



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

LORRAYNE MIRALHA MARINS DA SILVA

**PARÂMETROS BIOFÍSICOS DA FLORESTA ATRAVÉS DE DADOS DE LiDAR PARA
PLANEJAMENTO DA COLHEITA FLORESTAL, EM CORVALLIS, OREGON, EUA**

Prof. Dr BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA

Orientador

SEROPÉDICA, RJ

DEZEMBRO DE 2015



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

LORRAYNE MIRALHA MARINS DA SILVA

**PARÂMETROS BIOFÍSICOS DA FLORESTA ATRAVÉS DE DADOS DE LiDAR PARA
PLANEJAMENTO DA COLHEITA FLORESTAL, EM CORVALLIS, OREGON, EUA**

Prof. Dr BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA

Orientador

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

SEROPÉDICA, RJ

DEZEMBRO DE 2015

**PARÂMETROS BIOFÍSICOS DA FLORESTA ATRAVÉS DE DADOS DE LIDAR
PARA PLANEJAMENTO DA COLHEITA FLORESTAL, EM CORVALLIS,
OREGON, EUA**

LORRAYNE MIRALHA MARINS DA SILVA

Comissão Examinadora:

Monografia aprovada em 01 de dezembro de 2015.

Prof. Dr. Bruno Araujo Furtado de Mendonça
UFRRJ / IF / DS
Orientador

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado
UFRRJ / IF / DCA
Membro

Prof.^a Dr. Francisco José de Barros Cavalcanti
UFRRJ / IF / DS
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico àqueles que dedicaram anos de suas vidas para que eu chegasse até aqui.

Mãe, Pai e Irmão, obrigada por estes 25 anos de compreensão e apoio.

Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço àquele que esteve comigo nos momentos em que ninguém pode ouvir minhas angústias e, sentir minhas vibrações de felicidade, à Deus.

Agradeço à minha família que me proporcionou educação e as condições necessárias para que eu chegasse onde cheguei. Minha Mãe, Deyse, meu Pai, Jorge e, meu Irmão, Lawson, todos os incentivos morais foram essenciais para cada conquista até hoje.

Agradeço àquele que ouviu todas as minha contestações e histórias eufóricas durante esses últimos 2 anos universitários, àquele com quem hoje compartilho os melhores e piores sentimentos, que foi de amigo, a melhor amigo e namorado, caminhando para companheiro de vida, Hisham.

Agradeço à todos os meus amigos que vivenciaram meu crescimento pessoal, acadêmico e profissional. Mayan e Diego, Juliana Borher, amigos de Rural que levarei para vida. Diego, Léo, Hortência, amigos de infância e adolescência que até hoje são indispensáveis, e que compartilharam e ouviram muitas de minhas histórias. Obrigada Vinicius e família, pelo grande apoio durante toda minha graduação, tenho grande consideração por todos. Obrigada turma 2010-1, Priscila, Liliandra, Uelison, Desireé, Malu, Henos, Pia, e a todos os outros pelos semestres compartilhados, pelas risadas, correrias de Rural e, muitos almoços e jantares no bandex. Obrigada meninas do F1-36, pelo último semestre mais amigo e divertido que pude ter. São muitos que gostaria de estar citando, afinal foram 25 anos de vida, mas neste papel não conseguiria.

Agradeço à CAPES, por ter me proporcionado um dos momentos mais mágicos de minha vida, onde pude conhecer pessoas incríveis e desenvolver este trabalho.

Agradeço aos meus professores, Dr. Becker, Dr. Hilker, e Dr. Boston da OSU, por todo o conhecimento transmitido, atenção e paciência.

Agradeço aos professores do Instituto de Florestas, UFRRJ, por terem compartilhado cada palavra de seus aprendizados, contribuindo para a minha formação como Engenheira Florestal.

Agradeço muito a todos e a tudo. Cada passo foi fundamental, e sempre existiu alguém que pode estar me apoiando, ouvindo e aconselhando.

“Às vezes são as pessoas que ninguém pode imaginar, que fazem as coisas que ninguém imagina.” – Alan Turing

RESUMO

SILVA, Lorryne Miralha Marins. **Parâmetros biofísicos da floresta através de dados de LiDAR para planejamento da colheita florestal, em Corvallis, Oregon, EUA.** 2015. Monografia do Curso de Engenharia Florestal. Instituto de Floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

LiDAR tem provado ser de grande utilidade na identificação de estruturas florestais. Informações relacionadas com altura das árvores e falhas de terreno são extremamente importantes para indústrias florestais, principalmente para as que lidam com colheitas florestais. Este trabalho teve como objetivo principal estimar parâmetros biofísicos da floresta, tais como: declividade do terreno, altura das árvores, densidade de biomassa e elevação do terreno, para o planejamento da colheita florestal a partir de dados LiDAR (Light and Detection Ranging). O estudo se deu na Floresta de Pesquisa Mc-Donald Dunn, próxima a cidade de Corvallis, Oregon, EUA. Utilizou-se de dados de LiDAR, ou ainda nuvens de pontos com densidade de aproximadamente 10 pontos/m², do Sistema Laser Scanner Aerotransportado (ALS). Através das nuvens de pontos, Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de Superfície (MDS) foram gerados, assim como o Modelo de Altura do Dossel, onde houve uma variação de, aproximadamente, -1 à 74 metros de altura entre as árvores, importantes para a identificação quanto ao potencial para exploração da área de estudo. Além disso, o modelo de sombreamento foi gerado para auxiliar na tomada de decisão, apontando as limitações do terreno quanto a áreas susceptíveis à erosão, e também, o mapa de declividade, que foi crucial na indicação de áreas em potencial para a instalação dos sistemas de colheita florestal, tanto a cabo aéreo, quanto o sistema de força motriz circulando sobre o terreno. Concluiu-se que, somente com dados de nuvens de pontos da tecnologia LiDAR é possível fazer a indicação de locais em potencial para a exploração florestal, como uma análise prévia ao estudo de campo, diminuindo os custos em relação a tempo, e facilitando a tomada de decisão no setor florestal.

Palavras Chave: LiDAR, sistema laser scanner aerotransportado, inventário florestal, colheita

ABSTRACT

SILVA, Lorryne Miralha Marins. **Forest biophysic parameters through LiDAR data to the harvesting planning, in Corvallis, Oregon, USA.2015.** Forest Engineering Thesis. Forest Institute, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

LiDAR data has proved to be very useful in the area of forestry structures identification. Information related to tree height and terrain constraints are very important to forestry industries, principally to the ones that deal with harvesting operations. The main objective of this study was to estimate the biophysics parameters of the forest, as the terrain slope, tree heights, biomass density and terrain elevation, to plan the forest harvesting through LiDAR (Light Detection and Ranging) data. The study area was located next to the city of Corvallis, Oregon, EUA, in the Mc-Donald Dunn Research Forest. It was used an Airborne LiDAR data, in which the point clouds presented a density of 10 points/m². Through these point clouds, Elevation and Surface Digital Models were generated, as well as the Canopy Height Model (CHM) that expressed a tree height range between -1 and 74 meters, all these information were important to the identification of the area harvesting potential. The Hillshade model pointed the limitations of the terrain related to erosion processes, and the Slope analyses map were crucial to the indication of the potential harvesting areas, as well as the harvesting systems such as cable logging system and ground based system. In conclusion, with only the point clouds got from LiDAR ALS, it was possible to indicate potential forest areas to harvest. This technology showed that it can be useful as a preliminary study before field checking, decreasing the cost, time, and transform the decision make process easier in the forest environment.

Key words: LiDAR, Airbone Laser Scanner, forest inventory, harvesting

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.1.Sistema LiDAR.....	2
3.1.1. Sistema laser Scanner Terrestre.....	3
3.1.2. Sistema Laser Scanner Aerotransportado.....	4
3.1.3. Aplicações dos dados LiDAR.....	5
3.2. Sistema de Colheita Florestal.....	5
3.2.1. Conceito.....	5
3.2.2. Seleção dos Sistemas de Colheita.....	6
3.2.3. Sistemas de Colheita Florestal.....	9
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4.1. Área de Estudo.....	13
4.2 Metadado do Sistema de Laser Scanner Aero-transportado (LiDAR – ALS).....	14
4.2.1. Projeção, Datum e unidades.....	15
4.3. Requerimento das Agências de Inspeção Ambiental (Legislação).....	15
4.4. Discussão do Metadado.....	16
4.5. Processamento dos Dados.....	16
4.5.1. Etapas do processamento.....	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
6. CONCLUSÃO.....	30
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Laser Scanner terrestre e o resultado da capture de nuvens de pontos de alta intensidade.	4
Figura 2 - Sistema Laser Scanner Aerotransportado (ALS), mostrando seus componentes e como ocorre a captura de dados	4
Figura 3 - Fluxograma das Operações da Colheita Florestal	6
Figura 4 - Figuras de Exemplos de Algumas máquinas Máquinas Florestais citadas na tabela.	7
Figura 5 - Ilustração das adaptações dos equipamentos para a colheita florestal de acordo com as características do terreno.....	8
Figura 6 - Padrões de Trilhas de arraste de acordo com a declividade do terreno para a diminuição quanto a compactação e erosão do solo.	9
Figura 7 - Ilustração dos termos utilizados em um Sistema de Colheita a Cabo aéreo	11
Figura 8 - Dois sistemas de Colheita a Cabo aéreo, mostrando no Highlead o arraste da tora, e no Live Skyline, o carregamento da tora suspensa.....	12
Figura 9 - Área de Estudo representada dentro da Floresta de Pesquisa Mc-Donald Dunn, Corvallis, OR.....	13
Figura 10 - Mapa de Classificação da vegetação da área de estudo - Predominância de Grand fir/ False brome	14
Figura 11 - Mapa de divisão de talhões de dados LiDAR. Os talhões utilizados neste trabalho foram os indicados em vermelho.	15
Figura 12 - Resultado da Informação dos Arquivos de Pontos	18
Figura 13 - Raster de Intensidade de pontos	19
Figura 14 - MDS and MDE através da ferramenta Point to Raster, e Raster melhorado pela ferramenta Raster Calculator.	20
Figura 15 - Raster gerado para opção Terrain (modelo de multiresolução baseado em TIN)	21
Figura 16 - Modelo de Altura de Dossel ou Canopy Height Model (CHM)	22
Figura 17 - Raster de Densidade de Biomassa	23
Figura 18 - Corte mostrando os pontos da área identificada no mapa de biomassa como de alto vigor, porém com o corte observou-se baixo porte de vegetação, área considerada então em regeneração.	24
Figura 19 - A Esquerda o MDS variando de 136 à 454 metros em elevação. A direita o MDT, variando de 136 à 414 metros de em elevação	24
Figura 21 - Diferença em resolução entre o modelo de sombreamento gerado pelo Raster da ferramenta Point to Raster e o Raster da opção Terrain – Escala 1: 1.250.....	25
Figura 20 - Mapa de Sombreamento - À Esquerda, opção Point to Raster. À direita, opção Terrain. 25	
Figura 22 - Mapa de Declividade	26
Figura 23 - Zonas de amortecimento por tipo de rio	27
Figura 24 - Cenários para possíveis aplicações dos Sistemas de Colheita Florestal.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Sistemas de Colheita Florestal por declividade do terreno.....	7
Tabela 2 - Definição dos termos utilizados na implantação de um Sistema de Colheita a Cabo aéreo.	10
Tabela 3 - Cenários ilustrado na Figura 24, e o sistemas de colheita escolhidos de acordo com as limitações e vantagens do terreno e do porte arbóreo.	28

1. INTRODUÇÃO

Inventários Florestais são importantes para nos trazer um entendimento de uma área que está para ser explorada. Assim como, eles são a chave para a obtenção de características como densidade, volume, altura e estruturas dos recursos florestais (WULDER et al., 2008). A importância de se entender as estruturas de uma floresta esta relacionada a necessidade de um melhor entendimento do ecossistema florestal (DRAKE et al., 2002). Portanto, se torna necessário saber quais são as características envolvidas neste ecossistema, e quais são as restrições e facilidades que podem se tornar uma solução ou um desafio para as operações florestais.

Operações de exploração podem se tornar difíceis em terrenos onde não há informações suficientes, e a falta desta pode levar o tomador de decisões do planejamento a escolher um tipo de método de exploração não sustentável para o local. A adequação de um método particular de exploração florestal sustentável dependerá do objetivo do proprietário e das características da área florestada, em particular, da composição por espécies, da estrutura e da qualidade da floresta como um todo (HEILIGMANN et al., 2001). Em outras palavras, sem um exame da área, ou mesmo a realização de um inventário florestal, um método de operação não será satisfatório em termos de atividade, produtividade e custo.

Não se pode negar que a aquisição de dados, nos quais há um certo nível de confiança para que um plano de operação seja traçado, é um dos desafios na área florestal, assim como, pode se tornar economicamente inviável dependendo da área de estudo (ZANDONA et al., 2008). Embora as análises preliminares gerem um custo, estas são mais do que necessárias para que as decisões de campo sejam tomadas da melhor forma, e para isso tecnologias tem sido desenvolvidas de forma que este custo venha a ser reduzido, assim como o tempo para que esta análise seja feita.

Com o desenvolvimento tecnológico e mundial, o recurso florestal foi fortemente atingido, tanto aumentando a eficiência e qualidade do mercado de produtos madeireiros e não madeireiros, como para o setor de energia, construções e indústrias de papel e celulose. Com isto, houve a necessidade por melhorias no processo de fiscalização para evitar o uso excessivo de terra, ainda, a devastação do recurso natural (VALVERDE et al., 2011). Em diversos países, relatórios ambientais como um estudo dos impactos ambientais (EIA) deve ser elaborado e encaminhado para as Agências ambientais reponsáveis, nas quais inspecionarão a área em estudo e também as medidas de proteção que serão aplicadas para prevenir a perda total do recurso natural, no caso, a escassez de um solo produtivo, ou a escassez de uma fonte de recurso hídrico.

De acordo com o livro de Leis Florestais de Oregon (*Oregon Forest's Law Book*), muitas práticas florestais devem ser levadas em consideração para prevenir a compactação do solo, a perda da capacidade do terreno de regeneração, antes, durante e depois das ações de exploração (ADAMS e STORM, 2012). Uma destas etapas está relacionada com as análises de declividade do terreno, que ajudará o planejador a identificar áreas de risco, áreas que devem ser evitadas e outras com o potencial para o objetivo entendido. Também, nos termos de aplicações florestais, um estudo de estradas a serem construídas, e a avaliação das medidas a serem tomadas para proteção dos recursos hídricos, devem ser providenciados.

A aquisição de todas estas informações para que se atenda as necessidades do proprietário de terra assim como as agências de inspeção dos órgãos ambientais é um trabalho difícil e minucioso. Portanto, estudos como o de Wehr e Lohr (1999), Zandona et al. (2008) e Wulder et al.(2012), tem sido desenvolvidos para que alternativas inteligentes sejam fornecidas objetivando respostas boas e exatas para ambas as partes interessadas. O trabalho de campo é considerado fundamental para que se obtenha o entendimento do comportamento florestal e para que as atividades florestais sejam iniciadas, mas tal entendimento pode sair caro e levar

um bom tempo. Ainda, mapas e fotos aéreas devem ser considerados como uma ótima alternativa para que se entenda o terreno em estudo. Entretanto, existe a necessidade de algo que nos dê respostas mais robustas, de difícil acesso, que venha de forma mais rápida e barata. Portanto, uma nova tecnologia tem sido apresentada como uma solução inteligente no setor florestal, esta denominada LiDAR.

A tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*), pela sigla em inglês “Detecção e Localização por *laser*”, se baseia em uma tecnologia de *laser scanner* no qual coleta uma nuvem de pontos na superfície terrestre. LiDAR foi desenvolvido por volta de 1980, porém somente após os anos 2000 que esta tem sido utilizada no ramo florestal de maneira frequente com a intenção de melhorar a identificação dos parâmetros florestais, assim como os talhões potenciais para operações de exploração. Como esta tecnologia baseia-se na coleta de pontos que descrevem a superfície de forma tridimensional, onde esta coleta pode ser tanto de forma terrestre ou pelo transporte aéreo com um sistema de laser implementado, isto significa um grande avanço na área de aquisição de dados essenciais, assim como a minimização de tempo para tal trabalho. Ainda, estudos tem provado que esta tecnologia de sistema de lasers pode diminuir o custo com o trabalho de campo, e também, fornecer rápidos resultados de análise (MEANDS et al., 2000).

Portanto, este trabalho busca a identificação de estruturas florestais, como a densidade do plantio, a altura das árvores, a quantificação de biomassa, a declividade do terreno, assim como os rios e as estradas existentes, através de dados de *laser scanner* (LiDAR) de transporte aéreo para a identificação de áreas em potencial para exploração, utilizando como base de dados 6 talhões da floresta de coníferas, com predominância da espécie grand-fir, Mc-Donald Dunn, Corvallis, Oregon, Estados Unidos. Também, os dados foram avaliados para fornecer maior detalhe sobre a intensidade dos pontos coletados, e a exatidão dos métodos de coleta.

2. OBJETIVO

O presente estudo buscou apresentar os parâmetros biofísicos da floresta através de dados de LiDAR (laser de scanner) para responder as variáveis como, potencial madeireiro e características do terreno, necessárias a implementação de sistemas de colheita florestal ao, em Corvallis, Oregon, EUA.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Sistema LiDAR

Com o intuito de desenvolver cada vez mais a aquisição de dados para facilitar coletas manuais e caras. LiDAR tem mostrado ser um método satisfatório na coleta desses dados.

LiDAR, vem da sigla em inglês “Light Detection and Ranging”, uma tecnologia de sensoriamento remoto com base no tempo de retorno do sinal emitido pelo sensor e relacionado assim à coleta de pontos (nuvens de pontos) que descrevem a superfície de forma tridimensional, e que no Brasil é conhecida como Sistema de Varredura a Laser. (GIONGO et al., 2010)

Ao contrário dos sensores passivos que mensuram a luz refletida do sol (como, Landsat, QuickBird, e outros), LiDAR são sensores ativos que emitem luz infravermelho próximo em alta frequência de pulsos (WULDER et al., 2012). Esta ferramenta do sensoriamento remoto é baseada na idéia do radar, mas ao invés de emitir ondas de rádio (micro-ondas), trabalha na emissão de milhares de pulsos laser de luz infravermelha por segundo permitindo a medição da distância entre o sensor e a superfície do objeto. Além disso, o LiDAR, por emitir pulsos laser e detectar a luz refletida, pode detectar a intensidade do sinal e utilizá-lo na diferenciação de espécies florestais (KIM et al., 2009). Este sensor ativo pode ser utilizado a noite na coleta de dados, no entanto, diferente do Radar, por não penetrar as nuvens ou chuvas, sendo utilizado apenas em períodos de céu aberto.

O funcionamento deste sistema se dá através da emissão de pulsos laser de uma plataforma que pode ser tanto terrestre (TLS – *Terrestrial Laser System*) ou aérea (ALS-*Airbone Laser System*) com um sistema de laser implementado.

A tecnologia LiDAR não é algo novo, esta foi desenvolvida há mais de 40 anos atrás e começou a ser utilizada no mapeamento de partículas atmosféricas. Em aplicações terrestres havia muito menos complexidade no sistema de posicionamento (a posição do laser não mudava) do que no mapeamento aereotransportado. Por volta de 1980, com o desenvolvimento do Sistema de Posicionamento Geográfico (SPG), as aplicações com sensores móveis se tornou possível, como no sistema a aerotransportado (NOAA, 2012).

3.1.1. Sistema laser Scanner Terrestre

Este Sistema se baseia na aplicação de um princípio particular de operação no qual inclui laser scanners usados através de um tripé no chão (ENGLISH HERITAGE, 2007).

De acordo com Lerma et al. (2008), o sistema de laser scanner terrestre pode ser classificado de acordo com sua amplitude das medições ou seu princípio de operação, sendo estes: 1) triangulação; 2) tempo de vôo do laser; ou, 3) diferencial de fase.

- 1- O aparelho emite luz laser no objeto e posiciona um câmera pra procurar a localização da projeção do laser no objeto.
- 2- Scanners fazem uso dos pulsos de laser para medir a fração de tempo entre dois eventos (os pulsos de retorno).
- 3- É um princípio baseado na medição de tempo, porém leva em consideração a força do raio laser, medindo a diferença das fases entre as ondas enviadas e recebidas.

O Sistema de laser scanner terrestre costuma ser usado para capturar dados de objetos espaciais de alta resolução, como de prédios, pontes, estátuas, superfície de estradas, entre outros. Isto se dá pela quantidade de detalhes que esta tecnologia consegue capturar tendo uma precisão de centímetros ou até milímetros. Suas nuvens de pontos chegam a ser mais densas que as nuvens de pontos de um sistema de laser aerotransportado (Figura 1).



Figura 1 - Sistema de Laser Scanner terrestre e o resultado da capture de nuvens de pontos de alta intensidade.

Fonte: Forest Photogrammetry & Remote Sensing Material Class –OSU

3.1.2. Sistema Laser Scanner Aerotransportado

É um sistema multi sensor composto por uma combinação do sensor de laser, um sistema de navegação inercial (Inertial Navigation System (INS)) e um receptor do Sistema de Posicionamento Geográfico (Figura 2). Juntos, eles transformam os dados ALS em um sistema de coordenada comum, fazendo com que a posição e a ângulo da plataforma aerotransportada passe a ser conhecida, permitindo o georreferenciamento direto (PFEIFER, 2007).

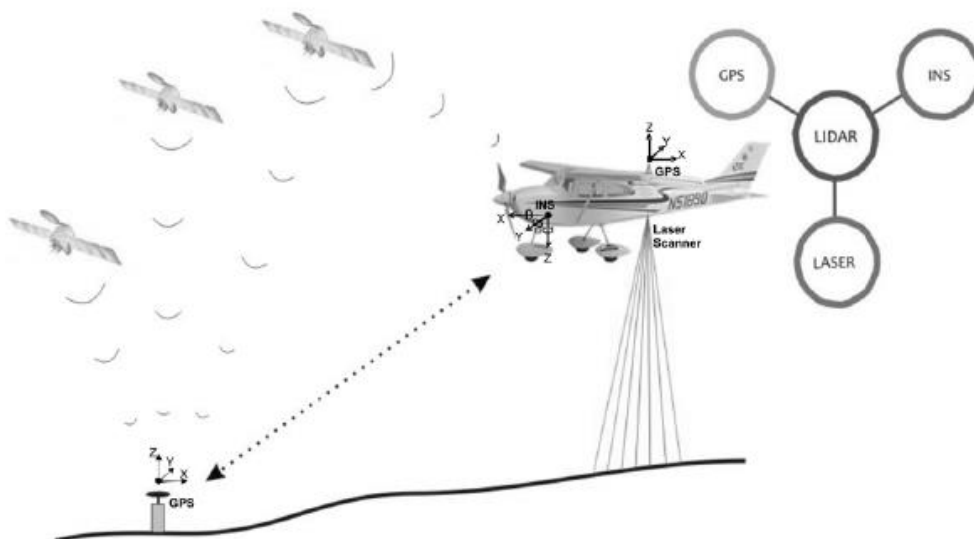


Figura 2 - Sistema Laser Scanner Aerotransportado (ALS), mostrando seus componentes e como ocorre a captura de dados

Fonte: Giongo et al., 2010

Este sistema costuma ser mais utilizado quando há a necessidade de que seja feita uma cobertura rápida da área. Como por exemplo, medição de superfícies de terreno para a compilação de Modelos Digitais de Terreno (MDT's), ou ainda permitir acesso à áreas ainda de difícil acesso, como deserto, geleiras, ou ate mesmo floresta muito densas.

3.1.3. Aplicações dos dados LiDAR

Devido sua alta capacidade de aquisição de dados, o Sistema LiDAR tem sido usado em diferentes áreas com necessidade de dados. Como exemplos, na área de agrimensura e engenharia civil seu uso tem sido destacado de modo geral, com modelos tridimensionais de alta qualidade e precisão. Construções, redes de canos, estradas, e pontes são áreas com maior aplicabilidade do uso de LiDAR. Além disso, LiDAR pode ser usado para minimizar impactos futuros de enchentes, como a que aconteceu na Carolina do Norte, EUA (NOAA, 2012). Ainda, LiDAR tem exercido um papel muito importante na minimização de esforços, custo, e tempo que se gasta para coleta de dados na mensuração de árvores. Ao invés de fazer a contagem e a mensuração da altura das árvores manualmente, LiDAR de alta resolução e pequeno-footprint tem sido usado. Portanto, o gerenciamento do aspecto da madeira esta muito mais fácil de ser controlado, sendo depois, mais fácil de ser previsto o quanto de madeira existe em uma área específica.

Um exemplo da aplicação na área florestal foi dado por Macedo (2009), onde obteve-se uma estimativo do volume de um povoamento clonal de Eucaliptus sp. menor 1,8% do que o volume obtido por técnicas de estimativas volumétricas de inventários florestais.

3.2. Sistema de Colheita Florestal

3.2.1. Conceito

Entende-se por colheita florestal um conjunto de operações feitas no ramo florestal, que tem como objetivo o corte e preparo da madeira para que seja levada ao local de transporte, e assim transformada em produto final (MACHADO et al., 2008).

A colheita florestal é como uma cadeia produtiva formada por etapas denominadas atividades parciais. De modo geral, o sistema de colheita de madeira abrange as seguintes atividades (Figura 3): (1) corte; (2) descasque: sendo uma atividade opcional de acordo com o produto final; (3) extração: madeira sai do local de corte até a beira da estrada; (4)

Carregamento; (5) transporte às fontes consumidoras; (6) descarregamento (MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998)

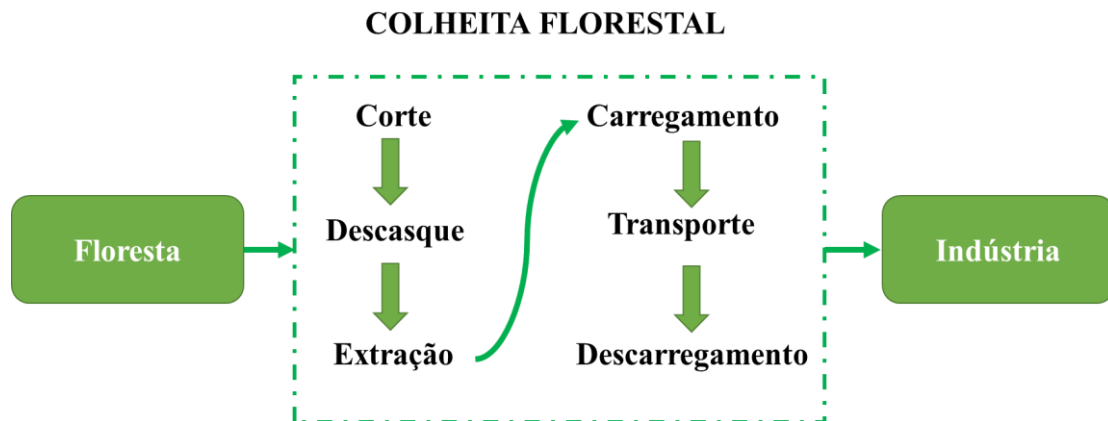


Figura 3 - Fluxograma das Operações da Colheita Florestal

Fonte: Adaptado pela Autora, apartir de Souza et al (2008)

3.2.2. Seleção dos Sistemas de Colheita

Diferentes tipos de equipamentos e sistemas de exploração florestal estão disponíveis hoje em dia, variando de pequenos skidders para grandes skylines e helicópteros. Duas das tarefas mais importantes enfrentadas por planejadores de exploração florestal são a seleção de um sistema de colheita e os equipamentos para determinado sítio, e o uso destes da melhor maneira possível para que os impactos gerados, quanto ao solo e aos recursos hídricos, sejam minimizados (MACDONALD, 1999)

A variação nos sistemas de colheita florestal dependerá de diversos fatores, que envolvem o nível tecnológico, o custo, a disponibilidade de mão de obra, e ainda o tipo de equipamentos aplicados. Devido a tais fatores e outras restrições relacionadas à produtividade das máquinas, características arbóreas, espaçamento de plantio e, uma das principais, a declividade do terreno, a otimização das operações florestais se torna algo que requer alto planejamento e cuidados.

De uma forma mais prática a seleção de um sistema de colheita é feita se utilizando a declividade do terreno como critério principal. Entretanto, quando o impacto ambiental de um método de colheita proposto passa a se um preocupante fator de contribuição, métodos de colheita de baixo impacto devem ser considerados em todas as classes de declividade. A tabela 1, lista alguns exemplos de sistemas de colheita florestal e seus equipamentos (Figura 4) baseados na declividade do terreno.

Tabela 1- Sistemas de Colheita Florestal por declividade do terreno

Área Plana (0% - 20% declividade)	Área semi-íngreme (20% - 35% declividade)	Áreas íngremes (35% + declividade)
Sistemas Manuais	Sistemas de cabo de arraste	Harvester
Skidders	Skidders	Highlead
Forwarders	Tratores com garras	Skyline
Feller-buncher de roda	Sistemas Manuais	Sistemas Manuais
Feller –buncher de esteira	Feller-buncher de roda	Sistemas Aéreos
Carregadores Florestais	Feller –buncher de esteira	
Harvester	Harvester	

Fonte: Adaptado Sappi Forests Harvesting Procedures Manual – 1993- Chapter 8.



Figura 4 - Figuras de Exemplos de Algumas máquinas Máquinas Florestais citadas na tabela.

Fonte: Castro, 2011

Ainda, Seixas (2008) diz que para cada equipamento há uma capacidade máxima de trabalho, ou seja, o limite de distância que os mesmos podem alcançar, de acordo com a declividade e as imperfeições do terreno (Figura 5).

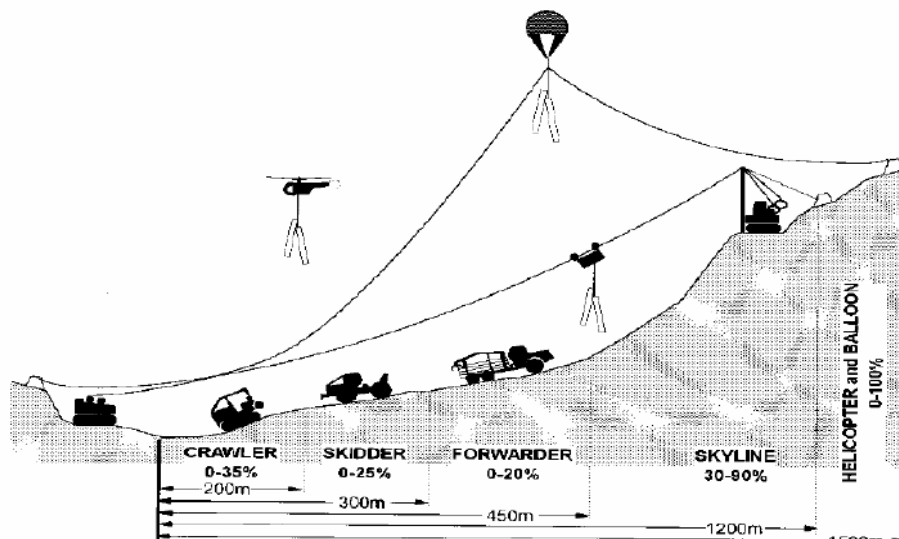


Figura 5 - Ilustração das adaptações dos equipamentos para a colheita florestal de acordo com as características do terreno.

Fonte: Modificado de Studier e Binkley (1981, apud SEIXAS, 2008).

Em declividades amenas os equipamentos podem operar em qualquer parte do sítio de corte, levando em consideração a atenção para compactação. Se o terreno se tornar mais íngreme, as trilhas de arraste devem ser planejadas de melhor maneira à permitir a exploração. Geralmente, as trilhas de arraste tem um limite de até 35% de declividade, onde tratores florestais podem trabalhar com segurança.

De acordo com as Práticas de Melhor Manejo Florestal da Universidade de Idaho, o uso de trilhas de arraste designadas e o corte direcionado, podem minimizar a área do sítio usada para traçar trilhas de arraste, diminuindo o tempo de viagem dos equipamentos e a compactação do solo. Existem três padrões de arranjo das trilhas de arraste (Figura 6):

- Paralelo, onde uma ou mais trilhas são traçadas paralelamente, saindo de um ponto comum, para permitir acesso à área a ser explorada. Padrão bastante usado em declividades amenas.
- Herringbone, as trilhas secundárias são traçadas à um ângulo de 45º das trilhas primárias, fazendo uma combinação baseada nas curvas de nível, arrastando em declividade moderada e morro a baixo.
- Dendrítico, segue as curvas de nível de declividade e são usadas em terrenos íngremes.

Padrão de Trilha de Arraste

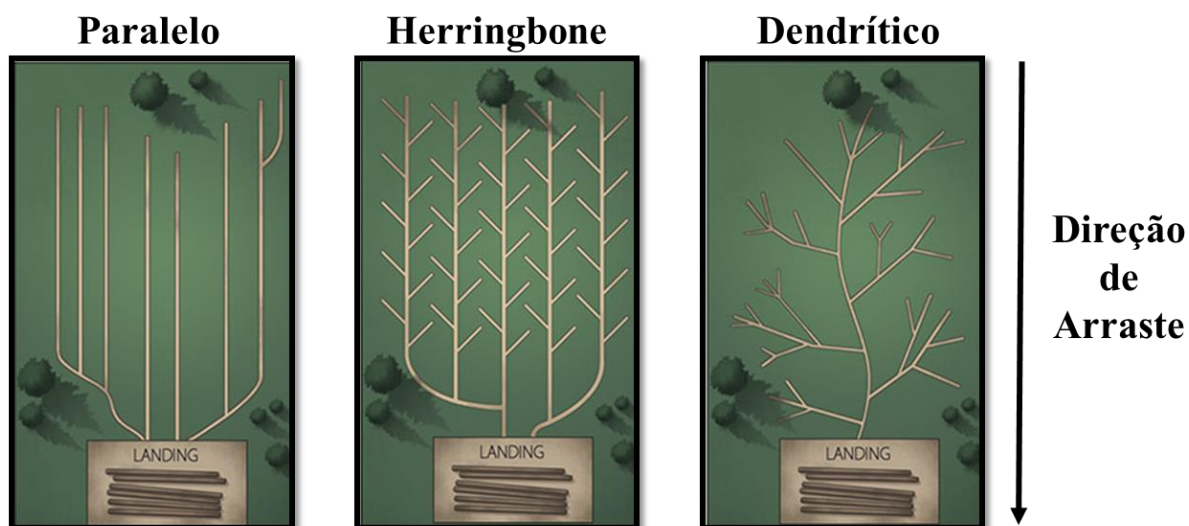


Figura 6 - Padrões de Trilhas de arraste de acordo com a declividade do terreno para a diminuição quanto a compactação e erosão do solo.

Fonte: Adaptado pela Autora da Universidade de Idaho - Idaho Forestry Best Management Practices

Sendo assim, se pode observar que para a seleção de um sistema de colheita florestal, se deve levar em consideração diversos fatores nos quais considerarão a capacidade dos equipamentos escolhidos, os parâmetros ambientais relacionados à conservação do solo e da água, os aspectos do terreno, e ainda as trilhas de arraste utilizadas no sistema a ser implementado.

3.2.3. Sistemas de Colheita Florestal

Machado (2008) menciona que a colheita pode ser realizada de três maneiras: de forma mecanizada, semimecanizada e manual. No primeiro caso, o sistema é totalmente montado com máquinas florestais, sendo estas Skidders, Forwarders, Feller-Buncher, Harvesters, entre outros. No segundo caso, que geralmente é implementado em áreas com algumas limitações, tais como em terrenos um pouco acidentados e de um declive médio, ainda existe a inserção de máquina florestais, porém o corte da árvore é feito por um motosserrista. E por último, onde há um risco de maior impacto ambiental se houver o uso de máquinas, o processo de corte, desgalhamento e ajuste de tamanho é todo feito manualmente com uma motosserra, para que o produto seja puxado com ajuda de um sistema de cabo.

Os sistemas de colheita florestal foram evoluindo com o passar dos anos devido a necessidade de expansão das áreas exploradas para atender a demanda por produtos florestais, e além disso, atender conceitos da conservação dos recursos naturais que envolvem a minimização de impactos no solo, na fauna e flora, e ainda, a conservação do recurso hídrico.

Levando todos os aspectos ambientais em consideração, o sistemas de colheita madeireira levam em consideração fatores relacionados a custos e mão de obra. Sendo assim, o sucesso de um sistema dependerá de um planejamento detalhado que faça conexão com todos os custos de operação em si, e ambientais.

Atualmente, vários sistemas de colheita florestal são citados de acordo com suas características, limitações e potenciais. Machado (2008), então, classifica estes sistemas da seguinte maneira:

- **Sistema de Toras Curtas (Cut-to Length)** – a corte da madeira, seu desgalhamento/ descascamento (se necessário), e sua redução em toras ocorre no interior do sítio de exploração. Equipamentos envolvidos: Skidders, Forwarders, Harvester.
- **Sistema de Fuste (Tree-length):** a árvore chega a ser desgalhada e destopada, porém o fuste chega inteiro no pátio ou estrada. Equipamentos envolvidos: Garra Traçadora, Slashers, Clambunk Skidders, Skidders, Harvesters, Feller Bunchers.
- **Sistema de Árvores Inteiras (Full- tree):** retirada da árvore inteira com exceção das raízes, sendo processada na beira das estradas que circundam o sítio. Equipamentos envolvidos: Loaders, Delimbers, Clambunk Skidders, Skidders, Harvesters, Feller – Bunchers.
- **Sistema de Árvores Completas (Whole – Tree):** retira-se a árvore inteira com seu sistema radicular. Um sistema de difícil funcionamento, e que requer muito dos equipamentos.
- **Sistema de Cavaqueamento (Chipping):** após o corte e derrubamento das árvores, as mesmas são levadas para a lateral do talhão onde serão processadas e transformadas em cavacos por picadores florestais.

De acordo com o manual de melhores práticas para implementação de sistema de colheita a cabo aéreo de 2005, fatores que podem levar a escolha deste sistema estão relacionados ao terreno bastante declivoso e acidentado, condições úmidas e finas do solo, estradas de arraste instáveis, e problemas ligados ao meio ambiente como impactos visuais, e proteção dos cursos d'água.

Este sistema envolve uma torre fixa que tenha altura suficiente para que o ângulo de deflexão, necessário para que a carregamento da tora ocorra sem que gere tensão do cabo puxador, seja alcançado. Este sistema pode ser ilustrado abaixo, na figura 7 e os termos na tabela 2.

Tabela 2 - Definição dos termos utilizados na implantação de um Sistema de Colheita a Cabo aéreo.

Termos	Explicação
<i>Chord slope</i>	É o ângulo na horizontal que sai da linha reta do topo da torre até a âncora.
<i>Mid-span deflection</i>	Distância necessária para que o ângulo de deflexão seja alcançado
<i>Clearance</i>	Distância entre o cabo que transporta a carga e o chão
<i>Tailhold</i>	Âncora
<i>Hauler</i>	Transportador

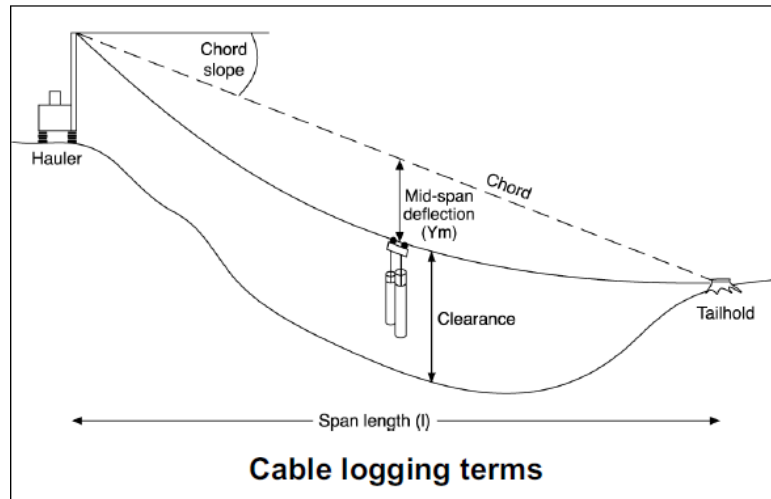
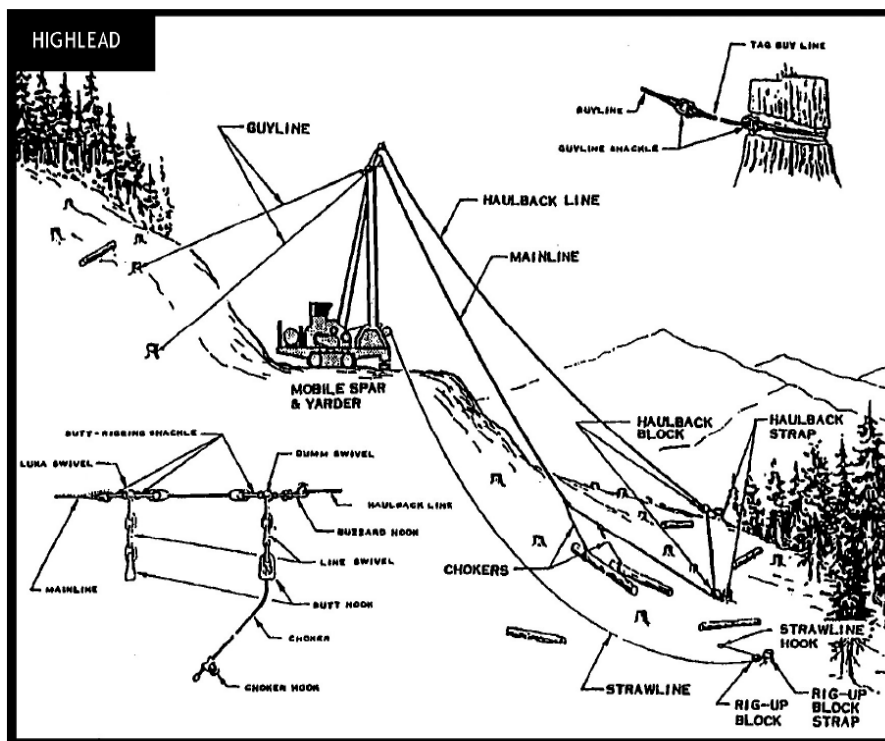


Figura 7 - Ilustração dos termos utilizados em um Sistema de Colheita a Cabo aéreo

Fonte: Guia de práticas para Sistemas Florestais de Cabo – Competenz 2000

Alguns dos sistemas de Colheita por cabo aéreo mais utilizados nos Estados Unidos podem ser visualizados abaixo:



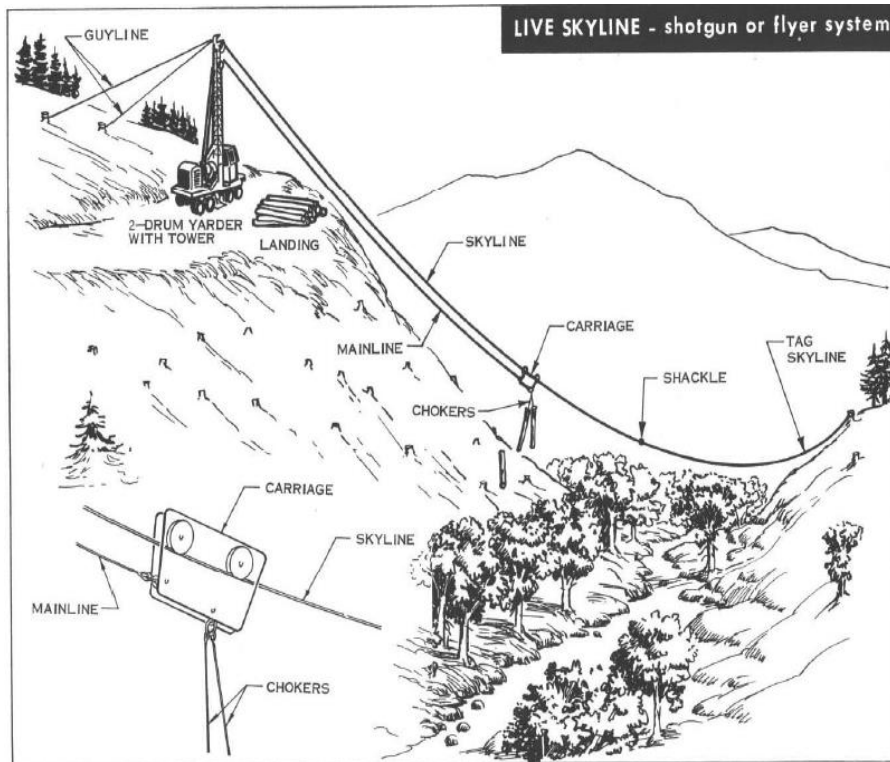


Figura 8 - Dois sistemas de Colheita a Cabo aéreo, mostrando no Highlead o arraste da tora, e no Live Skyline, o carregamento da tora suspensa.

Fonte: Oregon State University – Harvesting Operation Material

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

A área selecionada (representada nas figuras 1 e 2) para o projeto está localizada na Floresta de Pesquisa Mc-Donald-Dunn da Faculdade de Engenharia Florestal na Universidade Estadual de Oregon. Esta Floresta de Pesquisa é localizada próximo a cidade de Corvallis em Oregon, EUA, com latitude de 44° 36'44.76" N e longitude de 123°20'9.58" W. Região de floresta temperada com predominância de coníferas, de clima quente e temperado, classificação do clima é Csb segundo a Köppen e Geige, com temperatura média anual de aproximadamente 11,5°C. De acordo com o mapa adquirido (figure 10) no plano da Floresta Mc-Donald Dunn, a área selecionada é basicamente composta por floresta com predomminância de Grand fir (*Abies grandis*), e false-brome, tendo aproximadamente 745 acres ou aproximadamente 302 hectares (figura 9).

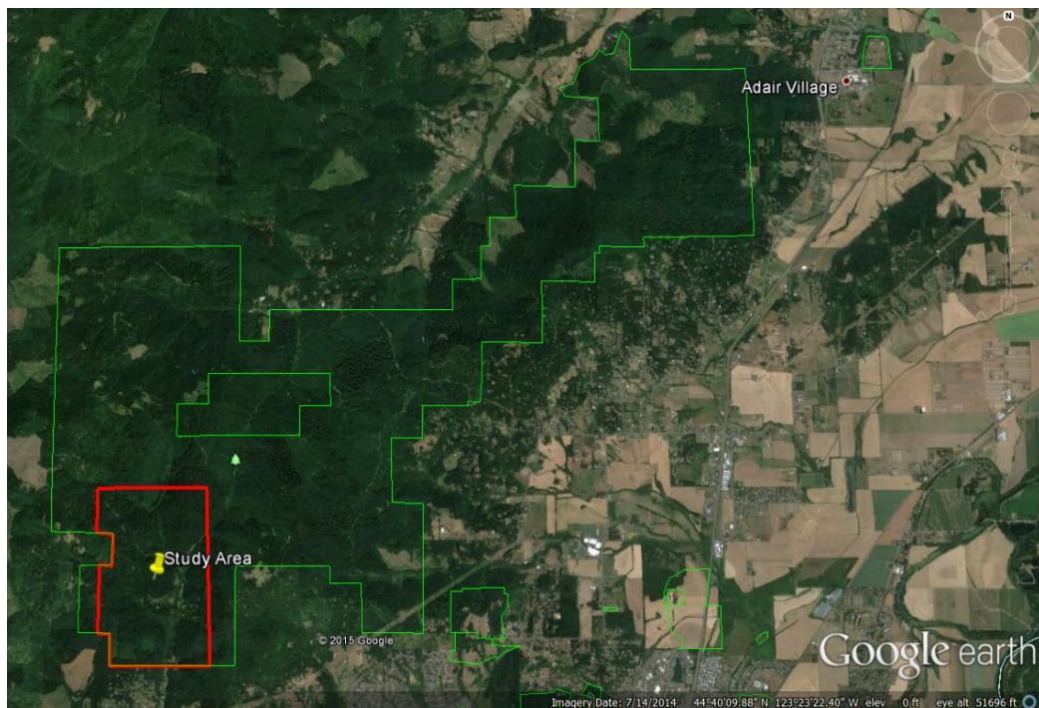


Figura 9 - Área de Estudo representada dentro da Floresta de Pesquisa Mc-Donald Dunn, Corvallis, OR.

Fonte: Google Earth, 2015

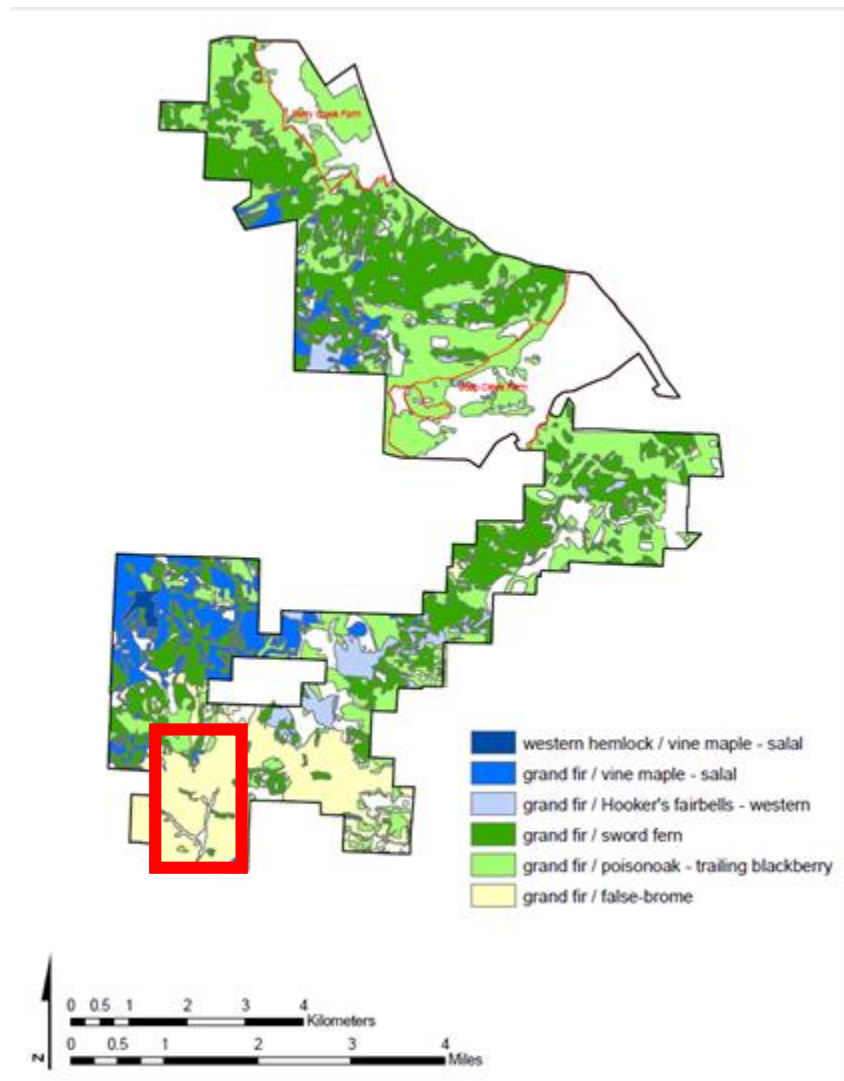


Figura 10 - Mapa de Classificação da vegetação da área de estudo - Predominância de Grand fir/ False brome

Fonte: College of Forestry – OSU Website – Mc-Donald Dunn Forest

4.2 Metadado do Sistema de Laser Scanner Aero-transportado (LiDAR – ALS)

Os dados foram armazenados, após processo de filtragem, por zonas. As zonas utilizadas neste trabalho foram as zonas 02, 03, 07, 08, 15 e 16 (Figura 11), que podem ser encontradas no banco de dados da Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Estadual de Oregon.

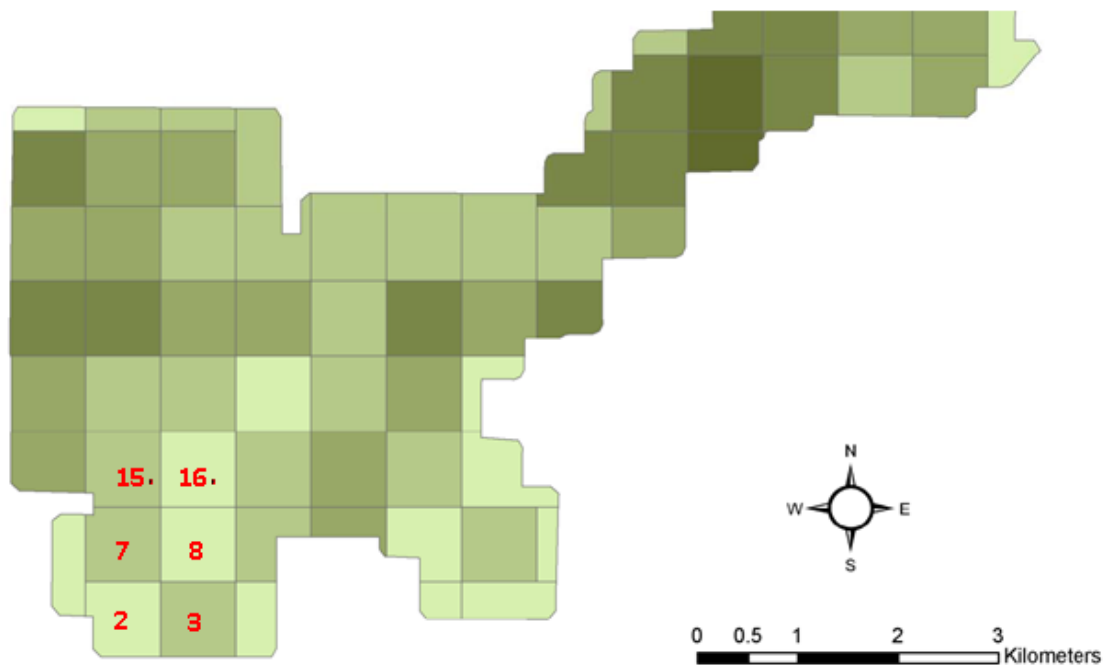


Figura 11 - Mapa de divisão de talhões de dados LiDAR. Os talhões utilizados neste trabalho foram os indicados em vermelho.

Fonte: Relatório dos dados LiDAR, Watershed Science (2008)

O sistema de laser Leica ALS50 fase II (Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland) foi utilizado para coleta dos dados de LiDAR da Floresta de Pesquisa em abril de 2008 (Watershed Sciences 2008). Os dados de lidar incluem as nuvens de pontos em si (primeiro retorno, último retorno e todos os retornos), os dados de vetor (shapefile da ESRI, indicando a delimitação do talhão na Floresta de Pesquisa), e os dados de raster (superfície de terreno, superfície de vegetação, e imagem de intensidade de pontos). A resolução dos dados de LiDAR gerou em torno de 10 pontos por metros quadrados para a densidade média de pontos do primeiro retorno, e de 1.1 pontos por metros quadrados para a densidade média dos pontos de terreno. Enquanto a acurácia vertical foi reportada como de 0.02 metros (Wing n.d.).

4.2.1. Projeção, Datum e unidades

A projeção utilizada no processamento dos dados foi a UTM_Zona_10, com Datum vertical NAVD88 Geoid03, e horizontal NAD83, sendo a unidade em metros. (WATERSHED SCIENCE, 2008)

4.3. Requerimento das Agências de Inspeção Ambiental (Legislação)

De acordo com o Livro de Leis Florestais de Oregon (Adam & Storm, 2012), muitos passos devem ser cumpridos antes do início das atividades de exploração florestal. Primeiro, o método de manejo florestal e o tipo de equipamento devem ser escolhidos apropriadamente para determinada declividade do terreno, paisagem, e propriedades do solo para que se minimize a deterioração do solo e para que a qualidade da água seja mantida. Segundo, os sistemas de exploração de chão (Ground based system) em terrenos instáveis, úmidos, ou facilmente compactados devem ser evitados. Terceiro, trilhas/ estradas devem ser alocadas em área estáveis, e devem ser minimizadas para prevenir a compactação do solo. Quarto, o recurso

hídrico deve ser protegido ao máximo evitando a sedimentação/ assoreamento do recurso que pode ocorrer devido a trilhas e estradas mal localizadas e mal planejadas. Por último, todas as operações devem ser feitas para evitar a compactação e turbidez dos cursos de água, assim como seu desaparecimento.

Estas regras citadas são umas das principais ações a serem tomadas para que o processo de exploração se inicie de acordo com a Lei Florestal de Oregon. Estas são as leis que se buscou atender através das análises com os dados de LiDAR.

4.4. Discussão do Metadado

Todos os dados adquiridos foram coletados se baseando no mesmo ângulo de varredura e equipamento de laser. Esse padrão ajudou na manipulação dos dados, haja vista o fato de que todos os dados de LiDAR foram coletados baseados nos mesmos parâmetros, e isso pode influenciar nos resultados finais, relacionados aos erros associados à coleta, e ao processamento.

A incerteza relacionada aos dados não pode ser negada, isso porque estes são coletados através de um instrumento, que no caso possui erros associados. Também, como o próprio Relatório de dados da Floresta de Pesquisa Mc-Donald Dunn descreve, algumas áreas com vegetação densa tiveram um menor retorno de pontos do que o laser originalmente pode gerar. Sabendo-se que a média de retorno de pontos é por volta de 10 pontos/m², isso significa que existe uma variação de resolução do dado para mais ou menos de 10 pontos/m². Portanto, os dados não são totalmente precisos, e como estamos lidando com dados de vegetação a incerteza de padrão de erros deve ser levada em conta.

4.5. Processamento dos Dados

Os dados foram processados de acordo com o manual do ESRI – Análises de LiDAR no ArcGIS® 10 para Aplicações Florestais, além de outros tutoriais da ESRI – Site de Recursos em ArcGIS. Os únicos dados utilizados neste projeto foram os pontos de nuvem gerados pelo Sistema de laser scanner, que de acordo com o tutorial do ESRI, com uma abordagem de Raster se consegue as características necessárias. Os pontos de nuvem foram manipulados em forma de file geodatabase para que se fosse mantida uma estrutura organizada e, também, as propriedades associadas com os sistemas de coordenadas projetadas (NAD_1983_UTM_Zone_10N) escolhido, assim como o sistema vertical (NAVD_1988). Com tais pontos, algumas decisões foram tomadas durante as análises para que se alcançassem os resultados sobre a estrutura florestal para um possível processo de exploração.

4.5.1. Etapas do processamento

Fluxogramas podem ser visualizados em apêndice.

A) Arquivo com a informação dos pontos

No início das análises, todos os pontos foram manipulados em um “geodatabase”, e a ferramenta de pontos LAS para Multipontos foi usada para importar as nuvens de pontos como um “feature dataset” (hierarquia de um geodatabase). Com os pontos disponíveis no ArcGIS em forma de LASD, a ferramenta de Arquivo de Informação de Pontos foi aplicada.

B) Raster de Intensidade dos Pontos

A ferramenta Ponto para Raster (Point to Raster tool) foi utilizada na geração do Raster de Intensidade dos pontos de retorno. Onde os arquivos LAS tanto do Dossel quanto de Superfície foram utilizados.

C) Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital de Superfície (MDS)

Para a geração dos Modelos Digitais de Elevação e Superfície utilizou-se das ferramentas *Las to Multipoint*, para que o arquivo LiDAR possa ser lido pelo ArcGis, e *Point to Raster*, para obtenção dos modelos.

D) Raster Calculator para otimização do Raster de terreno

Foi aplicada um função que utiliza uma estatística focal, onde os espaços vazios serem preenchidos pelos valores das células vizinhas.

E) MDE e MDS – Terrain Dataset

Utilizou-se o Novo Terreno (New Terrain), uma opção de featura dataset no geodatabase para a obtenção de modelos digitais de multiresolução

F) Canopy Height Model (MDE - MDS) – Modelo de Altura de Dossel

O MAD (Modelo de Altura de Dossel) ou CHM é a diferença ente o MDS e o MDE, portanto a ferramena *Minus* encontrada no menu *Spatial Analyst* foi utilizada.

G) Densidade de Biomassa

Para o Raster de densidade de biomassa, como o fluxograma indicou, envolveu as ferramentas de LAS Statistics, IsNull, Con, Float e Divide. Todos os passos foram feitas para ambos os raster (dossel e terreno), para que no final fosse feita a divisão entre estes.

H) Modelo de Sombreamento

Utilizou-se a Ferramenta localizada no menu *Spatial Analyst – Hillshade* (Modeo de Sombreamento)

I) Modelo deDeclividade

No mesmo menu *Spatial Analyst – Slope* (Declividade)

J) Análises do Perfil de Terreno e Dossel

As análises foram baseadas no uso da barra de ferramentas de Análise 3D (*3D Analyst Toolbar*) para avaliar o perfil do terreno, e a barra de ferramentas para banco de dados LAS (formato do dado LiDAR) para avaliação do perfil arbóreo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rodando as análises do arquivo de pontos (Point File Analysis), importante para que se consiga um dos parâmetros principais usado na seleção do tamanho da célula a ser usada como requerimento de outras ferramentas na geração dos modelos de superfície, se conseguiu uma média do espaçamento entre os pontos do primeiro retorno (de superfície) de 0,30 metros, enquanto para os pontos de terreno (último retorno) 0,90 metros (Figura 12). Isto pode inferir como a densa vegetação de coníferas pode influenciar na quantidade de pontos que representam a superfície de terreno.

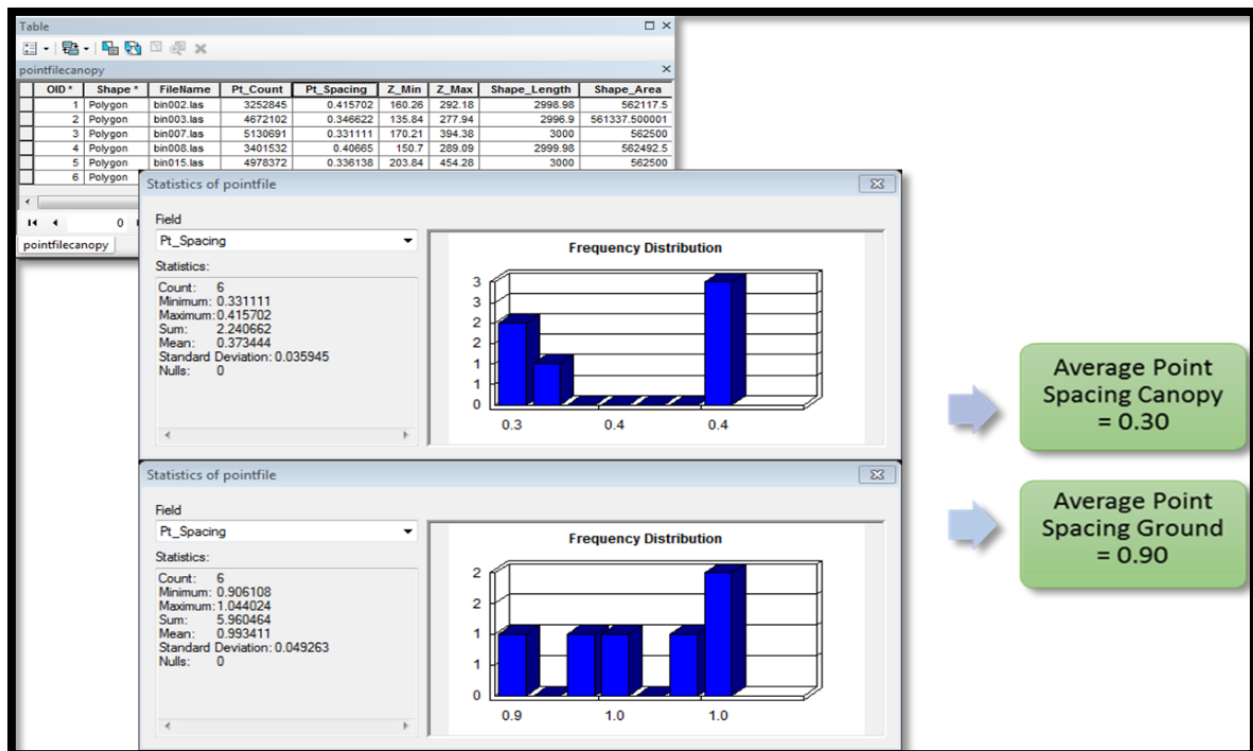


Figura 12 - Resultado da Informação dos Arquivos de Pontos

Raster de intensidade de pontos da área de estudo - Floresta McDonald Dunn - Corvallis - Oregon USA

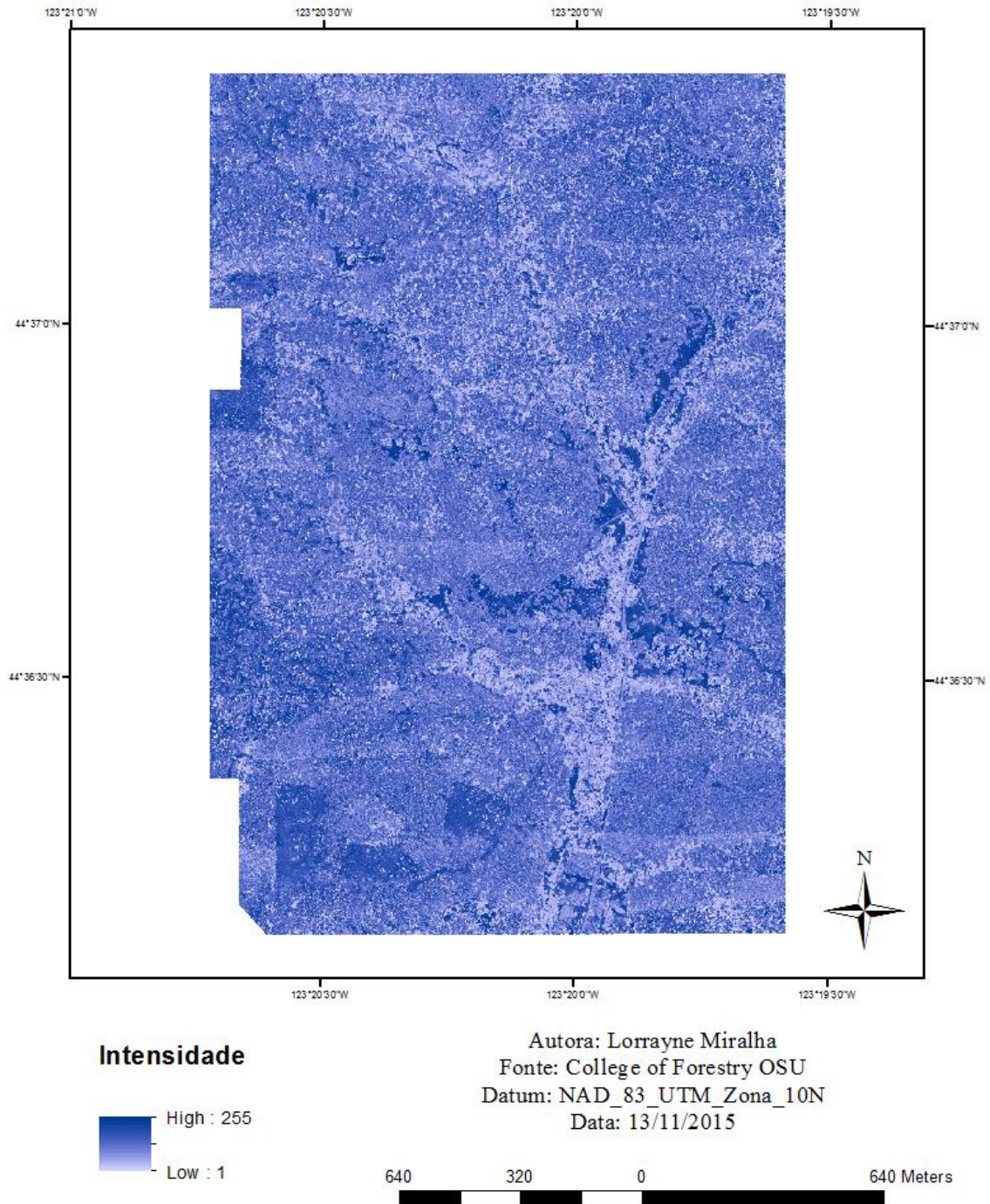


Figura 13 - Raster de Intensidade de pontos

Estes valores serviram de entrada para que o Raster de Intensidade com resolução de 1x1 metro fosse gerado (Figura 13). Além disso, estes foram utilizados para a criação dos modelos de elevação e superfície, conhecidos como MDE (Modelo Digital de Elevação) e MDS (Modelo Digital de Superfície), respectivamente. Através desses modelos obtidos, se pode perceber a quantidade de falhas que podem estar associadas ao MDE.

Como forma de correção das falhas referentes ao MDE, que devem ter ocorrido pela densa vegetação do local ou pelo baixo número de sobreposição de vôo, um script, que identifica os valores das células vizinhas e preenche com a média dessas células os espaços vazios, através do Raster Calculator foi aplicado de forma que os vazios pudessem ser preenchido. Assim o modelo pode ser utilizado na obtenção de melhores resultados nas análises posteriores (Figura 14).

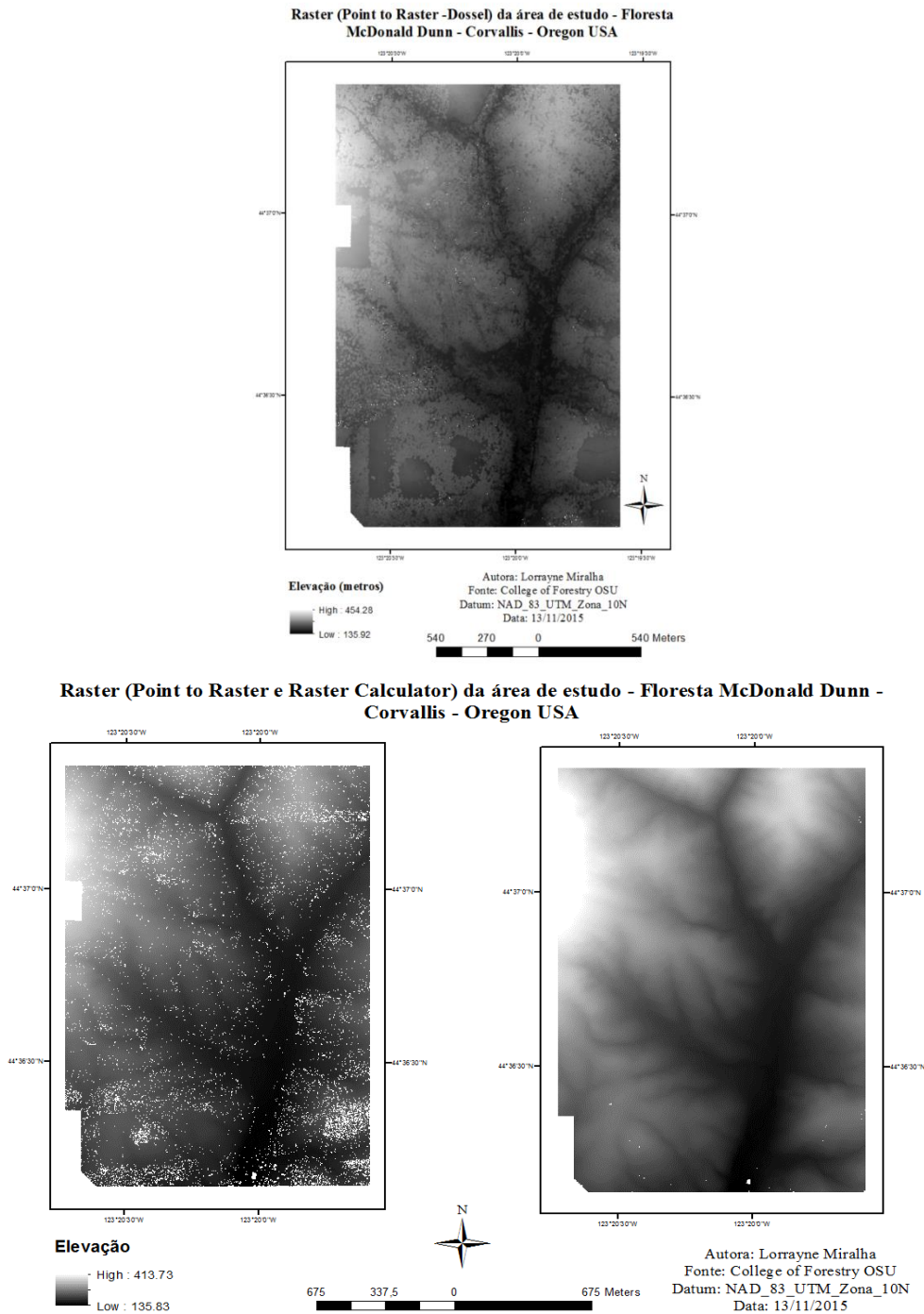


Figura 14 - MDS and MDE através da ferramenta Point to Raster, e Raster melhorado pela ferramenta Raster Calculator.

Os MDE e MDS foram gerados através do *Terrain feature class* (Figura 15), outra opção para geração de modelos de terreno, onde se observou melhor resolução do que através da geração de modelo pelo Point to Raster. A opção de *Terrain feature class* foi considerada muito útil, porém se deve prestar atenção no fato de que estes não excluem as áreas sem valores de pixel (onde não houve pontos coletados) como a ferramenta Point to Raster faz. Por esta razão os modelos gerados pela ferramenta point to raster foram utilizados para geração do Modelo de Altura de Dossel (CHM – Canopy Height Model) e do Raster de Intensidade de Biomassa, para que se evitasse a super- ou subestimação dos dados.

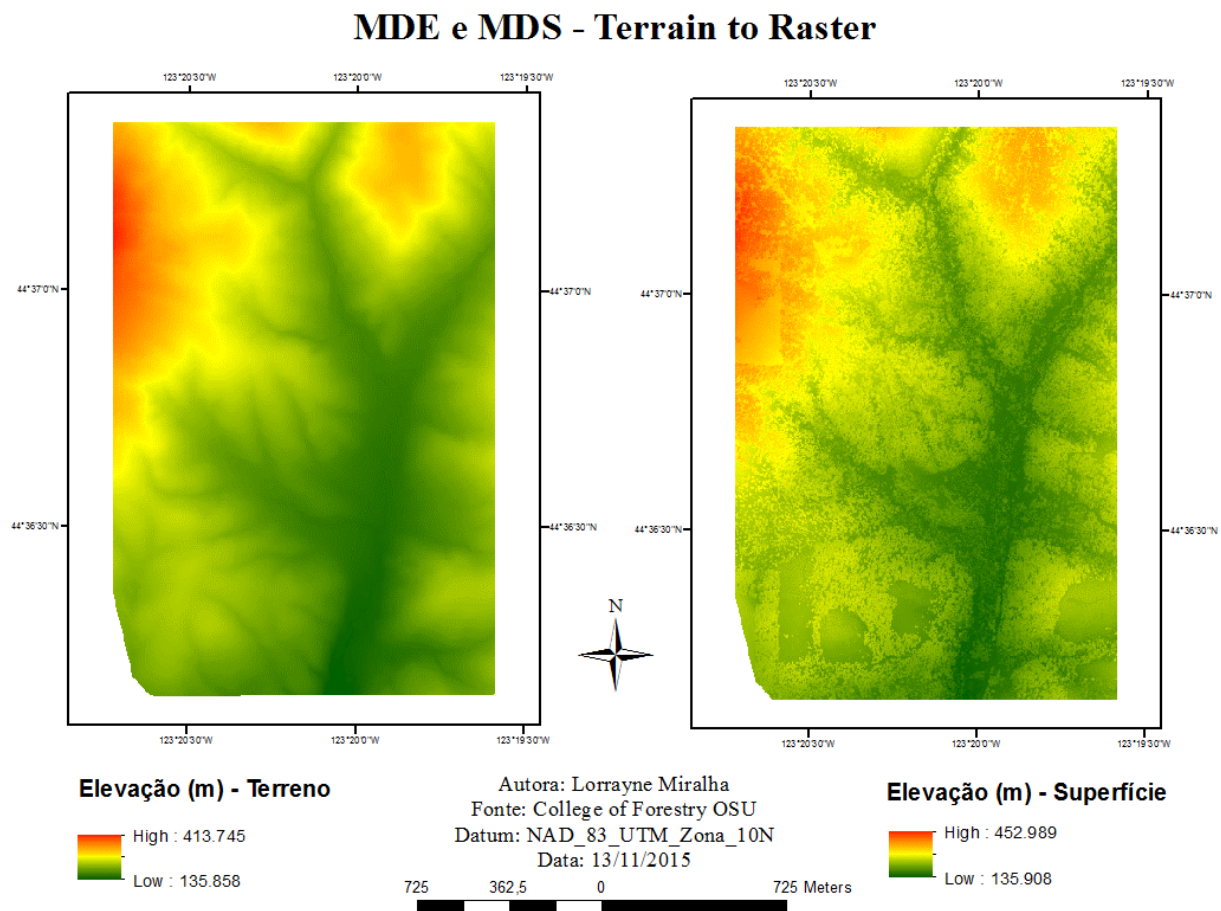


Figura 15 - Raster gerado para opção Terrain (modelo de multiresolução baseado em TIN)

Os resultados foram gerados em metros, e a amplitude entre os valores representa a variação da altura entre as árvores. Através do Modelo de Altura de Dossel (figura 16), observou-se que altura das árvores na área de estudo variou entre -1 á 74,24 metros, aproximadamente. Os valores abaixo de 0 se devem ao fato de que o laser pode chegar a ultrapassar a primeira camada do solo.

Modelo de Altura de Dossel (Canopy Height Model) da área de estudo - Floresta McDonald Dunn - Corvallis - Oregon USA

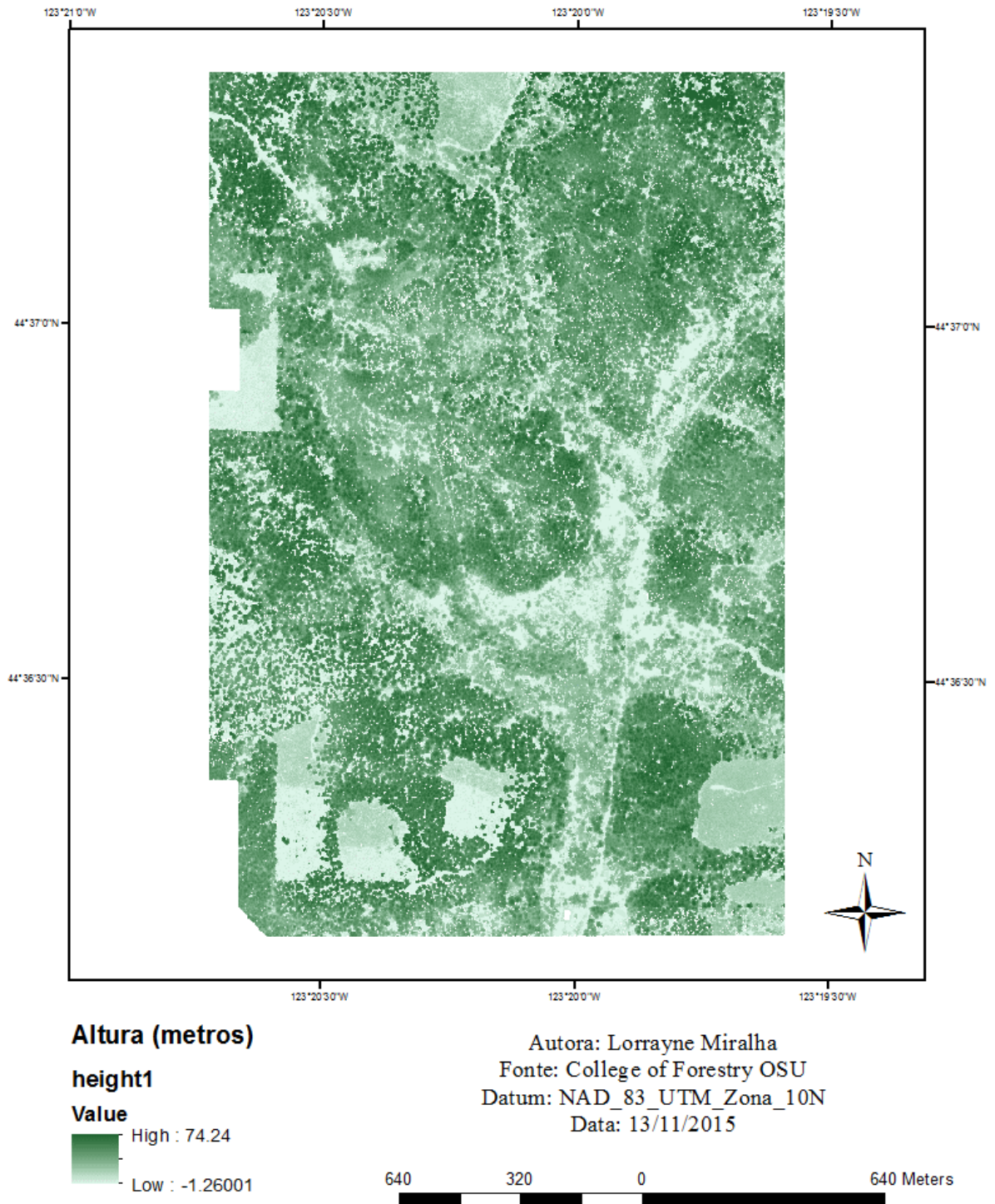


Figura 16 - Modelo de Altura de Dossel ou Canopy Height Model (CHM)

O mapa de densidade de biomassa é de extrema importância para avaliar a indicação do vigor das árvores e crescimento. Quando um povoamento é composto pela mesma espécie, área de menor vigor pode ser rapidamente separadas de áreas com maior vigor (ESRI, 2011). Como se pode ver no mapa de densidade de biomassa (Figura 17), o percentual de vigor pode

ser facilmente identificado através da classificação de simbologia, e na área de estudo observa-se que as áreas verdes são aquelas de maior vigor enquanto as de tom roxo são as com menor vigor. Um questionamento a ser feito esta relacionado com o local marcado na Figura 17 (destaque em vermelho), as área de mais vigor deveriam ser as áreas com maior potencial madeireiro, porém a Figura 18 abaixo mostra que nesta localidade a vegetação tem um porte muito baixo comparada com porte de madeira na área de estudo. Uma explicação a se dar esta relacionada ao fato de que para que as análises de biomassa possam ser feitas os retornos do LiDAR devem estar divididos de acordo com os estratos florestais, para isso os retornos de superfície devem ser separados em 1°, 2°, 3° , e 4° retornos, e por fim o 5° retorno seria o de terreno, porém os dados utilizados foram disponibilizados de que todos os retornos de superfície foram classificados como 1°, e o de terreno o último retorno. ESRI (2011), explica que tal divisão podem gerar inconstância nas análises de biomassa. Todavia, tais áreas indicadas como de maior vigor, foram classificadas como áreas em regeneração.

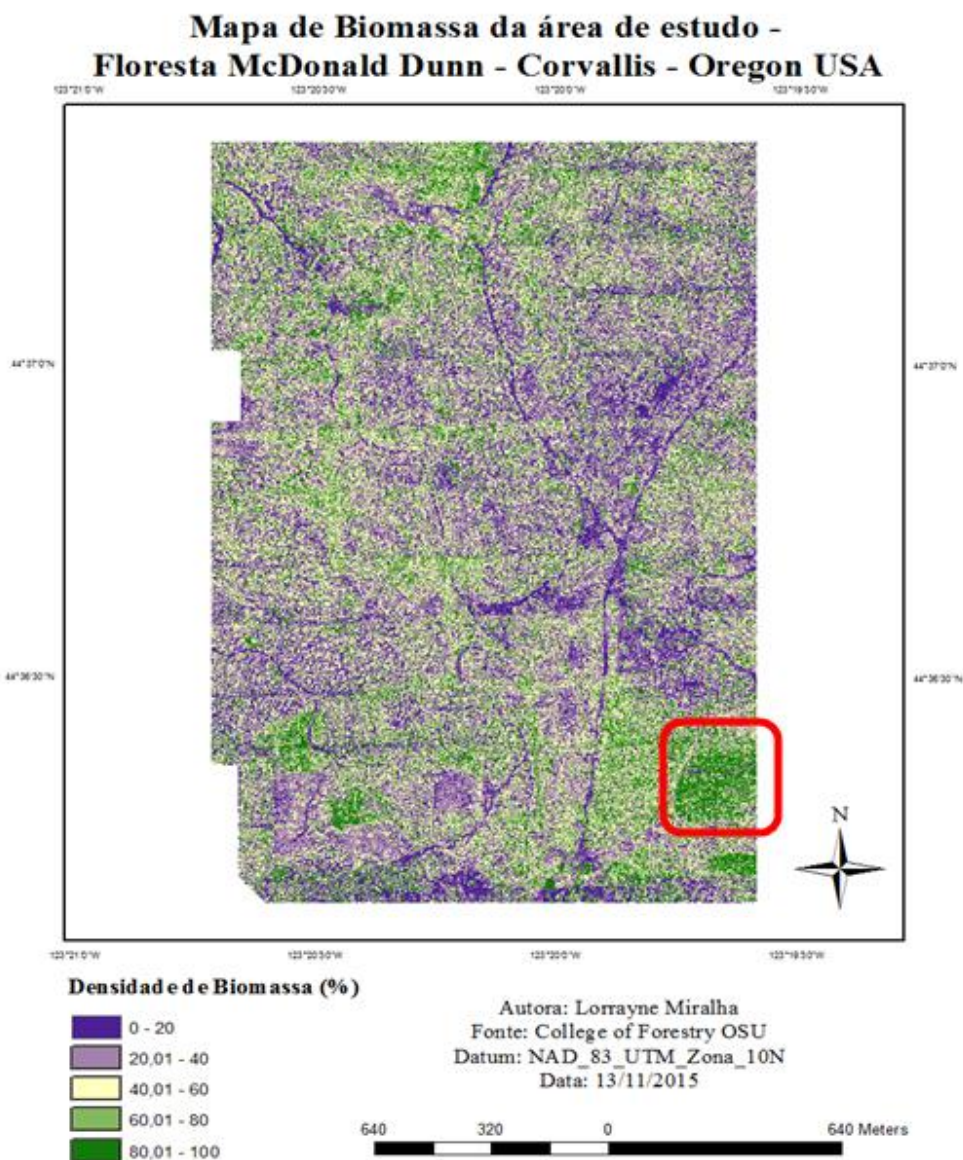


Figura 17 – Raster de Densidade de Biomassa

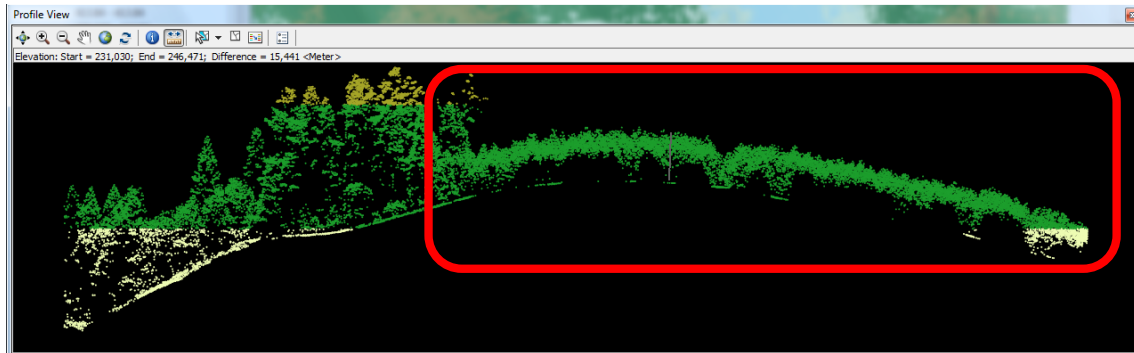


Figura 18 - Corte mostrando os pontos da área identificada no mapa de biomassa como de alto vigor, porém com o corte observou-se baixo porte de vegetação, área considerada então em regeneração.

Como os Modelos Digitais de Terreno mostraram maior resolução, os mesmos foram usados para ilustrar a variabilidade em elevação no terreno (Figura 19). Para o MDS a variação foi de 135 à 418 metros, enquanto para o MDT foi de 135 à 382 metros. Esta diferença na variação se deve a altura das árvores levadas em consideração no MDS.

Modelo Digital de Terreno e Superfície - Terrain

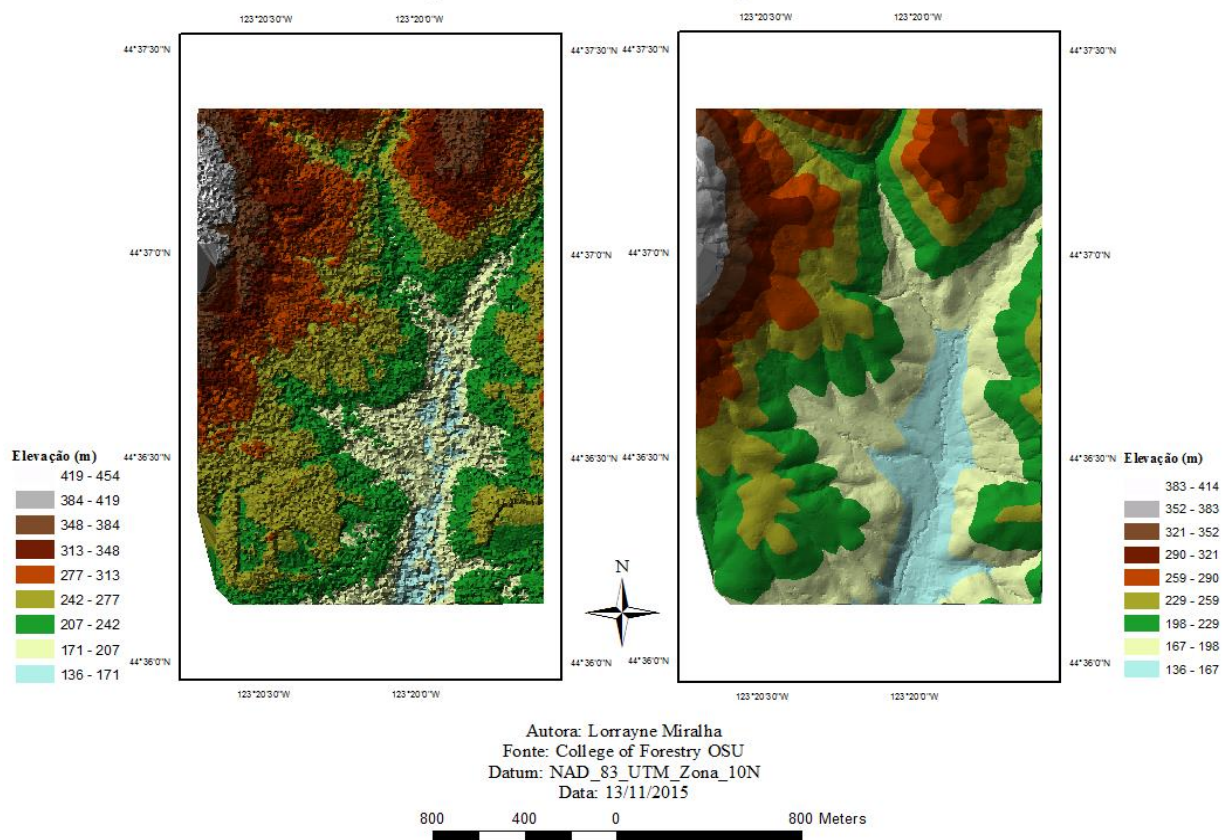


Figura 19 - A Esquerda o MDS variando de 136 à 454 metros em elevação. A direita o MDT, variando de 136 à 414 metros de em elevação

A avaliação das condições de terreno significa um passo essencial para que os requerimentos das agências ambientais sejam atendidos, sendo assim o MDE gerado foi usado para gerar o mapa de sombreamento (Figura 21) e, análises de declividade (Figura 22). O mapa de Hillshade foi gerado tanto pela opção Terrain, quanto pelo pelo Raster Calculator, pode-se

observar que em uma escala de 1:1250 o hillshade gerado pela opção terreno teve uma maior resolução (Figura 20), sendo este utilizado para a tomada de decisão. Quanto ao mapa de declividade, é importante salientar que o mesmo foi expresso em percentual, onde com a relação grau/percentual encontrado no manual ArcGIS Desktop 10.1, os valores ultrapassam 100 % de declividade, que no caso equivalem à 45° graus. Conforme os valores vão se aproximando de 90° graus, o percentual cresce a valores infinitos.

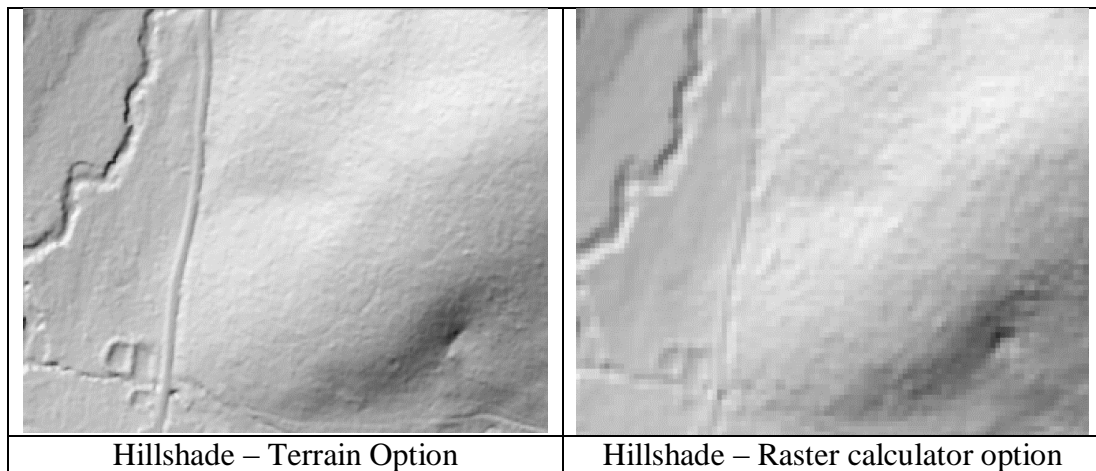


Figura 21 - Diferença em resolução entre o modelo de sombreamento gerado pelo Raster da ferramenta Point to Raster e o Raster da opção Terrain – Escala 1: 1.250.

Hillshade - Raster versus Terrain

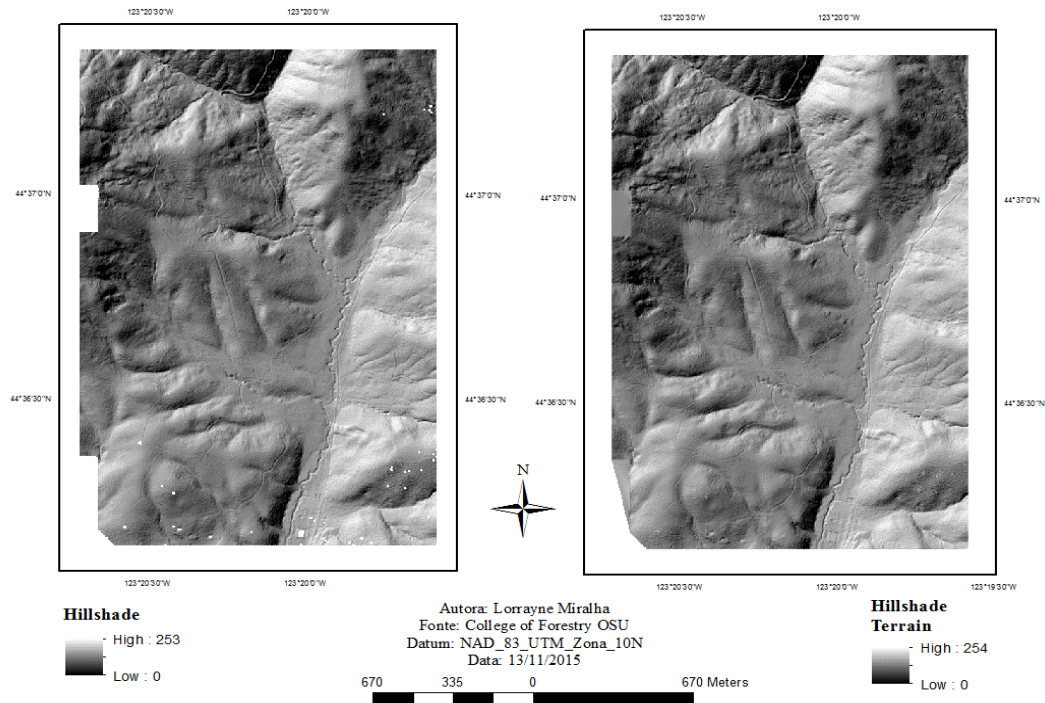


Figura 20 - Mapa de Sombreamento - À Esquerda, opção Point to Raster. À direita, opção Terrain.

Mapa de declividade da área de estudo - Floresta McDonald Dunn - Corvallis - Oregon USA

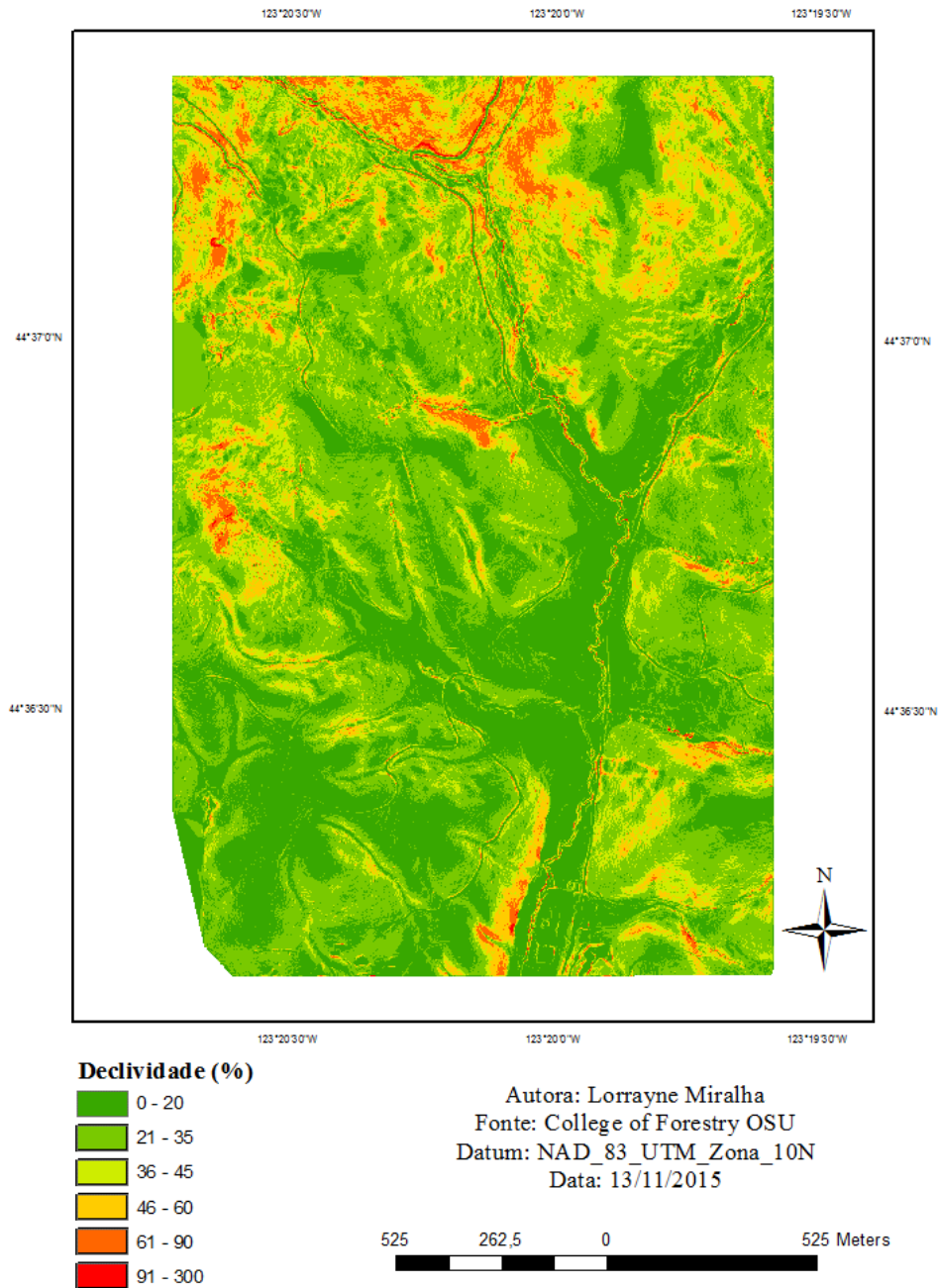


Figura 22 - Mapa de Declividade

As leis escolhidas para resposta com as análises feitas estão relacionadas com o método de exploração; solos instáveis, úmidos e facilmente compactados; identificação de potenciais áreas para trilhas de arraste, que devem ser distribuídas em pequenas quantidades pelo terreno e deverão ser localizadas em locais com baixa probabilidade de sofrer erosão; também, quanto a proteção dos recursos hídricos em campo aplicando, de acordo com o Livro de Práticas Florestais de Oregon, a zona de amortecimento correta para cada tipo de rio (Figura 23).

Zonas de amortecimento de acordo com o Livro de Práticas Florestais de Oregon -Floresta de Pesquisa McDonald Dunn - Corvallis - Oregon

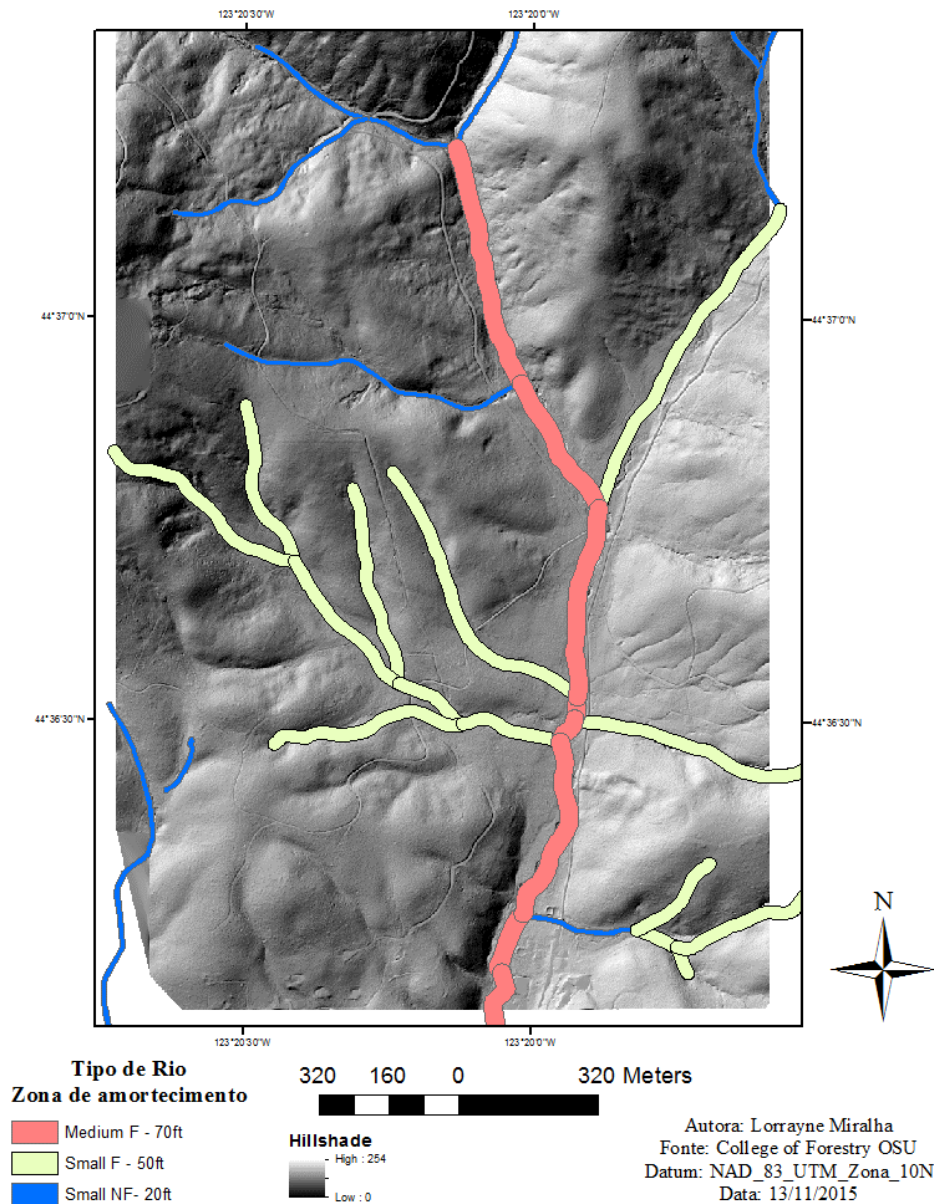


Figura 23 - Zonas de amortecimento por tipo de rio

A identificação do potencial de áreas para exploração com todos os resultados gerados neste trabalho constitui em uma etapa essencial para a seleção correta de um sítio de exploração. Como na figura 24, duas áreas foram indicadas para que a declividade do terreno e o potencial madeireiro fosse confirmado na área. A primeira área selecionada é apontada como sendo uma área em potencial para um sítio de instalação de um Sistema de Cabo aéreo, devido a declividade acentuada e a forma côncavo do terreno. Um dos requisitos para a instalação de um Sistema de cabo aéreo é um terreno em que o ângulo de deflexão é suficiente para a mínima tensão nos cabos, e a forma côncavo do terreno ajuda a aumentar este ângulo, diminuindo esta tensão, sendo então essencial. Além disso, sendo esta área íngreme, isto indica que a instalação de um Sistema, na qual a força motriz circula pelo terreno (*ground-based system*), deve ser evitado para minimizar compactação do solo. No segundo cenário, através do mapa de declividade (Figura 22), percebe-se que o terreno é basicamente plano em grande

parte, esta declividade pode ser comprovada pela tabela 4, portanto com os perfis adquiridos, nota-se que em grande parte do terreno um sistema de arraste baseado no tráfego pelo terreno pode ser facilmente instalado. Esse sistema requer um terreno com declividade menos que 35%, e os skidders se responsáveis pelo arraste devem arrastar morro a baixo, que seria o caso do cenário 2. Portanto, assumindo todas as variáveis e equipamentos, um sistema de força motriz circulando pelo terreno pode ser uma boa escolha. O cenário 3 indica o corte horizontal da área de estudo para que a variação em elevação fosse mostrada, e a partir desta variação se foi possível mostrar o correto cálculo de declividade já q os corte 1 e 2, mostram mais o porte arboreo da área.

Tabela 3 - Cenários ilustrado na Figura 24, e o sistemas de colheita escolhidos de acordo com as limitações e vantagens do terreno e do porte arbóreo.

Cenários	1	2
Sistema de Colheita	Cabo aéreo	Tráfego pelo Terreno
Elevação	200 metros	100 metros
Distância Horizontal	200 metros	300 metros
Declividade (%)	100	33

Todas as análises geradas ajudaram na conclusão de que a tecnologia LiDAR é uma ferramenta muito útil para checar o potencial de uma determinada área em ser um sítio para implementação de um sistema de colheita florestal. O processo de seleção de áreas de colheita envolve muitos passos e leis ambientais, que deve ser seguidos para que o sucesso seja alcançado.

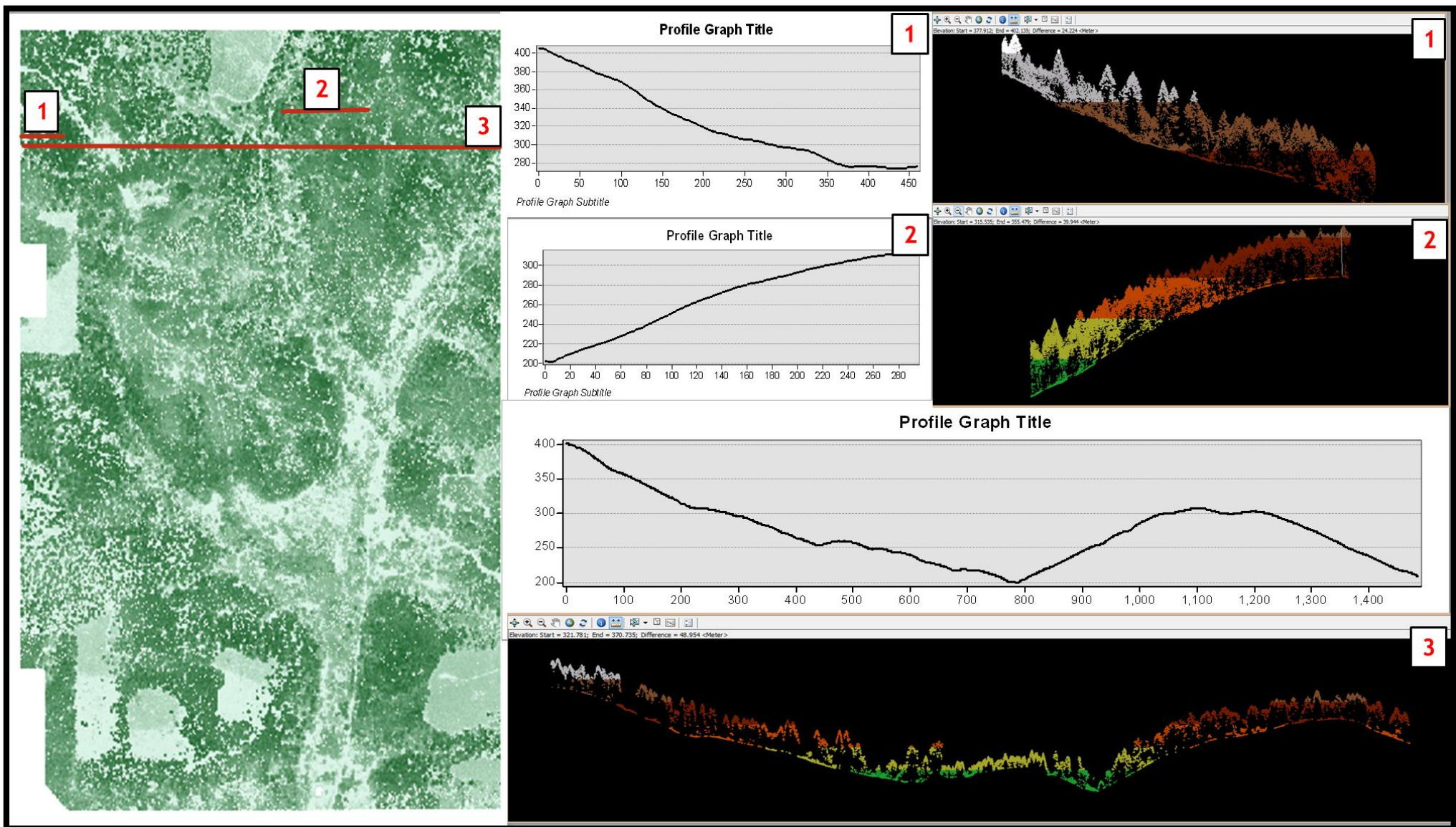


Figura 24- Cenários para possíveis aplicações dos Sistemas de Colheita Florestal

6. CONCLUSÃO

LiDAR tem provado ser de grande utilidade na identificação de estruturas florestais como altura das árvores, e densidade de biomassa, assim como falhas no terreno. Estas informações podem ser úteis para indústrias florestais, principalmente porque podem acelerar o processo de avaliação de possíveis áreas com potencial para exploração, e conseqüentemente diminuirá os custos relacionados ao trabalho em campo. A importância do trabalho de campo não pode ser negada, pois só haverá a certeza de que suas análises são satisfatórias através da confirmação em campo. Entretanto, LiDAR tem mostrado suas habilidades em apontar áreas com potencial para determinados objetivos, tornando os passos de coleta de dados mais simples e rápidos, além de tornar o processo de checagem da área em planos de exploração mais claros. Outra hipótese que pode ser levantada esta relacionada com as áreas de difícil acesso que podem começar a serem analisadas pela aquisição de dados LiDAR, embora a vegetação densa ainda tenha sido considerada uma limitação.

Os resultados mostram um alto valor madeireiro principalmente em áreas de alta elevação através do Modelo de Altura de Dossel (CHM), com uma amplitude de -1 à 74 m aproximadamente, não se deve esquecer que estes valores devem ser verificados em campo, pois sabe-se das bias existentes em métodos de coleta de dados e ainda da manipulação destes em sistemas computacionais. Também, se pode verificar facilmente as diferenças de elevação do terreno. Com o mapa de densidade de biomassa pode-se verificar áreas de regeneração e que para um modelo com maior acurácia os pontos de superfície devem ser corretamente classificados. As ferramentas *3D analyst* e *LAS Dataset* mostraram ser eficientes na visualização de características verticais, que são essenciais para que as áreas em potencial para exploração sejam apontadas. Como no cenário 1, o sistema de cabo aéreo foi o mais recomendado devido a declividade, elevação do terreno e porte arbóreo, quanto o cenário 2 o sistema mais indicado foi o de força motriz circulado pelo terreno, pois apresenta características mais plana, no qual tratores florestais acessariam com maior facilidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, P.W.; STORM, R. **Oregon's Forest Protection Laws**. Oregon Forest Resources Institute 2nd Edition. Portland, OR:. 2002
- DRAKE, J. B. et al. "Estimation of tropical forest structural characteristics using large-footprint LiDAR." **Remote Sensing of Environment** 305– 319. 2002.
- ENGLISH HERITAGE. **3D Laser Scanning for Heritage**. English Heritage. 2007
- ESRI. "**LiDAR Analysis in ArcGIS® 10 for Forestry Applications**." January, 2011.
- GIONGO, M. et al. **LiDAR: princípios e aplicações florestais**. *Pesq. Flor. Bras.*,[s.l.], v. 30, n. 63, p.231-244. Embrapa Florestas. DOI: 10.4336/2010.pfb.30.63.231. , 28 out. 2010.
- HEILIGMANN, R. B.; NORLAND, E. R.; HIX, D. M. "Harvesting and Reproduction Methods for Ohio Forests." **The Ohio State University**. April, 2001
- KIM, S.; HINCKLEY, T.; BRIGGS, D. **Classifying tree species using structure and spectral data from LiDAR**. In: ASPRS/MAPPS 2009 Specialty Conference. 2009.
- LERMA, J. L. et al. Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpallo´ as a case study. **Journal Of Archaeological Science**. Valencia - Spain, p. 499-507. 12 out. 2009.
- MACDONALD, A. J. **Harvesting systems and equipment in British Columbia**. British Columbia, Ministry of Forests. Forest Practices Branch, 1999.
- MACEDO,R.C. **Estimativa volumétrica de povoamento clonal de Eucalyptus sp. Através de laserscanner aerotransportado**. 2009. 143 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009
- MALINOVSKI, J. R. et al. Sistemas. In: MACHADO, C.C. Colheita Florestal. Viçosa: UFV, 2008. cap. 6, p. 161-184. MALINOVSKI, J. R.; Colheita de madeira, transporte florestal e integração com a cadeia produtiva. **Revista Opiniões 2008**. Set-Nov. 2008.
- MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A. **Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na Região Sul do Brasil**. Curitiba, FUPEF, 1998. 138 p.
- MEANS, JOSEPH E. et al. "**Predicting Forest Stand Characteristics with Airborne Scanning Lidar**." American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING) Vol. 66, No. 11, pp. 1367-1371. November, 2000.
- NOAA. "**Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications**." Revisado. Charleston, SC: NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration Coastal Services Center. 2012. Disponível em: https://coast.noaa.gov/digitalcoast/_pdf/lidar101.pdf
- PFEIFER, N.; BRIESE, C. Geometrical aspects of airborne laser scanning and terrestrial laser scanning. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 36, n. 3/W52, p. 311-319, 2007.

SEIXAS, F. **Extração**. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. Viçosa: UFV, 2008. cap. 4, p. 97-145.

SOUZA, M.; PIRES, C. B.; SILVEIRA, F. C.. Colheita Florestal: Mensuração E Análise Dos Efeitos Das Variáveis Controláveis E Não Controláveis No Custo Das Atividades De Corte E Descasque Mecanizado. Rco – **Revista de Contabilidade e Organizações**, [s.i], v. 3, n. 2, p.73-99, set. 2008.

VALVERDE, S. R. et al. **Coleção De Estudos Sobre Diretrizes Para Uma Economia Verde No Brasil**. 2011.

WATERSHED SCIENCES. **LiDAR Remote Sensing Data Collection: McDonald-Dunn Research Forest**. Watershed Sciences Inc. Corvallis, Oregon. 2008

WEHR, A. e LOHR, U. Airborne laser scanning – an introduction and overview. **Isprs Journal of Photogrammetric and Remote Sensing** v. 54, op 68-82, 1999.

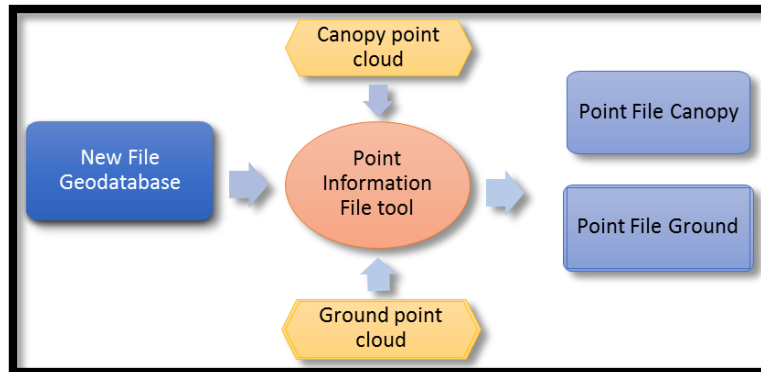
WULDER, M. A., et al. "The role of LiDAR in sustainable forest management." **The Forestry Chronicle**, vol. 84, NO. 6. 2008

WULDER, M. A. et al. The role of LiDAR in sustainable forest management. **The Forestry Chronicle**, [s.l.], v. 84, n. 6, p.393-394, 19 jan. 2012.

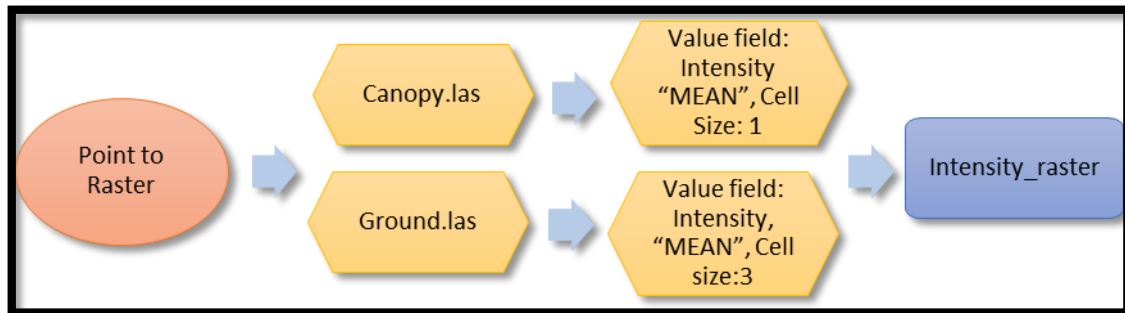
ZANDONA, D. F.; LINGNAU, Christel; NAKAJIMA, Nelson Y. "Varredura a Laser aerotransportado para estimativa de variáveis dendrométricas." **Scientia Forestalis**, p. 295-306. Dez. 2008.

APÊNDICE FLUXOGRAMAS

A) Arquivo com a informação dos pontos

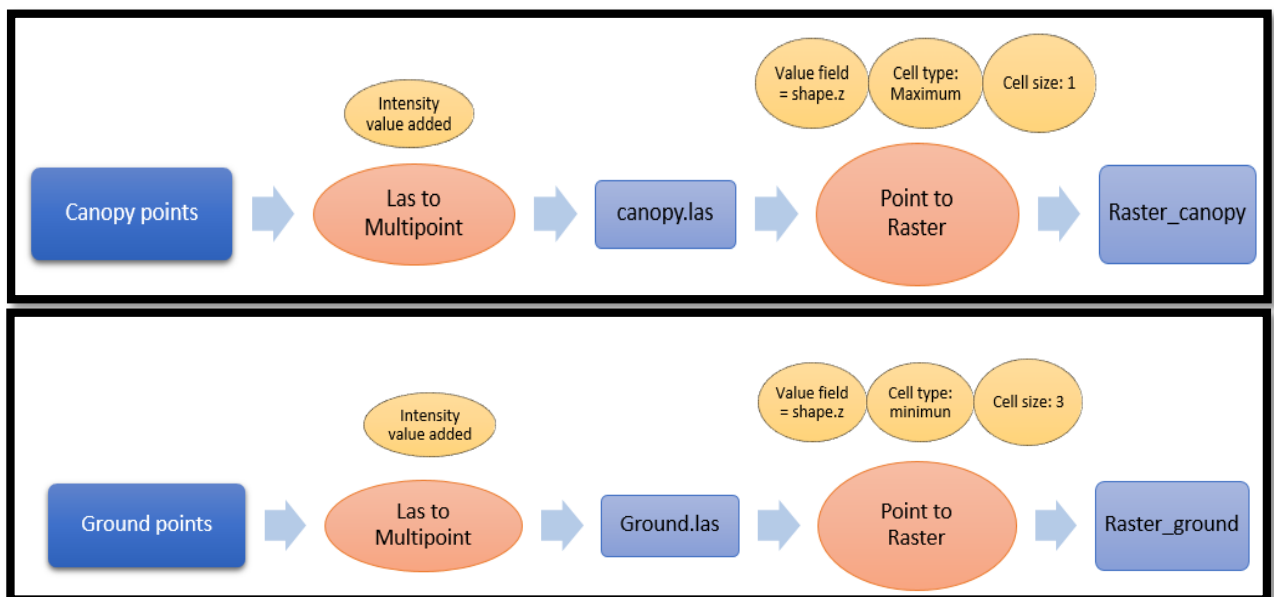


B) Raster de Intensidade dos Pontos

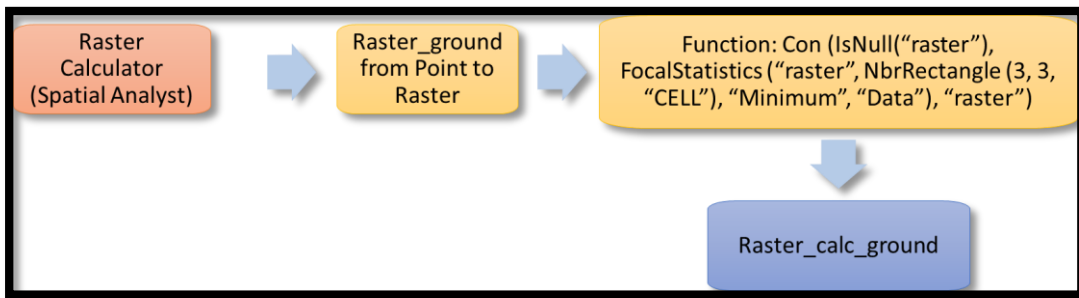


C) Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital de Superfície (MDS)

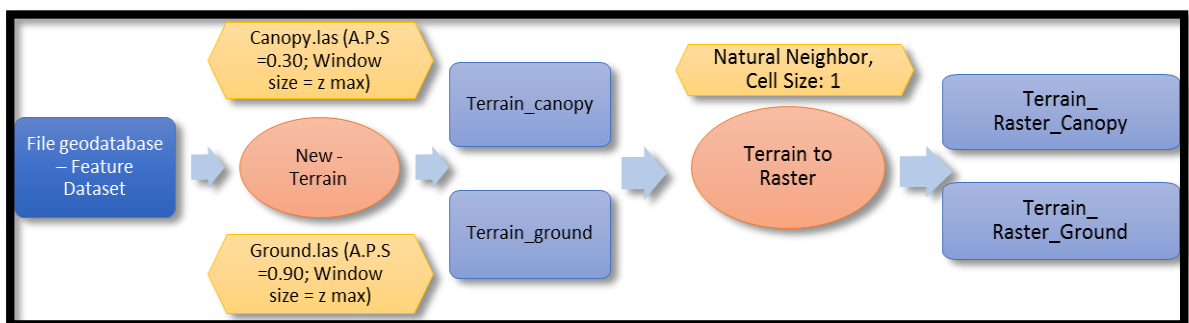
Point to Raster



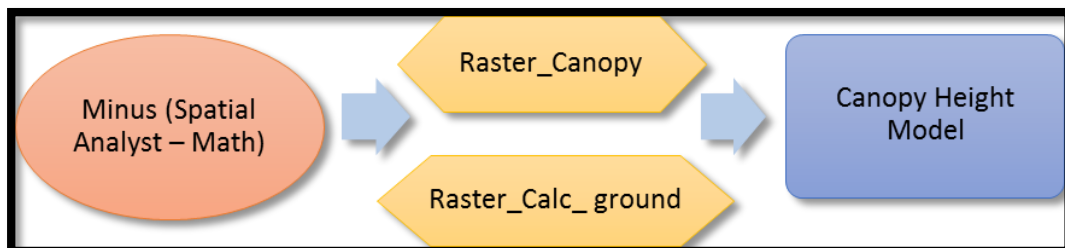
D) Raster Calculator para otimização do Raster de terre



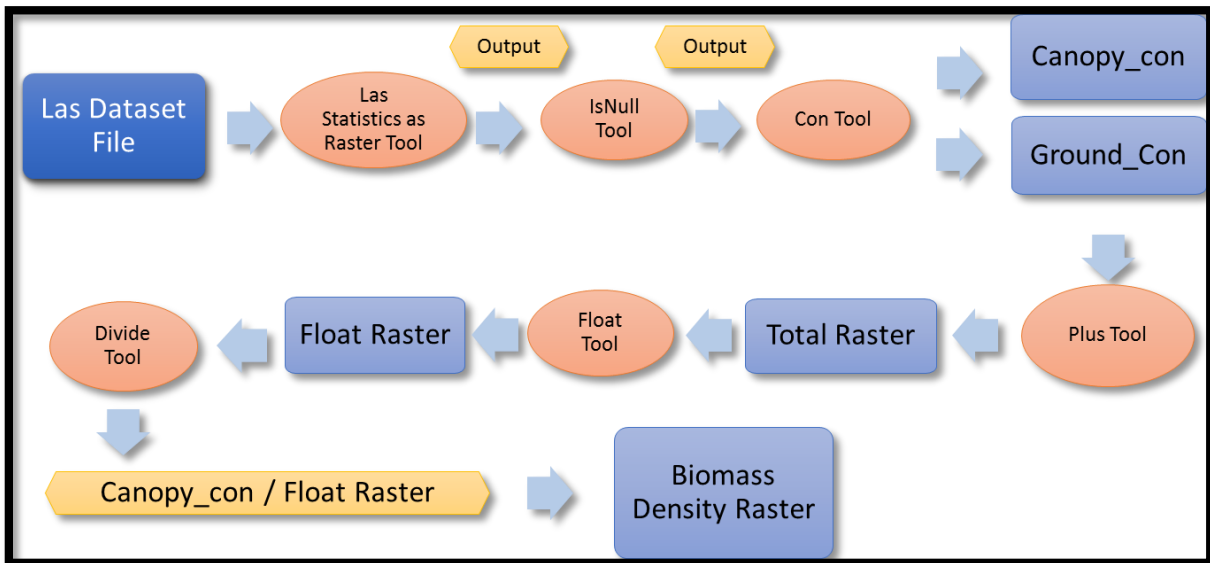
E) MDE e MDS – Terrain Dataset



F) Canopy Height Model (MDE - MDS) – Modelo de Altura de Dossel



G) Densidade de Biomassa



H) Modelo de Sombreamento



I) Modelo de Declividade

