

COMUNICADO
TÉCNICO

467

Colombo, PR
Abril, 2021

Embrapa

Guia metodológico para uso do Laser Scanner Terrestre (TLS) em ambiente florestal

Bruna Nascimento de Vasconcellos
Wilson Anderson Holler
Ana Paula Dalla Corte
Vagner Alex Pesck

Guia metodológico para uso do Laser Scanner Terrestre (TLS) em ambiente florestal

Bruna Nascimento de Vasconcellos, Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, bolsista do CNPq, Colombo, PR; **Wilson Anderson Holler**, Engenheiro Cartógrafo, mestre em Desenvolvimento de Tecnologia, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR; **Ana Paula Dalla Corte**, Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, professora da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR; **Vagner Alex Pesck**, Engenheiro Florestal, doutor em Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR

A reconstituição dos ambientes florestais por meio de varreduras Laser Scanner Terrestre (TLS) tem possibilitado, além da compreensão desses ambientes com a extração de variáveis qualitativas que podem ser usadas em levantamentos fitossociológicos, aplicações de caráter métrico, como é o caso da extração de variáveis dendrométricas e contagem de indivíduos. Sem dúvida, essa tecnologia tem ganhado espaço no meio florestal e, possivelmente, em poucos anos, passará a fazer parte dos protocolos de inventários florestais.

A alta resolução e a acurácia das informações tridimensionais fornecidas têm sido as principais justificativas para tal ampliação de uso nos levantamentos florestais, possibilitando a reconstituição tridimensional (3D) e, portanto, a representação com detalhe das estruturas e indivíduos (arbóreo, arbustivo e muitas vezes até herbáceo) presentes na floresta (Liang et al., 2016; De Conto et al., 2017). Especificamente no que tange aos inventários florestais, sejam temporários ou contínuos, pode-se dizer

que a possibilidade de extração das variáveis dendrométricas, como altura (total ou parcial), diâmetros (a 1,30 m de altura – DAP ou em diferentes alturas da árvore) e número de indivíduos são as informações essenciais de um levantamento LiDAR.

Há mais de duas décadas, agências nacionais de mapeamento, empresas, universidades e organizações de pesquisa vêm concentrando esforços para o desenvolvimento de métodos para a estimativa de atributos de árvores mediante TLS (Lovell et al., 2003; Hopkinson et al., 2004; Liang et al., 2016; Pfeifer et al., 2017; Calders et al., 2020). Apesar das pesquisas nas últimas décadas sobre TLS, a incorporação dessa tecnologia em inventários florestais, seja em plantios florestais ou florestas nativas, continua sendo um desafio. Quando o enfoque do inventário florestal é o estrato arbóreo, a presença de sub-bosque denso e galhos podem afetar a coleta e processamento dos dados, tornando-se, assim, uma barreira para tal incorporação, pois interceptam os feixes LiDAR (Padilha, 2017).

Adicionalmente, é importante destacar que os inventários florestais realizados de maneira tradicional têm seus protocolos estabelecidos há algumas décadas e, para que uma nova tecnologia passe a ser incorporada, precisa apresentar vantagens, seja em termos de recursos (temporais ou financeiros) ou em termos de precisão e, ou ganho de informações. O TLS apresenta alcance espacial limitado a um raio de alguns metros, devido aos efeitos de sombreamento de troncos de árvores e outros objetos que interceptam os feixes LiDAR. Pode-se dizer que se assemelharia a uma unidade amostral com forma circular nos inventários florestais tradicionais. No entanto, é importante destacar que, dentro dessa unidade amostral, ter-se-ia uma representação tridimensional de todos os elementos arbóreos ali contidos. Portanto, sua aplicação, por ser ampliada, possibilita investigar mudanças na estrutura abaixo do dossel, densidade do povoamento, estrutura do fuste, ramificação e sub-bosque e demais objetos de estudo aplicados à área florestal.

Para que a unidade amostral seja reconstruída, usualmente o equipamento é instalado sobre um tripé que explora, mediante feixes de laser, os elementos do espaço circundante. Em geral, o equipamento se move horizontalmente no sentido horário, deslocando-se em pequenos intervalos angulares. A cada intervalo angular (horizontal) o equipamento permanece estático e, por meio de um telescópio ou espelho giratório, dispara o feixe laser verticalmente em intervalos angulares determinados,

calculando as coordenadas dos pontos que refletem o sinal (Marquez, 2011 citado por Buck et al., 2011). Ainda, para que seja possível a representação de todos os indivíduos presentes dentro da unidade amostral, pode ser necessária a adoção de múltiplas varreduras, ou seja, a alocação do equipamento em mais de um ponto de visada para a coleta de informações sobre a mesma unidade amostral.

Diferentes métodos de coleta de dados e padrões de processamento levaram a uma grande variedade de abordagens para detecção de árvores e diferenças na precisão das medições. Por esse motivo, esse documento visa orientar os profissionais da área de ciências agrárias à realização da coleta de dados utilizando o TLS em florestas nativas ou plantadas. Os procedimentos descritos são baseados na experiência de campo, para a obtenção de variáveis dendrométricas (tais como a altura total, altura comercial, diâmetro à altura do peito-DAP) em projetos de pesquisa.

Algumas etapas podem ser adotadas para aumentar a eficiência do tempo de coleta de dados com TLS no campo. Portanto, para o planejamento do inventário florestal visando à coleta de dados com TLS, é recomendável considerar as seguintes variáveis: tipo de floresta inventariada, o processo de amostragem (desenho do arranjo espacial de alocação das unidades amostrais), as especificações e configurações do scanner, o número de varreduras necessárias, o georreferenciamento e o registro das varreduras. Adicionalmente,

recomenda-se, também, observar as condições climáticas que podem interferir significativamente no tempo do levantamento dos dados TLS, além de influenciar diretamente na qualidade dos dados obtidos.

As unidades amostrais são selecionadas conforme o procedimento de um delineamento amostral. Existem diversos estudos na área florestal visando avaliar o desempenho de diferentes procedimentos de amostragem. Inicialmente, deverá ser calculada a intensidade amostral, que pode ser determinada por meio de dois procedimentos principais, em função da variabilidade da população, do erro de amostragem admitido e da probabilidade de confiança, ou ainda, em função do tempo e de recursos disponíveis (Péllico Netto; Brena, 1997).

Após o estabelecimento da intensidade amostral, serão definidas como as unidades amostrais serão implantadas na área de interesse, de acordo com a estrutura, podendo ser por meio de amostragem aleatória, sistemática ou mista. A amostragem aleatória é aquela cujas unidades amostrais são sorteadas com um critério probabilístico aleatório. A amostragem sistemática é aquela onde as unidades amostrais são sistematicamente distribuídas na população. Essa condição se caracteriza pela regularidade ou pela distribuição igualitária dentro da população. A amostragem mista é caracterizada como sendo uma seleção amostral envolvendo dois ou mais estágios, onde estejam presentes as amostragens simples e aleatória.

A partir disso, é necessário estabelecer como cada unidade amostral será conformada, se por meio de varredura simples ou múltipla, como será a alocação dos alvos e organização do material de apoio. Logo, é realizada a configuração do equipamento TLS e a coleta de dados, de modo a realizar o processamento e reconstrução das informações de interesse e geração dos produtos para o inventário florestal.

Coleta de dados com o TLS

O equipamento utilizado como referência para a construção desse guia metodológico foi o FARO Focus 3D X 330. Esse scanner usa tecnologia LiDAR baseada no deslocamento de fase para medir as localizações XYZ de objetos e ainda retorna a intensidade do feixe LiDAR (comprimento de onda de 1.550 nm e uma divergência de feixe de 0,19 mrad). Segundo o fabricante, o modelo Focus 3D X 330 tem um alcance máximo de 330 m, podendo coletar $9,76 \times 10^5$ pontos por segundo, com uma precisão de 2 mm a 10 m.

Planejamento de campo e delimitação das parcelas

O planejamento de campo é uma etapa fundamental no levantamento de dados TLS, pois serve como base para a instalação das parcelas no campo e tem

influência na qualidade dos dados gerados. Sugere-se que, inicialmente, seja realizado um planejamento em ambiente SIG, com a definição do tipo de floresta a ser inventariada e do objetivo principal do levantamento. Logo, deverão ser calculados e, ou definidos: a intensidade amostral e o tipo e número de varreduras que serão implementadas no inventário florestal com TLS. Na sequência, deve ser realizada a materialização das parcelas no campo, podendo ser dos tipos permanentes ou temporárias. Após a materialização das parcelas, é realizado o inventário florestal tradicional (em casos de necessidade da conferência em campo) e as varreduras com TLS. No inventário tradicional, são mensuradas as variáveis dendrométricas estabelecidas na etapa de planejamento (por exemplo: altura (total ou parcial), diâmetro a 1,30 m de altura em relação ao nível do solo (DAP), área de projeção de copa, entre outros).

No levantamento com o TLS, a etapa inicial consiste no nivelamento e configuração do equipamento, seguido pelo posicionamento das esferas cobertas com papel de seda colorida, quando disponíveis. Essa proposição visa facilitar a fase de correção, que pode ser necessária dependendo do tipo de varredura selecionado. Sugere-se que seja feita a demarcação do DAP com fita refletora, para a indicação da correta posição de mensuração com o TLS e por meio de inventário florestal tradicional. Após completar essas etapas, realiza-se a varredura com o TLS.

Na Figura 1 estão representadas as principais etapas da coleta de dados utilizando o TLS, sendo a etapa A (conjunto verde) caracterizada como aquela desenvolvida em ambiente SIG, a etapa B (conjunto laranja) representada como inventário florestal tradicional e a etapa C (conjunto azul) representada como varredura com o TLS.

O efeito de sombreamento que pode ocorrer nos dados TLS é uma das principais limitações do uso desta ferramenta no inventário florestal. Sombreamento é o fato de que alguns fustes, galhos, folhas, ou partes deles, podem não ser digitalizados, pois estão ocultos por elementos mais próximos ao scanner. Isso é inerente à natureza estática do TLS. Para solucionar o efeito de sombreamento, os dados podem ser obtidos por múltiplas varreduras ao invés de uma única varredura (varredura simples) no centro da área experimental de interesse.

Quando existe a necessidade de múltiplas varreduras, é necessário um planejamento mais rigoroso (configuração das varreduras e localização dos alvos). Alvos são utilizados como pontos de ligação entre as varreduras durante o processo de correção. Quando se adota o levantamento com varreduras múltiplas, o tempo de coleta na unidade amostral aumenta.

De acordo com Martins Neto (2016), a coleta de dados deve ser cuidadosamente planejada, com um conhecimento prévio do equipamento que será utilizado no levantamento. Além disso,

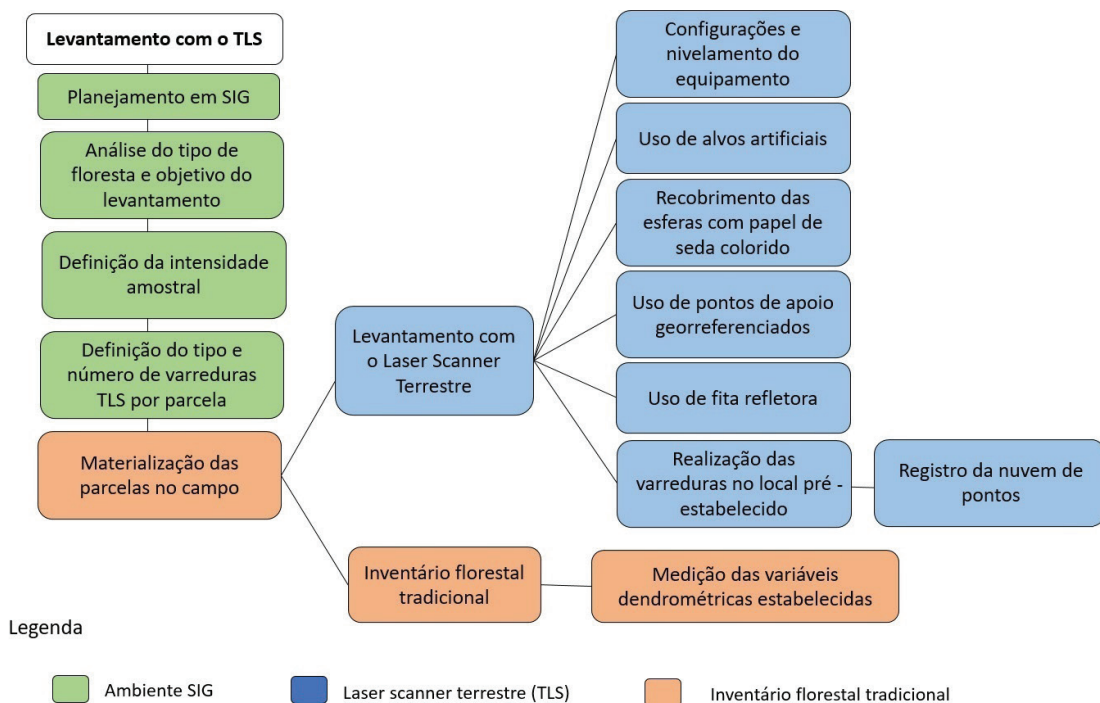


Figura 1. Representação das principais etapas de coleta de dados com o TLS.

recomenda-se que a coleta seja realizada em dias sem vento, para evitar interferências na posição do tronco e copa das árvores, o que resultaria em uma nuvem de pontos deslocada (entre as múltiplas varreduras), ou os comumente denominados “fantasmas” nas nuvens.

Considera-se de suma importância que o usuário tenha conhecimento prévio do tipo de floresta a ser analisado, sendo que, para florestas nativas, deve-se ter dobrada a atenção no planejamento e implementação das parcelas. É possível visualizar a disparidade estrutural dos diferentes tipos florestais na Figura 2 (floresta plantada) e na Figura 3 (floresta nativa).

O sistema de varredura simples não é indicado para levantamentos em florestas nativas, devido ao ambiente ser mais complexo, quando comparado aos plantios florestais equiâneos, principalmente pela diversidade de espécies, idade, porte e densidade de indivíduos. Mesmo que a varredura múltipla seja aplicada nesses ambientes, ainda assim, deve-se atentar para a questão do sombreamento de indivíduos por ocasião da seleção da posição do equipamento no campo.

O tipo de parcela a ser implementada, a área de abrangência e o número de amostras deverão ser estabelecidos previamente, baseando-se nos dados de inventário florestal tradicional, quando

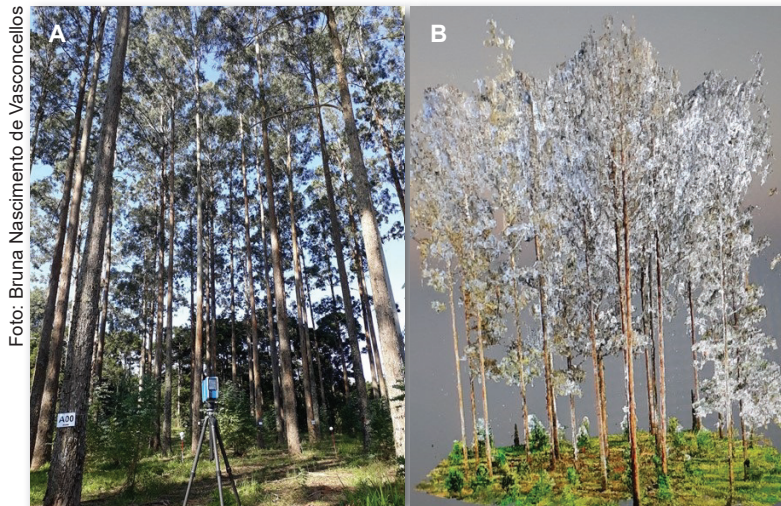


Figura 2. Representação do levantamento TLS em floresta plantada e da nuvem de pontos gerada. Fotografia do equipamento TLS instalado em uma floresta plantada (A); nuvem de pontos gerada para a floresta plantada (B).

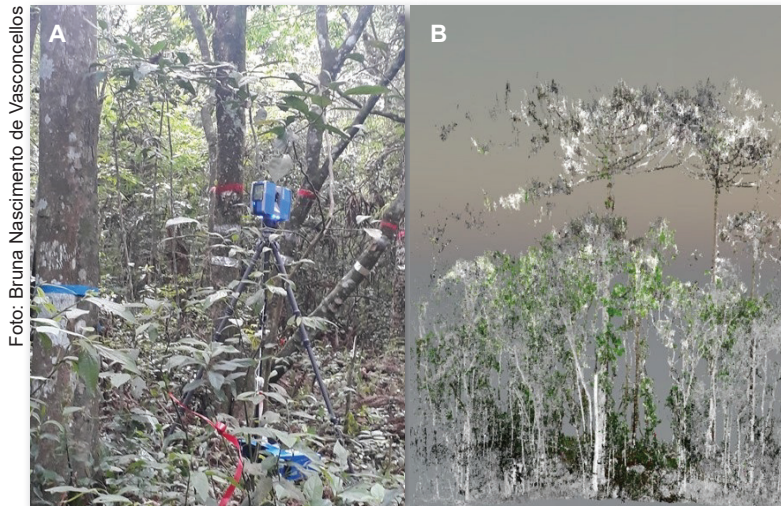


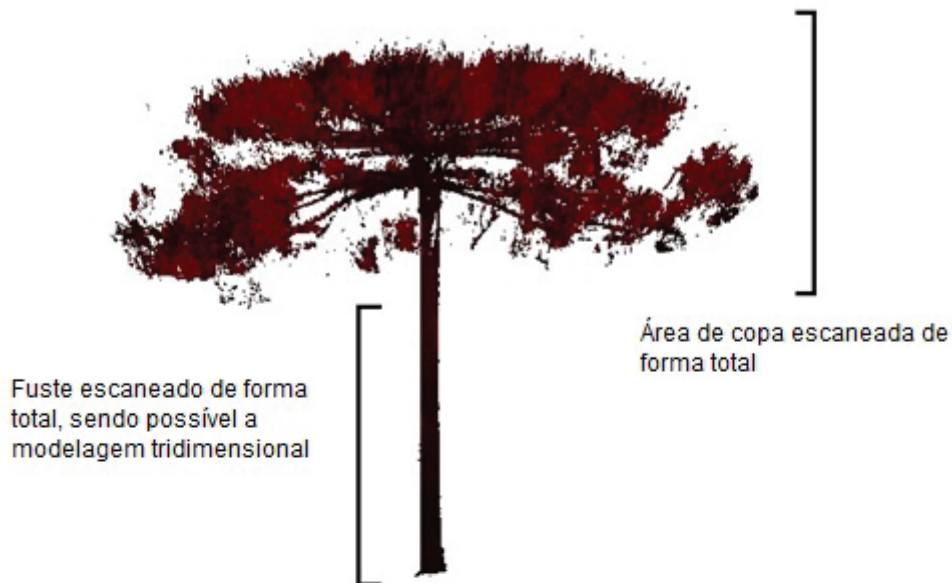
Figura 3. Representação do levantamento TLS em floresta nativa e da nuvem de pontos gerada. Fotografia do equipamento TLS instalado em uma floresta nativa (A); nuvem de pontos gerada para a floresta nativa (B).

esse estiver disponível. Para florestas nativas, recomenda-se que o valor máximo de raio para o levantamento não ultrapasse 15 m, conforme estudos previamente realizados, de modo que, até essa distância, pode-se ter um detalhamento do dossel (Wilkes et al., 2017). Em estudos considerando árvores individuais, Martins Neto et al. (2013) testaram a influência da distância da varredura TLS para duas árvores, com valores de 5 m, 10 m, 15 m e 20 m de distância entre a árvore e o equipamento laser. Os autores constataram que a melhor distância testada foi 15 m, o que poderia estar relacionado à altura média das árvores, que era 16,66 m. Em função disso, ao realizar a varredura em árvores individuais, deve-se considerar sempre a altura da árvore alvo do levantamento, bem como a existência de obstáculo que

possa interferir na qualidade da nuvem de pontos gerada. Embora alguns trabalhos indiquem uma distância de até 15 m para florestas nativas localizadas em regiões de clima temperado e, portanto, espécies distintas daquelas existentes no Brasil, deve-se considerar as especificidades de cada bioma brasileiro. Essa distância de varredura, em alguns casos, pode ser de, no máximo, 5 m, dependendo do estágio da floresta ou das características do sub-bosque.

Na Figura 4 é apresentado o detalhamento da nuvem de pontos obtida em função do posicionamento do scanner em relação ao objeto a ser escaneado, tendo sido testadas distâncias de 10 m e 30 m. Adicionalmente, recomenda-se que os locais de varredura sejam identificados e marcados antes do início do escaneamento.

A **Árvore escaneada em uma parcela circular com raio de 10m**



B **A mesma árvore escaneada em uma parcela circular com raio de 30m**

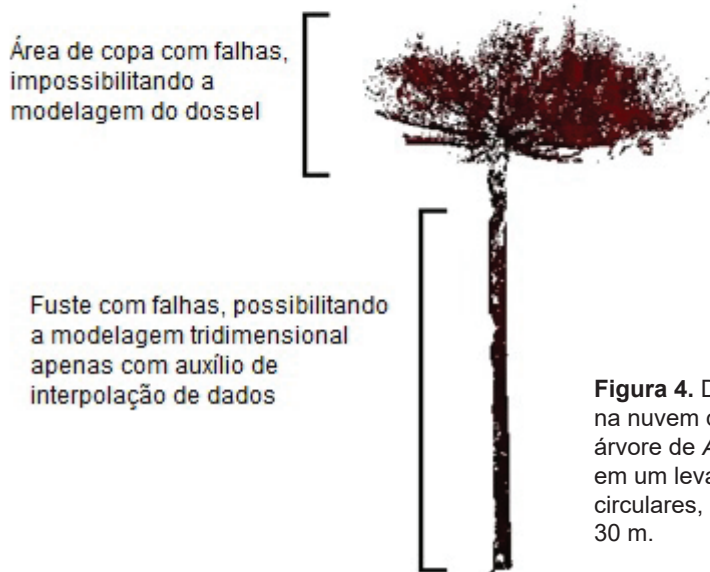


Figura 4. Diferenças observadas na nuvem de pontos de uma árvore de *Araucaria angustifolia* em um levantamento com parcelas circulares, com raio de (A) 10 m e (B) 30 m.

Configurações do equipamento

As configurações do TLS podem aumentar significativamente o tempo e os recursos necessários para a aquisição e o processamento dos dados. Aumentar a resolução angular, por exemplo, aumenta exponencialmente o tempo de varredura. A decisão de capturar dados de retorno discretos ou em forma de onda completas também pode afetar o tempo e os recursos despendidos (Wilkes et al., 2017). As configurações do TLS também têm implicações para o hardware necessário, tal como no caso de baterias externas adicionais e, ou armazenamento de dados. Recomenda-se que baterias adicionais e armazenamento de dados sejam levados para o campo, de modo que a varredura não seja interrompida devido a falhas da bateria original ou falta de espaço para armazenamento a bordo do instrumento.

É necessário realizar um planejamento prévio quanto ao tempo de cada varredura e, ainda, avaliar o tempo necessário para a finalização da parcela. Caso o levantamento da parcela não seja concluído integralmente, o levantamento deverá ser reestabelecido desde a primeira varredura. A configuração do TLS, bem como a sua disposição geográfica (distância e posição em relação aos objetos alvo), influenciam diretamente a qualidade dos dados obtidos e, por consequência, a confiabilidade da informação gerada (Almeida et al., 2017).

No processo de coleta de dados com o TLS deve ser localizado o ponto central

da parcela e, a partir disso, posicionado o equipamento, sendo montado em um tripé de levantamento (fabricante), de modo que esteja seguro e nivelado. Usualmente, são distribuídos alvos como esferas, fornecidas pelo fabricante, na área de abrangência da parcela, sendo firmemente colocados no chão, no intuito de evitar possíveis movimentos.

Escolha do tipo de varredura

A escolha do tipo de varredura a ser realizada é uma etapa fundamental no levantamento de dados por TLS. O usuário deve levar em consideração o nível de detalhamento que deseja obter da nuvem de pontos e, ainda, o tipo de floresta que deseja inventariar. Para florestas nativas recomenda-se a utilização de varreduras múltiplas, considerando que existe uma grande densidade de árvores e, ainda, a fim de evitar o sombreamento de árvores em função do sub-bosque. Em florestas plantadas, a varredura poderá ser simples ou múltipla, dependendo do nível de detalhamento desejado e, ainda, da idade e espaçamento entre as árvores. Para estudos de afilamento do tronco e volumetria, é imprescindível a aplicação de varreduras múltiplas, para que a medição ocorra de forma direta e não por estimativa.

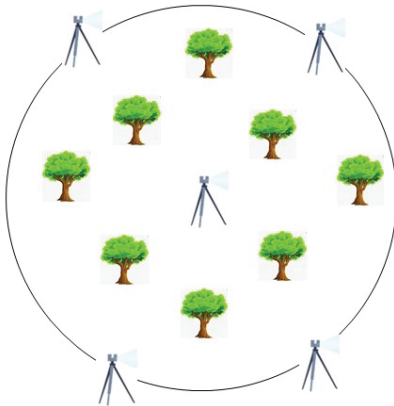
Estudo realizado por Pesck et al. (2019), em povoamentos de *Eucalyptus* spp. com idades de dois anos, com (*E. urophylla*) e sem (*E. grandis*) desrama natural e em árvores com 4,5 e 5,5 anos, sem desrama (híbrido

E. urophylla x *E. grandis*), avaliando 16 parcelas circulares de 200 m² a 400 m² concluíram que, quanto maior a unidade amostral e maior o diâmetro das árvores, maior será o efeito de sombreamento na nuvem de pontos. Nos casos de alinhamento perfeito entre as árvores e linhas (plantios desconsiderando as curvas de nível) há um número maior de árvores que ficarão ocultas, de modo que não serão escaneadas pelo equipamento. A abordagem de varredura única é a mais simples e rápida para aquisição de dados. Entretanto, conforme Torresan et al. (2018), ocorre o sombreamento de árvores, ramos e arbustos, o que pode resultar na omissão de até 20% das árvores presentes na parcela, motivo pelo qual esse tipo de varredura é evitado

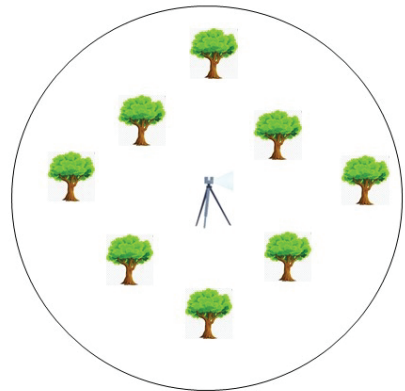
em florestas nativas, considerando a alta densidade de indivíduos do local de estudo.

Na Figura 5 está representado o sistema de varreduras múltiplas e de varredura simples, para uma parcela circular. Na varredura múltipla, o TLS é colocado em diferentes locais (no ponto central e nas extremidades da parcela). A alocação do equipamento no centro da parcela é importante, pois possibilita o cruzamento das diferentes varreduras e, conseqüentemente, a cobertura completa do tronco das árvores. O uso desse tipo de varredura proporciona um maior detalhamento da floresta, considerando que são vários pontos de visada. Neste tipo de varredura é recomendável dispor o TLS em uma configuração que minimize

Sistema Multivarreduras



Sistema de Varredura simples



Legenda

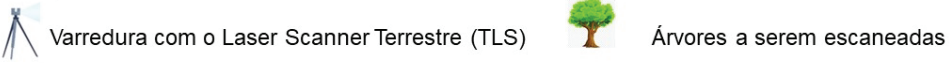
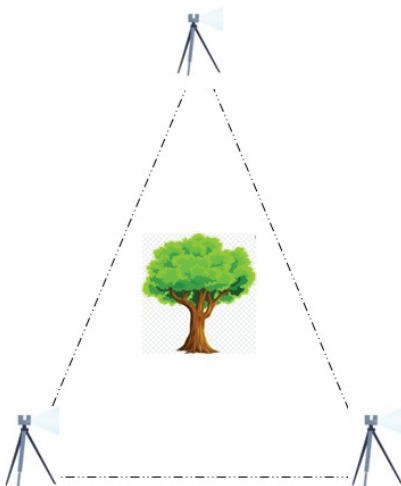


Figura 5. Representação do sistema de varredura múltiplas e de varredura simples para parcelas circulares

o efeito de sombreamento. Por exemplo, o TLS pode ser colocado no centro de cada parcela e em quatro pontos nos extremos, de modo a garantir maior cobertura das varreduras TLS na área de interesse. O ponto para alocação do equipamento deve ser escolhido de tal forma que não ocorra o sombreamento

de árvores ou, quando não for possível, que o efeito seja mínimo. Para o caso do levantamento de árvores individuais com alto detalhamento, sugere-se o uso de, pelo menos, três varreduras circunscritas à árvore, de maneira a garantir a cobertura total do tronco, conforme mostrado na Figura 6.

Varredura de árvore individual



Legenda



Varredura com o Laser Scanner Terrestre (TLS)



Árvore a ser escaneada

Figura 6. Representação de varredura para árvore individual.

Implementação das parcelas no campo

O registro de dados TLS de múltiplas varreduras tornou-se um pré-requisito crítico para aplicações florestais TLS (Hilker et al., 2012). Segundo Vasconcellos (2020), a materialização das parcelas pré-definidas em ambiente SIG precisa ser realizada antes do posicionamento do TLS, devendo seguir as diretrizes do inventário florestal tradicional. Após a implementação das parcelas, sugere-se o uso de material de apoio como papel de seda colorido, para melhor identificação dos alvos, e fita refletora para a demarcação do DAP, de modo a auxiliar no correregistro das nuvens de pontos obtidas por TLS.

O correregistro baseado na nuvem de pontos pode usar alvos pontuais, pontos individuais nos dados ou pontos-chave com atributos específicos (He; Habib, 2016). O registro baseado em alvos artificiais consiste na distribuição dos alvos, dentro do campo de visão da varredura TLS, para facilitar a sua identificação automática ou manual, a partir das nuvens de pontos derivadas. Segundo Lichti e Harvey (2002), ao decidir sobre a adequação de um alvo, é necessário considerar a sua estabilidade, rigidez e refletividade de superfície. Os alvos são feitos de materiais diferentes, de modo que materiais retrorrefletivos podem ser facilmente identificados na nuvem de pontos. Além disso, a cor dos alvos também é importante porque

cores diferentes produzem intensidades refletidas diferentes. Segundo Urbančič et al. (2019), os alvos artificiais diferem em forma e geometricamente podem ser divididos em alvos planos - como placas com sinalização alfanumérica - e de volume, como esferas. Os alvos planos são mais diversos, e certos fabricantes de equipamentos fornecem alguns deles em material acrílico. Os alvos de volume são projetados em formas geométricas simples, fáceis de modelar, como esferas, cilindros e cones.

O tamanho e a geometria do alvo devem ter correspondência com a distância do TLS, de modo a minimizar erros sistemáticos decorrentes do aumento no tamanho do ponto de laser e garantir uma amostragem de alta densidade da superfície. A característica mais importante do alvo é que ele permita a modelagem simples de sua forma que, por sua vez, apresenta as coordenadas precisas do ponto alvo de referência nas várias nuvens de pontos que serão correregistrados.

O correregistro das nuvens de pontos é uma das etapas mais importantes do pré-processamento de dados TLS, tendo em vista que erros associados podem inviabilizar a modelagem tridimensional da floresta, ocasionando divergências na modelagem de árvores individuais e por parcela, ou até mesmo impossibilitando a utilização da nuvem de pontos. A seguir são descritos alguns exemplos de alvos que auxiliam no correregistro das varreduras TLS:

- Utilização de pontos de apoio georreferenciados

Os pontos de apoio materializados e georreferenciados são necessários para a orientação e inserção de fotografias e modelos 3D em um sistema de coordenadas georreferenciado e desempenham um papel fundamental no corregristo das nuvens de pontos. Os pontos de apoio georreferenciados são o pré-requisito para o corregristo eficaz e preciso de nuvens de pontos 3D. A Figura 7 mostra um exemplo de marco utilizado para monitorar um plantio experimental de eucaliptos que, nesse caso, é recomendada a utilização de marcos fixos. Os marcos são fabricados em aço galvanizado de 2" e permanecem, ao longo do tempo, como referenciais de posicionamento para as varreduras TLS.

- Uso de esferas

Nos trabalhos de campo realizados por Vasconcellos (2020), com uso do TLS, foram também utilizadas as esferas para corregristo. São esferas do mesmo fabricante do TLS (FARO®). Para cada parcela foi realizada mais de uma varredura, corregristadas entre si, usando três ou mais esferas brancas com um diâmetro de 19,5 cm, dispostas no interior da parcela. Quando possível, a alocação das esferas deve ser feita considerando diferentes alturas (eixo Z), melhorando o processo de corregristo e a estabilidade da geometria das nuvens de pontos.

- Papel de seda colorido

Quando se tem à disposição esferas com dimensões conhecidas, sugere-se

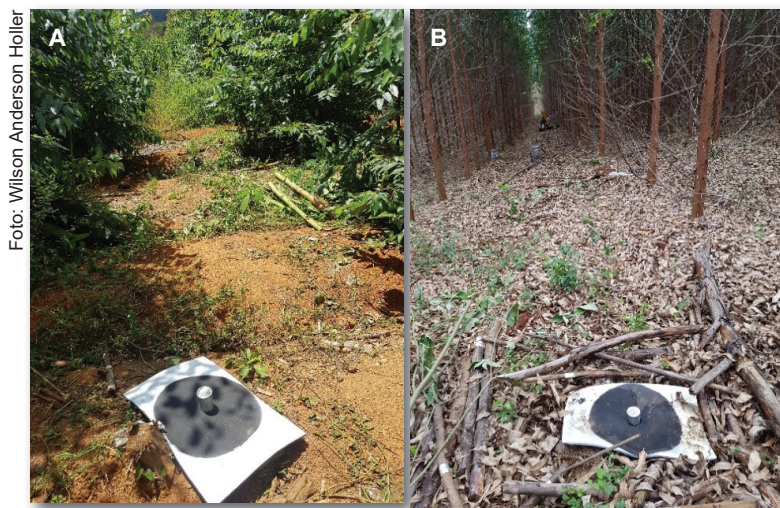


Foto: Wilson Anderson Holler

Figura 7. Exemplo de marco para monitoramento em duas datas diferentes: (A) 11/12/2018 e (B) 25/05/2019.

que sejam cobertas por papel de seda colorido (rosa, amarelo, azul claro, azul escuro, vermelho e prata), com o lado fosco para fora, no intuito de evitar qualquer tipo de interferência em relação à luminosidade. As diferentes cores das esferas têm a finalidade de facilitar a identificação individual no processo de corregristo.

Existe uma dificuldade em realizar o registro de nuvem de pontos em florestas com alta densidade de indivíduos, considerando que o software disponibilizado pelo fabricante não consegue localizar as esferas de forma automatizada. Além disso, a grande diversidade encontrada nas florestas nativas brasileiras possibilita a ocorrência de erros nessa automatização. O recobrimento das esferas com papel de seda colorido é considerado uma etapa imprescindível na coleta de dados em florestas nativas, visando otimizar e aumentar a confiabilidade do registro da nuvem de pontos. O processo de corregristo manual nessa situação se mostrou mais confiável. A Figura 8 mostra o recobrimento das esferas com papel de seda colorido.

- Fita refletora

O uso de fita refletora demarcando o diâmetro a 1,30 m de altura (DAP) é recomendado para os casos em que o usuário necessita realizar um comparativo semi-automatizado dos dados mensurados no campo e com o TLS, principalmente tratando-se de florestas nativas. A fita utilizada nos testes realizados foi da marca *Vonder*,



Foto: Wilson Anderson Holler

Figura 8. Representação esquemática do uso de fita refletora e esferas com papel de seda posicionadas em floresta nativa

Fonte: Vasconcellos (2020)

na cor prata, com dorso em polietileno reforçado, com fio sintético trançado e adesivo acrílico, recomendado para manutenções em geral, como: reparos provisórios em materiais náuticos (bote, pranchas, entre outros), enfaixamento de materiais, empacotamento pesado, isolamento ou vedação temporária, sendo comercializada em lojas de manutenção doméstica e construção civil.

Considera-se que a fita refletora facilita o trabalho de pós-processamento dos dados, permitindo a identificação da demarcação do DAP, considerando que, para o caso de florestas tropicais, o uso de alvos facilmente identificáveis na nuvem de pontos possibilita a otimização do processamento dos dados, dada à grande densidade de indivíduos arbóreos. O uso de materiais refletivos já foi

comprovado como eficaz, porém com forma geométrica definida como esferas feitas de material refletivo e utilizado, com sucesso, por Hilker et al. (2012). No entanto, fitas refletivas são mais fáceis de adquirir e transportar ao campo. Na Figura 9 está representada a implementação da fita refletora em uma floresta nativa e também as esferas identificadas manualmente.

Foto: Bruna Nascimento de Vasconcellos

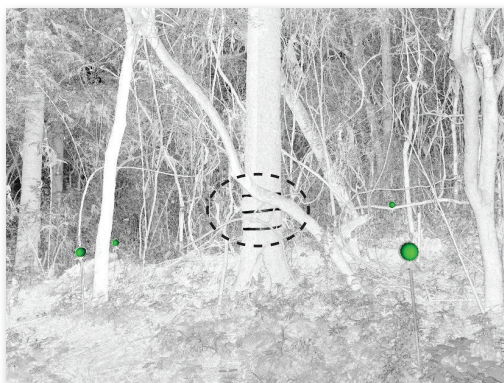


Figura 9. Representação da implantação de fita refletora em floresta nativa

Fonte: Adaptado de Vasconcellos (2020).

- Utilização de alvos com formas geométricas definidas

Alvos que não são retrorrefletivos nem feitos de materiais especiais podem ser usados para registro de nuvem de pontos se possuírem um formato de modelo definido. Muitas vezes, no campo, não se tem à disposição todos os materiais ideais e recomendados para

o correto registro das nuvens de pontos. Nesses casos, sugere-se a utilização de algum tipo de sinalização com geometria ou cor conhecida, como círculos, cruzetas, triângulos, retângulos ou números, para facilitar o correto registro em situações onde o uso de esferas não seja possível ou se disponha delas. Alguns fabricantes fornecem um arquivo para impressão em folhas de papel no formato A4.

Pré-processamento dos dados

Registro da nuvem de pontos

De acordo com Wilkes et al. (2017), para obter um registro satisfatório são necessários, no mínimo, quatro alvos comuns entre varreduras, sendo importante que não estejam ocluídos. Em florestas nativas, considera-se que a alta densidade de indivíduos e do sub-bosque torna a observação dos alvos mais difíceis. Em função disso, sugere-se o uso de um número maior de alvos e varreduras para evitar o sombreamento das árvores.

O planejamento do levantamento de campo com o TLS é uma das etapas fundamentais na coleta de dados, tendo em vista que está diretamente relacionado à qualidade do produto final. Além disso, facilita etapas como o registro da nuvem de pontos, processamento e posterior obtenção de variáveis dendrométricas.

Referências

- ALMEIDA, G. J. F.; DE CONTO, T.; HAMAMURA, C.; RODRIGUEZ, L. C. E. Detecção automática de fustes em povoamentos florestais usando o laser scanner terrestre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. **Anais**[...]. Santos: Inpe, 2017. p. 6320-6327.
- BUCK, A. L. B. **Análise de métodos de filtragem em dados Laser Scanner Terrestre aplicados à modelagem tridimensional do tronco de *Pinus spp.*** 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CALDERS, K.; ADAMS, J.; ARMSTON, J.; BARTHOLOMEUS, H.; BAUWENS, S.; BENTLEY, L. P.; CHAVE, J.; DANSON, M.; DEMOL, M.; DISNEY, M.; GAULTON, R.; MOORTHY, S. M. K.; LEVICK, S. R.; SAARINEN, N.; SCHAAF, C.; STOVALL, A.; TERRY, L.; WILKES, P.; VERBEECK, H. Terrestrial laser scanning in forest ecology: expanding the horizon. **Remote Sensing of Environment**, v. 251, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112102>.
- DE CONTO, T.; OLOFSSON, K.; GORGENS, E. B.; RODRIGUES, L. C. E.; ALMEIDA, G. Performance of stem denoising and stem modelling algorithms on single tree point clouds from terrestrial laser scanning. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 143, p. 165-176, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.10.019>.
- HE, F.; HABIB, A. A Closed-form solution for coarse registration of point clouds using linear features. **Journal of Surveying Engineering**, v. 142, n. 3, p. 4016006, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000174](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000174).
- HILKER, T.; COOPS, N. C.; CULVENOR, D. S.; NEWNHAM, G.; WULDER, M. A.; BATER, C. W.; SIGGINS, A. A simple technique for co-registration of terrestrial LiDAR observations for forestry applications. **Remote Sensing Letters**, v. 3, n. 3, p. 239–247, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.565815>.
- HOPKINSON, C.; CHASMER, L.; YOUNG-POW, C.; TREITZ, P. Assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, n. 3, p. 573–583, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1139/x03-225>.
- LIANG, X.; KANKARE, V.; HYYPPÄ, J.; WANG, Y.; KUKKO, A.; HAGGREN, H.; YU, X.; KAARTINEN, H.; JAAKKOLA, A.; GUAN, F.; HOLOPAINEN, M.; VASTARANTA, M. Terrestrial laser scanning in forest inventories. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 115, p. 63–77, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.006>.
- LICHTI, D. D.; HARVEY, B. The effects of reflecting surface material properties on time-of-flight laser scanner measurements. **Geospatial Theory, Processing and Applications**, n. 2001, 2002. Disponível em: <https://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part4/pdfpapers/180.pdf>.
- LOVELL, J. L.; JUPP, D. L. B.; CULVENOR, D. S.; COOPS, N. C. Using airborne and ground-based ranging lidar to measure canopy structure in Australian forests. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 5, p. 607–622, 2003. DOI: <https://doi.org/10.5589/m03-026>.
- MARTINS NETO, R. P.; BUCK, A. L. B.; SILVA, M. N.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; PESCK, V. A. Avaliação da varredura laser terrestre em diferentes distâncias da árvore para mensurar variáveis dendrométricas. **Boletim de Ciências Geodésicas (Online)**, v. 19, p. 420-433, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702013000300005>.
- MARTINS NETO, R. P. **Extração de variáveis dendrométricas em árvores de *Pinus taeda* L. a partir de dados ALS e TLS.** 2016. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- PADILHA, A. S. **Emprego de dados Laser scanner terrestre e de sensores embarcados em veículos aéreos não tripulados para a extração de variáveis dendrométricas.** 2017. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná; Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 1997. 316 p.

PESCK, V. A.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; FIGUEIREDO FILHO, A.; STEPKA, T. F. Detecção automática de árvores em unidades amostrais a partir de varredura simples com laser terrestre. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, p. 1-11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4336/2019.pfb.39e201801730>.

PFEIFER, N.; LIANG, X.; HYYPPÄ, J.; KAARTINEN, H. Terrestrial laser scanning in forest inventories. **GIM International**, v. 30, n. 2, p. 26–29, 2017. Disponível em: <https://www.gim-international.com/content/article/terrestrial-laser-scanning-in-forest-inventories>.

TORRESAN, C.; CHIAVETTA, U.; HACKENBERG, J. Applying quantitative structure models to plot-based terrestrial laser data to assess dendrometric parameters in dense mixed forests. **Forest Systems**, v. 27, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2018271-12658>.

URBANČIČ, T.; ROŠKAR, Ž.; KOSMATIN FRAS, M.; GRIGILLO, D. New target for accurate terrestrial laser scanning and unmanned aerial vehicle point cloud registration. **Sensors**, v. 19, n. 14, p. 3179, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19143179>.

VASCONCELLOS, B. N. V. **Estimativa de variáveis dendrométricas individuais de *Araucaria angustifolia* por meio de dados Laser Scanner aéreo e Terrestre**. 2020. 183 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

WILKES, P.; LAU, A.; DISNEY, M.; CALDERS, K.; BURT, A.; TANAGO, J. G.; BARTHOLOMEUS, H.; BREDE, B.; HEROLD, M. Data acquisition considerations for Terrestrial Laser Scanning of forest plots. **Remote Sensing of Environment**, v. 196, p. 140-153, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.030>.

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba,
Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR, Brasil
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição

Versão digital (2021)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações da Embrapa Florestas

Presidente

Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente

José Elidney Pinto Júnior

Secretária-Executiva

Elisabete Marques Oaida

Membros

Annette Bonnet

Cristiane Aparecida Fioravante Reis

Guilherme Schnell e Schühli

Krisle da Silva

Marcelo Francia Arco-Verde

Marcia Toffani Simão Soares

Marilice Cordeiro Garrastazu

Valderés Aparecida de Sousa

Supervisão editorial/Revisão de texto

José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica

Francisca Rasche

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Neide Makiko Furukawa

Foto capa:

Bruna Nascimento de Vasconcellos