



## DETECÇÃO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS EM DIFERENTES SISTEMAS SILVIPASTORIS POR MEIO DA FOTOGRAMETRIA AÉREA DIGITAL

Mikaely Vasconcelos Paulo<sup>1</sup>, André Quintão de Almeida<sup>2</sup>, Lucas José Teodoro Lobato<sup>1</sup>,  
Estefany Vaz Brisson<sup>1</sup>, Gilson Fernandes da Silva<sup>1</sup>, Adriano Ribeiro de Mendonça<sup>1</sup>

1 Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil. E-mail: mikaelyvascon@gmail.com; lucaslobato17@hotmail.com; estefany.brisson@gmail.com; fernandes5012@gmail.com; adriano.mendonca@ufes.br  
2 Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil. E-mail: andreqa@gmail.com  
Autor correspondente: Adriano Ribeiro de Mendonça. E-mail: adriano.mendonca@ufes.br.

### RESUMO

Visando reduzir os custos e o tempo na obtenção de dados no inventário florestal, a Fotogrametria aérea digital – DAP é uma ferramenta de sensoriamento remoto 3D utilizada para aprimorar os inventários. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial da DAP para a detecção de árvores individuais em diferentes sistemas silvipastoris. Os modelos de sistemas (tratamentos) analisados foram: monocultivo de eucalipto (híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*); sistema silvipastoril com capim marandu (*Urochloa brizantha* cv marandu) e eucalipto; sistema silvipastoril com capim marandu e eucalipto; sistema silvipastoril com capim marandu e araribá (*Centrolobium tomentosum* Guillerim ex. Benth.). Os dados da DAP foram obtidos por uma aeronave remotamente pilotada do tipo multirrotor. A detecção foi avaliada por meio das seguintes estatísticas: porcentagem das árvores detectadas corretamente, erros de omissão e comissão, viés, raiz do erro quadrático médio. A DAP mostrou potencial para a detecção de árvores individuais em diferentes modelos de sistemas silvipastoris.

**Palavras-chave:** Aeronave remotamente pilotada; manejo florestal; SAFs; sensoriamento remoto

### DETECTION OF INDIVIDUAL TREES IN DIFFERENT SILVIPASTORAL SYSTEMS USING DIGITAL AERIAL PHOTOGRAMMETRY

#### ABSTRACT

Aiming to reduce costs and time in obtaining forest inventory data, Digital Air Photogrammetry – DAP is a 3D remote sensing tool used to improve inventories. Therefore, the objective of this study was to evaluate the potential of DAP for the detection of individual trees in different silvopastoral systems. The systems models (treatments) analyzed were: eucalyptus monoculture (hybrid of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*); silvopastoral system with marandu grass (*Urochloa brizantha* cv marandu) and eucalyptus; silvopastoral system with marandu grass and eucalyptus; silvopastoral system with marandu and araribá grass (*Centrolobium tomentosum* Guillerim ex. Benth.). DAP data were obtained by a remotely piloted multicopter aircraft. Detection was evaluated using the following statistics: percentage of trees correctly detected, omission and commission errors, bias, and root mean square error. DBH showed potential for the detection of individual trees in different models of silvopastoral systems.

**Key words:** Remotely piloted aircraft; forest management; SAFs; remote sensing

#### ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



### INTRODUÇÃO

A demanda por produtos florestais é crescente, ocasionando o aumento da área de florestas plantadas, que são responsáveis por 227,3 m<sup>3</sup> da madeira produzida com fins industriais no Brasil (IBÁ, 2022). Dessa forma, torna-se imprescindível a quantificação dos estoques de crescimento dessas florestas. Os inventários florestais são a principal ferramenta para obter estimativas de produção florestal. Entretanto, os inventários florestais tradicionais (IFT) demandam grande quantidade de tempo e mão de obra qualificada, principalmente em grandes áreas, com isso tornam-se onerosos. Neste sentido, almejando reduzir os custos e o tempo na obtenção dos dados acerca dos estoques nos plantios, diversas ferramentas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas, podendo citar a *Digital Aerial Photogrammetry* - DAP e o *Light Detection and Ranging* - LiDAR.

A DAP é uma ferramenta que possui menor custo de operação quando comparada ao LiDAR. Esta ferramenta é uma técnica de sensoriamento remoto que possibilita a obtenção de imagens 3D, por meio de imagens digitais 2D, obtidas por aeronaves remotamente pilotadas (ARP). Além disso, é possível utilizá-la junto a outras ferramentas de sensoriamento remoto e também aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) (Temba, 2000). A DAP utiliza de princípios da estereoscopia similar a fotogrametria clássica, porém, quando utilizada junto a uma técnica de processamento computacional *Structure from Motion* - SfM, é possível gerar uma nuvem de pontos 3D que se parece às nuvens de pontos obtidas pelo LiDAR. A principal diferença entre a nuvem de pontos da DAP e do LiDAR, é que o LiDAR possibilita a obtenção de informações do solo até o topo das árvores, permitindo a geração de um modelo digital do terreno (MDT) em diversos tipos de floresta. Enquanto isso, a DAP tem sua nuvem de pontos obtida pelas fotografias, e suas informações se limitam as copas das árvores, já que o tipo de radiação eletromagnética não penetra no dossel da floresta (Goodbody *et al.*, 2019).

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial da DAP para a detecção de árvores individuais em diferentes modelos de sistemas silvipastoris.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Jerônimo Monteiro, ES, nas coordenadas aproximadas de latitude 20° 50' 26.999" S e longitude 41° 22' 21.99" O, com altitude variando entre 120 a 160 m. O clima da região é caracterizado como "Cwa", apresentando invernos secos e verões chuvosos, com precipitação média anual de 1.341 mm e temperatura média anual de 23,1 °C (Caiado & Silva, 2011). O solo da região é caracterizado como Latossolo-Vermelho-Amarelo Distrófico (Silva *et al.*, 2021).

Foram implantados diferentes modelos de sistemas silvipastoris em dezembro de 2017, conduzidos sob delineamento em blocos casualizados. Os modelos implantados analisados neste

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

estudo foram os do bloco II: T2 - Monocultivo de eucalipto (híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*); T3 - Sistema silvipastoril com capim marandu (*Urochloa brizantha* cv. marandu) e eucalipto; T4 – sistema silvipastoril com capim marandu e eucalipto; T5 - Sistema silvipastoril com capim marandu e araribá (*Centrolobium tomentosum* Guillemim ex. Benth.). As mudas de eucalipto e araribá foram plantadas sob espaçamento de 3 m x 2 m, distanciadas por uma faixa de 17 m entre si coberta por capim marandu, totalizando 633 árvores/ha. Cada parcela possui 1.750 m<sup>2</sup> de área (50 m x 35 m), para cada tratamento.

### Levantamento de dados por Inventário florestal tradicional - IFT e por DAP

Um censo de todas as árvores vivas foi realizado em dezembro de 2022, mês em que as árvores completaram 5 anos de idade. Neste inventário foram coletados os seguintes dados: número de árvores, diâmetro a 1,30 m do solo (D) e altura total (H). Após a campanha de IFT foi realizado o sobrevoo da área de estudo por meio de uma ARP, modelo MAVIC 2 PRO (<https://www.dji.com/br>, 24 Mai. 2023), com sensor de 1” CMOS de 20 milhões de pixels. O voo foi planejado no site DroneDeploy com as seguintes configurações padrões: sobreposição frontal e lateral de 85%, sobrevoando a área a 120 m de altura. Além disso, foram obtidas as coordenadas de cada árvore por meio de uma antena do sistema GNSS GeoMax Zenith 16® com um receptor cinemático em tempo real (RTK) (<https://geospatial.trimble.com>, 24 Mai. 2023) com dupla frequência.

### Processamento da *Structure from Motion* – SfM

O processamento da SfM foi realizado no software *Agisoft Metashape Professional Edition 1.6*. (Agisoft, 2023). O alinhamento das fotos foi feito com parâmetro de precisão definido como “highest”, pré-seleção dos pares como “generic”, limites de 40.000 “key-points” e 7.000 “tie-points”. Quatro pontos de controle foram utilizados para georreferenciar as fotografias aéreas e três pontos de validação foram utilizados para determinar a precisão da geolocalização. Esses pontos foram medidos pelo sistema RTK, seguido da projeção UTM (zona 24S) com Datum SIRGAS2000. A nuvem densa dos tratamentos foi feita com os parâmetros definidos como “ultra-high” para a qualidade e “mild” para o modo de filtragem de profundidade, e posteriormente foram exportadas no formato LAS.

### Avaliação dos resultados

A nuvem de pontos passou por um processo de normalização (NPC), subtraindo as elevações do DTM das elevações de cada ponto dentro da nuvem de pontos. As copas das árvores ( $X_{DAP}$  e  $Y_{DAP}$ ) foram identificadas em cada NPC utilizando o algoritmo *Local maximum Filter* (LMF) e *Locate\_trees*, implementado no pacote *lidR* da linguagem de programação R. A detecção de copa das árvores, foi avaliada calculando-se a porcentagem das árvores detectadas corretamente (DC) - Equação 1, e os erros de omissão relativa ( $E_o$ ) – Equação 2 e comissão ( $E_c$ ) – Equação 3, conforme Almeida *et al.* (2021).

$$DC = \frac{N_d}{N_o} \quad (1) \quad E_o = \frac{N_{nd}}{N_o} \quad (2) \quad E_c = \frac{N_{id}}{N_o} \quad (3)$$

Em que:  $N_d$  = número de árvores detectadas corretamente;  $N_{nd}$  = número de árvores não detectadas;  $N_{id}$  = número de árvores detectadas onde não havia árvores no campo (detectadas incorretamente);  $N_o$  = número de árvores observadas no campo.

Com o intuito de avaliar as medidas obtidas na detecção das árvores e as estimativas das coordenadas X e Y, foram calculadas as estatísticas de desempenho viés (V) – Equações 4 e 5 e raiz do erro quadrático médio (RMSE) – Equações 6 e 7.

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (4) \quad V(\%) = 100 \left( \frac{V}{\bar{Y}} \right) \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (6) \quad RMSE(\%) = 100 \left( \frac{RMSE}{\bar{Y}} \right) \quad (7)$$

Em que:  $Y_i$  = valor observado da variável dependente;  $\hat{Y}_i$  = valor estimado da variável dependente;  $\bar{Y}$  = média dos valores observados da variável dependente;  $n$  = número de árvores observadas.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área amostrada foram contabilizados 250 indivíduos no tratamento dois (T2) e 90 indivíduos nos tratamentos três, quatro e cinco (T3, T4 e T5), totalizando 520 árvores vivas no bloco II. Uma copa foi considerada corretamente detectada, quando o algoritmo de filtro máximo local (LMF) a colocou dentro do polígono que representa a copa da árvore em questão. Contudo, quando mais de uma árvore foi colocada dentro do polígono de copa, o ponto mais próximo da localização do campo foi considerado para o cálculo de CD. Na Figura 1 está apresentada a detecção das árvores em todos os tratamentos (T2, T3, T4 e T5) analisados.

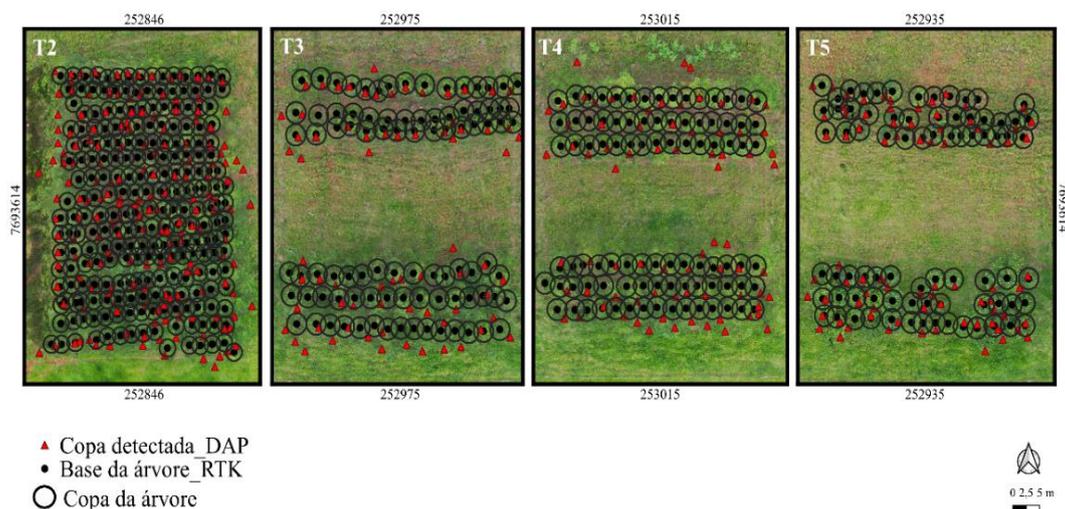


Figura 1. Detecção das árvores de forma individual, por meio da DAP, nos tratamentos analisados

Na Tabela 1 é apresentada a avaliação da precisão da detecção de copas das árvores para cada tratamento analisado. O tratamento 5 apresentou os melhores resultados para a detecção de copa das árvores. Almeida *et al.* (2021) encontraram os valores DC de 97,6%,  $E_o$  de 2,3% e  $E_c$  de 0%, em um plantio de eucalipto jovem, com 1,5 anos e mesmo espaçamento (3 m x 2 m). Uma melhor detecção encontrada por este autor se deve ao fato da idade analisada, uma vez que as copas ainda

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

não estão adensadas. O resultado encontrado neste trabalho é coerente com a idade do povoamento de estudo, visto que as copas das árvores já se encontram mais adensadas, dificultando a detecção devido a sobreposição de copa das mesmas.

**Tabela 1.** Precisão da detecção de árvores para cada tratamento

Tratamento	DC (%)	E <sub>o</sub> (%)	E <sub>c</sub> (%)	Árvores Duplicadas
2	57,6	42,4	3,2	10
3	68,8	31,1	18,9	0
4	73,3	26,7	12,2	1
5	73,3	26,7	6,7	4

Em que: DC = árvores detectadas corretamente; E<sub>o</sub> = erros de omissão relativa e E<sub>c</sub> = erro de comissão.

Além disso, a etapa de detecção também foi avaliada por meio dos valores das coordenadas posicionais ( $X_{RTK}$  e  $Y_{RTK}$ ) de cada árvore e as coordenadas estimadas de suas copas ( $X_{DAP}$  e  $Y_{DAP}$ ) para cada tratamento. Os valores de RMSE (%) e V (%) para as coordenadas X e Y foram inferiores a 0,001% em todos os tratamentos analisados. Nota-se que não houve uma tendência na estimação das coordenadas entre o método estabelecido para obtenção das coordenadas e o observado em campo e que os erros encontrados (RMSE%) foram considerados aceitáveis.

### CONCLUSÃO

A DAP mostrou potencial para a detecção de árvores individuais em diferentes modelos de sistemas silvipastoris. Não houve uma tendência na estimação das coordenadas e os erros encontrados foram considerados aceitáveis.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agisoft. **Agisoft Metashape Professional Edition 1.6**. Disponível em: <https://www.agisoft.com/>. Acesso em: 07 Mar. 2023.
- Almeida, A.; Gonçalves, F.; Silva, G.; Mendonça, A.; Gonzaga, M.; Silva, J.; Souza, R.; Leite, I.; Neves, K.; Boeno, M.; Souza, B. Individual tree detection and qualitative inventory of a *Eucalyptus* sp. stand using UAV photogrammetry data. **Remote Sensing**, v. 13, n. 18. 3655. 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13183655>.
- Caiado, L. H. L.; Silva, G. S. **PROATER - Programa de assistência técnica e extensão rural de Jerônimo Monteiro-ES (2011–2013)**: planejamento e programação de ações. Vitória: INCAPER, 2011.
- Goodbody, T. R. H.; Coops, N. C.; White, J. C. Digital aerial photogrammetry for updating area-based forest inventories: a review of opportunities, challenges, and future directions. **Remote Sensing**, v. 5, n.2, p.55-75, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00087-2>.
- Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ. **Relatório anual 2022**. São Paulo: IBÁ, 2022. 87p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 09 Abr. 2023
- Silva, G. F.; Mendonça, A. R.; Torres, C. M. M. E.; Pezzopane, J. R. M.; Silva, J. P. M.; Rocha, Q. S.; Rodrigues, N. M. M.; Silva, E. F.; Barros, Q. S. Avaliação econômica de diferentes modelos de sistemas silvipastoris. In: Gonçalves, F. G.; Caldeira, M. V. W.; Silva, G. F.; Souza, G. S. **Sistemas integrados de produção: pesquisa e desenvolvimento de tecnologias**. 1.ed. Guarujá: Científica Digital, 2021. p.216-252. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/livros/livro-sistemas-integrados-de-producao-pesquisa-e-desenvolvimento-de-tecnologias>. Acesso em: 09 Mar. 2023.
- Temba, P. **Fundamentos da fotogrametria**. Belo Horizonte: Departamento de Cartografia; UFMG, 2000. 24p. Disponível em: [http://www.faed.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/815/fotogrametria\\_material\\_01.pdf](http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/815/fotogrametria_material_01.pdf). Acesso em: 13 Mar. 2023.