



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

MAYCOW LUCAS DUTRA GOMES BERBERT

POTENCIAL DO LiDAR TERRESTRE COMO FERRAMENTA PARA O MANEJO DE
FLORESTAS NATURAIS

Prof. Dr. Francisco José de Barros Cavalcanti
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

MAYCOW LUCAS DUTRA GOMES BERBERT

**POTENCIAL DO LiDAR TERRESTRE COMO FERRAMENTA PARA O MANEJO
DE FLORESTAS NATURAIS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de **Engenheiro Florestal**, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. Francisco José de Barros Cavalcanti
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2016

**POTENCIAL DO LiDAR TERRESTRE COMO FERRAMENTA PARA O MANEJO
DE FLORESTAS NATURAIS**

MAYCOW LUCAS DUTRA GOMES BERBERT

Monografia aprovada em 08 de junho de 2016.

Comissão Examinadora:

Prof. Francisco José de Barros Cavalcanti – UFRRJ/IF/DS
Orientador

Prof. Hugo Barbosa Amorim – UFRRJ/IF/DS
Membro

Eng. Florestal Emily Tsiemi Shinzato – TREEVIA
Membro

DEDICATÓRIA

Matriarcas de minha família, árvores frondosas,
que mesmo em solo árido dispersaram sementes,
fertilizaram a terra e conceberam a nossa floresta, à elas dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta formaram as bases do meu conhecimento, no qual me encontro de pé e com olhos no futuro.

Aos autores em especial, Hermann Hesse pelos momentos de reflexão filosófica sobre o existencialismo. Henry David Thoreau por ter ensinado a essência da vida nos bosques e a desobediência civil. J. R. R. Tolkien pelos momentos lúdicos. Mark Twain pelas aventuras proporcionadas por Tom Sawyer. Isaac Asimov por ter proporcionado a minha paixão por inovação e tecnologia. A velha e boa Ayn Rand, que contribuiu para minha busca pela liberdade e direitos individuais. Ludwig von Mises, Friedrich Hayek, Murray Rothbard e Milton Friedman por contribuírem para minha formação no campo da economia.

Ao Prof. Hugo Barbosa Amorim, meu mestre, pelo apoio, paciência, orientação e pelos debates enriquecedores acompanhados por muita cafeína.

Ao Prof. Francisco Cavalcanti, por ter aceitado essa empreitada de orientar minha monografia, pelo conhecimento e amor ao manejo florestal, evidenciado nas aulas e momentos de conversa no laboratório, agradeço sinceramente.

Ao Prof. José de Arimatéa, eterno paladino da história florestal, pela contribuição a minha formação no campo da política e economia florestal.

Ao Prof. Alexandre Monteiro, pelo aprendizado proporcionado sob sua tutoria no PET-Floresta.

Ao Esthevan Gasparoto e Emily Shinzato, meus mentores, pelo apoio e ensinamentos.

Ao Nélio Fernandes, Leonardo Inácio, William Peixoto, Wemerson Randolpho, Jhonathan Wyterlin e Ramon Teodoro, pelos momentos e ensinamentos compartilhados ao longo de cinco anos como programador, agradeço sinceramente.

Ao Uelisson Ribeiro, Nikolas Rodrigues, Karen Resende, Tatiana Lobo, Izabella Sanches, Desireé Alvarez e Henos Knupler, Maria Pia Palmeiro, Lucas Gomes, Cléssio Gomes, por ter compartilhado os melhores momentos nesse ciclo importante da minha vida.

Aos meus irmãos e minha mãe, pelo amor e carinho proporcionados nessa jornada.

A Larissa Porto, pela paciência, amor e carinho.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo verificar, por meio da revisão bibliográfica, o potencial da utilização do sistema LiDAR terrestre no manejo de florestas tropicais, especialmente para a obtenção da localização, altura e volume da árvore e do modelo digital do terreno (MDT). Para tal, foram coletadas informações em teses, artigos, livros e sites que relatam, tanto as aplicações do LiDAR terrestre na ciência florestal como tecnologias aplicadas atualmente no manejo de florestas naturais. O LiDAR terrestre mostrou ter grande potencial pela alta capacidade de obtenção dos atributos florestais, como DAP e Altura da árvore, isso tudo atrelado a alta precisão, que possibilita acurácia no MDT e na modelagem da árvore. Informações da estrutura florestal proporcionadas pelo TLS, a partir da nuvem de pontos, abrem uma nova perspectiva para o manejo florestal. Contudo, existem grandes desafios como obtenção de MDT de grandes áreas, aprimoramento de métodos de filtragem e modelagem das árvores e o desenvolvimento de *software* e *hardware* que adequem a realidade da floresta Amazônica.

Palavras-chave: Manejo florestal, Modelo Digital do Terreno, LiDAR terrestre, TLS.

ABSTRACT

The goal of this study was to verify, through the bibliographic review, the potential use of Terrestrial LiDAR System (TLS) in the tropical forests management, especially to obtain the location, height, tree volume and the Digital Terrain Model (DTM). Therefore, information was collected from, articles, books and websites, both terrestrial LiDAR applications in forestry science and technologies currently applied in the management of natural forests. The ground-based LiDAR has shown great potential with high ability to obtain forest attributes such as DBH and tree height, with high precision, which allows accuracy in the DTM and the tree modeling. Information of forest structure provided by TLS, from the point cloud, opens a new perspective for forest management. However, there are major challenges such as obtaining DTM for large areas, improving tree filtering and modeling methods and developing software and hardware that suit the reality of the Amazon rainforest.

Keywords: Forest Management, Digital Terrain Model, Ground-based LiDAR, TLS.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVO.....	12
2.1 Geral.....	12
2.2 Específicos.....	12
3 METODOLOGIA.....	13
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
4.1 Amazônia.....	14
4.2 Manejo de Florestas Tropicais.....	14
4.3 LiDAR.....	16
4.3.1 LiDAR aerotransportado ou ALS.....	18
4.3.2 LiDAR terrestre ou TLS.....	19
5 RESULTADOS.....	20
5.1 MDT – Modelos Digital do Terreno.....	20
5.2 Parâmetros dendrométricos.....	22
5.3 Software.....	28
6 CONCLUSÃO.....	29
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema operacional do sistema ALS.....	18
Figura 2: Princípio de operação do LiDAR terrestre (FARO Photon 120).....	19
Figura 3: Tipos de retornos do laser.....	20
Figura 4: Planta esquemática da plataforma do LiDAR(a), o sistema LiDAR portátil terrestre(b) e o mesmo sistema numa mochila(c).....	22
Figura 5: Mochilas com LiDAR acoplado.....	23
Figura 6: Reconstrução e obtenção de parâmetros dendrométricos. (A) Topologia da árvore; (B) Modelagem do tronco; (C) Identificação do cilindro para obtenção do DAP, Altura, Volume e Área Basal; (D) Modelo Digital do Terreno (MDT), detecção e localização das árvores.....	24
Figura 7: Transformação dos pontos em imagem raster.....	26
Figura 8: Da nuvem de pontos para a estrutura do esqueleto de uma árvore: (a) nuvem de pontos da árvore isolada; (b) estrutura do esqueleto cercado pela nuvem de pontos originais; (c) esqueleto da árvore isolado.....	27
Figura 9: Nuvem de pontos de uma <i>Erythrophleum fordii</i> (Altura aproximada de 14,6 metros.): (a) Nuvem de pontos contendo outras árvores, pontos fantasmas e folhas; (b) nuvem de pontos após filtragem; (c) o modelo do cilindro resultante.....	28
Figura 10: A esquerda é a nuvem de pontos segmentada. A direita é o modelo final do cilindro.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplos de métodos utilizados para modelagem da árvore.....	25
Tabela 2: Exemplos de software usados para o processamento da nuvem de pontos.....	30

1 INTRODUÇÃO

Representando 30% de todas as florestas tropicais do mundo, o bioma Amazônico possui uma rica biodiversidade. Com uma dependência histórica dos extrativos florestais, a região Amazônica atualmente desponta como a maior produtora de madeira em tora nativa no Brasil (SFB, 2013; SILVA, 2003). Devido a esse cenário, o Manejo Florestal tornou-se uma ferramenta importante para exploração consciente dos seus diferentes recursos florestais. Por tempos a exploração foi realizada de forma predatória, sem planejamento, causando grandes perdas socioeconômicas e ambientais para região (HOLMES et al., 2004).

De acordo com Holmes et al. (2002) a exploração de impacto reduzido provou-se mais rentável que a exploração convencional, ao mesmo tempo diminuindo o impacto na floresta. Um dos grandes avanços desse pacote tecnológico é o censo florestal na etapa pré-exploratória, que fornece informações detalhadas sobre as árvores e sobre o terreno, fornecendo subsídios importantes tanto para fins de exploração, na otimização do uso de máquinas, quanto para fins comerciais.

Com aplicação integrada das tecnologias de Sistema de Informações Geográfica (SIG), Sensoriamento Remoto (SR) e de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), para modelar digitalmente o relevo e a hidrografia da área a ser manejada, o Modelo Digital de Exploração Florestal, conhecido como MODEFLORA, promoveu um avanço no manejo florestal (FIGUEIREDO et al., 2007).

Uma das principais vantagens da modelagem digital do terreno proporcionadas pelo MODEFLORA é a possibilidade de, ainda no escritório, ser possível obter, a partir dos dados SRTM, uma primeira aproximação das bacias hidrográficas, Áreas de Preservação Permanente (APP) e outras informações necessárias ao microzoneamento. Entretanto, devido a precisão baixa da imagem SRTM, com pixel de 60 metros (BROZA et al., 2012), ainda é necessário a coleta de pontos ao longo dos canais de drenagem, para posterior validação e ajuste do mapa hidrográfico e respectiva APP (FIGUEIREDO et al., 2007).

Neste sentido, a tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) surge como uma possibilidade ímpar para o manejo florestal, capaz de aumentar a acurácia dos levantamentos no campo da geociência. A sua relevância para o manejo de florestas tropicais é ressaltada por D'Oliveira et al. (2014). O autor mostra as possibilidades do LiDAR aerotransportado ou ALS (*Airborne Laser Scanner* – Escaneamento Laser Aeroembarcado) como uma ferramenta para o manejo, capaz de gerar mapas topográficos de alta resolução espacial (aproximadamente 0,2 m) e estimativas de altura da vegetação com alta acurácia.

Rodriguez et al. (2010) aponta que o mercado ALS está em desenvolvimento e grande parte dos procedimentos estão saindo da fase de pesquisa para a fase operacional. O mesmo autor ressalta que o setor de celulose e papel no Brasil tem obtido êxito no uso de dados ALS em suas extensas áreas de plantios.

Entretanto, surge a possibilidade da utilização do LiDAR terrestre como uma ferramenta capaz de proporcionar informações tri-dimensionais precisas de dentro da floresta. Inibindo a coleta de variáveis dendrométricas de forma destrutiva e tornando possível a aquisição do MDT com maior precisão (DASSOT et al., 2011).

Dessa forma, esse trabalho se propõe apresentar, por meio de revisão da literatura, os potenciais do LiDAR terrestre ou TLS (*Terrestre Laser Scanner*) para o manejo de florestas naturais.

2 OBJETIVO

2.1 Geral

O objetivo deste trabalho é fornecer uma revisão bibliográfica do potencial da utilização do LiDAR terrestre na obtenção de dados florestais para subsidiar o manejo de florestas naturais.

2.2 Específicos

- a) Investigar por meio da revisão bibliográfica a eficiência e precisão para levantamento das variáveis dendrométricas;
- b) Levantar os *Softwares* existentes para processamento das nuvens de pontos;
- c) Reunir informações sobre a aplicação do TLS para elaboração do MDT.

3 METODOLOGIA

Considerando o objetivo proposto, realizou-se um levantamento bibliográfico em teses, artigos, livros e sites que relatam experiências no uso da tecnologia LiDAR nas áreas de engenharia, sensoriamento remoto, geociência, manejo de florestas tropicais e ecologia florestal. O estudo consistiu em uma avaliação das informações existentes na bibliografia sobre o LiDAR terrestre, considerando sua aplicabilidade na ciência florestal e suas potencialidades para o manejo de florestas tropicais.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Amazônia

Com cerca de 45.000 espécies de plantas e vertebrados e 600 tipos diferentes de *habitats* terrestres e de água doce, o bioma Amazônico, expressa uma rica biodiversidade. Possuindo uma ocupação característica do bioma de floresta ombrófila densa e floresta ombrófila aberta, contudo, também são encontradas tipologias vegetacionais típicas de campinaranas, savana, formações pioneiras e de refúgio vegetal (SFB, 2013).

Silva (1996) chama atenção para a divisão oficial da Amazônia brasileira, onde é identificada com base em dois conceitos distintos: um, administrativo-regional, caracterizado por critérios fisiográficos, compreende a Amazônia tradicional; outro, político, caracterizado por critérios políticos e socioeconômicos, delimita a Amazônia Legal.

O mesmo autor descreve uma rarefação demográfica presente na região, apresentando uma densidade demográfica regional de apenas 2,63 habitantes por km² - sendo a média nacional de 17,23 habitantes por km² - caracterizada por uma população rural dispersa ao longo dos rios, em decorrência natural das atividades econômicas do extrativismo, nas mais variadas formas.

Desde a célebre expedição de Francisco de Orellana pelo rio Amazonas, nos meados de 1541 até os dias atuais, a economia amazônica baseou-se em extrativos florestais, perpassando por cinco ciclos: i) Ciclo das drogas do sertão, 60 anos (1641 a 1700); ii) Ciclo do cacau, 150 anos (1701 a 1850); iii) Ciclo da borracha, 80 anos (1851 a 1930); iv) Ciclo de múltiplos produtos da floresta, 40 anos (1931 a 1970) – principais produtos: borracha, castanha, guaraná e pau-rosa; e v) Ciclo da madeira (de 1971 em diante). Tais ciclos demonstram a histórica dependência econômica dos múltiplos produtos da floresta no desenvolvimento da região (SILVA, 2003).

Responsável pela produção de 75% da madeira em tora do Brasil, mesmo com exportações modestas, mas com um cenário promissor de crescimento devido a diminuição das florestas tropicais na Ásia, a Amazônia pode se tornar o maior produtor de madeira tropical do mundo. Em face dessa perspectiva, surge o desafio de conciliar o desenvolvimento econômico, a subsistência das populações tradicionais e a conservação dos seus recursos naturais (BALIEIRO et al., 2010; UHL et al., 1997).

4.2 Manejo de Florestas Tropicais

Silva (1996) define manejo florestal sendo a aplicação de métodos empresariais e princípios técnicos na operação de uma propriedade florestal. Sendo que a Lei 12.651/12 define manejo sustentável como: administração da vegetação natural para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras ou não, de múltiplos produtos e subprodutos da flora, bem como a utilização de outros bens e serviços (BRASIL, 2012).

Apesar do conceito de manejo florestal distinguir-se de manejo florestal sustentável, observa-se que o segundo termo amplia as possibilidades para o manejo de uso múltiplo. Cavalcanti

(2007) mostra que no início havia como objetivo apenas produção sustentável de madeira, assim buscava a eliminação de espécies “indesejáveis”, tornando a floresta mais homogênea e mais parecida com as florestas onde manejo florestal se originou. Assim o mesmo autor demonstra, que ao contrário de “simplificar” a floresta é necessário desenvolver métodos que se adequem à sua heterogeneidade e às populações que dela fazem uso.

A exploração de madeira na Amazônia evoluiu muito nessas últimas décadas, contudo ainda encontra-se atividades predatórias. Não por falta de pacote tecnológico, pois estudos demonstraram que o manejo florestal por meio da exploração de impacto reduzido (EIR) possuem maior rentabilidade comparado à exploração sem planejamento (HOLMES et al., 2002; SABOGAL et al., 2009).

Para Sabogal et al. (2009), práticas de EIR compreendem o planejamento da exploração, desenvolvimento de infraestrutura e técnicas operacionais, aumentando a eficiência das operações e reduzindo os danos ambientais.

O mesmo autor sinaliza que as diretrizes no EIR subdivide-se nas atividades: pré-exploratória; exploratória e pós-exploratória.

A etapa pré-exploratória realiza as atividades de delimitação das unidades de trabalho (UT) e seu mapeamento, o censo florestal e o corte de cipós que deve acontecer um ano antes da exploração. Nesse momento ocorre o planejamento das atividades de exploração, onde há seleção e marcação das árvores a serem cortadas, a definição e planejamento do sistema de exploração, o planejamento das trilhas de arraste, a programação de corte e estimativa de volume anual, construção das estradas primárias e secundárias.

Na etapa exploratória é construída toda a infraestrutura (construção de estradas e pátios de estocagem) e a exploração propriamente dita. É nesse momento que as árvores selecionadas passam pelo teste de oco, para confirmar a viabilidade comercial da árvore, caso positivo, o corte direcional é executado. Uma vez derrubado, a tora seccionada é arrastada por um trator florestal para um pátio de estocagem, onde são identificadas com um número que irá compor o processo de rastreabilidade da madeira.

As atividades pós-exploratórias tem como objetivo o monitoramento da dinâmica florestal e a manutenção das infraestruturas construídas anteriormente, afim de conservar para atividades futuras. Os processos dessa atividade resumem na manutenção das estradas e pátios de estocagem, avaliação das atividades de exploração e medidas de proteção da floresta.

O manejo da floresta tropical teve grande avanço no que trata-se da avaliação da regeneração e à dinâmica da floresta pós-exploração, sempre orientados a reduzir os impactos da exploração sobre a floresta remanescente (D’OLIVEIRA; BRAZ, 1998; FIGUEIREDO; et al., 2007; HENDRISON, 1990).

Visto isso, Figueiredo et al. (2007) propõe o Modelo Digital de Exploração Florestal (MODEFLORA), um avanço para o manejo florestal, onde o define não como um *software* ou equipamento, mas sim um novo processo que une as ferramentas de Sistema de Informações

Geográficas (SIG), o inventário florestal com uso das tecnologias disponíveis do Sistema Global de Navegação por Satélites (GNSS), e imagens de sensores remotos (radar e satélites).

A proposta do MODEFLORA vem sanar problemas comuns ao manejo florestal, os quais Figueiredo et al. (2007) aponta como:

a) Desconhecimento da área a ser inventariada

Desconhecimento da declividade ou aclives acentuados, gerando superestimativa ou subestimativa nos projetos das rampas; baixa ou nenhuma exatidão na localização dos recursos hídricos, o que prejudica a rede de drenagem, cursos d'água temporários e demarcação das áreas de preservação permanente (APP).

b) Inventário com “Prazo de Validade Curto”

Devido ao uso do sistema de coordenadas X e Y para demarcar as árvores, dificultando a localização real das espécies a ser explorada e gerando problemas no planejamento das instalações das estradas e pátios, redes de arraste e direcionamento do corte.

Um dos avanços com o MODEFLORA é aplicação do Sensoriamento Remoto (SR), aumentando a precisão do planejamento. Antes do inventário 100%, conhecido também como censo, há um levantamento detalhado da hidrografia. O mapeamento é realizado com imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), possibilitando a modelagem do terreno.

4.3 LiDAR

O princípio de operação do LiDAR (*Light Detection and Ranging*) é simples. O *laser* emitido sofre desvio por um espelho de varredura direcional, que é refletido ao tocar um objeto. Cada feixe de *laser* refletido, permite a medição de uma distância entre o sensor e o objeto (determinada pelo intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão do feixe) e o ângulo entre os pontos. O resultado é uma nuvem composta de milhares de pontos, resultando em uma imagem 3D da superfície vista pelo *scanner* (LEMMENS, 2011a).

Tommaselli (2003) expõe características importantes da varredura a laser, como:

- É um método ativo que não depende da luz visível refletida, embora alguns modelos de scanners apresentem comportamento inadequado na ausência total de iluminação;
- Operação remota, o que significa que o objeto não precisa ser tocado;
- O princípio geométrico de cálculo das coordenadas pode ser a triangulação, o intervalo de tempo ou a diferença de fase, dependendo do modelo, mas em todos os casos a varredura pode ser feita com apenas uma estação por visada;
- A resposta tem à sua disposição milhões de pontos com coordenadas conhecidas, estando apto a fornecer respostas sobre os objetos, como distâncias entre peças, dimensões, volumes, verticalidade de superfícies, etc.;
- alta densidade de pontos coletados e, conseqüentemente, altíssima redundância na descrição discreta dos objetos;

- Operação simples e flexível; basta um operador para posicionar e operar o sistema;
- É possível combinar vários modelos numéricos gerados de diferentes posições, o que permite cobrir quase toda superfícies visível dos objetos;
- Alguns sistemas possuem software para a obtenção de descrições paramétricas dos objetos por ajuste à nuvem de pontos, o que permite uma acurácia ainda maior que a dos pontos isolados; além disto, devido à alta densidade de pontos as ferramentas automáticas de alguns sistemas fazem a busca pelos pontos pertencentes aos mesmo objetos ou superfícies com pouca interação com o operador, o que aumenta a substancialmente a produtividade.

O LiDAR pode ser classificado em dois grupos de acordo com seu princípio de funcionamento: *phase-shift* ou *time-of-flight*.

Nos *scanners* de diferença de fase, as distâncias são estimadas através da variação do deslocamento de fase entre o feixe emitido e o recebido. Nesse princípio apenas um retorno é gravado para cada alvo atingido. Instrumentos como esses permitem maior rapidez e elevada aquisição de pontos, associado a um amplo espectro de visão. LiDAR baseados no princípio de diferença de fase, possuem alta precisão para alvos próximos (até 100 m) e, em sua maioria, utilizam comprimentos de onda visíveis (600-800 nm) (LEMMENS, 2011a; PFEIFER; BRIESE, 2007).

O princípio do *time-of-flight* é baseado no cálculo do tempo entre a emissão e a recepção do pulso de laser. A distância é calculada multiplicando-se o tempo pela velocidade da luz e dividindo-se por dois. Equipamentos com essas características geralmente utilizam comprimentos de ondas do infravermelho-próximo (900-1500 nm) e possibilitam um alcance maior nas medições, o que facilita a modelagem 3D de alvos mais distantes (mais que 100 m). Porém a velocidade de aquisição dos pontos é baixa (LEMMENS, 2011b).

A gravação para o scanner do tipo *time-of-flight* distingue-se em quatro métodos conforme o número de sinais de retorno para cada direção e a capacidade de detecção do sensor LiDAR: (a) Gravação de um único retorno para o primeiro objeto que reflete uma porção do pulso de laser; (b) Gravação da primeira e da última reflectância; (c) Gravação de retorno múltiplo (até cinco sinais); (d) Gravação de onda completa. Para as três primeiras tecnologias, um único sinal pico é registrado de acordo com os limites especificados. Ambos os métodos (c) e (d) (em menor extensão, o segundo) fornecem dados de multi-profundidade, quando o ponto de laser não é totalmente interceptado pelo primeiro objeto, mas parcialmente recebido por vários objetos. Além disso, a forma de onda completa analisa a totalidade do sinal refletido, que conduz a uma melhor avaliação da estrutura do alvo (DASSOT et al., 2011; LEMMENS, 2011a; PFEIFER et al., 2007).

Devido ao grande detalhamento das superfícies geradas a partir do *laser*, centros de pesquisas florestais viram nessa tecnologia aplicações no levantamento de inventários florestais e volume de pilhas de madeiras e cavacos (LEONARDO et al., 2013).

4.3.1 LiDAR aerotransportado ou ALS

O *laser scanning* aerotransportado é uma ferramenta para determinação de coordenadas tridimensionais de pontos na superfície da terra. A varredura é realizada a partir da aeronave, além da superfície do terreno, outros objetos como estruturas urbanas e copas de árvores são escaneados. O conjunto de sistemas que compõe o LiDAR aerotransportado é mais complexo, devido a instabilidade da aeronave que movimenta-se em três eixos diferentes, ocasionados pela turbulência em voo (BEHAN, 2000; CENTENO et al., 2007; LIMA et al., 2002)(Figura 1).

Para corrigir o erro gerado pela instabilidade de voo, foi integrado o *Global Positioning System* (GPS) e o *Inertial Measurement Unit* (IMU) no ano de 1990, o que solucionou problemas de posicionamento e localização. Um importante passo para tornar viável comercialmente o sistema LiDAR aerotransportado (NÆSSET et al., 2004).

O ALS tem sido utilizado para descrever a estrutura de grandes áreas de floresta. Possibilitando a coleta de informações para o inventário florestal (localização da árvore dentro da parcela, a altura da árvore, área de copa e estimativas de volume), bem como para a ecologia da floresta, podendo obter a estratificação vertical (KOETZ et al., 2007).



Figura 1: Esquema operacional do sistema ALS.

Rempel e Parker (1964), fizeram as primeiras menções das possibilidades de aplicação do LiDAR na área florestal, o qual usou o LiDAR aerotransportado para obter dados do terreno e alturas das árvores. Porém o primeiro experimento que realmente mensurou árvores foi relatado por Solodukhin et al. (1976), que comparam os dados obtidos na varredura a laser de uma árvore com medidas tiradas com fita métrica. Posteriormente, foi montado o mesmo instrumento numa aeronave para adquirir dados aéreos (SOLODUKHIN et al., 1979). Estudos similares usando laser scanning foram conduzidos mais tarde na América do Norte por Aldred et al. (1985); Maclean et al. (1986) e Nelson et al. (1984). Também foram desenvolvidos métodos para estimar o volume e biomassa florestal, a partir de dados de copa, obtidos pelo LiDAR aerotransportado (MACLEAN;

KRABILL, 1986; MACLEAN; MARTIN, 1984). Estudos com LiDAR aerotransportado e aerofotogrametria foram utilizados por Arp et al. (1982), para gerar mapas com as alturas das árvores, ajudando a demarcar uma nova unidade de conservação na floresta tropical da Venezuela.

4.3.2 LiDAR terrestre ou TLS

O LiDAR terrestre ou TLS é um *scanners* utilizado como instrumento de avaliação não destrutiva, rápida e com precisão na digitalização de objetos físicos, gerando nuvens de pontos (point clouds) tri-dimensionais (3D). Ele é colocado em um suporte, geralmente um tripé (Figura 2) e os dados coletados por um instrumento TLS consistem de milhões de pontos descritos em coordenadas cartesianas em uma matriz (X, Y, Z), sendo o ponto de origem (0, 0, 0) (RICHARDSON; MONIKA MOSKAL; BAKKER, 2014). Inicialmente foram aplicados nas indústrias e Engenharia Civil, onde foram utilizados para digitalizar prédios e monumentos históricos (LEMMENS, 2011a).

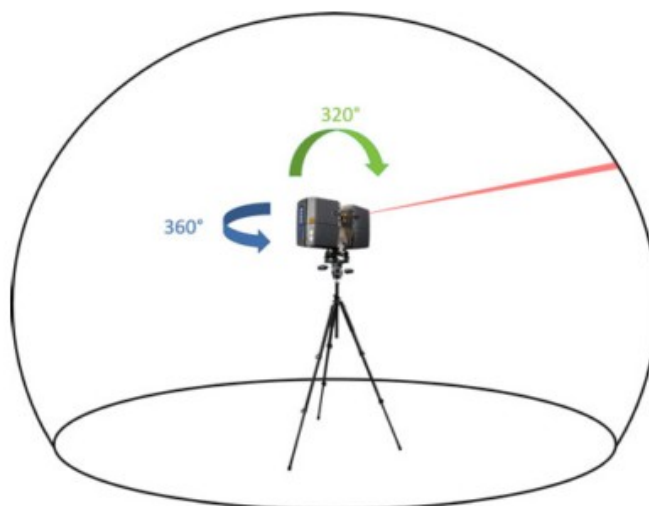


Figura 2: Princípio de operação do LiDAR terrestre (FARO Photon 120).
Fonte: Dassot et al. (2011).

Em medições com o TLS dois protocolos de digitalização são considerados: varredura única ou múltiplas verificações. Na verificação única, o *scanner* é posicionado em um único ponto e ocorre apenas uma varredura. É considerado a abordagem mais rápida, porém um só lado da árvore é representado na nuvem de pontos. No método de varreduras múltiplas, a árvore sofre várias varreduras ao seu entorno (geralmente de 3 ou 4). O processamento e transformação geométrica dessas nuvens de pontos geradas pelas múltiplas varreduras é feito pelo cálculo das coordenadas tridimensionais dos pontos atingidos pelo feixe de laser, tendo como referência alvos que sejam comuns a ambas as varreduras (DASSOT et al., 2011; LEMMENS, 2011).

5 RESULTADOS

5.1 MDT – Modelos Digital do Terreno

Conhecido também como *Digital Terrain Model (DTM)*, o Modelo Digital do Terreno representa a variação do relevo em uma região da superfície da terra (ASSUNÇÃO et al., 2007). A forma mais comum é a representação do MDT associado a altimetria, porém como apontado por Burrough (1986) o MDT pode representar grandezas como, por exemplo, unidades geológicas ou teor de minerais. Assunção et al. (2007) ressalta que o MDT também pode ser representado por grades regulares e/ou irregulares, similares às matrizes que representam os *pixels* de imagens digitais. Como o LiDAR registra tanto o terreno quanto objetos acima dele, foi necessário estabelecer uma diferença conceitual para a obtenção do MDT baseado na nuvem de pontos LiDAR. Segundo Centeno et al. (2007), um Modelo Digital do Terreno (MDT) armazena apenas as altitudes dos pontos na superfície do terreno, à medida que o Modelo Digital de Superfície (MDS) é aquele que inclui outros objetos tais como árvores ou casas. O MDT é fundamental para planejamento de estradas, modelagem hidrológica, na geração de mapas de declividades e afins.

Para o manejo florestal é necessário definir com precisão as feições do terreno, pois é de suma importância para o microzoneamento e planejamento florestal. Primeiro pela a necessidade de precisão na demarcação da APP, devido o rigor da Lei 12.651/12 que impede a exploração nessa área (BRASIL, 2012), ao passo que a proposta do MODEFLORA não resolve totalmente, devido a baixa precisão do *pixel* (BROZA et al., 2012). Segundo pela necessidade de uma maior precisão do modelo do terreno para o dimensionamento de estradas e atividades de arraste, procurando evitar cortar cursos d'água e áreas acidentadas (SABOGAL et al., 2009). Assim, o TLS desponta como uma ferramenta mais precisa que o ALS, capaz de proporcionar dados tridimensionais de dentro da floresta tropical (ROSA, 2014).

Contudo, foram poucos os materiais observados na literatura que tratam do uso do TLS em grandes áreas de floresta para a geração do MDT. Os trabalhos representam uma tendência que concentra na obtenção de parâmetros dendrométricos e ou modelagem da árvore (BAYER et al., 2013; HACKENBERG et al., 2014; LIVNY et al., 2010). De forma que a modelagem do terreno tem apenas a finalidade de separar o que é árvore do que é solo. Como proposto por Simonse et al. (2003), que primeiro passo para obter as variáveis da árvore é definir o modelo digital do terreno, limitando o MDT apenas uma pequena área em torno da árvore de interesse.

Entretanto, observa-se que o LiDAR aerotransportado teve um amadurecimento maior em relação a metodologias para geração do MDT, como pode ser destacado na proposta de D'Oliveira et al. (2014), que apresenta em seu trabalho um passo-a-passo para gerar o modelo digital do terreno com dados ALS de florestas tropicais, dando suporte ao planejamento e monitoramento de operações florestais. O que também pode ter contribuído para esse panorama, é que em sua maioria os equipamentos TLS são fixos em um tripé (DASSOT et al., 2011). Isto é, sendo Área de Manejo Florestal (AMF) de grande extensão, o escaneamento com o TLS para obter a nuvem de pontos, pode tornar a atividade longa e onerosa, quando comparado a capacidade de obtenção de dados de grandes áreas pelo ALS.

Algumas possibilidades surgiram para dar mais mobilidade na obtenção dos dados, consequentemente cobrir uma maior área, como é o caso do sistema LiDAR portátil terrestre. Almeida (2015) utilizou o LiDAR RIEGL LD90-3100VHS-FLP (Riegl Laser Measurement Systems, Horn, Austria) (Figura 3), percorrendo por um transecto de 250 metros para obter os atributos de altura e densidade do dossel das árvores na floresta alagável (Igapó) e terra firme na Amazônia. Parker et al. (2004) também utilizou esse equipamento e conseguiu descrever a estrutura da copa com uma resolução de 1-2 metros. Porém o equipamento utilizado em ambos trabalhos possui limitações de pequena escala espacial, devido os dados serem bidimensionais (2D), não contemplando o terreno e dessa forma não sendo possível a aquisição do MDT. Também limitações operacionais, pois o deslocamento e a altura que encontra o LiDAR tem que permanecer constantes, dificultando a locomoção em florestas densas (ROSA, 2014).

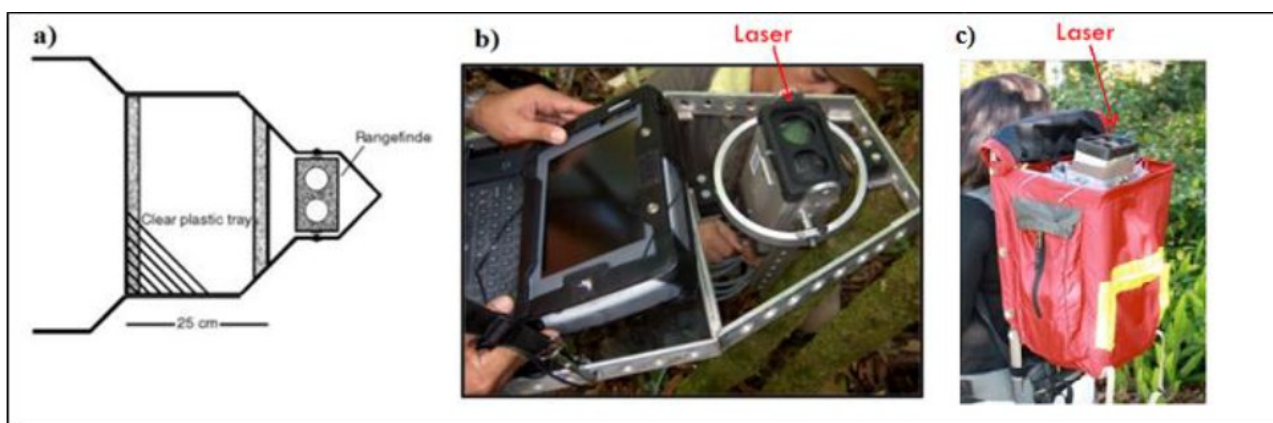


Figura 3: Planta esquemática da plataforma do LiDAR(a), o sistema LiDAR portátil terrestre(b) e o mesmo sistema numa mochila(c).

Fonte: Rosa (2014).

No mercado vem surgindo equipamentos com TLS acoplado a uma mochila, capazes de realizar o mapeamento 3D por onde passa. Projetos como *UltraCam Panther* (Microsoft), *Leica Pegasus Backpack* (Leica Geosystems) e o *ioMS 3D* (Viametris) tem como objetivo principal o mapeamento móvel (Figura 4). Quase todos são equipados com uma câmera esférica de alta resolução, gerando imagens 3D e georreferenciadas (menos o ioMS 3D.). Um receptor GPS e um sensor de odômetria, capaz de prover de forma intermitente informações de posição com acurácia (LIDAR NEWS, 2015; RONDEAU, 2015; VIAMETRIS, 2015).



Figura 4: Mochilas com LiDAR acoplado.

Fonte 1: ¹www.microsoft.com; ²www.viametris.com; ³www.leica-geosystems.com.

Tecnologias como essas, abrem o campo para aplicação do TLS na floresta tropical. Podendo ser empregado o escaneamento como parte das atividades pré-exploratórias, gerando no final um 3D da área por onde o equipamento passou. Os equipamentos ainda estão em fase de testes, podendo chegar o mercado com um custo alto. Porém iniciativas para construir equipamentos mais baratos e adequados a floresta tropical devem ser fomentadas.

5.2 Parâmetros dendrométricos

O LiDAR terrestre tem sido aplicado no inventário florestal (Reconhecimento de DAP, altura da árvore, densidade do tronco, área basal e estimativa do volume da madeira) (DASSOT et al., 2011) (Figura 5). Simonse et al. (2003) propõe que o primeiro passo para estimar os parâmetros florestais a partir da nuvem de pontos é calcular um subconjunto de coordenadas que possuam o menor valor do eixo Z para poder estabelecer o MDT. Posteriormente, as árvores são identificadas na nuvem de pontos e seu DAP e Altura são determinados. Em seguida, todos os pontos localizados nas camadas (*layer*) entre 1,25 e 1,35 metros acima do solo são extraídos e os *clusters* circulares de pontos são detectados utilizando técnicas de reconhecimentos.

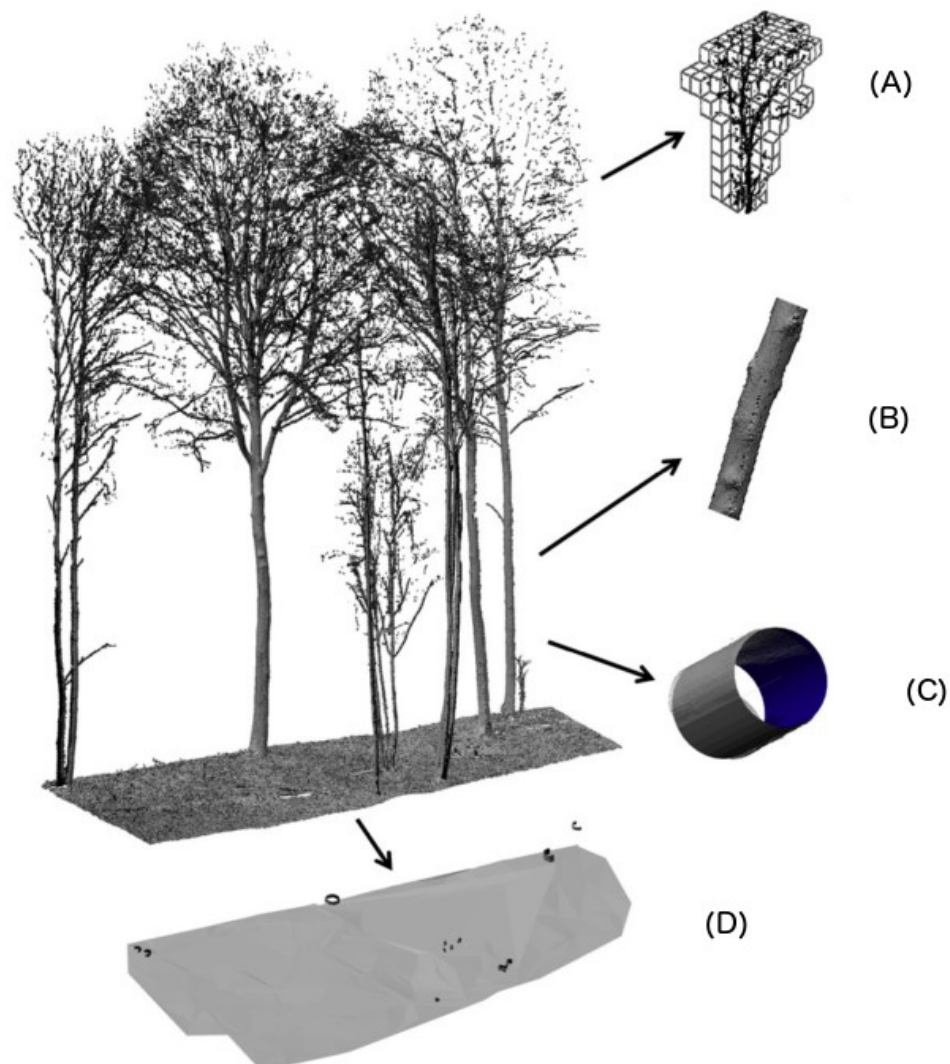


Figura 5: Reconstrução e obtenção de parâmetros dendrométricos. (A) Topologia da árvore; (B) Modelagem do tronco; (C) Identificação do cilindro para obtenção do DAP, Altura, Volume e Área Basal; (D) Modelo Digital do Terreno (MDT), detecção e localização das árvores.
 Fonte: Adaptado de Dassot et al. (2011).

Para localização da árvore, Simonse et al. (2003) apresentou um erro médio de aproximadamente 5 cm para uma área homogênea. Hopkinson et al. (2004) encontrou um desvio padrão de 0,9 metros na localização em uma área mista com maior dominação de *Sugar Maple* (*Acer saccharum* Marsh.). Contudo, o autor relata a dificuldade de isolar as árvores na área mista, utilizando o método de corte vertical, devido as sobreposições de copas. Desafio que pode ser encontrado no processamento para a floresta tropical.

Bienert et al. (2006a) propõe para a determinação do DAP um corte de uma fatia de espessura d em uma altura de 1,30 metros acima do ponto que representa o MDT. Um círculo de ajuste em projeção 2D do pontos da fatia é utilizado para medição do DAP. O mesmo encontraram diâmetros com um erro médio de 1,5 cm, e Simonse et al. (2003) relatam um erro médio de 1,7 cm.

Na obtenção da altura, Bienert et al. (2006) descreve a altura total da árvore como sendo a diferença entre o ponto mais alto (topo) e o mais baixo da nuvem de pontos (MDT). Sendo o mais baixo o menor valor da coordenada Z a partir de um cilindro vertical com raio r_1 no entorno do centro de uma árvore (X,Y). O topo da árvore é definido como o maior valor da coordenada Z a partir do centro da árvore. Silva et al. (2007) em seu estudo com *Araucaria angustifolia*, relatam subestimativas resultando em um diferença de 23 cm abaixo da altura medida em campo. Outros autores também apontam que o erro pode estar associado a alta densidade de copa, mau operação do TLS ou a baixa densidade de pontos do dossel superior devido a interceptação dos pontos pelo dossel inferior (HOPKINSON et al., 2004; NETO et al., 2012).

No que tange a modelagem individual das árvores, foram observados resultados com alta precisão e detalhamento. A Tabela 1 apresenta alguns métodos utilizados para modelagem digital das árvores na literatura.

Tabela 1: Exemplos de métodos utilizados para modelagem da árvore

Método	Exemplo de uso na literatura acadêmica
<i>Hough Transformation</i>	Simonse et al. (2003)
<i>Least Square Circle Fitting</i>	Bienert et al. (2006a), (2006b), (2007); (BULLOCK, 2006); (LUKÁCS et al., 1997)
<i>Non-linear Least Squares Fitting (NLS)</i>	Pfeifer et al. (2004); (LUKÁCS; MARSHALL; MARTIN, 1997)
<i>Skeletonization Method</i>	Bayer et al. (2013)
Spheres Method	Hackenberg et al. (2014)
<i>Dijkstra Algorithm</i>	Dijkstra (1959); Livny et al. (2010); Xu et al. (2007)
Quantitative Structure Modeling (QSM)	Raumonen et al. (2013)
Collapsing And Merging Procedures In Octree-graphs (CAMPINO)	Bucksch et al. (2008); Bucksch et al. (2010)

Simonse et al. (2003) empregou o método *Hough Transformation*, onde o algoritmo reconhece padrões de círculos em uma imagem *raster* (Figura 6). Primeiro é necessário indicar um valor de diâmetro para que o método reconheça o círculo, caso não for indicado, recomenda iniciar com o valor de 100 cm e reduzir o valor em incrementos de 10 cm.

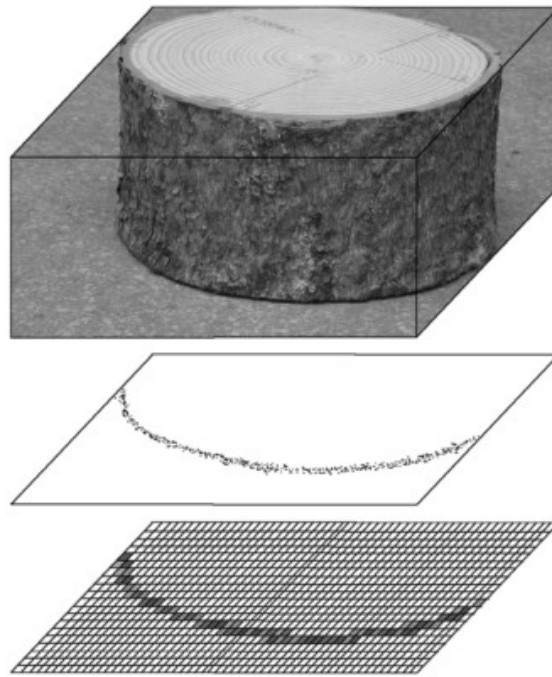


Figura 6: Transformação dos pontos em imagem *raster*.
Fonte: Simonse et al. (2003).

Pfeifer et al. (2004) empregou o método *Non-linear Least Squares Fitting* (NLS) para modelar os cilindros tanto do tronco e dos galhos de forma automatizada. O modelo conseguiu detectar e modelar de forma parcial, tronco e galhos com a acurácia média de 1,8 cm.

Bayer et al. (2013) aplicou o *Skeletonization Method* para gerar um modelo em esqueleto de duas espécies (*Picea abies* e *Fagus sylvatica*) (Figura 7). O trabalho propôs calcular de forma automática os ângulos dos ramos e comprimento. O volume foi calculado, contudo a comparação com os dados reais não foram realizados. No mesmo sentido Bucksch et al. (2008) desenvolveu o método *CAMPINO*, onde gera automaticamente o esqueleto da árvore, baseando-se no ciclo de eliminação em um gráfico derivado de uma divisão espacial da base *octree* (subdivisão hierárquica de um cubo inicial em 8 subcubos igualmente dimensionados).

Hackenberg et al. (2015) comparou dados obtidos pelo método destrutivo de seis espécies (*Erythrophleum fordii*, *Pinus massoniana*, *Quercus petraea*, *Eucalyptus leucoxylon*, *Eucalyptus microcarpa* e *Eucalyptus tricarpa*.) com os modelos gerados pelo software SimpleTree que incorpora o *spheres method*, mostrando acurácia em prever a biomassa com um erro médio relativo de $\leq 8\%$ e um coeficiente de correlação $\geq 0,92$ para cada conjunto de dados (Figura 8).

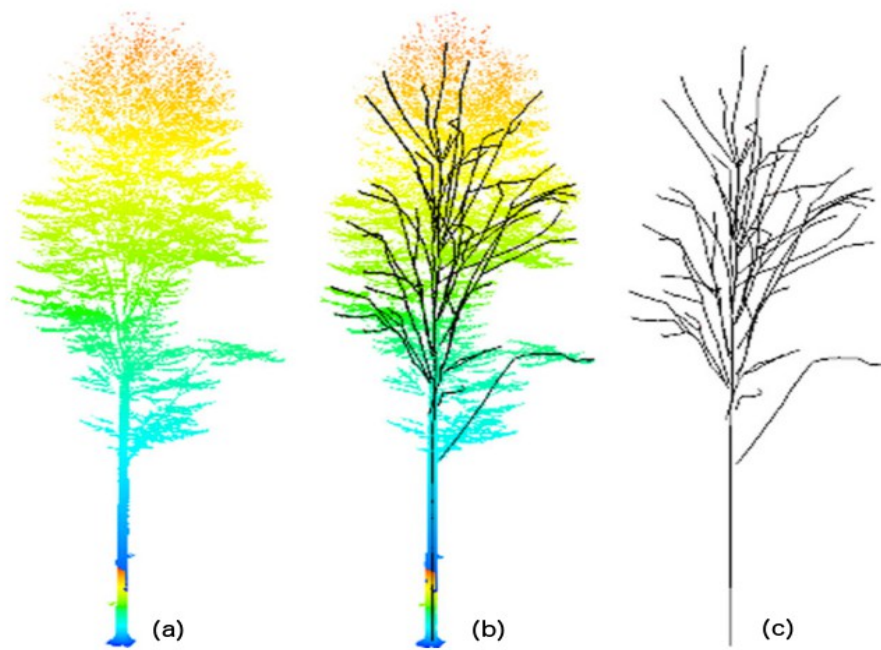


Figura 7: Da nuvem de pontos para a estrutura do esqueleto de uma árvore: (a) nuvem de pontos da árvore isolada; (b) estrutura do esqueleto cercado pela nuvem de pontos originais; (c) esqueleto da árvore isolado.

Fonte: Adaptado de Pfeifer et al. (2004).

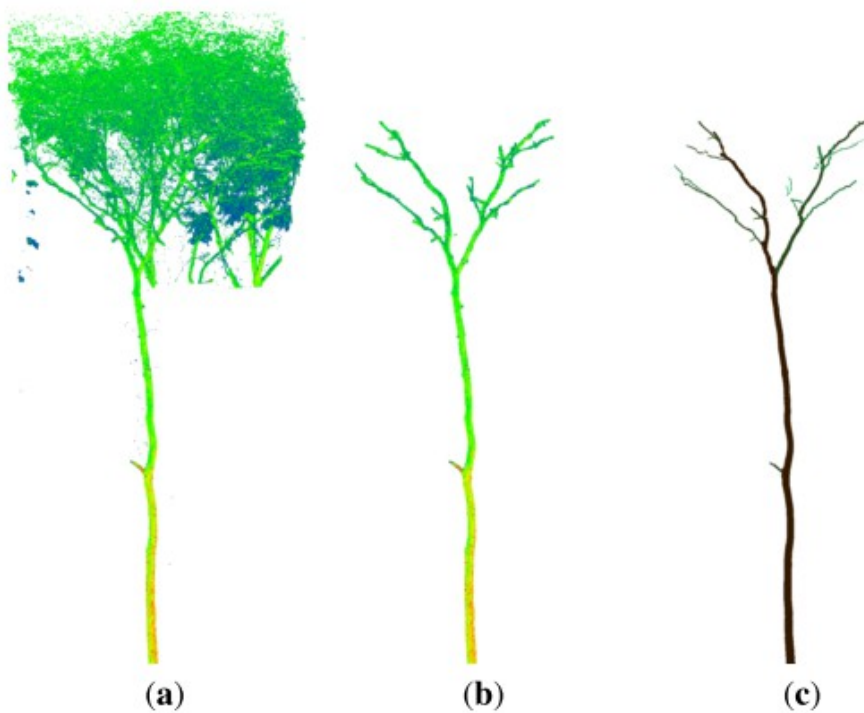


Figura 8: Nuvem de pontos de uma *Erythrophleum fordii* (Altura aproximada de 14,6 metros.): (a) Nuvem de pontos contendo outras árvores, pontos fantasmas e folhas; (b) nuvem de pontos após filtragem; (c) o modelo do cilindro resultante.
Fonte: Hackenberg et al. (2015).

Xu et al. (2007) aplicou o algoritmo de Dijkstra (1959), que é utilizado para determinar a rotina de menor caminho, para gerar o modelo de esqueleto da árvore. Livny et al. (2010) também aplicou esse método. Contudo, ambos tinham o objetivo de reconstruir digitalmente as árvores e não para obter parâmetros florestais. Porém, Hackenberg et al. (2015a) aponta que os métodos para gerar automaticamente os esqueletos das árvores podem ser utilizados como valores de entrada para outros algoritmos de modelagem da árvore, como utilizado no trabalho de Bayer et al. (2013).

O método conhecido como *Quantitative Structure Modeling* (QSM) proposto por Raumonon et al. (2013), no primeiro momento gera o esqueleto da árvore. Posteriormente, a superfície da árvore é reconstruída com um agregado de pequenos cilindros de tamanhos variáveis, aproximando-se da forma dos galhos e troncos. O modelo foi validado com uma nuvem de pontos e volume conhecidos, conseguindo uma modelagem de 99% do tronco (Figura 9).

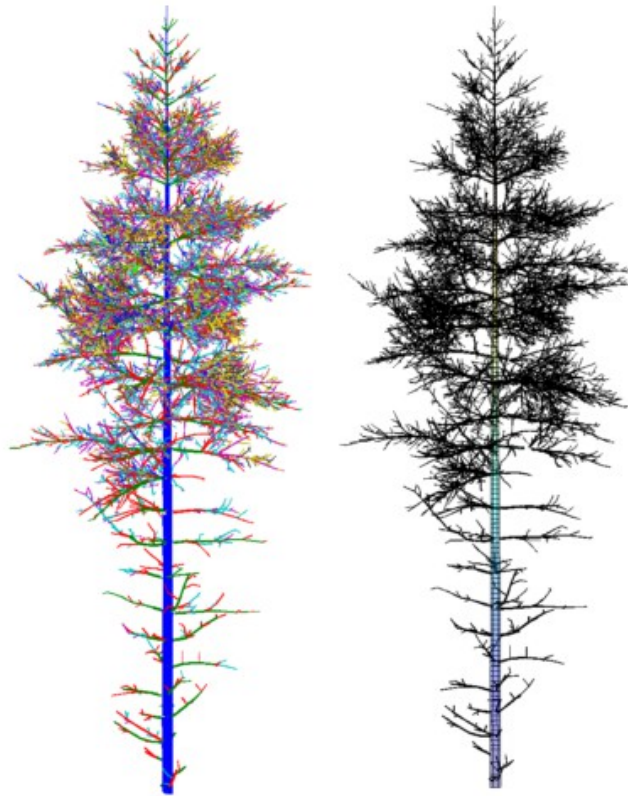


Figura 9: A esquerda é a nuvem de pontos segmentada. A direita é o modelo final do cilindro.
Fonte: Raumonon et al. (2013).

O desenvolvimento de algoritmos e métodos para modelagem da árvore e detecção dos parâmetros florestais está em contínua evolução. Contudo, os trabalhos abordam apenas árvores de clima temperado, necessitando de mais investigação e validação dos métodos com nuvens de pontos da floresta tropical. Pois ainda existem outros desafios a serem superados, como alguns empecilhos intrínsecos a forma da base da árvore que podem acarretar em erros para a modelagem do cilindro, tais como sapopemas e outras irregularidades da base do tronco.

5.3 Software

Existem *software* para processar as nuvens de pontos no mercado, porém poucos são focados na área florestal. Entretanto, existem projetos em franco desenvolvimento, como o SimpleTree (*Uni-Freiburg*, Alemanha) e o projeto Computree (*Office National des Forêts*, França) que possibilitam a análise dos dados gerados pelo TLS.

O TreesVis é um *software* de processamento, análise e visualização de dados LiDAR, tanto gerados pelo aerotransportado ou terrestre, com foco para área florestal. Porém seus recursos não englobam processamentos de variáveis dendrométricas. Sendo seu forte a geração de MDT (Modelo Digital de Terreno) e MDS (Modelo Digital de Superfície). Com planos de assinatura para estudantes no valor de 50 euros por ano.

Treemetrics é solução online que possibilita extrair automaticamente perfis 3D do tronco a partir de dados TLS recolhidos na floresta. Contudo o *software* e o código fonte é fechado, impossibilitando incrementos ou testes mais avançados.

O 3D Forest é um aplicativo sob licença da GNU (General Public License – v3) conforme publicado pela *Free Software Foundation*. Criado para produzir informações detalhadas de povoamentos florestais e árvores a partir da nuvem de ponto gerado pela tecnologia TLS. Por ser um *software* gratuito e com código fonte aberto, tornando-se muito interessante para comunidade acadêmica.

SimpleTree é um software para construir modelos de estrutura quantitativos das árvores. Esses modelos permitem a qualificação e quantificação de distribuição de biomassa, tanto da árvore e do terreno. Os modelos consistem em cilindros ordenadas em uma estrutura de árvore hierárquica permitindo uma extração fácil e eficiente de parâmetros.

Computree é um projeto *open source* que possui uma abordagem continua de pesquisa e desenvolvimento. O sistema permite o processamento da nuvem de pontos 3D, a fim de extrair informações, tal como: formas geométricas simples (Ex. Modelagem dos cilindros do tronco da árvore) e de informações geográficas (Ex. Modelo Digital do Terreno).

Apesar das possibilidades de *software* presente no mercado, ainda carece de mais pesquisa para construir, ajustar e validar os algoritmos para a floresta tropical.

Tabela 2: Exemplos de software usados para o processamento da nuvem de pontos

	SimpleTree ^a	3D Forest ^b	Computree ^c	Treevis ^d	Treemetrics ^e
Sistema Operacional	Linux (Ubuntu 14.04)	Linux e Windows	Mac OSX, Linux e Windows	Windows	Plataforma Web
Open Source	Sim	Sim	Sim	<i>Software</i> Proprietário	<i>Software</i> Proprietário

^awww.simpletree.uni-freiburg.de; ^bwww.3dforest.eu; ^cwww.computree.onf.f ; ^dwww.stz-felis.de; ^ewww.treemetrics.com.

6 CONCLUSÃO

Foi possível observar que o sistema LiDAR terrestre tem grande potencial para área florestal. Porém os estudos se concentram em florestas do hemisfério norte. Evidenciando a necessidade de desenvolver mais pesquisas para a floresta tropical.

A aquisição da nuvem de pontos de grandes áreas com o TLS para geração do MDT, desponta com possibilidades de sistemas LiDAR portáteis, dando mobilidade e agilidade a aquisição dos dados. Contudo, necessita de um maior amadurecimento desses equipamentos e testes devem ser realizados para validar o uso em condições de trabalho na floresta tropical. E rotinas para filtragem e modelagem dos dados devem ser criadas ou adaptadas. Dessa forma, mostrando um longo caminho à ser percorrido para poder obter o MDT de grandes áreas para subsidiar o manejo de florestas naturais.

Os estudos biométricos mostraram-se satisfatórios, capazes de suplantam a amostragem manual ou destrutiva na obtenção de parâmetros dendrométricos. Porém, evidencia a necessidade do aprimoramento das técnicas de filtragem, detecção das variáveis e modelagem para as realidades morfométricas das árvores da floresta Amazônica.

Os *softwares* apresentados para processamento das nuvens de pontos, encontram em fase de franco desenvolvimento. Porém, também devem ter suas rotinas aprimoradas para a realidade das árvores de clima temperado, sendo necessários testes com dados da floresta tropical.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDRED, A.; BONNOR, G. **Application of airborne lasers to forest surveys**. [s.l.: s.n.].
- ALMEIDA, D. R. A. DE. **Avaliação de susceptibilidade e impacto de incêndios em floresta alagável (Igapó) e terra-firme na Amazônia Central por meio de LiDAR terrestre portátil**. [s.l.] Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, 2015.
- ARP, H.; TRANARG, C. A. Mapping in tropical forests: a new approach using the laser APR [Airborne Profile Recorder]. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 48, p. v.91-100, 1982.
- ASSUNÇÃO, M. G. T. DE et al. **Filtragem e classificação de pontos LIDAR para a geração de Modelo Digital do Terreno**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: 2007.
- BALIEIRO, M. R. et al. **As Concessões de Florestas Públicas na Amazônia Brasileira: um manual para pequenos e médios produtores florestais**. 2a edição ed. Piracicaba: Imaflora, 2010.
- BAYER, D.; SEIFERT, S.; PRETZSCH, H. Structural crown properties of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* [L.]) in mixed versus pure stands revealed by terrestrial laser scanning. **Trees - Structure and Function**, v. 27, n. 4, p. 1035–1047, 2013.
- BEHAN, A. On the matching accuracy of rasterised scanning laser altimeter data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. XXXIII, p. 2–9, 2000.
- BIENERT, A. et al. Application of Terrestrial Laser Scanners For The Determination Of Forest Inventory Parameters. **International archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science**. v. 36, p. 5, 2006.
- BIENERT, A. et al. Tree detection and diameter estimations by analysis of forest terrestrial laserscanner point clouds. **Isprs Workshops**, p. 50–55, 2007.
- BIENERT, A.; MAAS, H.; SCHELLER, S. Analysis of the information content of terrestrial laserscanner point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. **Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry**. p. 1–7, 2006.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 2012.
- BROZA, K. T. et al. Etapas do planejamento do projeto modeflora em SIG livre. **Seminário De Atualização Em Sensoriamento Remoto E Sistemas De Informações Geográficas Aplicados À Engenharia Florestal**. p. 7, 2012.
- BUCKSCH, A.; LINDENBERGH, R. CAMPINO - A skeletonization method for point cloud processing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 63, n. 1, p. 115–127, 2008.
- BUCKSCH, A.; LINDENBERGH, R.; MENENTI, M. Robust skeleton extraction from imperfect point clouds. **Visual Computer**, v. 26, n. 10, p. 1283–1300, 2010.

- BULLOCK, R. Least-Squares Circle Fit. **October**. p. 22–24, 2006.
- BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. **Geocarto International**. v. 1, n. 3, p. 54–54, 1986.
- CAVALCANTI, F. J. DE B. **Metodologia e sistema computacional para uso múltiplo e integrado de florestas tropicais da Amazônia**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2007.
- CENTENO, J. A. S.; MITISHITA, E. A. **Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPRAnais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. 2007.
- D'OLIVEIRA, M. V. N.; BRAZ, E. M. Manejo florestal em regime de rendimento sustentado aplicado à floresta do campo experimental da EMBRAPA-CPFA/AC. **EMBRAPA-CPAF-/AC. Boletim de Pesquisa**, **21**, 1998.
- D'OLIVEIRA, M. V. N.; FIGUEIREDO, E. O.; PAPA, D. DE A. **Uso do Lidar como Ferramenta para o Manejo de Precisão em Florestas Tropicais**. [s.l: s.n.].
- DASSOT, M.; CONSTANT, T.; FOURNIER, M. The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: Application fields, benefits and challenges. **Annals of Forest Science**, v. 68, n. 5, p. 959–974, 2011.
- DIJKSTRA, E. W. A Note on Two Probles in Connexion with Graphs. **Numerische Mathematik**, v. 1, n. 1, p. 269–271, 1959.
- FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; D'OLIVEIRA, M. V. N. **Manejo de Precisão em Florestas Tropicais: Modelo Digital de Exploração Florestal**. 1. ed. Rio Branco, AC: EMBRAPA ACRE, 2007.
- HACKENBERG, J. et al. Highly accurate tree models derived from terrestrial laser scan data: A method description. **Forests**, v. 5, n. 5, p. 1069–1105, 2014.
- HACKENBERG, J. et al. Non Destructive Method for Biomass Prediction Combining TLS Derived Tree Volume and Wood Density. **Forests**, v. 6, n. 4, p. 1274–1300, 21 abr. 2015a.
- HACKENBERG, J. et al. SimpleTree —An Efficient Open Source Tool to Build Tree Models from TLS Clouds. **Forests**, v. 6, n. 12, p. 4245–4294, 23 nov. 2015b.
- HENDRISON, J. **Damage-controlled logging in managed tropical rain forests in Suriname**. [s.l: s.n.].
- HOLMES, T. P. et al. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. v. 163, p. 93–110, 2002.
- HOLMES, T. P.; BLATE, G. M.; ZWEEDE, J. C. **Custos e Benefícios Financeiros da Exploração Florestal de Impacto Reduzido em Comparação à Exploração Florestal Convencional na Amazônia Oriental**. 2. ed. Belém, PA: FFT, 2004.
- HOPKINSON, C. et al. Assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, n. 3, p. 573–583, 2004.

- KOETZ, B. et al. Fusion of imaging spectrometer and LIDAR data over combined radiative transfer models for forest canopy characterization. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, n. 4, p. 449–459, fev. 2007.
- LEMMENS, M. Terrestrial Laser Scanning. In: **Geo-information**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011a. p. 101–121.
- LEMMENS, M. Geo-information. **Forum American Bar Association**, p. 101–121, 2011b.
- LEONARDO, A. et al. LASER SCANNER TERRESTRE PARA MEDIÇÕES FLORESTAIS - PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65/6, p. 1143–1152, 2013.
- LIDAR NEWS. **From Scanning Film to 3D Online Mapping**. Disponível em: <<http://lidarnews.com/articles/from-scanning-film-to-3d-online-mapping/>>. Acesso em: 10 maio. 2016.
- LIMA, S.; FREITAS, S.; KRUEGER, C. Perspectivas de utilização de sistemas microeletromecânicos (MEMS) visando a integração GPS/INS de baixo custo. **Presidente Prudente**, p. 82–87, 2002.
- LIVNY, Y. et al. Automatic reconstruction of tree skeletal structures from point clouds. **ACM Transactions on Graphics**, v. 29, n. 6, p. 1, 2010.
- LUKÁCS, G.; MARSHALL, A.; MARTIN, R. Geometric least-squares fitting of spheres, cylinders, cones and tori. **RECCAD deliverable ...**, p. 1–20, 1997.
- MACLEAN, G. A.; KRABILL, W. B. Gross-merchantable timber volume estimation using an airborne lidar system. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 12, n. 1, p. 7–18, 1986.
- MACLEAN, G. A.; MARTIN, G. L. Merchantable timber volume estimation using cross-sectional photogrammetric and densitometric methods. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 14, n. 6, p. 803–810, dez. 1984.
- NÆSSET, E. et al. Laser scanning of forest resources: the nordic experience. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 19, n. 6, p. 482–499, 2004.
- NELSON, R.; KRABILL, W.; MACLEAN, G. Determining forest canopy characteristics using airborne laser data. **Remote Sensing of Environment**, v. 15, n. 3, p. 201–212, 1984.
- NETO, R. P. M. et al. MODELAGEM DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE PINUS TAEDA L. POR MEIO DA VARREDURA LASER TERRESTRE. **X Seminário de Atualização em Sensoriamento REMoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**, n. OCTOBER, 2012.
- PARKER, G. G.; HARDING, D. J.; BERGER, M. L. A portable LIDAR system for rapid determination of forest canopy structure. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, n. 4, p. 755–767, 19 jul. 2004.
- PFEIFER, N. et al. **Automatic reconstruction of single trees from terrestrial laser scanner data**. 20th ISPRS Congress. **Anais...**Istanbul: 2004

- PFEIFER, N.; BRIESE, C. Laser scanning—Principles and applications. **3rd International Exhibition & Scientific Congress on Geodesy, Mapping, Geology, Geophysics, Cadaster GEO-SIBERIA**, p. 1–20, 2007.
- RAUMONEN, P. et al. Fast Automatic Precision Tree Models from Terrestrial Laser Scanner Data. **Remote Sensing**, v. 5, n. 2, p. 491–520, 2013.
- REMPEL, R. C.; PARKER, A. K. **An information note on an airborne laser terrain profiler for micro-relief studies**. Proceedings of the 3rd symposium on remote sensing of environment. **Anais...**University of Michigan. Institute of, Science and Technology: 1964
- RICHARDSON, J. J.; MONIKA MOSKAL, L.; BAKKER, J. D. Terrestrial laser scanning for vegetation sampling. **Sensors (Switzerland)**, v. 14, n. 11, p. 20304–20319, 2014.
- RODRIGUEZ, L. C. E. et al. Inventário florestal com tecnologia laser aerotransportada de plantios de Eucalyptus spp no Brasil. **Ambiencia**, v. 6, n. March 2016, p. 67–80, 2010.
- RONDEAU, M.-C. New Technologies for City Asset Mapping: Setting the Standard in City Digitalisation. **GeoInformatics**, v. 18, p. 13485, 2015.
- ROSA, D. M. **Sistema LiDAR portátil terrestre: estudos e aplicações florestais**. [s.l.] Universidade Federal de Curitiba, 2014.
- SABOGAL, C. et al. **Diretrizes Técnicas de Manejo para Produção Madeireira Mecanizada em Florestas de Terra Firme na Amazônia Brasileira**. 1. ed. Belém, PA: EMBRAPA, 2009.
- SFB. **Florestas do Brasil em resumo - 2013**. [s.l.: s.n.]. v. 21
- SILVA, J. DE A. Análise Quali-Quantitativa Da Extração E Do Manejo Dos Recursos Florestais Da Amazônia Brasileira: Uma Abordagem Geral E Localizada (Floresta Estadual Do Antimari-Ac). v. 1, 1996.
- SILVA, J. DE A. **Quebrando castanha e Cortando Seringa**. Seropédica: Editora da UFRuralRJ, 2003.
- SILVA, M. N. et al. Varredura com laser terrestre para determinação das variáveis dendrométricas da Araucaria angustifolia. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, v. 97, n. 2, p. 1298–1310, 2007.
- SIMONSE, M. et al. Automatic Determination of Forest Inventory Parameters Using Terrestrial Laserscanning. **Institute for Forest Growth**, p. 1–7, 2003.
- SOLODUKHIN, V. I. et al. **Metody Izuchenija Vertikal’nyh Sechenij Drevostoev (Method of study of vertical sections of forest stands)**. Leningrad, USSR: [s.n.].
- SOLODUKHIN, V. I. et al. Lazernaya aeros’emka profilei lesa (Laser aerial profiling of forest). **Lesnoe Khozyaistvo**, p. 43–45, 1979.
- TOMMASELLI, A. M. G. Um estudo sobre as técnicas de varredura a laser e fotogrametria para levantamentos 3D a curta distância. **GEODÉSIA Online-Revista da Comissão Brasileira de Geodésia**, v. 4, n. 1415–1111, 2003.

UHL, C. et al. Uma abordagem integrada de pesquisa sobre o manejo dos recursos naturais na Amazônia. **Série Amazônia**, v. N° 7, p. 30, 1997.

VIAMETRIS. **Viametris ioMMS Backpack RandD Houston U 2015 EN - HD**. Disponível em: <<https://vimeo.com/134817612>>. Acesso em: 18 abr. 2016.

XU, H.; GOSSETT, N.; CHEN, B. Knowledge and heuristic-based modeling of laser-scanned trees. **ACM Transactions on Graphics**, v. 26, n. 4, p. 19–es, 2007.