

Proposta metodológica para Obtenção da Densidade de Dosséis florestais a partir de Dados LIDAR

Rosane Maciel de Araújo Vargas

rosvargas@ufrj.br

Resumo: O artigo apresenta um procedimento metodológico de avaliação e seleção aplicado aos primeiros e últimos retornos de pulsos *laser* resultantes de um sistema LIDAR (*Light Detection And Ranging*) com o objetivo de obter a densidade de dosséis florestais. A metodologia foi aplicada a dados obtidos de uma varredura a laser com o sensor ALTM 2025 relativos a uma área coberta por floresta alterada da Amazônia brasileira, no Município de Iranduba (AM). As classes de vegetação identificadas foram capoeira e floresta bosqueada em diferentes estágios sucessionais de regeneração. A filtragem dos pontos foi automatizada através de um algoritmo desenvolvido em linguagem Java que deu origem a um programa denominado *LaserAnalyzer*. Os resultados permitiram separar as densidades dos dosséis em diferentes classes que foram avaliadas segundo o tipo de vegetação e por meio de identificação em campo.

Palavras chave : dados LIDAR, seleção de pontos, densidade de vegetação, dossel florestal.

Abstract: The article presents an applied procedure to evaluate and select the pulses laser considering the first and last returns of these pulses obtained by LIDAR (*Light Detection And Ranging*) system in order to obtain the density of forest canopies. The methodology was applied to data LIDAR of the modified forest of the District of Iranduba (AM) obtained by sensor *laser* ALTM 2025. The area presents different types of vegetation where were selected training areas with Capoeira and Floresta Bosqueada vegetation in different successional stages of regeneration. The methodology proposed in the research was automated using an algorithm developed in Java language that originated the *LaserAnalyzer* program. The results allowed the separation of canopy densities in different classes that were evaluated according to vegetation type and using the field information.

Keywords : LIDAR data, selection of points, vegetation density, canopy.

1 INTRODUÇÃO

O LIDAR (*Light Detection And Ranging*) é uma técnica emergente de sensoriamento remoto ativo utilizado para uma variedade de aplicações nas ciências da Terra. Seu funcionamento está baseado na integração de um *laser scanner*, um GPS diferencial (DGPS) e um sistema inercial (IMU), que juntos permitem obter as coordenadas tridimensionais de pontos amostrados sobre uma superfície. O Sistema funciona a partir da emissão e recepção de feixes de *laser*. Durante a propagação do *laser* no espaço ocorre uma divergência do feixe que resulta no diâmetro do ponto projetado na superfície (*footprint*). Desta forma, cada raio do feixe pode encontrar mais de um objeto antes de atingir o solo, resultando em duas ou mais reflexões, ou pulsos de retorno. A maioria dos Sistemas LIDAR é capaz de registrar todos os pulsos *laser* que retornam ao sistema, ou pelo menos o primeiro e o último pulso.

Devido à capacidade do *laser* passar por entre vazios da vegetação, é possível imagear pontos situados abaixo da vegetação. Quando estes pontos correspondem à superfície do terreno, é possível, então, utilizar as coordenadas destes pontos para gerar modelos de terreno. Além do terreno, outras superfícies podem ser modeladas com os dados LIDAR, por exemplo, o dossel florestal. Essa superfície é obtida quando são utilizadas as coordenadas de pontos situados nos alvos mais elevados da vegetação que, em geral, correspondem às informações contidas nos arquivos dos primeiros retornos dos pulsos *laser*. No entanto, quando o feixe *laser* não consegue penetrar no dossel, então os últimos retornos, assim como os primeiros, registrarão as informações dos alvos mais elevados da vegetação.

Considerando que um dos principais motivos da falta de penetração do *laser* no dossel deve-se a elevada densidade da sua vegetação, neste trabalho é apresentada uma metodologia para selecionar pontos capazes de identificar os locais onde houve dificuldade do *laser* penetrar no dossel. E, a partir dos resultados dessa seleção, propor um Indicador de Densidade da Vegetação (IDV) para o dossel florestal. A metodologia proposta é aplicada aos dados LIDAR de uma área coberta por floresta ombrófila alterada da Amazônia que tem dosséis com diferentes densidades. É importante citar que IDV não corresponde a parâmetros florestais que expressam unidades da biomassa, como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Diferente deste, o indicador aqui proposto tem por objetivo expressar locais do dossel com maior ou menor densidade em termos de dificuldade da luz solar em penetrar por entre as copas das árvores.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Sistema LIDAR

É um sistema de sensoriamento remoto ativo que integra uma série de sensores que, juntos, permitem determinar as coordenadas tridimensionais de pontos amostrados sobre uma superfície. O sistema utiliza uma técnica de varredura ótico-mecânica que emite e recebe pulsos *laser*. A distância entre o sensor e o objeto iluminado é determinada mediante a medição do intervalo de tempo entre a emissão e recepção dos pulsos *laser*. WEHR & LOHR (1999) citam a existência de diferentes termos para este sistema, como “*laser altimétrico*”, ALS (“*Airborne laser Scanner*”), LADAR (“*Laser Detection and Ranging*”) e LIDAR (“*Light Detection and Ranging*”).

Embora o comprimento de onda do *laser* garanta uma pequena divergência do feixe à medida que se propaga no espaço (WEHR & LOHR, 1999), a projeção do pulso no alvo iluminado será sempre uma área e não um ponto. Assim, o pulso de retorno do sinal captado pelo sensor poderá provir de diferentes pontos dentro desta área. Desta forma, a parte do pulso que atinge e é refletida por um objeto mais próximo ao sensor recebe o nome de primeiro retorno (ou pulso), enquanto que a porção correspondente ao objeto mais distante do sensor é denominada de último retorno (ou pulso).

As informações registradas pelo primeiro e pelo último retorno dos pulsos assumem grande importância quando se consideram objetos poucos densos, como por exemplo, a copa das árvores (MIQUELES & CENTENO, 2003). Quando essa copa não é densa, uma porção do pulso passa por ela e é refletida no sub-bosque ou até no solo (último retorno). As informações do último retorno permitem, portanto, detectar objetos mais baixos ou obstruídos por outros.

2.2 Filtragem e classificação de dados LIDAR

Conhecida a posição tridimensional dos pontos amostrados pelo sistema LIDAR é necessário separá-los de forma a obter a equivalência entre cada ponto e a feição a ele correspondente. A separação de pontos recebe o nome de filtragem quando corresponde a separação de pontos que pertencem à superfície do terreno (*ground points*) daqueles localizados fora dessa superfície (*non-ground point*). Esta é a definição citada por AXELSSON (1999) e WEHR & LOHR (1999) para filtragem de dados LIDAR. Após a filtragem, os pontos são classificados como sendo pertencentes ao terreno ou fora dele.

A filtragem é, portanto, uma seleção de pontos onde somente são consideradas duas categorias: *ground point* e *non-ground point*. Seguindo esta definição, neste trabalho será usado o termo seleção de pontos para separar pontos de acordo com a metodologia proposta.

Independente dos pontos que estão sendo separados, os princípios utilizados para filtrar ou separar pontos podem ser os mesmos. Assim, alguns conceitos de filtros foram avaliados para embasar a proposta

apresentada neste trabalho, sendo a diferença de altura entre pontos a principal variável considerada para a sua seleção e separação.

Considerando as áreas cobertas por vegetação e em terrenos inclinados, VOSELMAN & SITHOLE (2003) utilizaram diferentes tipos de filtros e observaram que eles foram pouco eficientes devido à confusão causada pelas elevações dos objetos e elevações dos pontos do terreno, o que se agravou com a diminuição da altura da vegetação e com o aumento da inclinação do terreno. Os pesquisadores recomendam a realização de estudos direcionados à classificação heurística da nuvem de pontos (baseada em dados externos) o que contribuirá para aumentar a eficiência das estratégias dos filtros.

3 PROPOSTA PARA A SELEÇÃO DE PONTOS

Três situações distintas de incidência dos feixes *laser* são ilustradas na figura 1. Em (a) não há penetração na vegetação, ocorrendo o registro de iguais valores de coordenadas para o primeiro e último retorno do pulso. Quanto menor a densidade do dossel e sub-bosques (caso b) mais pulsos penetram na vegetação, podendo ser registrados tanto primeiro quanto último retornos em sub-bosques ou no terreno. Em locais sem vegetação (caso c), similarmente ao descrito em (a), são registradas iguais coordenadas tanto para o primeiro quanto para o último retorno de um dado pulso.

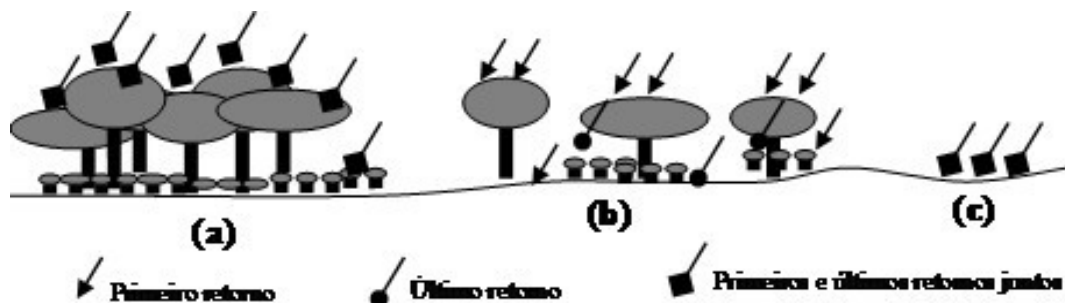


FIGURA 1: Representação da incidência de feixes *laser* em diferentes situações de cobertura do solo: vegetação mais densa (a), menos densa (b) e sem vegetação (c).

3.1 Criação de uma grade regular ao longo da área

A discretização dos pontos deverá ser realizada através de uma grade regular sobrepostas a eles. A idéia é que o tamanho da quadrícula da grade corresponda aproximadamente ao espaçamento dos pulsos no terreno. Desta forma, cada quadrícula (ou célula) individualizará uma posição X, Y dos pontos, porém com diferentes valores de elevação (Figura 2). Assim, no interior de uma célula poderão existir pontos correspondentes ao alvo com a maior altura, alvos com alturas intermediárias e aquele com menor altura entre os pontos da célula em análise.

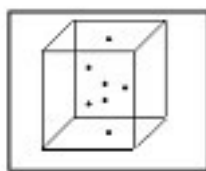


FIGURA 2: Perspectiva tridimensional da disposição de pontos com diferentes elevações em uma célula da grade.

A disposição da grade é feita coincidente com os eixos coordenados nas direções norte-sul e oeste-leste, eliminando a necessidade de rotações e translações entre coordenadas. Apesar das células terem a dimensão aproximada do espaçamento entre pulsos, cada uma delas poderá conter mais que dois pontos, isto porque existem diferentes retornos gravados para um mesmo feixe laser. Observa-se que quanto

maior o tamanho escolhido para a célula mais pontos do conjunto de dados iniciais serão descartados. Na figura 3 é ilustrada uma comparação entre dois tamanhos diferentes de célula para um mesmo conjunto de dados.

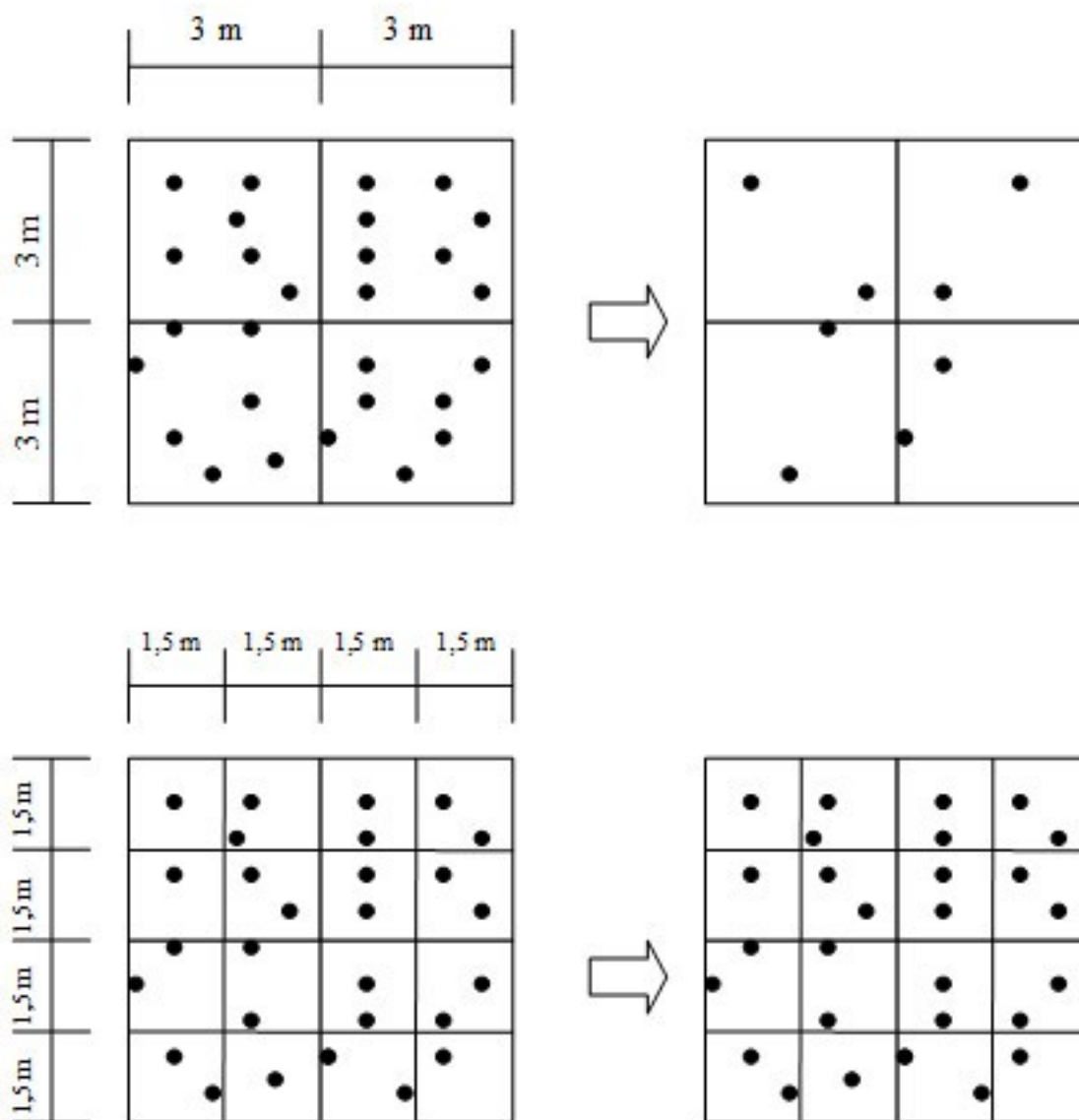


FIGURA 3: Ilustração do efeito do tamanho da célula da grade na quantidade de pontos de saída do processo de seleção.

3.2 Eliminação de pontos com dados repetidos

Quando em uma mesma célula existem pontos com iguais coordenadas, um deles será eliminado. Essa ocorrência de células pode indicar que nesses locais houve dificuldade do pulso *laser* penetrar por entre a vegetação, quando então o pulso será classificado em ponto mais elevado. No entanto, estas células também podem indicar que o pulso atingiu diretamente o sub-bosque denso ou a superfície do terreno, devendo então ser classificado como ponto mais baixo. Estas ocorrências são importantes para a obtenção do Indicador de Densidade de Vegetação (IDV) e serão consideradas para sua obtenção.

3.3 Seleção dos pontos mais elevados em cada célula da grade de acordo com o critério estabelecido

Os pontos projetados em cada célula da grade serão comparados entre eles e será selecionado o ponto mais elevado de acordo com o valor da sua coordenada Z. Observações iniciais mostraram que células com somente dois pontos e com coordenadas semelhantes prejudicavam a discriminação entre o ponto mais elevado e o mais baixo. Tomando como exemplo dois conjunto de dados (X,Y,Z) correspondem às reflexões no dossel da floresta, então o ponto com valor em Z ligeiramente inferior seria classificado como mais baixo e representaria o ponto que mais penetrou na vegetação. No entanto, possivelmente nenhuma penetração pode ter ocorrido uma vez que essa diferença no valor da coordenada pode corresponder à própria imprecisão do Sistema LIDAR.

Desta forma, será considerado que pontos de uma mesma célula da grade que apresentem diferenças nos valores de suas coordenadas dentro de determinados limites serão tratados como um único ponto. Assim, quando a diferença em Z for menor ou igual a 15 cm e as diferenças em E e também em N forem menor ou igual a 50 cm então esses pontos serão considerados iguais. Um dos pontos será descartado devendo permanecer aquele com menor valor em Z. Os valores estabelecidos como limites correspondem às precisões planimétricas e altimétricas dos dados *laser scanner* indicadas pelos fabricantes. Portanto, uma célula poderá conter um único ponto, dois ou mais pontos distintos ou não conter nenhum ponto. A seguir é detalhado cada um dos casos.

Célula com um único ponto: O ponto único da célula foi denominado de “*VFpulse*” ou “*VLpulse*” conforme sua classificação, respectivamente, no conjunto dos pontos mais elevados ou dos mais baixos. Sua classificação é baseada na análise da variância (Var) dos valores de Z de células vizinhas. Para esta classificação é necessário que seja escolhido um tamanho de janela para delimitar as células que serão analisadas. A ausência de pontos em células vizinhas pode tornar necessário o uso de uma janela com maior dimensão.

A classificação é feita comparando a variância dos Z dos primeiros retornos (Var_p) com a variância dos últimos retornos (Var_u). Quando Var_p for menor que Var_u , significa que o ponto analisado tem sua altura mais próxima da altura dos pontos vindos do arquivo dos primeiros retornos. Nestas condições, a classificação deste ponto é como o mais elevado da célula em análise. Caso contrário, o ponto é classificado como o mais baixo.

Célula com dois ou mais pontos distintos: O ponto com maior valor em Z corresponderá ao ponto mais elevado, denominado neste caso de “*fpulse*”, enquanto que o ponto com o menor valor em Z será classificado como o mais baixo (“*lpulse*”). Os demais pontos serão descartados.

Célula sem ponto: não haverá classificação. As células sem dados indicam ausência de registros dos retornos dos pulsos emitidos que pode ser causada pela reflexão difusa que ocorre na vegetação, falhas na varredura, entre outros fatores.

A interface do programa LaserAnalyzer apresenta a seguinte estrutura:

- ENTRADA DE DADOS**
 - Arquivos com dados:** Possui botões para selecionar arquivos de tipo Polygonal (polcapoeira_151.mz), Laser (polcapoeira_111test.mz) e MDI.
 - Parâmetros gerais:** Campo para "Resolução do grid (m)" com o valor 1.50.
- Eliminação de pontos próximos:** Campos para "Delta X" (0.5), "Delta Y" (0.5) e "Delta Z" (0.15).
- Classificação entre SP e IP por menor variância:** Campo para "Tamanho da janela" com o valor 3.
- PROCESSAMENTO:** Botões para "Processar" (Exportar: SP e IP => GRASS 5.4), "Visualizar" (Exportar: SP e IP => Terrafix) e "Gerar relatório".
- Status:** Área reservada para mensagens ou status do sistema.

FIGURA 4: Interface para entrada e gerenciamento de dados do Programa LaserAnalyzer.

4. O PROGRAMA LASERANALYZER

O processo de seleção dos pontos *laser* proposto neste trabalho foi automatizado através de um algoritmo implementado em linguagem Java, que deu origem ao programa denominado LaserAnalyzer. O programa foi desenvolvido pela primeira autora em parceria com o pesquisador da Universidade Federal de Santa Catarina, Alexandre Hering Coelho.

A entrada de dados no LaserAnalyzer é feita através da sua interface gráfica (figura 4), sendo necessário: 1) arquivo em formato ASCII contendo pontos que definem a poligonal de contorno da área; 2) arquivo em formato ASCII com pontos *laser* de primeiro e último retorno; 3) espaçamento da grade em metros; 4) tamanho da janela de varredura para análises de variância.

5 PROPOSTA PARA OBTENÇÃO DO INDICADOR DE DENSIDADE DE DOSSEIS FLORESTAIS (IDV)

O conceito de densidade de vegetação adotado neste trabalho refere-se à quantidade de área coberta por vegetação elevada (dossel) em relação ao tamanho total da área da amostra associada à maior ou menor dificuldade do feixe laser em penetrar na vegetação. Tendo como interesse a densidade do dossel florestal, o Indicador de Densidade de Vegetação aqui proposto foi obtido através da quantidade de reflexões dos pulsos incidentes nas camadas mais elevadas da vegetação. A figura 5 ilustra a proposta.

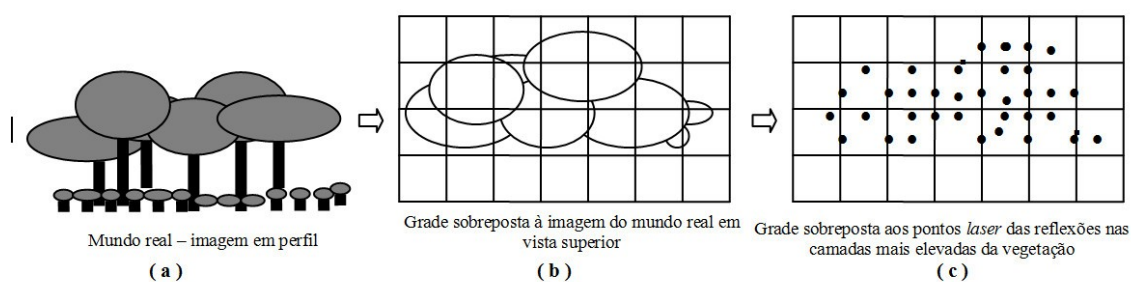


FIGURA 5: Representação esquemática de cenas do mundo real, vista em perfil (a) e vista superior (b), juntamente com seus correspondentes pontos *laser* projetados nas células usadas para selecionar pontos mais elevados (c).

Considerando que os quadriculados sem pontos representam locais onde o *laser* atingiu a superfície do terreno ou os sub-bosques da vegetação, o IDV pode ser expresso através da razão entre a quantidade de pontos representados na figura 5 (c) e a área definida pelas quadriculas. É possível perceber que o indicador de densidade, assim determinado, não é capaz de expressar o grau de dificuldade dos pulsos *laser* em penetrar na vegetação. Para tanto foram escolhidos os pontos classificados no conjunto dos mais elevados que vieram de células com um pulso, que são os *VFpulse*. Isto porque, quando o ponto é o único da célula e foi classificado como o mais elevado, significa que naquele local (célula) não existem outras reflexões abaixo dele. A figura 6 ilustra a representação do *VFpulse*.

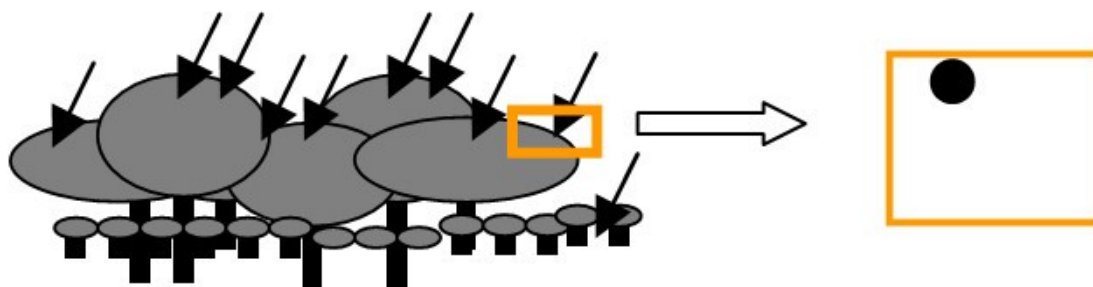


FIGURA 6: Representação de um *VFpulse* mostrando que abaixo dele, na posição da célula, não existem outros pontos.

Reforçando a idéia da proposta de trabalhar com os pontos *VFpulse* para obter um Indicador de Densidade de Vegetação (IDV), ressalta-se que o objetivo é conseguir expressar essa densidade não somente como uma relação entre áreas, mas também considerando a maior concentração de folhagens ou outros materiais que dificultaram a penetração dos pulsos.

A ausência de reflexões abaixo do *VFpulse* pode ocorrer por vários fatores, entre eles a reflexibilidade difusa causada pelas folhas e o aumento da densidade de vegetação. No entanto, de acordo com as limitações da pesquisa, foi considerado que a altura e a densidade da vegetação são os principais responsáveis pela redução da capacidade dos pulsos em penetrar no dossel da floresta. Dessa forma, os locais onde ocorreram pontos *VFpulse* foram associados como aqueles onde houve dificuldade do feixe laser em penetrar na vegetação. Então, quanto maior a ocorrência destes pontos maior será a densidade da vegetação.

Assim, o trabalho propõe um Indicador de Densidade de Vegetação (IDV) obtido através da quantidade de pontos *laser* oriundos de dois conjuntos: o primeiro é formado por pontos das células com dois ou mais pulsos classificados como os mais elevados. O segundo conjunto refere-se àqueles pontos das células com um pulso classificados em *VFpulse*. Dessa forma, verifica-se que o IDV está associado à densidade dos estratos arbóreos mais elevados, ou seja, a densidade do dossel.

Considerando que a quantidade de *VFpulse* é significativamente inferior a quantidade total de pontos da amostra, atribuiu-se para aquele conjunto de pontos um peso diferente de forma a conseguir expressar o aumento na densidade da vegetação. Foi proposto utilizar um fator 2 para essa parcela, conforme a seguinte equação:

$$\text{IDV (pontos/m}^2\text{)} = [T_{pe} + (T_{UF} * 2)] / A \quad (4.1)$$

Onde:

IDV = densidade de pontos elevados por m²;

T_{pe} = Total de pontos classificados como os mais elevados da amostra;

T_{UF} = Total de pontos classificados como *VFpulse*;

A = Área da amostra em m².

6. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta para a seleção de pontos foi aplicada para os dados LIDAR de áreas amostrais retiradas de uma faixa de área de 20m por 2.016,90 m do Município de Iranduba (AM). Estes dados, de propriedade da empresa Petróleo Brasileiro S.A e cedidos para esta pesquisa, foram obtidos por um sensor ALTM 2025 instalado em uma aeronave EMB – 820 Navajo PT Ray. O ângulo de varredura foi fixo e igual a ± 9° com a divergência do pulso de 0,2mrad. Na tabela 1 são apresentados os parâmetros obtidos com os dados do levantamento.

Largura da faixa (m)	Pontos por linha (N _p) (unidade)	Densidade de pontos (pontos/m ²)	Espaçamento longitudinal (m)	Espaçamento transversal (m)	Diâmetro do pulso <i>laser</i> (m)
380,1	675,7	0,80	1,105	1,125	0,24

TABELA 1 : Parâmetros obtidos para o levantamento com o LIDAR

A vegetação característica da área é de floresta ombrófila alterada com diferentes estágios de regeneração, onde foram identificadas as classes capoeira e floresta bosqueada. Foram selecionadas onze áreas amostrais, conforme apresentado na tabela 2 e ilustradas na figura 7.

Classe da vegetação	Quantidade de áreas amostrais	Extensão total (m)	Simbologia adotada
Capoeira	2	126,70	1CA, 2CA
Floresta Bosqueada 1	6	926,20	1BO1, 2BO1...6BO1
Floresta Bosqueada 2	3	964,00	1BO2, 2BO2, 3BO2

TABELA 2 : Características das áreas amostrais.

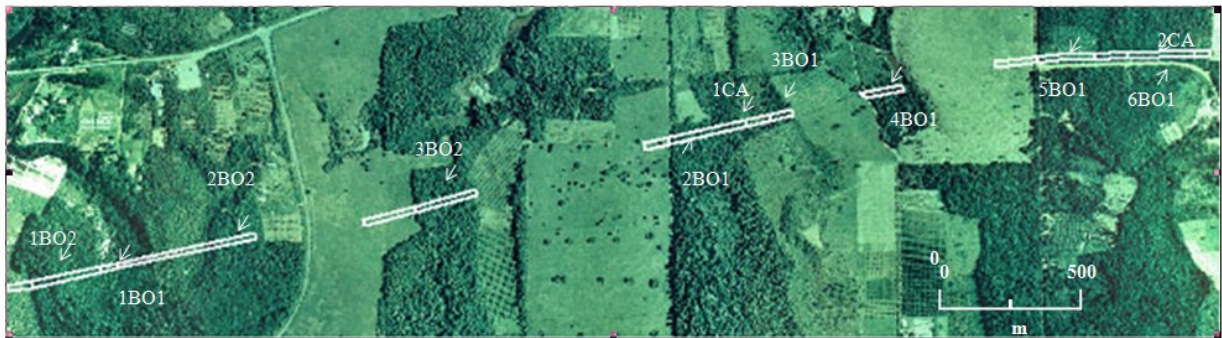


FIGURA 7: Área de estudo com identificação de áreas amostrais na faixa da varredura laser

6.1 Obtenção do Indicador de Densidade de Vegetação (IDV)

Na tabela 3 são apresentados os valores obtidos para o IDV conforme a metodologia apresentada.

Amostra vegetação	da	IDV (pontos/m ²)
1CA		0,46
2CA		0,44
1BO1		0,47
2BO1		0,56
3BO1		0,53
4BO1		0,52
5BO1		0,49
6BO1		0,46
1BO2		0,56
2BO2		0,50
3BO2		0,53

TABELA 3 : Valores obtidos para o Indicador de Densidade de Vegetação (IDV) das áreas amostrais.

6.2 O número e o intervalo das classes de densidade de vegetação das áreas amostrais

Com objetivo de classificar as densidades de vegetação a partir dos valores obtidos para o IDV das áreas amostrais foi utilizada a fórmula de Sturges (LOCH, 2006) para obtenção do número de classes:

$$N_c = 1 + (3.3 * \log n) \quad (4.2)$$

onde:

N_c = Número de classes;

n = número de amostras.

A inserção das amostras nas classes foi feita a partir do método gráfico da dispersão da frequência dos dados (LOCH, 2006), obtendo-se a dispersão apresentada no gráfico da figura 8. Na abscissa deste gráfico foram usados os valores de IDV (tabela 3) multiplicados por 100.

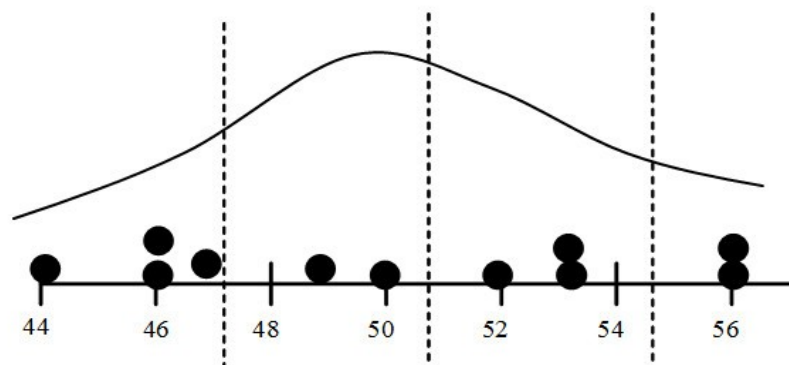


FIGURA 8: Gráfico da Dispersão da Frequência para os valores de IDV das áreas amostrais.

Considerando a dispersão das amostras, foram definidos quatro níveis de densidade de vegetação: Baixo (B), Médio Baixo (MB), Médio Alto (MA) e Alto (A), resultando na classificação apresentada na tabela 4.

Área amostral	Classe proposta para densidade de vegetação	IDV (p/m ²)
2CA	Baixa (B)	0,44
1CA	Baixa (B)	0,46
6BO1	Baixa (B)	0,46
1BO1	Baixa (B)	0,47
5BO1	Média Baixa (MB)	0,49
2BO2	Média Baixa (MB)	0,50
4BO1	Média Alta (MA)	0,52
3BO1	Média Alta (MA)	0,53
3BO2	Média Alta (MA)	0,53
2BO1	Alta (A)	0,56
1BO2	Alta (A)	0,56

TABELA 4 – Classificação proposta para a densidade de vegetação e valor do IDV das áreas amostrais.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os valores obtidos para o IDV das áreas amostrais e a classificação proposta para a densidade do dossel não foram comparados com valores obtidos por outras técnicas. No entanto, as áreas amostrais foram selecionadas em campo quando também foram feitas avaliações visuais da densidade dos dosséis baseado na quantidade de luz solar que penetrava por entre a copa das árvores. As áreas amostrais BO2 foram as que permitiram a menor entrada de luz, seguida das BO1, enquanto que as áreas amostrais da classe Capoeira tiveram a maior incidência de feixes de luz solar que passavam por seus dosséis.

Na tabela 4 verifica-se que a classe Capoeira foi separada convenientemente das demais classes, não havendo confusão entre esta classe as demais da Floresta Bosqueada. Observa-se também que os maiores valores do IDV correspondem às amostras da classe Floresta Bosqueada. Este fato já era esperado, uma vez a maioria das suas espécies é remanescente da floresta primária, com árvores elevadas e dossel menos aberto que aquele das espécies da classe Capoeira.

No entanto, entre as amostras da classe Floresta Bosqueada, era esperado que as BO2 fossem mais densas do que as BO1, o que não aconteceu para todas as amostras. A amostra 2BO2 apresentava trechos com declividade superior a 37%, o que pode ter influenciado na filtragem dos pontos contribuindo para uma confusão entre pontos elevados do dossel e pontos do próprio relevo do terreno. Entre as

amostras BO1, considera-se o resultado satisfatório, uma vez que a amostra 6BO1 classificada como baixa densidade de vegetação apresentava descontinuidades no dossel devido à derrubada de árvores e que foram observadas no local. A amostra BO1 apresentava dossel aberto e solo arenoso exposto.

8 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada uma proposta metodológica para selecionar pontos capazes de identificar os locais onde houve dificuldade do laser penetrar na vegetação e, a partir dos resultados dessa seleção, propor um Indicador de Densidade da Vegetação (IDV) para o dossel florestal. A metodologia foi aplicada aos dados LIDAR considerando áreas amostrais de uma faixa da varredura laser sobre a floresta alterada da Amazônia. A confrontação dos resultados obtidos para o IDV com as informações das características da vegetação coletadas em campo mostraram que os pontos selecionados segundo a metodologia proposta apresentam potencial para expressar a densidade da vegetação do dossel das áreas amostrais.

A pesquisa traz uma contribuição do uso de sensoriamento remoto através de dados LIDAR para obter uma indicação da densidade de dosséis florestais, o que poderá contribuir juntamente com o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) para o monitoramento ambiental de áreas cobertas por florestas. Recomenda-se que em trabalhos futuros sejam avaliados resultados obtidos por outros sensores do sistema LIDAR, com outros parâmetros e que sejam consideradas nas avaliações fatores como a intensidade do sinal e a forma da onda laser.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AXELSSON, P. Processing of laser scanner data: algorithms and applications. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Zürich, v. 54, n. 2-3, 15 Jul. 1999. p. 138- 47.

LOCH, R. E. N.; VARGAS, R. M. A.; SCHÄFER, A. G. Filtragem e classificação de pontos laser scanner utilizando o software Terrascan. In: Geodesia online. Florianópolis, 2004.

LOCH, R. E. N. Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis. Ed. UFSC, 2006. 313p.

MIQUELES M.A.; CENTENO, J. A. S. Deteção e caracterização de vegetação usando dados do laser scanner aerotransportado. In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Anais. Curitiba, Brasil, 2003.

VOSSELMAN, G.; SITHOLE, G. Comparison of filtering algorithms. In: Proceedings of the ISPRS Symposium, Germany. IAPRS, v. 34, 8-10 Oct. 2003.

WEHR, A.; LOHR, U. Airborne laser scanning: an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Zürich, v. 54, n. 2-3, p. 68-82, 15 Jul. 1999.