



Em busca de um protocolo de escaneamento LiDAR terrestre para florestas tropicais: um estudo inicial no sul da Amazônia

In search of a terrestrial LiDAR scanning protocol for tropical forests: an initial study in southern Amazon

Luciano Emmert¹

¹Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
lucianoemmert@yahoo.com.br

Resumo: O LiDAR terrestre (*Terrestrial Laser Scanning*, TLS) tem se mostrado uma ferramenta promissora para a obtenção de métricas florestais em ambientes tropicais. No entanto, seu uso na Amazônia é desafiador devido à densa vegetação e limitações operacionais. Neste estudo, avaliamos o desempenho do TLS RIEGL VZ-2000 em um transecto de 20 x 200 m em floresta tropical no sul da Amazônia, comparando protocolos com diferentes números de pontos de escaneamento e uso de refletores. A redução de 33% nos pontos resultou em economia de 38% no tempo de campo e 56% no tempo de processamento. A ausência de refletores e redução de pontos impactou 5,4% no erro de ajuste. Esses resultados indicam que é possível otimizar a coleta de dados com TLS, contribuindo para o desenvolvimento de protocolos mais eficientes e aplicáveis em levantamentos florestais na Amazônia.

Palavras-chaves: Densidade da nuvem de dados; Otimização do escaneamento; Estrutura da Floresta Tropical.

Abstract: Terrestrial Laser Scanning (TLS) has proven to be a promising tool for obtaining forest metrics in tropical environments. However, its application in the Amazon is challenging due to dense vegetation and operational constraints. In this study, we evaluated the performance of the RIEGL VZ-2000 TLS along a 20 x 200 m transect in a tropical forest in southern Amazonia, comparing two protocols with different numbers of scan positions and use of reflectors. The 33% reduction in points resulted in savings of 38% in field time and 56% in processing time. The absence of reflectors and the reduction in points had an impact of 5.4% on the adjustment error. These findings suggest that TLS data acquisition can be optimized, supporting the development of more efficient and feasible scanning protocols for forest surveys in the Amazon.

Keywords: Point cloud density; Scan optimization; Tropical Forest structure.



INTRODUÇÃO

O LiDAR (*Light Detection and Ranging*) têm revolucionado a aquisição de informações sobre a estrutura de florestas em todo o mundo, oferecendo alta precisão e riqueza de detalhes a partir de plataformas aéreas e terrestres (Gorgens et al., 2014). Entre essas, o LiDAR terrestre (*Terrestrial Laser Scanner* – TLS) se destaca pela qualidade dos dados obtidos a partir do sub-bosque, fundamentais para a segmentação de árvores individuais, cálculos de volume, biomassa e carbono (Coops et al., 2025). No entanto, seu uso em florestas tropicais densas, como as da Amazônia, é desafiador devido à alta densidade arbórea, complexidade logística e heterogeneidade ambiental (Arrizza et al., 2024).

O emprego do TLS em áreas extensas e de relevo acidentado é limitado pelo peso e autonomia do equipamento. Em modelos como o RIEGL VZ-2000, o conjunto completo (scanner, tripé e bateria) pode ultrapassar 30 kg, com autonomia de cerca de 8 horas (observação pessoal). Além disso, o sub-bosque denso exige múltiplos pontos de escaneamento para reduzir oclusões, o que torna o levantamento potencialmente demorado (Nunes et al., 2022; Wilkes et al., 2017). Diante disso, é essencial estabelecer protocolos de escaneamento que sejam ao mesmo tempo robustos e eficientes, viabilizando o uso do TLS em ambientes tropicais.

Neste estudo, avaliamos a aplicação do TLS RIEGL VZ-2000 em uma floresta tropical densa no sul da Amazônia. Analisamos como a quantidade de pontos de escaneamento e refletores de referência afetam o levantamento e processamento de dados em um transecto de inventário florestal permanente. Nosso objetivo é compreender como variações em aspectos-chave da coleta de dados com TLS podem ser utilizadas em busca de um protocolo padronizado e eficiente de coleta de dados na Amazônia, garantindo métricas ecológicas robustas com menor esforço de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Estação de Pesquisa Tanguro, situada em uma área de transição entre Amazônia e Cerrado no oeste do Mato Grosso, limite sul da bacia Amazônica (13°04'35.39"S; 52°23'08.85"O; Figura 1A). A Estação abriga pesquisas sobre



os impactos das ações humanas no ambiente, com foco em mudanças climáticas, fogo e fauna silvestre (Naval et al., 2025; Paolucci et al., 2019; Silvério et al., 2019). A vegetação local é classificada como Floresta Estacional Perenifólia com altura média do dossel de ~20 metros e cerca de 97 espécies de árvores e lianas por hectare com DAP ≥ 10 cm (Balch et al., 2008; Ivanauskas et al., 2008; Rocha et al., 2025). A estação seca vai de maio a setembro (<100 mm/mês), com precipitação média anual de 1.739 mm e temperatura média de 25 °C (Balch et al., 2008; de Oliveira et al., 2022).

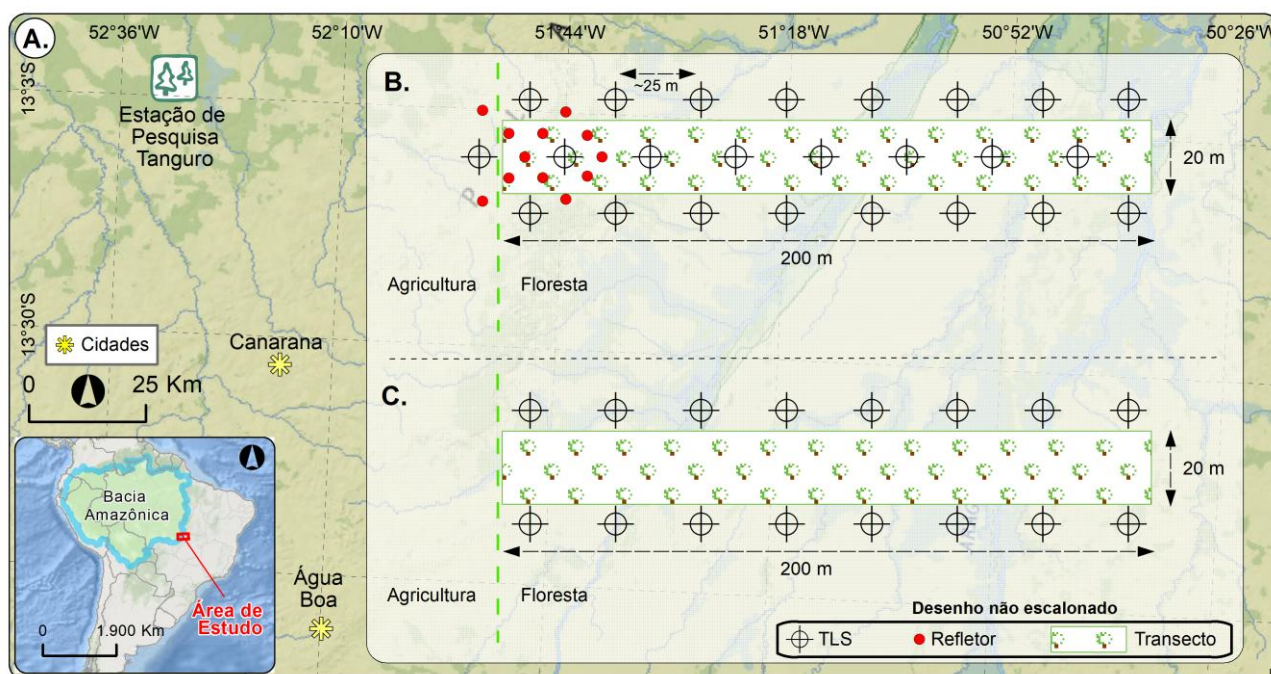


Figura 1. Localização da área de estudo e desenho experimental. (A) localização da área de estudo; (B) e (C) Desenho esquemático dos Protocolos.

Utilizamos o TLS RIEGL VZ-2000 em um transecto permanente de 20 x 200 m em área controle sem perturbação recente pelo fogo (Silveiro et al., 2024). O VZ-2000 é um scanner 3D de múltiplo retorno, com feixe divergente (0,3 mrad), operando no infravermelho próximo (1.550 nm), alcance de até 2.500 m e taxa de até 396.000 medições s⁻¹. Possui sensor que registra rotação, guinada e inclinação do equipamento (RIEGL, 2025).



O escaneamento foi realizado com taxa de 230.000 medições s⁻¹ (550 Hz, Panorama 40), amostragem angular de 0,0015°, ângulos de varredura de 360° (horizontal) e 100° (vertical), alcance máximo de 750 m e precisão nominal de 5 mm. Foram conduzidos dois protocolos de escaneamento. O Protocolo 1 (P1) incluiu 24 pontos de escaneamento georreferenciados pelo receptor GPS L1 integrado ao scanner. O sistema de referência adotado foi de coordenadas geográficas e Datum WGS-84. Os pontos de escaneamento foram distribuídos em intervalos aproximadamente regulares no entorno e centro do transecto, além de um conjunto de 12 refletores cilíndricos para auxiliar na etapa de registro dos pontos de amarração entre as nuvens de pontos (Figura 1B). Os refletores foram reposicionados a cada novo ponto, mantendo seis na posição anterior.

O segundo protocolo (P2) considerou 16 pontos de escaneamento no entorno do transecto sem o uso de refletores de referência na etapa de processamento (Figura 1C). No P2, nós mantivemos somente os pontos no entorno para minimizar problemas de oclusão comuns em florestas tropicais densas (Wilkes et al., 2017). Os dados do TLS foram processados no software RISCAN PRO® com os pacotes de ferramentas de registro (*Automatic Registration*) e ajuste de posicionamento multiestação (*Multi-station Adjustment*) (RIEGL, 2025). Posteriormente, foram analisados nos softwares QGIS (QGIS Development Team, 2016) e R (R Core Team, 2024). Para cada protocolo avaliamos quatro parâmetros: (1) tempo de escaneamento em campo; (2) tempo de processamento dos dados; (3) erro médio de ajuste de posicionamento entre os pontos de escaneamento; e (4) densidade de pontos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A redução de 33% no número de pontos de escaneamento entre os protocolos resultou em quedas aproximadamente proporcionais no tempo de escaneamento em campo (38%) e na densidade da nuvem de pontos (39%). O erro médio de ajuste de posicionamento foi pouco afetado, com aumento de apenas 5,4%. O tempo de processamento apresentou a redução mais expressiva, diminuindo em 56% (Tabela 1).



Tabela 1. Parâmetros avaliados nos protocolos de escaneamento.

Parâmetro	Protocolo 1	Protocolo 2	Diferença (%)
Número de pontos de escaneamento	24	16	33
Número de refletores	12	0	-
Tempo de escaneamento (hh:mm:ss)	13:45:00	08:32:00	38
Tempo de processamento (hh:mm:ss)	00:25:18	00:11:07	56
Erro médio de ajuste de posicionamento (cm)	1,86	1,96	5,4
Densidade de pontos (pontos m ⁻²)	177.854	109.129	39

Como esperado, reduções de pontos de escaneamento reduziram o tempo de coleta em campo. Mas, a economia mais expressiva em tempo de processamento (56%) nos mostra que uma das principais vantagens é a redução da demanda computacional, a qual se apresenta como um dos aspectos limitantes para o uso do TLS com grandes volumes de dados (Calders et al., 2015). A ausência de refletores e o menor número de pontos de escaneamento tiveram pouco impacto no ajuste do posicionamento, o qual influencia a qualidade da representação tridimensional dos alvos escaneados (Stampfer, 2024). Refletores são usados como pontos de amarração entre diferentes aquisições (Bauwens et al., 2016). Todavia, temos evidências preliminares de que a ausência desses refletores foi bem resolvida pelas ferramentas de processamento do RISCAN PRO® (Ullrich and Pfennigbauer, 2019). Esses resultados concordam com estudos anteriores na Amazônia que demonstraram sucesso em registros de nuvens de pontos sem refletores (Maeda et al., 2022; Nunes et al., 2022, 2023).

Apesar da boa performance geral, o ângulo vertical limitado do VZ-2000 (100°, de –40° a +60°) restringe o escaneamento do dossel a curtas distâncias (Wilkes et al., 2017). De fato, acerca dos scanners que posicionamos nas bordas do transecto, nossas impressões indicam que posicionar o equipamento mais distante das bordas do transecto pode melhorar a representação das copas logo acima do scanner. Nesse sentido, se o objetivo de um estudo for obter informações direcionadas às copas, além de scanners mais afastados das parcelas, os pontos centrais de escaneamento horizontal, como empregados no P1 (Figura 1B), podem ser substituídos por escaneamentos verticais a 90° (Nunes et al., 2023).

Nossos resultados preliminares foram obtidos a partir de uma primeira campanha de campo e foram voltados para a coleta e o processamento inicial dos dados. Futuros passos



serão dados na aquisição de novos dados em diferentes situações de campo, desenhos amostrais e gradientes ambientais. A partir desses dados, novos resultados de processamento e qualidade de métricas com verdades de campo serão obtidos para o desenvolvimento de um protocolo de escaneamento otimizado para a floresta Amazônica.

CONCLUSÃO

Variações no número de pontos de escaneamento e no uso de refletores afetam a densidade de pontos, o tempo de coleta em campo e o processamento dos dados, mas têm impacto mínimo na qualidade do ajuste entre as nuvens. Esses resultados indicam que é possível otimizar o uso do TLS em florestas tropicais densas, reduzindo custos operacionais sem comprometer a precisão. Novas coletas sob diferentes condições ambientais poderão refinar esses achados e subsidiar o desenvolvimento de um protocolo eficiente e aplicável à realidade da floresta Amazônica.

AGRADECIMENTOS

Nós agradecemos à equipe da Estação Experimental Tanguro do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) pelo apoio na coleta de campo, à equipe do Observatório de Torre Alta da Amazônia (ATTO) pelo apoio logístico e financeiro, ao Instituto Max Planck de Biogeoquímica pelo TLS e suporte financeiro e à equipe do Laboratório Treelab do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri pelo apoio no processamento de dados e desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ARRIZZA, S., MARRAS, S., FERRARA, R., PELLIZZARO, G. Terrestrial Laser Scanning (TLS) for tree structure studies: a review of methods for wood-leaf classifications from 3D point clouds, *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.*, 36, 101364, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101364>., 2024.
- BALCH, J. K., NEPSTAD, D. C., BRANDO, P. M. et al. Negative fire feedback in a transitional forest of southeastern Amazonia, *Glob. Chang. Biol.*, 14, 2276–2287, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01655.x>, 2008.



BAUWENS, S., BARTHOLOMEUS, H., CALDERS, K. et al. Forest Inventory with Terrestrial LiDAR: A Comparison of Static and Hand-Held Mobile Laser Scanning, *Forests*, 7, 127, <https://doi.org/10.3390/f7060127>, 2016.

CALDERS, K., NEWNHAM, G., ARMSTON, J. et al. Terrestrial LIDAR for forest monitoring, Chapter 2.10 in GOFC-GOLD (2015) A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon sto, GOFC-GOLD Rep. version COP21-1,(GOFC-GOLD L. Cover Proj. Off. Wageningen Univ. Netherlands), 2015.

COOPS, N. C., IRWIN, L. A. K., SEELY, H. S. et al. Advances in Laser Scanning to Assess Carbon in Forests: From Ground-Based to Space-Based Sensors, *Curr. For. Reports*, 11, 11, <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00242-4>, 2025.

GORGENS, E. B., SILVA, A. G. P. DA, RODRIGUEZ, L. C. E.: LIDAR: aplicações florestais, 1st ed., edited by: Gorgens, E. B., Silva, A. G. P. da, and Rodriguez, L. C. E., CRV, Curitiba, PR, 132 pp., 2014.

IVANAUSKAS, N. M., MONTEIRO, R., RODRIGUES, R. R. Classificação fitogeográfica das florestas do Alto Rio Xingu, *Acta Amaz.*, 38, 387–402, <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000300003>, 2008.

MAEDA, E. E., NUNES, M. H., CALDERS, K. et al. Shifts in structural diversity of Amazonian forest edges detected using terrestrial laser scanning, *Remote Sens. Environ.*, 271, 112895, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112895>, 2022.

NAVAL, M. L. M., BIELUCZYK, W., ALVAREZ, F. et al. Impacts of repeated forest fires and agriculture on soil organic matter and health in southern Amazonia, *CATENA*, 254, 108924, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108924>, 2025.

NUNES, M. H., CAMARGO, J. L. C., VINCENT, G. et al. Forest fragmentation impacts the seasonality of Amazonian evergreen canopies, *Nat. Commun.* 2022 131, 13, 1–10, <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28490-7>, 2022.

NUNES, M. H., VAZ, M. C., CAMARGO, J. L. C. et al. Edge effects on tree architecture exacerbate biomass loss of fragmented Amazonian forests, *Nat. Commun.*, 14, 8129, <https://doi.org/10.1038/s41467-023-44004-5>, 2023.



DE OLIVEIRA, E. A., FELDPAUSCH, T. R., MARIMON, B. S. et al. Soil pyrogenic carbon in southern Amazonia: Interaction between soil, climate, and above-ground biomass, *Front. For. Glob. Chang.*, 5, 880963, <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.880963>, 2022.

PAOLUCCI, L. N., PEREIRA, R. L., RATTIS, L. et al. Lowland tapirs facilitate seed dispersal in degraded Amazonian forests, *Biotropica*, 51, 245–252, <https://doi.org/10.1111/btp.12627>, 2019.

QGIS Development Team: QGIS Geographic Information System, <http://qgis.osgeo.org/>, 2016.

R Core Team: R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, <https://www.r-project.org/>, 2024.

RIEGL: RISCAN PRO, <http://www.riegl.com/products/software-packages/riscan-pro/>, 2025.

ROCHA, W., SILVÉRIO, D. V., MARACAHIPES-SANTOS, L. et al. Drought and fire affect soil CO₂ efflux and use of non-structural carbon by roots in forests of southern Amazonia, *For. Ecol. Manage.*, 585, 122584, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122584>, 2025.

SILVEIRO, A. C., SILVÉRIO, D. V., MACEDO, M. N. et al. Droughts Amplify Soil Moisture Losses in Burned Forests of Southeastern Amazonia, *J. Geophys. Res. Biogeosciences*, 129, e2024JG008011, <https://doi.org/10.1029/2024JG008011>, 2024.

SILVÉRIO, D. V., BRANDO, P. M., BUSTAMANTE, M. M. C. et al. Fire, fragmentation, and windstorms: A recipe for tropical forest degradation, *J. Ecol.*, <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13076>, 2019.

STAMPFER, L. Live processing and feedback on a combined laserscanning and photogrammetric documentation workflow, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XLVIII-2/W, 429–436, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-429-2024>, 2024.

ULLRICH, A., PFENNIGBAUER, M. Advances in lidar point cloud processing, in: *Laser Radar Technology and Applications XXIV*, 19, <https://doi.org/10.1117/12.2518856>, 2019.

WILKES, P., LAU, A., DISNEY, M. et al. Data acquisition considerations for Terrestrial Laser Scanning of forest plots, *Remote Sens. Environ.*, 196, 140–153, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.030>, 2017.