



GEOMETRIA DE CLAREIRAS MENSURADAS POR IMAGENS DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA/RGB EM UMA FLORESTA DA AMAZÔNIA CENTRAL

Bruno Silva de Souza¹, Adriana Simonetti Lopes Peixoto², Moacir Alberto Assis
Campos², Niro Higuchi²

1 Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil. E-mail: brunosilvasouza2000@gmail.com

2 Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil. E-mail: adrianasimonettip@gmail.com;
camposmoacir@gmail.com; higuchi.niro@gmail.com

Autor correspondente: Bruno Silva de Souza. E-mail: brunosilvasouza2000@gmail.com.

RESUMO

A mudança climática é responsável pelo aumento de distúrbios naturais causados por tempestades e secas. O aumento de aberturas no dossel da floresta afeta o estoque de carbono e a dinâmica da floresta. Neste estudo, utilizamos produtos adquiridos por imagens RGB de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) para mensurar clareiras monitoradas durante 15 meses em uma parcela de 42 ha na Amazônia Central. A partir de técnicas de fotogrametria, foi produzido o Modelo Digital de Superfície (MDS) e Ortomosaico para detecção e classificação de clareiras. Foi calculado área, perímetro e forma das clareiras para descrever a sua distribuição de tamanho e distribuição espacial. Durante o período monitorado, as clareiras variaram de 10,98 – 752,71 m² (menor e maior clareira mensurada) e as clareiras entre 10 – 50 m² foram mais frequentes, totalizando 71,42% de frequência das clareiras até 50 m².

Palavras-chave: Distúrbios florestais; drone; floresta amazônica; fotogrametria digital; mortalidade de árvores

GAP GEOMETRY MEASURED BY REMOTELY PILOTED AIRCRAFT/RGB IMAGERY IN A FOREST IN CENTRAL AMAZON, BRAZIL

ABSTRACT

Climate change is responsible for the increase in natural disturbances caused by storms and droughts. Increased openings in the forest canopy affect carbon stocks and forest dynamics. In this study, we used products acquired by Remotely Piloted Aircraft RGB imagery to measure gaps monitored over 15 months on a 42 ha plot in the Central Amazon. Using photogrammetric techniques, a Digital Surface Model (DSM) and Orthomosaics were produced for the detection and classification of gaps. The area, perimeter, and shape of the gaps were calculated to describe their size and spatial distribution. During the monitoring period, gaps ranged from 10.98 to 752.71 m² (the smallest and largest measured gaps), and gaps between 10 and 50 m² were the most frequent, totaling a frequency of 71.42% for gaps up to 50 m².

Key words: *Forest disturbances; drone; amazon rainforest; digital photogrammetry; tree mortality*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

A manutenção dos estoques de carbono em florestas tropicais depende da dinâmica das árvores (McDowell *et al.*, 2018). O aumento na mortalidade de árvores em regiões tropicais e temperadas levantam questões sobre a influência da mudança do clima na dinâmica e funcionamento de florestas maduras (Laurance *et al.*, 2004; Phillips & Gentry, 2011). As clareiras são aberturas naturais no dossel da floresta causados pela queda de galhos e/ou árvores (Brokaw, 1982; Whitmore, 1989). Tais distúrbios exercem grande influência na dinâmica e funcionamento de florestas tropicais, pois alteram a estrutura (Kellner *et al.*, 2009), a diversidade e a composição de espécies (Denslow 1987; Marra *et al.*, 2014; Marra *et al.*, 2018), a dinâmica de nutrientes no solo (Santos *et al.*, 2016) e a produtividade. Logo, entender a dinâmica de formação de clareiras é importante (Dalagnol *et al.*, 2021). O tamanho de uma clareira natural pode variar de alguns metros quadrados a milhares de hectares (Nelson, 1994; Araújo *et al.*, 2021).

Câmeras RGB (Red-Green-Blue) carregadas por Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), popularmente conhecidas como *drones*, são uma alternativa de monitoramento de alta resolução espacial e temporal. Estudos anteriores mostram a captação de clareiras a partir de 5 m² em florestas temperadas (Getzin *et al.*, 2014) e tropicais (Araújo *et al.*, 2021; Peixoto, 2021). Modelos derivados de ARP combinados com medidas extensivas em campo mostrou 93% de precisão na detecção de clareiras, incluído medições robustas de tamanho, forma e distribuição espacial em uma floresta da Amazônia Central (Peixoto, 2021). Portanto, continuar o monitoramento e mensuração de clareiras nos permitirá a entender e modelar como a estrutura e a dinâmica florestal variam em escala de local para posterior aumentar a nível de paisagem (Brokaw 1982; Dalagnol *et al.*, 2021).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área ampliada de 18 ha para 42 ha na parcela permanente do projeto INVENTA/ATTO (Figura 1). A parcela fica localizada no km 21 do ramal de acesso à Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (EEST/INPA), situada ao norte de Manaus no km 50 pela BR-174.

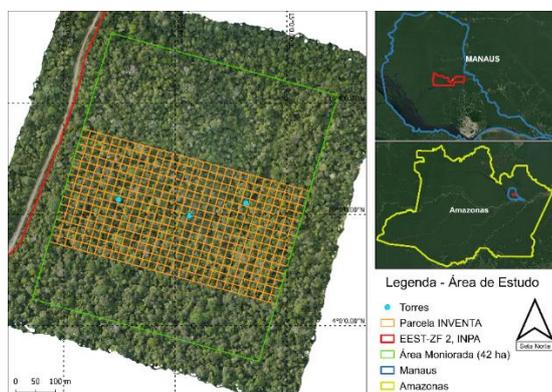


Figura 1. Área de monitoramento na base do projeto INVENTA/ATTO na Estação Tropical de Silvicultura Tropical do Inpa

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

O imageamento foi feito com uma ARP modelo *DJI Phantom 4 PRO V2*. Os dados foram coletados mensalmente durante o período dezembro de 2021 até abril de 2023 (15 meses), e referem-se à distribuição, área, perímetro e geometria de aberturas naturais no dossel da floresta, de área maior ou igual a 10 m². A ARP é programada pelo aplicativo *Ground Station Pro*, no qual é inserido as coordenadas por onde deve percorrer para realizar o imageamento. O sensor *RGB* possui resolução de 20 MP com suporte “*gimbal*” que permite a estabilização da imagem e evita possíveis ruídos, obtendo imagens de cerca de 100 m em relação ao solo por fotografia (Peixoto, 2021).

O processamento das imagens foi feito concomitante com o georreferenciamento e obtido dois principais produtos: um ortomosaico e um Modelo Digital de Superfície (MDS) (Figura 2). O processamento é realizado utilizando o software *Agisoft Metashape* (versão 1.5.2) para alinhar as fotos por meio da sobreposição com pontos em comum selecionados. O ortomosaico corresponde ao mosaico das fotografias, que representam o real (Marchetti & Garcia, 1989), já o MDS representa a superfície do terreno acrescida de quaisquer intervenções, como árvores ou edificações, e que estes são representados em seu resultado como sendo a superfície (Cruz *et al.*, 2011).

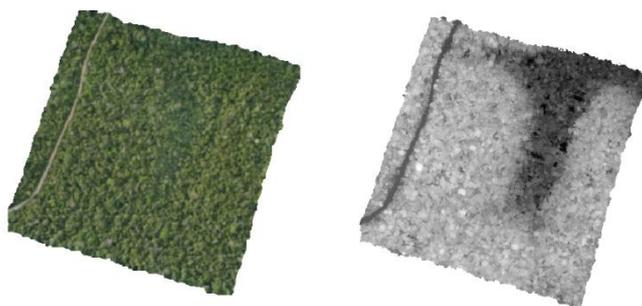


Figura 2. Ortomosaico e Modelo Digital de Superfície (MDS), respectivamente, da área de estudo INVENTA.

A detecção sistemática de clareiras pelas imagens é realizada com a criação de um fluxo de trabalho (Figura 3) no software QGIS (versão 3.16.2) calculadas pela diferença dos modelos, que é a subtração do mês atual pelo mês anterior (Equação 1).



Figura 3. Fluxograma de classificação sistemática e visual das clareiras monitoradas por imagem de Aeronave Remotamente Pilotada

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

$$\text{Imagem diferença} = \text{MDS mês}_x - \text{MDS mês}_{x-1} \quad (1)$$

Após a classificação sistemática, é filtrada visualmente para remover ou acrescentar clareiras identificadas. Este erro pode ocorrer pelo deslocamento das imagens, movimentação das copas das árvores pelo vento ou até mesmo a posição do sol ao longo do dia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante um período de dezembro de 2021 a abril de 2023 (15 meses), foram captadas cerca de 91 clareiras pelo processo de fotogrametria feito com imagens provenientes de ARP. A maior clareira possui área de 752,71 m² formada por árvores desenraizadas e quebradas (Figura 4). A menor clareira possui área de 10,98 m², formada por queda de galhos do dossel superior da floresta.

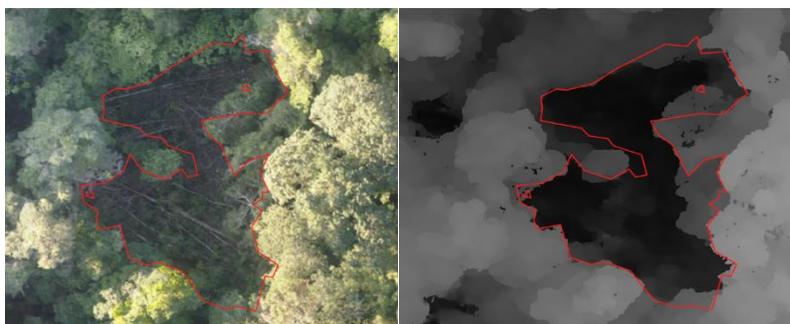


Figura 4. Detecção de uma clareira de 752,71 m² no ortomosaico e imagem diferença, respectivamente.

A fração de clareira foi calculada como a soma total das áreas de clareiras formadas durante o período de monitoramento na imagem dividida pela área total da parcela, expressa em porcentagem (Peixoto, 2021), representando aproximadamente 2,67% da área total monitorada.

A geometria das clareiras foi determinada através do índice de complexidade de forma da clareira GSCI, calculada como perímetro dividido pela raiz quadrada da área vezes 4 vezes a constante pi, onde 1 é o menor valor e representa um círculo (Getzin, *et al.*, 2012).

Tabela 1. Geometria de 91 clareiras detectadas através de fotogrametria digital durante 15 meses de monitoramento em uma área de 42 hectares, com imagens realizadas com ARP

Menor área (m ²)	Maior área (m ²)	Área média ± IC 95%	Área mediana	Perímetro médio ± IC 95%	Fração de clareira (%)	GSCI Médio/Máx
10,98	752,71	52,81 ± 17,82	29,95	42,48 ± 6,79	2,67	1,76/2,89

A frequência de clareiras observada para as classes de tamanho de área foi menor para indivíduos maiores, especificamente acima de 50 m², sendo mais comum observar a formação de clareiras a partir de 10 m² pelas das imagens de Aeronave Remotamente Pilotada. As clareiras de menor tamanho foram mais frequentes durante as análises, e os indivíduos de até 50 m² representaram 71,42% do total de clareiras observadas durante o período monitorado. A maior frequência está na classe de 10 m² e 20 m², com 32 indivíduos, representando 50,54% da frequência de clareiras.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Tabela 2. Frequência das classes de tamanho de área em m².

10 ≥ 20	20 ≥ 30	30 ≥ 40	40 ≥ 50	50 ≥ 60	60 ≥ 70	70 ≥
32	14	13	6	6	3	17

CONCLUSÃO

Este estudo mostra que o monitoramento de clareiras com o uso da fotogrametria digital para o processamento e análise de dados é eficaz na captação de clareiras menores (a partir de 10 m²), indicadas pela literatura. Estudos de investigação dos modos de formação das clareiras e a sua relação com a sazonalidade da região, devem ser desenvolvidos para melhorar a compreensão dos mecanismos de mortalidade e sua relação com eventos extremos em contexto de mudança do clima e ciclagem do carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, R.F.; Grubinger, S.; Henrique, C.; Celes, S.; Negrón-, R.I.; Garcia, M.; Dandois, J. P.; Muller-Landau, H. C. Strong temporal variation in treefall and branchfall rates in a tropical forest is explained by rainfall: results from five years of monthly drone data for a 50-ha plot. **Biogeosciences**, v.18, p.6517-6531, 2021. <https://doi.org/10.5194/bg-18-6517-2021>.
- Brokaw, N.V.L. The definition of treefall gap and its effect on measures of forest dynamics. **Biotropica**, v.14, n.2, p.158-160, 1982. <https://doi.org/10.2307/2387750>.
- Cruz, C. B. M.; Barros, R.S.; Cardoso, P. V.; Reis, R. B.; Rosário, L. S.; Barbosa, S. S.; Rabaco, L. M. L.; Lourenço, J. S. Q. Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 5463-5470. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/06.27.14.49/doc/p1096.pdf>. Acesso em: 25 Mar. 2023.
- Dalagnol, R.; Wagner, F. H.; Galvão, L. S.; Streher, A. S.; Phillips, O. L.; Gloor, E.; Pugh, T. A. M.; Ometto, J. P. H. B.; Aragão, L. E. Large-scale variations in the dynamics of Amazon Forest canopy gaps from airborne lidar data and opportunities for tree mortality estimates. **Scientific Reports**, v.11, e1388, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80809-w>.
- Denslow, J. S. Tropical rain forest gaps and tree species diversity. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.18, p.431-451, 1987. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.18.110187.002243>.
- Getzin, S.; Nuske, R.S.; Wiegand, K. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests. **Remote Sensing**, v.6, n.8, p.6988-7004, 2014. <https://doi.org/10.3390/rs6086988>.
- Getzin, S.; Wiegand, K.; Schöning, I. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles. **Methods in Ecology and Evolution**, v.3, n.2, p.397-404, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00158.x>.
- Kellner, J.R.; Clark, D.B.; Hubbell, S.P. Pervasive canopy dynamics produce short-term stability in a tropical rain forest landscape. **Ecology Letters**, v.12, n.2, p.155-164, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01274.x>.
- Laurance, W.F.; Oliveira, A.A.; Laurance, S.G.; Condit, R.; Nascimento, H.E.M.; Sanchez-Thorin, A.C.; Lovejoy, T.E.; Andrade, A.; D'Angelo, S.; Ribeiro, J. E.; Dick, C. W. Pervasive alteration of tree communities in undisturbed Amazonian forests. **Nature**, v.428, p.171-175, 2004. <https://doi.org/10.1038/nature02383>.
- Marchetti, D. A. B.; Garcia, G. J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo: Nobel, 1989. 257p.
- Marra, D. M.; Trumbore, S.E.; Higuchi, N.; Ribeiro, G.H.P.M.; Negrón-Juárez, R.I.; Holzwarth, F.; Rifai, S. W.; Santos, J.; Lima, A. J. N.; Kinupp, V. F.; Chambers, J. Q.; Wirth, C. Windthrows control biomass patterns and functional composition of Amazon forests. **Global Change Biology**, v.24, n.12, p.5867-5881, 2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.14457>.
- Marra, D.M.; Chambers, J.Q.; Higuchi, N.; Trumbore, S.E.; Ribeiro, G.H.P.M.; Santos, J.; Negrón-Juárez, R. I.; Reu, B.; Wirth, C. Large-scale wind disturbances promote tree diversity in a Central Amazon Forest. **PLOS ONE**, v.9, n.11, e114769, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103711>.
- McDowell, N.; Allen, C.D.; Anderson-Teixeira, K.; Brando, P.; Brienens, R.; Chambers, J. *et al.* Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical forests. **New Phytologist**, v.219, n.3, p.851-869, 2018. <https://doi.org/10.1111/nph.15027>.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Nelson, B. W.; Kapos, V.; Adams, J. B.; Oliveira, W. J.; Braun, O. P. Forest disturbance by large blowdowns in the Brazilian Amazon. **Ecology**, v.75, n.3, p.853-858, 1994. <https://doi.org/10.2307/1941742>.

Peixoto, A. S. L. **Distribuição e geometria de clareiras em floresta da Amazônia central combinando imagens de aeronave remotamente pilotada (ARP) e dados de campo**. 2021. 50f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, 2021. Disponível em:

https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/38349/1/Dissertacao_AdrianaPeixoto_RepositorioINPA.pdf.

Acesso em: 15 Mar. 2023.

Phillips, O. L.; H., Gentry, A. Turnover time increasing through in tropical forests. **Science**, v.263, n.5149, p.954-958, 2011. <https://doi.org/10.1126/science.263.5149.954>.

Santos, L. T.; Marra, D. M.; Trumbore, S.; Camargo, P.B.; Negrón-Juárez, R. I.; Lima, A. J. N.; Ribeiro, G. H. P. M.; Santos, J.; Higuchi, N. Windthrows increase soil carbon stocks in a central Amazon Forest. **Biogeosciences**, v.13, n.4, p.1299-1308, 2016. <https://doi.org/10.5194/bg-13-1299-2016>.

Whitmore, T. C. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. **Ecology**, v. 70, n. 3, p. 536-538, 1989. <https://doi.org/10.2307/1940195>.