente diferentes àquelas coletadas em campo.

**Palavras-chave:** Inventário florestal, geotecnologias, variáveis dendrométricas.

## ABSTRACT

Studies with geotechnologies are incipient in the forest environment, making it necessary to assess the reliability of the generated estimates. Thus, the objective of this work was to verify the compatibility between dendrometric estimates obtained through traditional forest inventory and estimates obtained by drone flight for the Brazilian mahogany species. The plantation covers 2.41 ha, composed of Australian cedar (*Toona ciliata* M. Roem.), Brazilian mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and coffee (*Coffea arabica* L.) species, located in Monte Carmelo. First, a UAV flight was conducted, where aerial photography was taken. Through this image, the canopy areas of the selected trees were defined. After the execution of the flight, the identification of the species in the field was carried out, in addition to measuring the diameters, total and commercial heights of the selected trees. From the correlation between variables and using the stepwise method, models to estimate the diameter at breast height (d), commercial height (hc) and total height (h) were tested. Subsequently, the compatibility of the estimates of the dendrometric variables was analyzed using Graybill's F test. The results demonstrate that, for the conditions in which the study was carried out, the use of drone image generated significantly different estimates from those collected in the field.

**Keywords:** Forest inventory, geotechnologies, dendrometric variables.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mosaico de ortofotos de um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	4
<b>Figura 2.</b> Exemplo das linhas de plantio selecionadas para a realização do estudo, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais. Em que: setas amarelas: linhas selecionadas; Traços vermelhos: demais linhas não utilizadas no estudo. ....	5
<b>Figura 3.</b> Vetorização das copas selecionadas e utilização da ferramenta de metragem em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais. ....	5
<b>Figura 4.</b> Copas de interesse em destaque, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais. ....	6
<b>Figura 5.</b> Copas de interesse em destaque com ampliação, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais. ....	6
<b>Figura 6.</b> Copas extraídas pelo índice de vegetação VARI, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais. ....	8
<b>Figura 7.</b> Copas extraídas pelo índice de vegetação GLI, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais. ....	8
<b>Figura 8.</b> Copas extraídas pelo índice de vegetação NDVI_VIS, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais. ....	9
<b>Figura 9.</b> Dispersão de resíduos dos dados de ajuste para estimativas de diâmetro (d) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais. ....	16
<b>Figura 10.</b> Dispersão de resíduos dos dados de ajuste para estimativas de altura comercial (hc) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	17
<b>Figura 11.</b> Dispersão de resíduos dos dados de ajuste para estimativas de altura total (h) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	18
<b>Figura 12.</b> Dispersão de resíduos dos dados da validação para estimativas de diâmetro (d) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	20
<b>Figura 13.</b> Dispersão de resíduos dos dados da validação para estimativas de altura comercial (hc) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	21
<b>Figura 14.</b> Dispersão de resíduos dos dados da validação para estimativas de altura total (h) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	22

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Índices de vegetação utilizados em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais .....	7
<b>Tabela 2.</b> Modelos testados para estimativa de variáveis dendrométricas para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais .....	9
<b>Tabela 3.</b> Índice de correlação de Pearson entre as variáveis dependentes e as respectivas variáveis independentes dos modelos avaliados para estimar variáveis dendrométricas para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais .....	11
<b>Tabela 4.</b> Estatísticas descritivas das variáveis observadas em campo e calculadas pelo QGIS, para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais .....	12
<b>Tabela 5.</b> Coeficientes e estatísticas de avaliação do ajuste na estimativa de variáveis dendrométricas para mogno em um plantio agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	14
<b>Tabela 6.</b> Estatísticas de avaliação do ajuste das equações aplicadas aos dados de validação na estimativa de variáveis dendrométricas para mogno em um plantio agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	19
<b>Tabela 7.</b> Teste F de Graybill na análise da compatibilidade entre estimativas obtidas por meio de imagem e coletadas em campo, para mogno em um plantio agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais.....	23

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3 METODOLOGIA.....	3
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	10
5 CONCLUSÕES .....	24
REFERÊNCIAS .....	25

## 1 INTRODUÇÃO

Notável parte da produção madeireira para fins comerciais é advinda de plantios florestais. No Brasil, a estimativa da área relacionada aos plantios florestais é cerca de 9,55 milhões de hectares, os quais representam um crescimento de 10,2% na cadeia produtiva do setor de árvores cultivadas entre os anos de 2010 e 2020 no Produto Interno Bruto (PIB) nacional (IBÁ, 2021). Tendo em vista o impacto expressivo na economia nacional, existe necessidade constante das empresas florestais desenvolverem metodologias para estimar a produção de volume ou biomassa (SILVA, 2007). Uma forma de desenvolver estudos e mensurar precisamente a produção de matéria-prima e os recursos que uma floresta pode gerar é por meio do inventário florestal.

Segundo ABDO (2008) os Sistemas Agroflorestais constituem sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes (árvores, arbustos, palmeiras) são manejadas em associação com plantas herbáceas, culturas agrícolas e/ou forrageiras e/ou em integração com animais, em uma mesma unidade de manejo, de acordo com um arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações ecológicas entre estes componentes. A elaboração e execução de um modelo de plantio agroflorestal permite a rotatividade de diferentes espécies, gerando multiprodutos que permitem uma renda constante e pluralizada.

O inventário florestal é uma atividade que permite a caracterização de determinada área, obtendo informações de caráter quantitativo e qualitativo de interesse (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Seus objetivos são determinados conforme a utilização da área, o estudo envolvido e até mesmo para conservação ou preservação das espécies nativas, considerando o ecossistema como um todo. Segundo Ubialli (2009), o sucesso do inventário florestal está ligado à definição correta do processo de amostragem, do tamanho e forma das unidades amostrais, além da intensidade em que a amostra será alocada.

Em plantios florestais com fins madeireiros, o inventário florestal tem como interesse, dentre outras, a estimativa da produção potencial de volume, as condições fitossanitárias e estruturais das espécies e a classe da copa. Sendo assim, o inventário é um processo base para que exista um planejamento do uso dos recursos florestais. A maneira tradicional de realizar o levantamento se dá com instalação e medição de unidades amostrais em campo.

Contudo, além dos métodos tradicionais, existem outras tecnologias que possibilitam determinar a produção florestal de maneira indireta, em um espaço de tempo menor em relação aos métodos tradicionais. A utilização dessas tecnologias em atividades agrárias vem

aumentando exponencialmente nos últimos anos, visto que tal ciência é capaz de gerar inúmeros benefícios para quem dela usufruir de forma correta (SOUZA, 2007).

Os veículos aéreos não tripulados (VANT), também conhecidos como drones, utilizam tecnologia denominada sensoriamento remoto e estão cada vez mais presentes em atividades rurais (SOUZA, 2007). Apresentam muitas vantagens, como maior versatilidade, melhor qualidade de resolução de imagem obtida e baixo custo operacional.

O sensoriamento remoto é a tecnologia da utilização conjunta de sensores, equipamentos de processamento e transmissão de dados e aeronaves (NOVO, 1992). Possui o objetivo de estudar o ambiente terrestre por meio de registro e análise das interações eletromagnéticas com as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diferentes manifestações.

A partir da realização de um voo por meio de VANT e a condução de um inventário florestal tradicional em uma mesma área, torna-se possível a avaliação da compatibilidade entre estimativas dendrométricas de interesse. Em outras palavras, é possível aferir a relação das fotografias aéreas com estimativas resultantes do inventário tradicional. Em vários trabalhos nesta temática, as estimativas de variáveis dendrométricas e para o povoamento se dão por modelos de regressão, os quais muitas vezes são definidos pelo método *stepwise*.

O método *stepwise* é bastante utilizado em estudos exploratórios, onde um modelo teórico de investigação é elaborado e nele é incluso hipóteses sobre o relacionamento entre variáveis. A análise desta compatibilidade é essencial visto que o inventário é um procedimento que demanda considerável tempo, recursos e mão de obra na etapa de obtenção de dados. Sendo assim, medidas que possam reduzir tempo e custos na etapa de coleta e, ainda, apresentar resultados acurados são extremamente viáveis e de suma importância serem estudadas e desenvolvidas.

Sob a hipótese de que a utilização de um VANT é viável e capaz de gerar respostas precisas e compatíveis àquelas obtidas no inventário florestal tradicional em um plantio consorciado, este trabalho teve como objetivo verificar a compatibilidade entre estimativas dendrométricas obtidas por meio de inventário florestal tradicional e estimativas obtidas por voo de VANT para a espécie de mogno brasileiro em um sistema agroflorestal localizado na cidade de Monte Carmelo, Minas Gerais.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar as estimativas obtidas por meio do Inventário Florestal tradicional e a base de dados gerada pela ortofoto obtida pelo VANT.

### 2.2 Objetivos específicos

- Realizar um censo para a descrição e caracterização da área;
- Voo de drone para a obtenção da ortofoto;
- Selecionar as árvores de interesse, por meio de ortofoto;
- Levantamento de campo para obter as variáveis de interesse das árvores selecionadas;
- Cálculo da área de copa para cada árvore selecionada;
- Cálculo dos índices de vegetação;
- Ajuste e avaliação de modelos para estimar variáveis dendrométricas;
- Aplicação de teste estatístico para checar a similaridade das estimativas obtidas pela ortofoto e pelo levantamento em campo.

## 3 METODOLOGIA

Os dados foram obtidos de um plantio consorciado entre as espécies cedro australiano (*Toona ciliata* M.Roem.), mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) e café (*Coffea arabica* L.), com área aproximadamente de 2,41 ha. Este sistema agroflorestal (SAF) foi implantado no município de Monte Carmelo, região do Alto Paranaíba, estado de Minas Gerais, com coordenada de localização 18°43'43'' S e 47°31'27'' W, predominância de latossolos vermelhos e em uma região úmida (IDE-Sisema). O café foi implantado na linha de plantio das espécies arbóreas, com arranjo desuniforme. O espaçamento é próximo a 3,0 m entre as linhas e irregular nas linhas entre as espécies arbóreas, intercaladas pelo café.

A primeira etapa deste trabalho se deu pela realização do censo florestal do plantio, possibilitando a obtenção das características de interesse do sistema agroflorestal. O censo teve papel fundamental para reconhecimento da área de estudo, tendo como produto uma base de dados que, posteriormente, indicou a seleção das copas das árvores de interesse.

Após a realização do censo, uma imagem aérea foi obtida por meio de um drone. O modelo de drone utilizado foi o “Phantom 4 Advanced Multirotor” da empresa DJI. Este drone conta com um sensor de uma polegada CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), o qual possui 20 megapixels de qualidade de imagem, seis sensores eletrônicos de bússola e um sistema GNSS (GPS e Glonass). Este modelo possui autonomia de voo de 30 minutos.

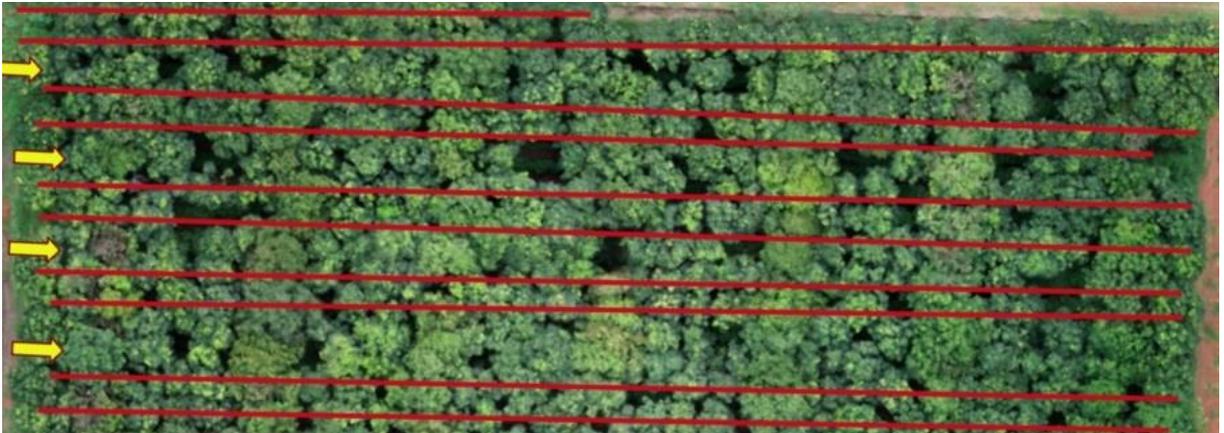
O voo do drone foi realizado por volta das 10:00 h do dia primeiro de março de 2021. Este horário é indicado para evitar problemas de sombreamento, ventos fortes e outros fatores ambientais (GONÇALVES e HENRIQUES, 2015). Com o resultado da captura de imagens, um mosaico de ortofotos foi gerado utilizando o programa Agisoft Photoscan®, como pode ser observado na Figura 1.



**Figura 1.** Mosaico de ortofotos de um sistema agroflorestral localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.

A partir do mosaico de ortofotos e da base de dados do censo, o mapeamento no QGIS foi realizado em 5 etapas (I; II; III; IV; V). Todas as linhas de plantio foram estabelecidas e vetorizadas (I); a próxima etapa consistiu na seleção das linhas de plantio medidas em campo a serem utilizadas no trabalho (II); posteriormente, ocorreu a vetorização das copas das árvores identificadas nas linhas de plantio selecionadas (III); em seguida, determinou-se as distâncias entre as árvores selecionadas por meio da ferramenta de metragem do QGIS (IV); e como

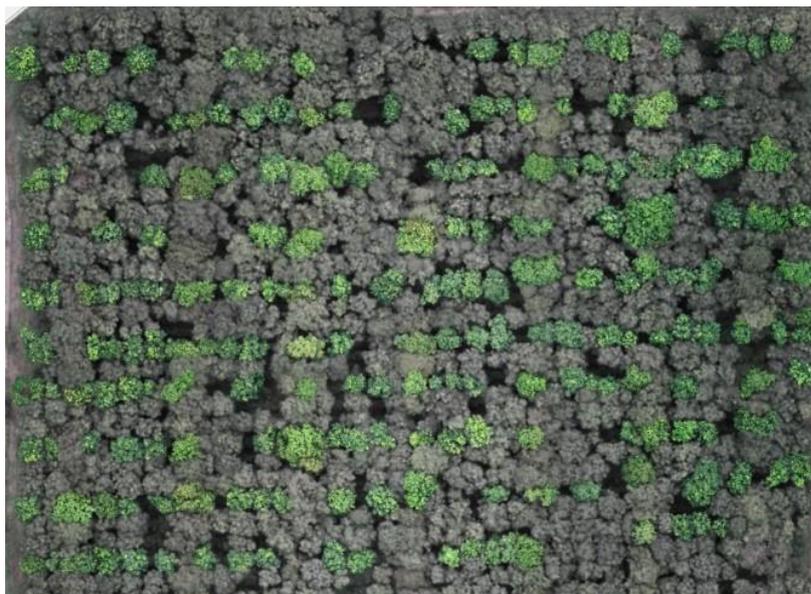
resultado, o mapa com as copas de interesse delimitadas foi gerado (V). Estas cinco etapas estão demonstradas nas Figuras 2 a 5.



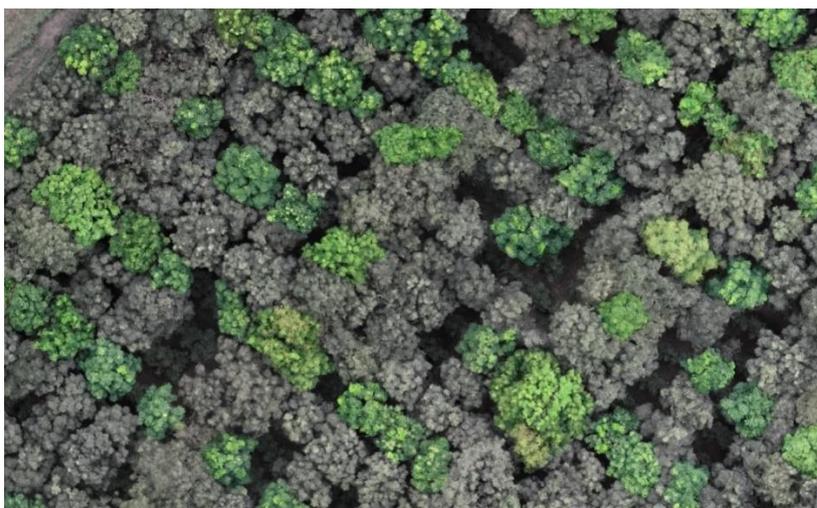
**Figura 2.** Exemplo das linhas de plantio selecionadas para a realização do estudo, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais. Em que: setas amarelas: linhas selecionadas; Traços vermelhos: demais linhas não utilizadas no estudo.



**Figura 3.** Vetorização das copas selecionadas aleatoriamente e utilização da ferramenta de metragem em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.



**Figura 4.** Copas de interesse em destaque, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.



**Figura 5.** Copas de interesse em destaque com ampliação, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.

A próxima etapa consistiu na medição de variáveis em campo com o objetivo de atualizá-las para as copas selecionadas. Com uma equipe de três pessoas, as informações de CAP (circunferência à altura do peito); altura comercial; altura total e espécie foram aferidas e registradas em uma planilha para todas as árvores das linhas selecionadas (cops de interesse). A CAP foi medida por uma fita métrica sempre pelo mesmo operador, respeitando a altura de medição de 1,3 m acima da base da árvore.

Posteriormente, os valores de CAP foram convertidos para  $d$  (diâmetro à altura do peito) pela divisão  $d = CAP/\pi$ . As alturas das árvores foram medidas com a utilização do clinômetro Haglöf ECII sempre pelo mesmo operador, a uma distância fixa de 20 m da árvore, garantindo

que essa distância fosse superior às alturas das árvores do plantio. A altura comercial foi definida como a distância entre a superfície do solo e o ponto em que há perfilhamento do tronco principal em galhos ou uma forte tortuosidade que limite, até aquele ponto, o aproveitamento contínuo da tora. Para a determinação da distância entre as árvores, estabelecida pela ferramenta de distância do QGIS, utilizou-se uma trena de 30 m, a qual foi utilizada por dois operadores para a correta identificação das distâncias entre as árvores.

De posse de todos os dados coletados em campo, uma tabela de atributos no QGIS foi digitalizada, onde todas as copas identificadas tiveram suas características inseridas na tabela, possibilitando a identificação descritiva das variáveis de interesse e as respectivas localizações no plantio. Ainda no mesmo programa, três índices de vegetação com respostas espectrais nas bandas RGB (Red, Green e Blue) foram gerados, sendo: VARI (1), GLI (2) e NDVI\_VISÍVEL (3). Estes índices permitiram a diferenciação dos pixels presentes na área da copa vetorizada, e estão representados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Índices de vegetação utilizados em um sistema agroflorestral localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais

Índice de vegetação	Abreviação	Expressão	Aplicações	Referência
Visible Normalized Difference Vegetation Index	NDVI_VISÍVEL	$\frac{(G - R)}{(G + R)}$	Plantas daninhas, cobertura vegetal	Tucker (1995)
Green Leaf Index	GLI	$\frac{(2G - R - B)}{(2G + R + B)}$	Clorofila, cobertura vegetal	Louhaichi, Borman e Johnson (2001)
Vegetation Resistance to Atmosphere Index	VARI	$\frac{(G - R)}{(G + R - B)}$	Biomassa	Abrahão. (2009)

Em que: G = banda do verde (Green); B = banda do azul (Blue); R = banda do vermelho (Red).

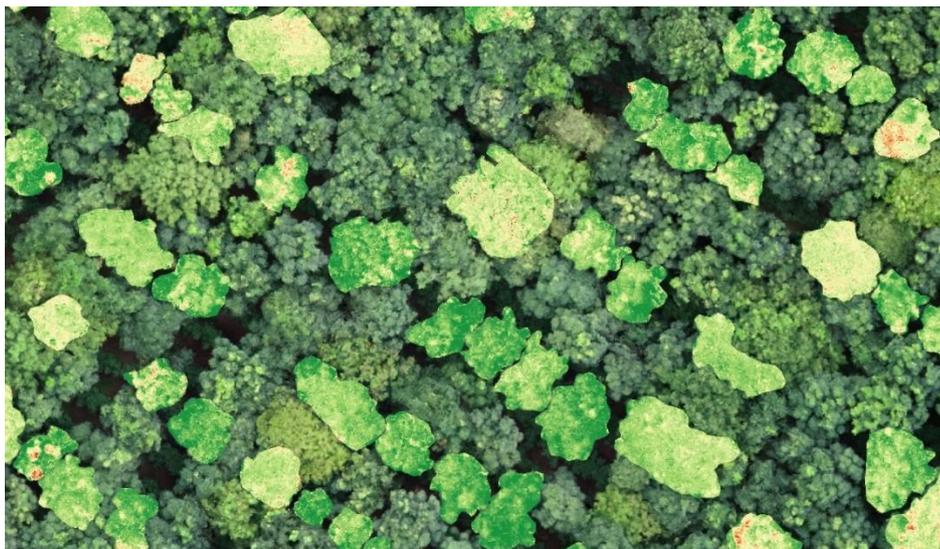
Por meio do QGIS, as médias dos valores dos pixels presentes na área de cada copa foram calculadas. Este valor médio correspondeu a uma variável independente para a realização dos ajustes dos modelos. No programa QGIS, por meio da ferramenta de corte da camada de máscara, as copas foram extraídas para que a análise se restringisse às árvores coletadas em campo, sem que houvesse influência do restante da imagem. Este processo de extração foi realizado para os três índices gerados, obtendo um recorte das copas para cada índice de vegetação (Figuras 6 a 8).



**Figura 6.** Copas extraídas pelo índice de vegetação VARI, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.



**Figura 7.** Copas extraídas pelo índice de vegetação GLI, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.



**Figura 8.** Copas extraídas pelo índice de vegetação NDVI\_VIS, em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.

Uma tabela no Microsoft Office Excel® foi organizada com todas as variáveis de interesse para que, posteriormente, os ajustes dos modelos fossem realizados. A partir da análise da correlação de Pearson entre as variáveis e utilizando o método *stepwise*, os modelos a serem testados foram definidos, os quais estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Modelos testados para estimativa de variáveis dendrométricas para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais

Variável	Nº. do Modelo	Modelo
Diâmetro à altura do peito (d)	1	$d = f(ac)$
	2	$d = f(ac; h)$
	3	$d = f(ac; h; NDVI\_VIS)$
	4	$d = f(ac; h; VARI)$
	5	$d = f(ac; h; GLI)$
	6	$d = f(ac; h^2; VARI; GLI^{-1})$
Altura comercial (hc)	7	$hc = f(ac)$
	8	$hc = f(ac; \ln(d))$
	9	$hc = f(ac; \ln(d); NDVI\_VIS)$
	10	$hc = f(ac; \ln(d); VARI)$
	11	$hc = f(ac; \ln(d); GLI)$
	12	$hc = f(ac^2; \ln(d); NDVI\_VIS^2; VARI^{-1}; GLI^{-1})$
Altura total (h)	13	$h = f(ac)$
	14	$h = f(ac; d^{-1})$
	15	$h = f(ac; d^{-1}; NDVI\_VIS)$
	16	$h = f(ac; d^{-1}; VARI)$
	17	$h = f(ac; d^{-1}; GLI)$
	18	$h = f(d^{-1}; VARI)$

Em que: d = diâmetro à altura do peito (cm); hc = altura comercial (m); h = altura total (m); ac = área de copa (m<sup>2</sup>); NDVI\_VIS = índice de vegetação 1; VARI = índice de vegetação 2; GLI = índice de vegetação 3.

A partir das variáveis dendrométricas observadas, das áreas de copa e das médias dos *pixels* gerados pelos índices de vegetação, o programa SAS foi utilizado para o ajuste dos modelos e obtenção das equações. Para os ajustes dos modelos, apenas as árvores de mogno do plantio foram selecionadas. No total, 112 árvores foram utilizadas para o ajuste e 56 para a validação, aleatoriamente selecionadas. As árvores de cedro estavam presentes em pequena quantidade (34 árvores), fato que inviabilizou o ajuste dos modelos para essa espécie.

Para verificar possíveis problemas de multicolinearidade, os fatores de inflação da variância foram analisados para cada variável independente nos modelos (SCOLFORO, 2005). Para a avaliação das equações, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) e a dispersão dos resíduos foram calculados. Em todos os ajustes, a significância dos coeficientes foi observada pelo p-valor ( $\alpha \leq 5\%$ ) do teste-t.

Para verificar a compatibilidade das estimativas das variáveis dendrométricas (d, hc e h) obtidas pelas imagens com os respectivos valores observados em campo, o teste F de Graybill (1976) foi utilizado com o auxílio do software Excel®. Para tanto, procedeu-se o ajuste de um modelo linear simples, dado por  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 Y_c$ , em que a variável dependente  $Y_i$  representou a estimativa por meio de imagem (método alternativo) e a variável independente  $Y_c$  a variável coletada em campo (método padrão). A partir disto, testou-se a hipótese nula ( $h_0$ ) de que o coeficiente  $\beta_0$  e  $\beta_1$  são estatisticamente iguais a 0 e 1, respectivamente, contra a hipótese alternativa ( $h_1$ ) de rejeição.

Para testar a hipótese formulada, utilizou-se a expressão  $F_{cal} = \frac{(\beta - \theta)'(Y'Y)(\beta - \theta)}{2QM_{res}}$ , em que:  $\beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix}$ ;  $\theta = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ ;  $Y'Y = \begin{bmatrix} n & \sum Y \\ \sum Y & \sum Y^2 \end{bmatrix}$  e  $QM_{res}$  = quadrado médio do resíduo da regressão. Se o valor de F calculado ( $F_{calc}$ ) foi menor que o valor de F tabelado  $F_\alpha$  (G.L.; n-2; 2) ( $F_{Tab}$ ), a hipótese  $h_0$  não foi rejeitada, admitindo a similaridade entre os métodos avaliados.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como primeiro resultado temos o índice de correlação de Pearson, o qual apresentou baixa correlação observada entre as variáveis dependentes e independentes dos modelos avaliados. Na Tabela 3 estão apresentadas as correlações de Person ( $r$ ) entre a variável dependente e as respectivas variáveis independentes. Esses valores de correlação contemplaram toda a base de dados, com o intuito de verificar a relação entre as variáveis de forma mais abrangente.

Observam-se correlações abaixo de 0,50, resultado da ampla variação destas variáveis no plantio. Os índices de vegetação resultaram em correlações não significativas com as variáveis dependentes, exceto o índice GLI com a altura total (h). Estas análises foram realizadas tendo como base o estudo de Hentz (2018) para a validação do p-valor com uma margem de aceitação de 0,05.

**Tabela 3.** Índice de correlação de Pearson entre as variáveis dependentes e as respectivas variáveis independentes dos modelos avaliados para estimar variáveis dendrométricas para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais

Y	X <sub>i</sub>	r	p - valor
d	ac	0,22	0,0050
	h	0,44	<0,0001
	NDVI	0,13	0,1017
	VARI	0,11	0,1563
	GLI	0,01	0,8983
hc	ac	0,14	0,0690
	d	0,34	<0,0001
	NDVI	-0,08	0,3276
	VARI	0,03	0,6689
	GLI	-0,02	0,8173
h	ac	0,05	0,5127
	d	0,44	<0,0001
	NDVI	0,15	0,0558
	VARI	-0,13	0,0964
	GLI	0,17	0,0249

Em que Y = variável dependente, X<sub>i</sub> = variáveis independentes, d = diâmetro à altura do peito (cm); hc = altura comercial (cm); h = altura total (cm); ac = área de copa (m<sup>2</sup>), NDVI\_VIS = índice de vegetação 1, VARI = índice de vegetação 2, GLI = índice de vegetação 3.

Com os resultados dos levantamentos realizados, a Tabela 4 foi elaborada com a finalidade de apresentar as estatísticas descritivas das variáveis. Pode-se observar maior variação do índice VARI e a área de copa. Segundo a classificação do coeficiente de variação (CV%) realizada por Pimentel Gomes (1985), nota-se que as variáveis d, hc e h apresentaram variação média (CV entre 10% e 20%), tanto para as árvores do ajuste quanto para as da validação.

**Tabela 4.** Estatísticas descritivas das variáveis observadas em campo e calculadas pelo QGIS, para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais

Tipo	Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
Ajuste	d	14,10	21,25	31,00	16,30
	h	9,00	13,94	17,20	11,74
	hc	4,00	5,51	8,00	14,60
	ac	7,10	20,81	99,05	52,41
	NDVI_VIS	-0,31	-0,20	-0,12	18,67
	VARI	-0,59	0,24	0,99	123,66
	GLI	-0,53	-0,41	-0,32	10,20
Validação	d	13,10	21,89	29,10	17,03
	h	10,00	14,32	17,00	10,93
	hc	4,40	5,73	10,00	15,66
	ac	5,29	20,94	49,75	39,60
	NDVI_VIS	-0,28	-0,20	-0,14	17,95
	VARI	-0,61	0,19	0,61	123,72
	GLI	-0,52	-0,41	-0,33	8,95

Em que: d = diâmetro à altura do peito (cm); hc = altura comercial (m); h = altura total (m); ac = área de copa (m<sup>2</sup>); NDVI\_VIS = índice de vegetação 1; VARI = índice de vegetação 2; GLI = índice de vegetação 3.

Para a variável ac, a variação está classificada como muito alta (CV acima de 30%), representando grande variação das áreas de copas observadas nas árvores de mogno (Tabela 2). O motivo para essa variação ampla das copas está relacionado com a forma que foi conduzido o plantio, tendo em vista que não foi um plantio devidamente planejado, com espaçamento de plantio irregular e desvio expressivo à linearidade do plantio. Este fato fez com que as árvores plantadas no local crescessem de formas muito diferentes, ocorrendo a supressão que ocasiona a sobreposição das copas que interfere na coleta da imagem aérea, dificultando a identificação exata de cada copa.

As amplitudes expressas pelos índices de vegetação NDVI\_VIS e GLI demonstraram que o coeficiente de variação foi médio, indicando que *pixels* com respostas espectrais diferentes estão presentes em menor quantidade. Por outro lado, o índice VARI apresentou alto coeficiente de variação, o que indica ser um índice interessante para os estudos, visto que conseguiu captar maior variação de resposta espectral dos *pixels* (Tabela 4).

Na Tabela 5 estão apresentados os coeficientes das equações geradas a partir do ajuste dos modelos. É possível identificar que as equações 1 (d em função do Ac), 7 (hc em função de ac<sup>2</sup>) e 13 (h em função do ac) promoveram menores valores de R<sup>2</sup><sub>ajust</sub>. As equações 6, 12 e 18 foram as que proporcionaram maiores valores de R<sup>2</sup><sub>ajust</sub> e menores erros padrões da estimativa, sendo as mais adequadas para estimar o diâmetro (d) a altura comercial (hc) e a altura total (h), respectivamente, para a espécie de mogno brasileiro em um plantio consorciado com cedro e café.

Por meio destes resultados, observa-se que o índice VARI se destacou, estando presente nas três equações, seguido pelo índice GLI. Cabe mencionar que as variáveis utilizadas nos modelos não apresentaram problemas com multicolinearidade, para todos os modelos analisados. Os valores de fatores de inflação da variância (VIF) foram abaixo de 10, sendo o valor máximo observado de 2,49. Conforme alguns autores, os problemas com multicolinearidade ocorrem quando os valores de VIF se apresentam acima de 10 (SCOLFORO, 2005).

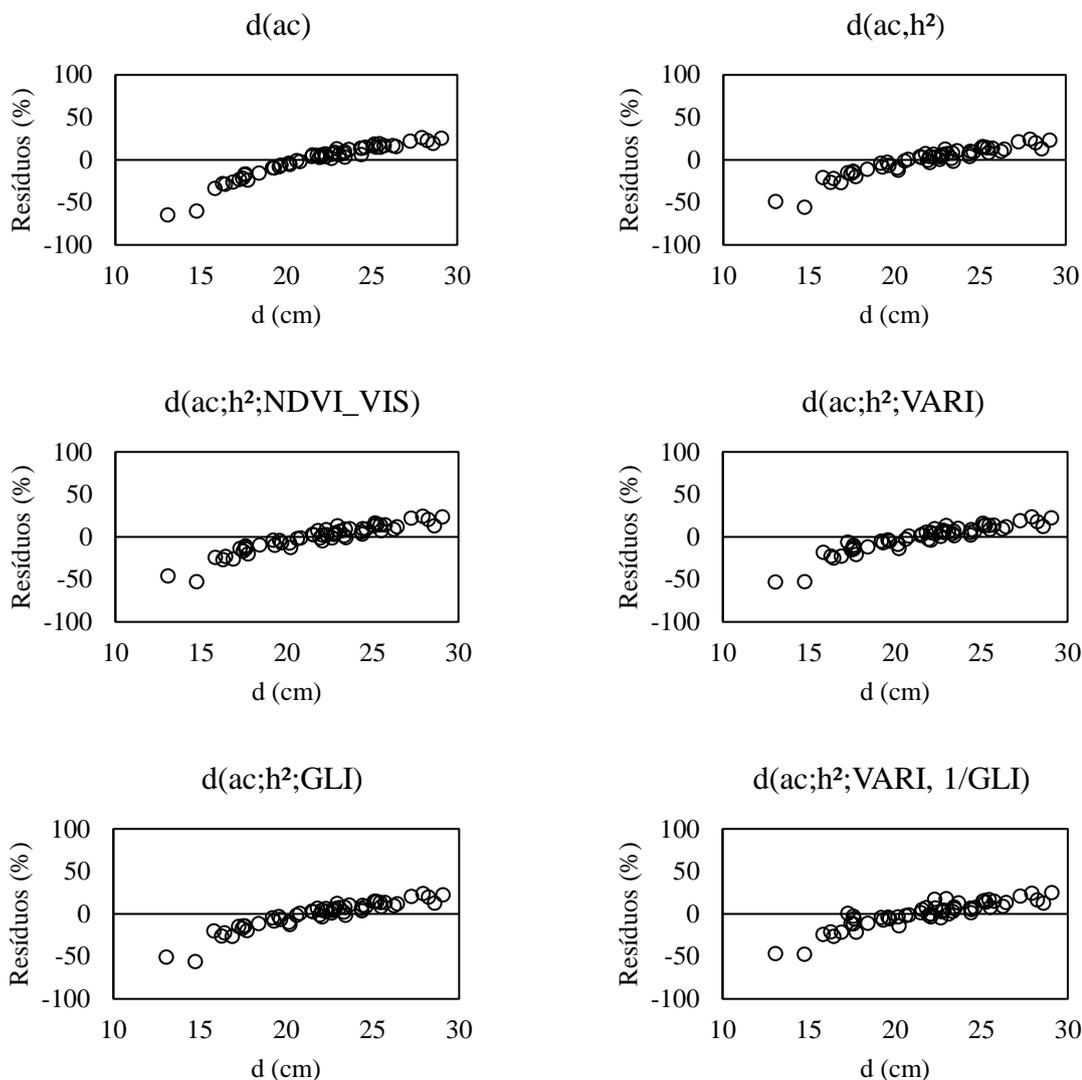
**Tabela 5.** Coeficientes e estatísticas de avaliação do ajuste na estimativa de variáveis dendrométricas para mogno em um plantio agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais

Eq.	Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{ajust}$	$S_{yx}$ (%)
1	$d = \beta_0 + \beta_1 * ac$	19,5431 (<0,0001)	0,0825 (0,0057)	- -	- -	- -	- -	0,0589	15,77
2	$d = \beta_0 + \beta_1 * ac + \beta_2 * h^2$	15,4212 (<0,0001)	0,0807 (0,0051)	0,0211 (0,0028)	- -	- -	- -	0,1252	15,21
3	$d = \beta_0 + \beta_1 * ac + \beta_2 * h^2 + \beta_3 * NDIV\_VIS$	16,8775 (<0,001)	0,0819 (0,0046)	0,0205 (0,0038)	6,7178 (0,4109)	- -	- -	0,1226	15,26
4	$d = \beta_0 + \beta_1 * ac + \beta_2 * h^2 + \beta_3 * VARI$	14,5540 (<0,001)	0,0849 (0,0031)	0,0229 (<0,0013)	1,7316 (<0,0920)	- -	- -	0,1401	15,07
5	$d = \beta_0 + \beta_1 * ac + \beta_2 * h^2 + \beta_3 * GLI$	14,3802 (0,0001)	0,0799 (0,0058)	0,0215 (0,0029)	-2,3413 (0,7508)	- -	- -	0,1179	15,26
6	$d = \beta_0 + \beta_1 * ac + \beta_2 * h^2 + \beta_3 * VARI + \beta_4 * \frac{1}{GLI}$	5,5946 (0,2748)	0,0965 (0,0010)	0,0215 (0,0023)	3,9248 (0,0132)	-3,5058 (0,0676)	- -	0,1588	14,88
7	$hc = \beta_0 + \beta_1 * ac^2$	5,4325 (<0,0001)	0,0002 (0,0413)	- -	- -	- -	- -	0,0286	14,36
8	$hc = \beta_0 + \beta_1 * ac^2 + \beta_2 * lnd$	1,2775 (0,3539)	0,0001 (0,1437)	1,3737 (0,0030)	- -	- -	- -	0,096	14,00
9	$hc = \beta_0 + \beta_1 * ac^2 + \beta_2 * lnd + \beta_3 * NDVI\_VIS$	0,3333 (0,8189)	0,0001 (0,1368)	1,4511 (0,0017)	-3,4711 (0,0702)	- -	- -	0,115	13,82
10	$hc = \beta_0 + \beta_1 * ac^2 + \beta_2 * lnd + \beta_3 * VARI$	1,2398 (0,3696)	0,0001 (0,1595)	1,4007 (0,0027)	-0,1723 (0,4757)	- -	- -	0,0919	14,00
11	$hc = \beta_0 + \beta_1 * ac^2 + \beta_2 * lnd + \beta_3 * GLI$	1,7239 (0,2735)	0,0001 (0,1330)	1,3670 (0,0033)	1,0217 (0,5520)	- -	- -	0,0906	14,00
12	$hc = \beta_0 + \beta_1 * ac^2 + \beta_2 * lnd + \beta_3 * NDVI_{VIS}^2 + \beta_4 * \frac{1}{VARI} + \beta_5 * \frac{1}{GLI}$	-1,9066 (0,2512)	0,0001 (0,0593)	1,4606 (0,0009)	17,7426 (0,0016)	0,0079 (0,019)	-0,8712 (0,0144)	0,1952	13,09
13	$h = \beta_0 + \beta_1 * ac$	13,8812 (<0,0001)	0,0033 (0,8201)	- -	- -	- -	- -	0,0086	11,87
14	$h = \beta_0 + \beta_1 * ac + \beta_2 * \frac{1}{d}$	17,3088 (<0,0001)	-0,0073 (0,6030)	-66,4078 (0,0007)	- -	- -	- -	0,0854	11,29
15		17,8332	-0,0065	-64,6402	3,0724	-	-	0,0821	11,29

Eq.	Modelos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{ajust}$	$S_{yx}$ (%)
	$h = \beta_0 + \beta_1 * ac + \beta_2 * \frac{1}{d} + \beta_3 * NDVI\_VIS$	(<0,0001)	(0,6459)	(0,0010)	(0,4376)	-	-		
16	$h = \beta_0 + \beta_1 * ac + \beta_2 * \frac{1}{d} + \beta_3 * VARI$	17,7632 (<0,0001)	-0,0103 (0,4601)	-69,4224 (0,0003)	-1,0035 (0,0409)	-	-	0,1121	11,08
17	$h = \beta_0 + \beta_1 * ac + \beta_2 * \frac{1}{d} + \beta_3 * GLI$	19,8630 (<0,0001)	-0,0052 (0,7082)	-65,2531 (0,0007)	6,3329 (0,0694)	-	-	0,1048	11,15
18	$h = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{d} + \beta_2 * VARI$	17,3921 (<0,0001)	-66,3490 (0,0004)	-0,9662 (0,0472)	-	-	-	0,1158	11,08

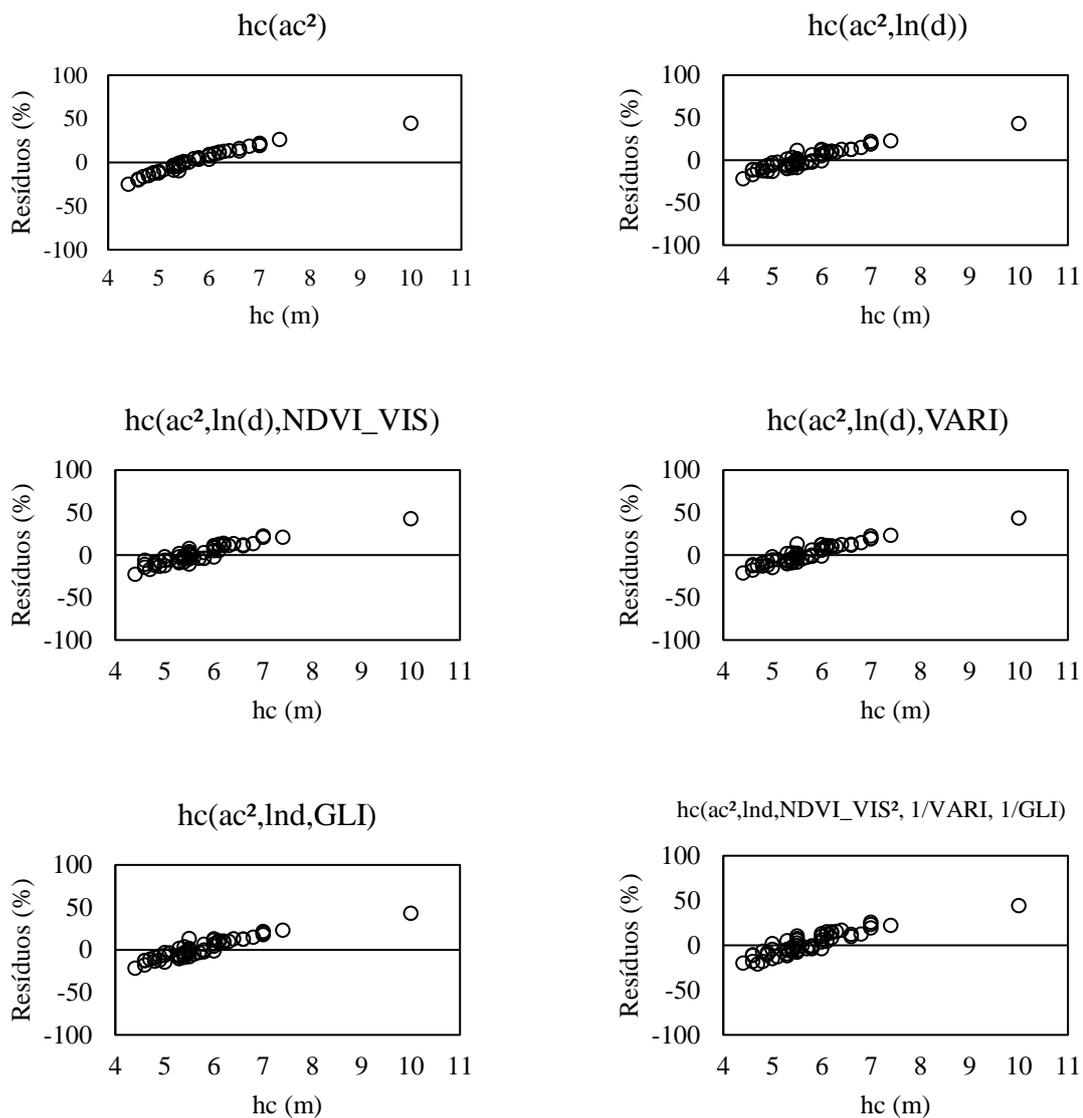
Em que:  $\beta_i$  = coeficientes estimados;  $R^2_{ajust}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  (%) = erro padrão da estimativa percentual; entre parênteses estão os p-valores; d = diâmetro; h = altura total; hc = altura comercial; ac = área de copa; NDVI\_VIS = índice de vegetação 1; VARI = índice de vegetação 2; GLI = índice de vegetação 3.

Os gráficos de resíduos para avaliação de possíveis tendências dos modelos avaliados para os dados de ajuste estão apresentados nas Figuras 9 a 11.



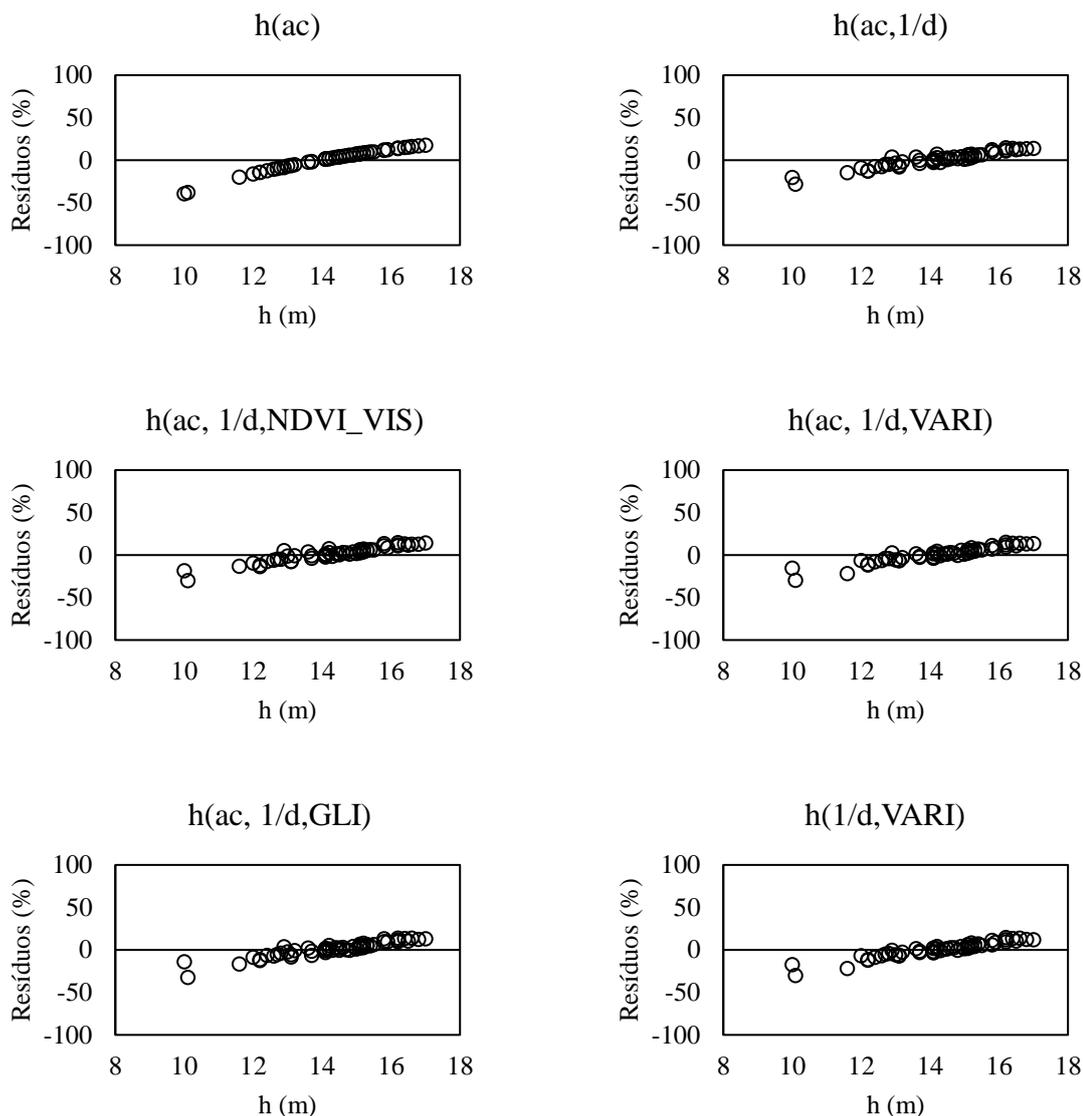
**Figura 9.** Dispersão de resíduos dos dados de ajuste para estimativas de diâmetro (d) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.

Conforme a dispersão dos resíduos (Figura 9), as estimativas apresentaram tendência conforme o avanço nas classes diamétricas, em que nas árvores menores ocorreu superestimação e nas maiores ocorreu subestimação do diâmetro. Os resultados apresentaram-se satisfatórios para árvores no intervalo de 20 a 25 cm de diâmetro, isto é, árvores com diâmetros próximos à média observada desta variável.



**Figura 10.** Dispersão de resíduos dos dados de ajuste para estimativas de altura comercial (hc) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.

Conforme a Figura 10, ocorreu tendência nas estimativas de altura comercial semelhantemente às estimativas do diâmetro. Melhores estimativas foram observadas para árvores com altura comercial de 5 e 6 m.



**Figura 11.** Dispersão de resíduos dos dados de ajuste para estimativas de altura total ( $h$ ) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.

As estimativas de altura total (Figura 11) seguiram a tendência das estimativas de diâmetro e altura comercial, em que seus valores foram superestimados e subestimados nas classes inferiores e superiores de altura total, respectivamente. As estimativas mais adequadas se situaram no intervalo de 14 a 15 m de altura total.

Para analisar o desempenho, as equações obtidas foram aplicadas aos dados que não fizeram parte do ajuste, ou seja, aos dados da validação. Os resultados desta aplicação estão apresentados na Tabela 6. Conforme os resultados, constatou-se que as equações que apresentaram maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ) foram as 18, 16, 17 com os

valores de 0,4015; 0,3904; 0,3839 respectivamente, também apresentaram os menores erros padrões da estimativa, sendo de 8,46; 8,54; 8,58, respectivamente. Valores negativos de  $R^2_{ajust}$  foram encontrados em alguns modelos, os quais ocorrem quando se tem  $R^2 < p/(n-1)$ , sendo  $p$  o número de coeficientes do modelo e  $n$  o número de observações (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 1993).

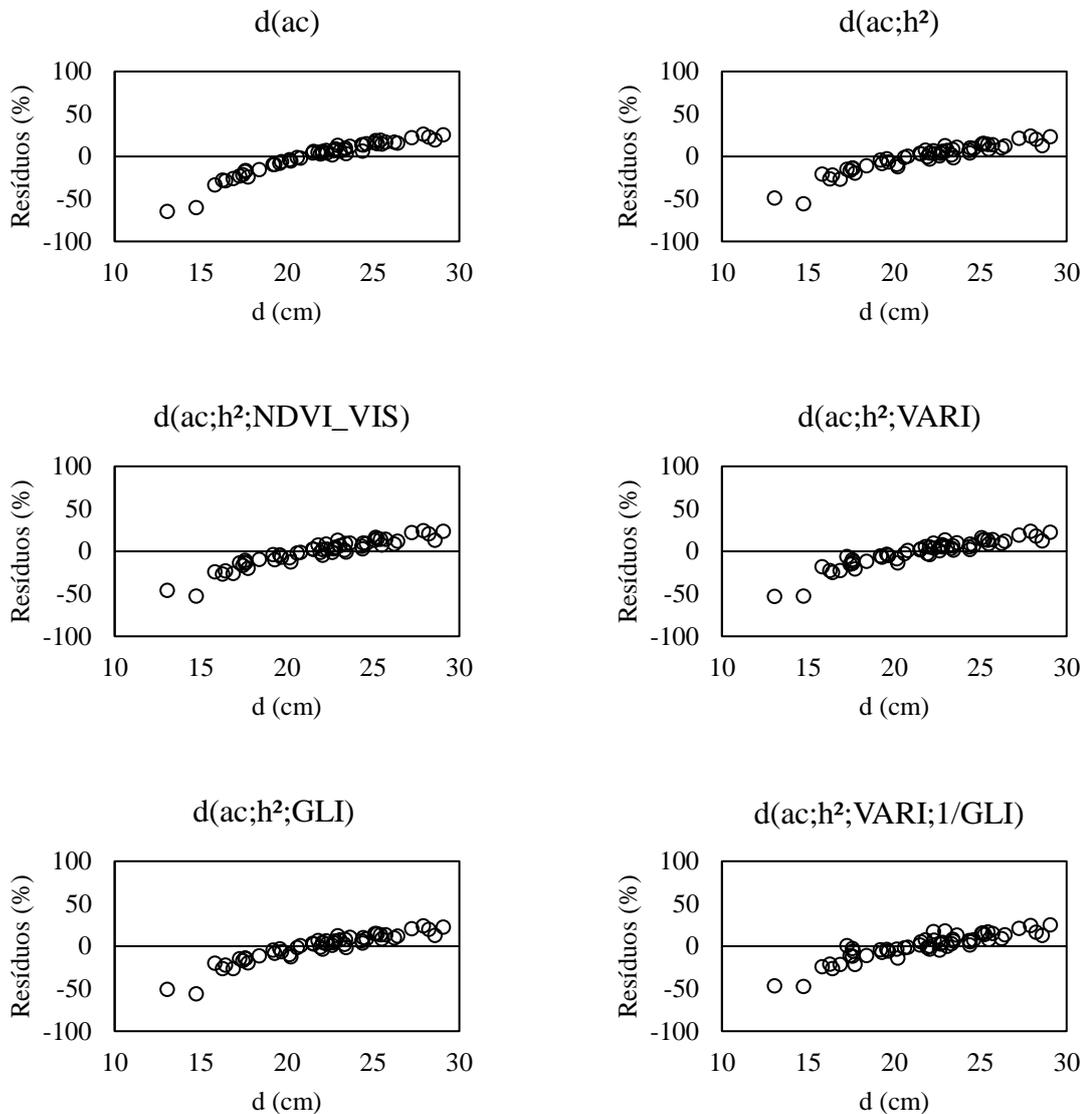
Com base nos dados estatísticos, dentre as variáveis dependentes, a que melhor representou os valores observados foi a altura total ( $h$ ), com destaque para a equação 18, a qual proporcionou os melhores resultados estatísticos.

**Tabela 6.** Estatísticas de avaliação do ajuste das equações aplicadas aos dados de validação na estimativa de variáveis dendrométricas para mogno em um plantio agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais

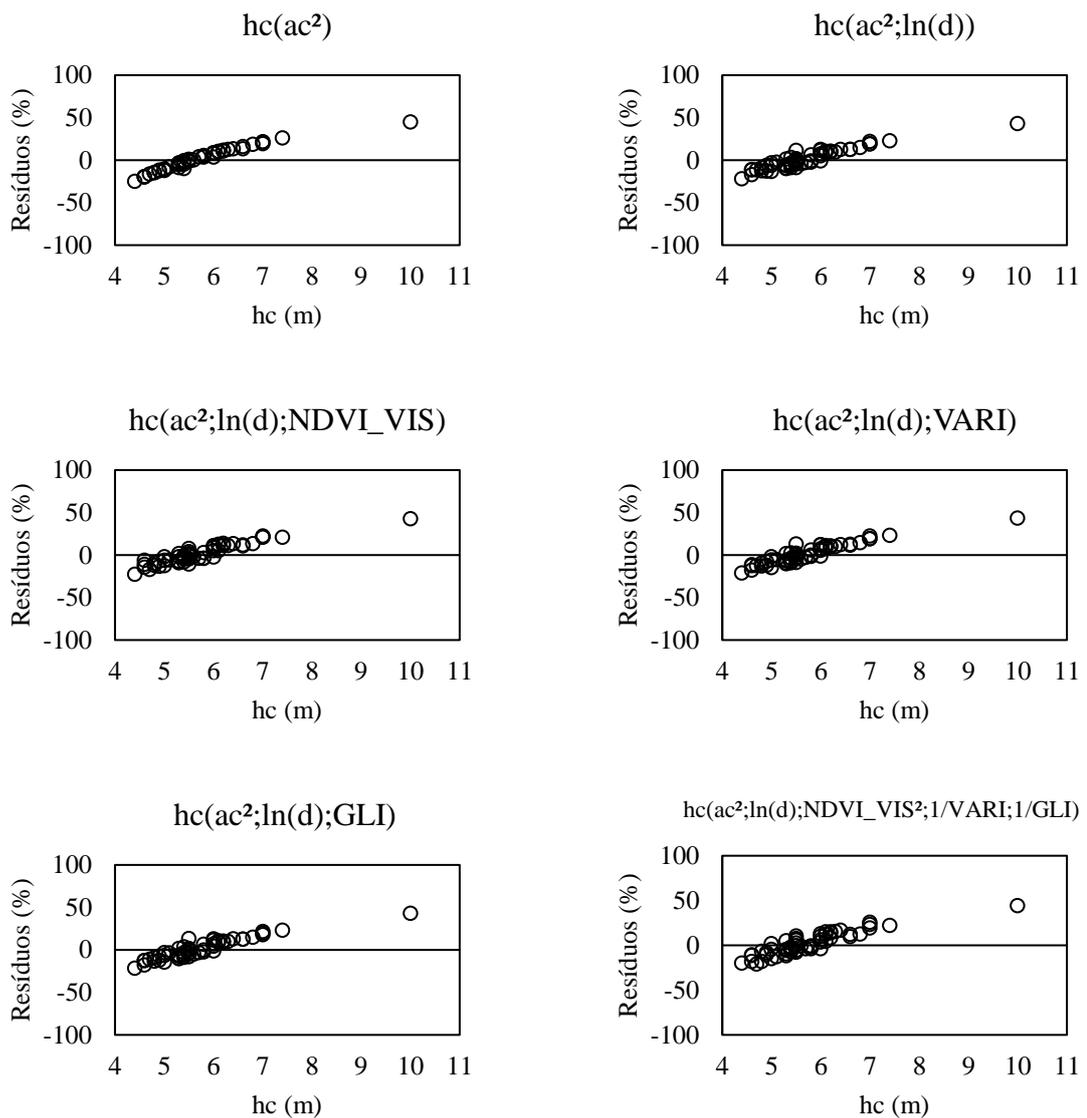
Nº.	Equação	$R^2_{ajust}$	$S_{yx}$ (%)
1	$d = 19,5431 + 0,0825 * ac$	-0,0371	17,37
2	$d = 15,4212 + 0,0807 * ac + 0,0211 * h^2$	0,2664	14,61
3	$d = 16,8775 + 0,0819 * ac + 0,0205 * h^2 + 6,7178 * NDVI\_VIS$	0,2614	14,66
4	$d = 14,550 + 0,0849 * ac + 0,0229 * h^2 + 1,7316 * VARI$	0,3071	14,20
5	$d = 14,3802 + 0,0799 * ac + 0,0215 * h^2 - 2,3413 * GLI$	0,2584	14,69
6	$d = 5,5946 + 0,0965 * ac + 0,0215 * h^2 + 3,9248 * VAR - 3,5058 * \frac{1}{GLI}$	0,2722	14,55
7	$hc = 5,4325 + 0,0002 * ac^2$	-0,0791	16,27
8	$hc = 1,2775 + 0,0001 * ac^2 + 1,3737 * lnd$	0,0538	15,23
9	$hc = 0,3333 + 0,0001 * ac^2 + 1,4511 * lnd - 3,4711 * NDVI\_VIS$	0,0302	15,42
10	$hc = 1,2398 + 0,0001 * ac^2 + 1,4007 * lnd - 0,1723 * VARI$	0,0185	15,51
11	$hc = 1,7239 + 0,0001 * ac^2 + 1,3670 * lnd + 1,0217 * GLI$	0,0168	15,53
12	$hc = -1,9066 + 0,0001 * ac^2 + 1,4606 * lnd + 17,7426 * NDVI_{VIS}^2 + 0,0079 * \frac{1}{VARI} - 0,8712 * \frac{1}{GLI}$	-0,1451	16,76
13	$h = 13,8812 + 0,0033 * ac$	-0,0746	11,33
14	$h = 17,3088 - 0,0073 * ac - 66,4078 * \frac{1}{d}$	0,3783	8,62
15	$h = 17,8332 - 0,0065 * ac - 64,6402 * \frac{1}{d} + 3,0724 * NDVI\_VIS$	0,3731	8,65
16	$h = 17,7632 - 0,0103 * ac - 69,4224 * \frac{1}{d} - 1,0035 * VARI$	0,3904	8,53
17	$h = 19,8630 - 0,0052 * ac - 65,2531 * \frac{1}{d} + 6,3329 * GLI$	0,3839	8,58
18	$h = 17,3921 - 66,3490 * \frac{1}{d} - 0,9662 * VARI$	0,4015	8,45

Os gráficos de dispersão dos resíduos para avaliação de possíveis tendências das estimativas para os dados da validação estão apresentados nas Figuras 12 a 14. Como pode ser observado, as dispersões residuais se apresentaram muito similares às obtidas para os dados de

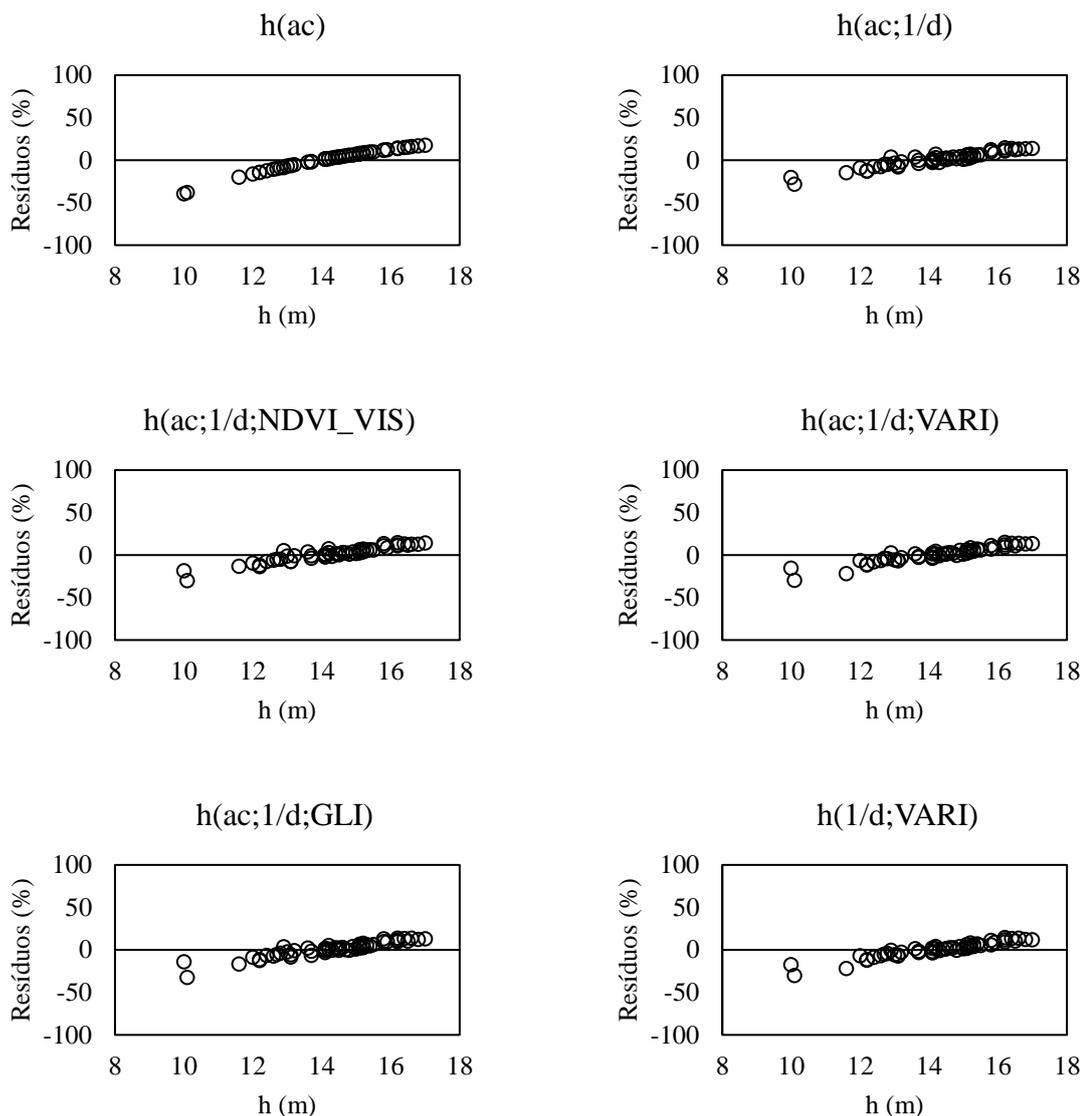
ajuste, para os modelos das três variáveis analisadas. Em geral, para as árvores de menor porte, ocorreu superestimação da variável; e para árvores de maior porte, ocorreu subestimação da variável. Melhores resultados foram obtidos para árvores de porte médio.



**Figura 12.** Dispersão de resíduos dos dados da validação para estimativas de diâmetro (d) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.



**Figura 13.** Dispersão de resíduos dos dados da validação para estimativas de altura comercial (hc) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.



**Figura 14.** Dispersão de resíduos dos dados da validação para estimativas de altura total ( $h$ ) em função de variáveis obtidas por voo de drone, para mogno em um sistema agroflorestal localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais.

Alguns fatores exerceram influência na qualidade dos ajustes e validações, como a irregularidade das espécies no plantio e a falta de uma estação RTK na ocasião do voo do drone, comprometendo em baixa escala os dados. Problemas com sobreposição de copas também podem ter influenciado os resultados, dado à maior dificuldade de identificar os limites das copas de cada árvore. Este problema pode ocorrer até em plantios mais planejados.

Schuster (2018) realizou um voo de drone sobre um sistema silvipastoril com objetivo similar ao deste estudo. Porém, mesmo com as linhas de plantios do local analisado sendo planejadas ocorreram sobreposições de copas, dificultando a identificação de cada árvore.

De posse das equações para estimar as variáveis dendrométricas em análise, as estimativas obtidas pela imagem foram comparadas aos respectivos valores obtidos em campo. Conforme o teste F de Graybill (Tabela 7), para todas as variáveis dependentes, as estimativas obtidas diferiram estatisticamente aos respectivos valores coletados em campo, a 5% de significância.

**Tabela 7.** Teste F de Graybill na análise da compatibilidade entre estimativas obtidas por meio de imagem e coletadas em campo, para mogno em um plantio agroflorestal em Monte Carmelo, Minas Gerais

Variável	Nº. da equação	F calculado	F tabelado
d	1	804,36*	3,17
	2	274,85*	3,17
	3	251,82*	3,17
	4	227,86*	3,17
	5	279,09*	3,17
	6	134,80*	3,17
hc	7	2.825,75*	3,17
	8	337,12*	3,17
	9	291,83*	3,17
	10	327,95*	3,17
	11	321,96*	3,17
	12	223,79*	3,17
h	13	97.272,39*	3,17
	14	250,07*	3,17
	15	218,32*	3,17
	16	204,54*	3,17
	17	186,84*	3,17
	18	242,94*	3,17

Em que: d = diâmetro à altura do peito (cm); hc = altura comercial (cm); h = altura total (cm); \* = valor significativo.

Embora os resultados deste trabalho tenham indicado baixa eficiência no uso de imagem na obtenção de estimativas de variáveis dendrométricas, torna-se essencial mencionar que este tipo de levantamento foi avaliado em vários estudos, nos quais se comprovou sua eficácia. Segundo Soares (2015), os resultados obtidos com a utilização de VANT no inventário florestal são muito promissores. É possível obter as estimativas dendrométricas a partir de métricas derivadas dos produtos VANT, com resultados de ajuste bons desde que haja talhões com condições homogêneas (HENTZ, 2018).

Como complemento, segundo Schuster (2018), esta metodologia é indicada desde que exista um espaçamento grande entre as linhas de plantio, com a finalidade de reduzir a sobreposição das copas. Além dos fatores mencionados que podem ter influenciado os

resultados deste estudo, tem-se o tipo de índice de vegetação. Diante disso, torna-se interessante a avaliação de outros índices de vegetação, além dos avaliados neste trabalho, para que resultados conclusivos sejam obtidos.

## **5 CONCLUSÕES**

Para as condições em que o estudo foi realizado, as estimativas de diâmetro, altura comercial e altura total obtidas por imagem de drone não apresentaram compatibilidade com aquelas coletadas em campo.

Sugere-se a avaliação de outros índices de vegetação para que resultados mais abrangentes sejam obtidos.

## REFERÊNCIAS

- ABDO, M. T. V. N.; VALERI, Sérgio Valiengo; MARTINS, Antônio Lúcio Mello. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 2, p. 50-59, 2008.
- ABRAHÃO, Selma Alves et al. Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 1637-1644, 2009.
- GONÇALVES, J; HENRIQUES, R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 104: 101-111, 2015.
- HENTZ, A, M, K; **Obtenção de informações dendrométricas para inventário florestal automatizado por meio de veículo aéreo não tripulado (VANT)**. 239pg. Tese de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná, 2018.
- LOUHAICHI, M.; BORMAN, M.M.; JOHNSON, D. E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. **Geocarto International**. v. 16, n. 1, p. 65 – 70, 2001. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106040108542184>
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ: **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores**. Brasília: IBÁ, ano base 2021. 176p. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>.
- NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto, princípios e aplicações**. E. Blucher, São Paulo, 1992. 308p.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. 1997. **Inventário florestal**. Editorado pelos Autores. Curitiba, PR, 1997. 316 p.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**, Piracicaba-SP. ESALQ/USP, 1985.
- PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. A determinação de equações volumétricas na engenharia florestal. Piracicaba: **IPEF**, 1993. 36p. (IPEF. Técnica, v.9, n.26).
- SCHUSTER, R. F. **Utilização de imagem aérea no inventário florestal em sistema silvipastoril**. 46pg. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Paraná, 2018.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: parte I: modelos de regressão linear e não-linear: parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p. (Textos Acadêmicos).
- SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; RODRIGUES, F. L.; PETERNELLI, L. A. Análise da influência de diferentes tamanhos e composições de amostras no ajuste de uma relação hipsométrica para *Eucalyptus grandis*. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.4, p.685-694, 2007.

SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2021. Disponível em: [idesisema.meioambiente.mg.gov.br](http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br).

SOARES, P.; FIRMINO, P.; TOMÉ, M.; CAMPAGNOLO, M.; OLIVEIRA, J.; OLIVEIRA B.; ARAÚJO, J.; CÂMARA, F. A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados no inventário florestal—o caso do montado de sobro. In: **Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia-CNCG**. 2015. p. 1-8.

SOUZA, C. C; MOREIRA, A. A; SCHIMITH, R. S; BRANDÃO, P. C; SILVA, E. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios aos estudos de florestas implantadas no Brasil – Uma revisão bibliográfica. **R. Ciência Florestal**, Santa Maria, v.17, n.4, p.409-417, out-dez, 2007.

TUCKER, Compton J. Combinações lineares de vermelho e infravermelho fotográfico para monitoramento de vegetação. **Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, pág. 127-150, 1979.

UBIALLI, J. A; FIGUEIREDO FILHO, A; MACHADO, S. A; ARCE, J. E. Comparação de métodos e processos de amostragem para estimar a área basal para grupos de espécies em uma floresta ecotonal da região norte mato-grossense. **R. Acta Amazonica**, v.39, n.2, p.305-314, 2009.