

## Estimativas de dados fitoestruturais de campinaranas florestadas a partir de dados LIDAR

Carlos Leandro de Oliveira Cordeiro<sup>1</sup>  
Dilce de Fátima Rossetti<sup>1</sup>  
Veronika Leitold<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{carloslo, rossetti, vleitold} @dsr.inpe.br

**Abstract:** Parameters of vegetation structure are useful in several ecological studies and frequently used data include: canopy height, diameter at breast height, density of individuals and biomass. Ground portable LiDAR (Light Detection and Ranging). This is a quick method for acquiring forest data that has been recently applied to tropical forests. The aim of this study was to evaluate the potential of ground LiDAR for estimating structural parameters of forested *campinaranas*, by comparing data obtained with this equipment and data derived from conventional methods. The work was performed at Viruá National Park, where nine points of forested *campinaranas* were inventoried based on plots of 50 x 20 m. For each plot, we measured the diameter at breast height (DBH) and the height of trees, and described the species of all woody plants with diameter at breast height (DBH)  $\geq 5$  cm. LiDAR data were acquired along 50-m transects and two metrics were calculated: the mean and the median of the maximum heights of the returning pulse. The results showed high correlation between forest structural parameters and data derived from LiDAR, and the best results correspond to the mean DBH and the dominant canopy height. The strongest relationships were found between the median of LiDAR data and the dominant canopy height ( $R^2 = 0.68$ ) and between the mean of LiDAR heights and mean DBH ( $R^2 = 0.65$ ). Based on the results, we can conclude that the ground portable LiDAR is an instrument with good potential for estimating structural parameters of forested *campinaranas*.

**Palavras-chave:** Campinaranas, *Ground based* LiDAR LiDAR portátil de chão, forest structure, fitoestrutura.

### 1. Introdução

Os parâmetros de estrutura da vegetação são utilizados como indicadores ecológicos e são importantes fatores em análises de estudos florestais. A altura do dossel, diâmetro à altura do peito (DAP), densidade de indivíduos e biomassa são alguns dos indicadores em estudos fitológicos (e.g. Guariguata e Ostertag, 2001; Breugel et al. 2006). Essas métricas da estrutura da vegetação permitem quantificar estruturalmente os compartimentos florestais, extrair informações sobre as condições de um determinado local e comparar diferentes ambientes. Por serem indicadores de nichos ecológicos, de heterogeneidade espacial e de dinâmica florestal, esses parâmetros são também utilizados em investigações faunísticas (MacArthur e MacArthur, 1961; DeWalt et. al., 2003).

Apesar de ser uma importante ferramenta de caracterização florestal, as métricas da estrutura da vegetação se constituem em dados secundários em alguns estudos onde não há necessidade de maiores detalhamentos fitológicos (e.g. Barlow et al. 2002). Já estudos que objetivam relacionar a distribuição de algumas espécies a um tipo florestal dispendem muito recursos na aquisição de dados fitoestruturais pela necessidade de medir individualmente grande quantidade de árvores. Dada sua grande extensão e dificuldade de acesso, a obtenção de dados fitoestruturais em áreas amazônicas requer particularmente grande aporte de recursos financeiros e humanos. Nesse contexto, métodos de sensoriamento remoto têm possibilitado extrair informações de áreas remotas de forma confiável (p.e., Nagendra, 2001; Tuomisto et al. 2003). Porém, alguns tipos florestais amazônicos são poucos conhecidos, sendo necessárias coletas em campo para validação de dados advindos remotamente.

A Campinarana caracteriza-se por dossel predominantemente aberto associado a solos arenosos e oligomórficos (Anderson, 1981). Apesar de sua grande extensão, o acesso a muitas

campinaranas amazônicas é difícil por elas ocorrerem comumente em meio a áreas de florestas. Assim, existe pouco registro ainda desse tipo vegetal (p.e., Vicentini, 2004).

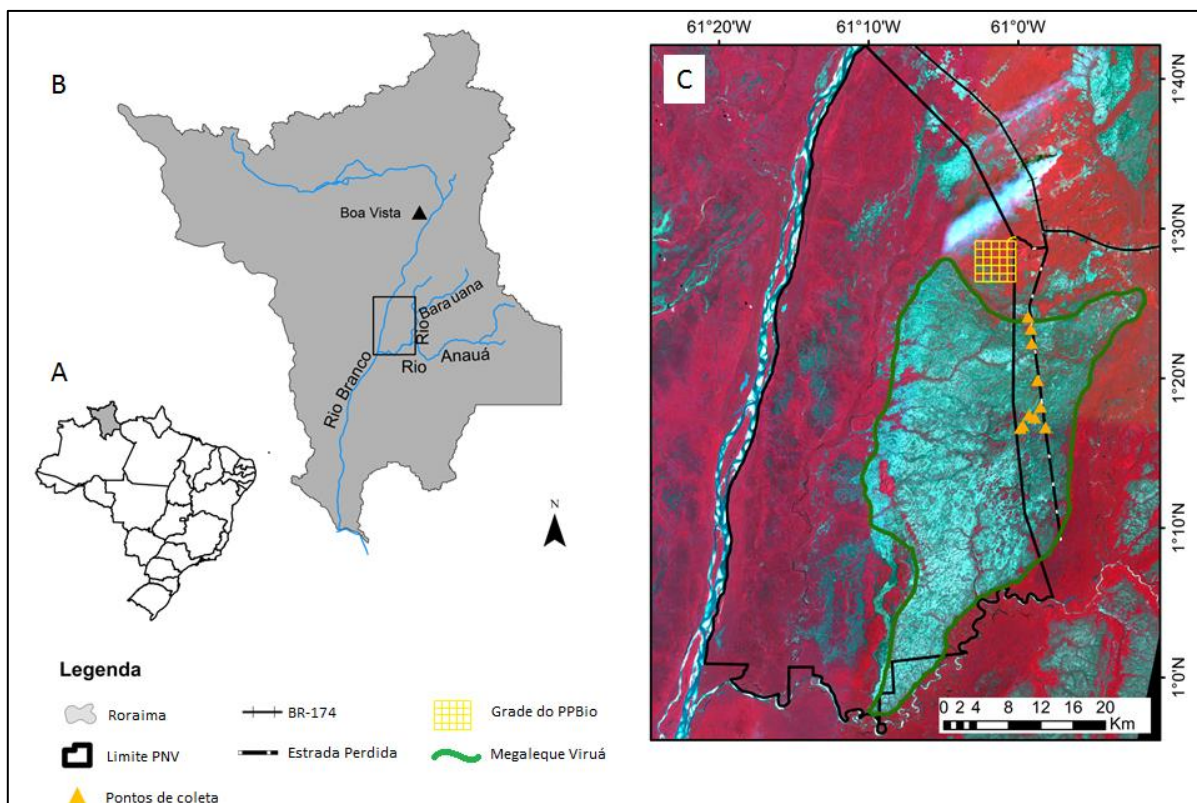
Estudos recentes indicam a importância de campinaranas na diversidade biológica local e regional, onde a associação de algumas espécies está relacionada ao seu padrão estrutural (Guilherme e Borges, 2011; ICMBio, 2014). Nos últimos anos houve um aumento de interesse sobre as associações de organismos com as campinaranas (ICMBio, 2014). Esse tipo de abordagem pode se beneficiar do emprego de métodos mais eficientes de coleta de dados fitoestruturais.

O LiDAR (*light detection and ranging*) é um método que vem sendo utilizado na obtenção de variáveis biofísicas de diferentes tipos florestais (Magnussen e Boudewyn, 1998; Hopkinson et al. 2004). Seu funcionamento é baseado em pulsos de *laser* que, ao interceptar um anteparo, é refletido. A frequência entre o pulso de transmissão e recepção é utilizada como métrica de estimativas fitoestruturais (Chasmer et al. 2004). Seu uso tem possibilitado a automatização de coletas fitoestruturais de forma não invasiva, rápida e confiável (Hopkinson et al. 2004). O uso do LiDAR de chão para estimativas florestais na Amazônia vem aumentando e tem se mostrado eficiente na coleta de dados em florestas ombrófilas (e.g. d'Oliveira et al. 2012; Stark et al. 2012). Porém, inexistem estudos visando a avaliação de seu potencial para coleta de dados em campinaranas. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar o potencial de dados de LiDAR portátil de chão em estimativas de parâmetros fitoestruturais de campinaranas florestadas.

## 2. Área de estudo

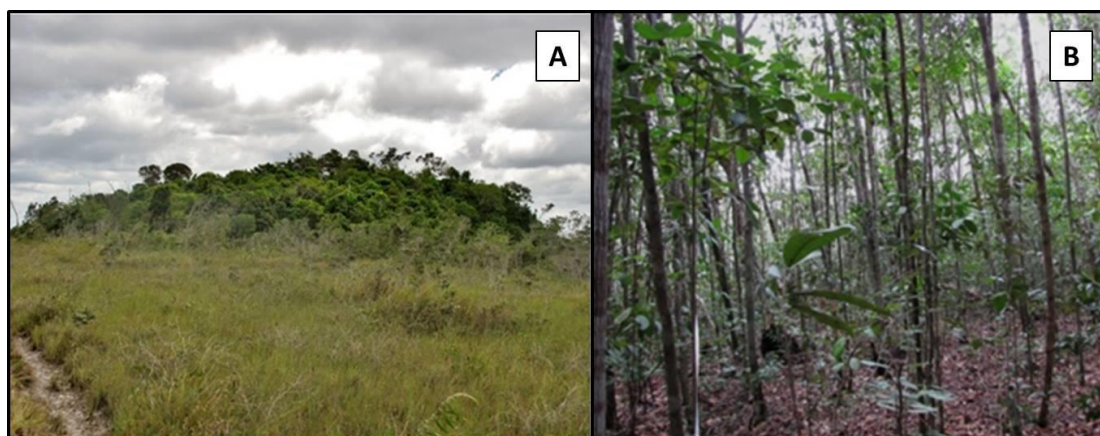
O Parque Nacional do Viruá (PNV) está localizado no município de Caracaraí, centro-sul do Estado de Roraima (01°46'34" N, 61°02'06" W). O PNV abrange aproximadamente 227.011 ha e seus limites são dados: a oeste pelo rio Branco; a nordeste pela BR-174; a leste pelo antigo traçado da BR-174; e a sul pelo rio Anauá. O acesso pode ser pela rodovia federal BR-174, distante 190 Km de Boa Vista (Figura 1).

O clima da região é caracterizado por estação seca curta, com menores taxas pluviométricas nos meses de Janeiro e Fevereiro (ITERAIMA, 2005). Na classificação de Köppen, o clima é tropical do tipo Aw (verão úmido e inverno seco). A precipitação média mensal é de 300 mm na época úmida (Abril a Agosto) e 100 mm na estação seca (Setembro a Fevereiro) (RADAMBRASIL, 1976). A precipitação é alta (1.800 a 3.000 mm anuais) e a temperatura média anual varia de 24 a 28°C, com mínima de 18°C no inverno a 34°C no verão.



**Figura 1.** (A,B) Localização da área de estudo no centro-sul do Estado de Roraima. (C) localização do PNV e os pontos de coleta ao longo do megaleque do Viruá.

A vegetação da região consiste em campinaranas e floresta ombrófila. Campinaranas são divididas em florestada, arbórea, arbustiva e gramíneo-lenhosa (IBGE, 2012). Esses tipos vegetacionais ocorrem sobre solo arenoso, quimicamente pobre e escasso em nutrientes (Schaefer et al. 2009). No PNV, elas estão associadas a uma ampla paleomorfologia triangular formada por uma malha de drenagem distributária que foi relacionada a um sistema deposicional do tipo megaleque (consultar Zani e Rossetti, 2012 para informações mais detalhadas sobre esse paloemegaleque). Dentre as classes de campinaranas, as florestadas são constituídas por floresta densa com árvores relativamente finas, com até 18 m de altura, copas mais estreitas do que as de floresta ombrófila, porém mais densa que outros tipos de campinaranas (Figura 2A).



**Figura 2.** Fragmentos naturais típicos de campinarana florestada no PNV (A) e perfil dos troncos típicos de campinarana florestada no PNV (B).

### 3. Material e métodos

#### 3.1. Inventário florístico

Foram estabelecidas nove parcelas de 50 m x 20 m em campinaranas florestadas. Os dados coletados para cada indivíduo incluíram: diâmetro à altura do peito (DAP), altura e densidade de indivíduos. O limite de inclusão das espécies arbóreas foi de  $DAP \geq 5$  cm.

Dados florísticos utilizados para os cálculos de biomassa foram baseados em equações alométricas desenvolvidas para campinaranas por Woortmann (2010). Foram calculados dados de biomassa total utilizando somente o DAP (biomassa 1), DAP e altura do dossel dominante (biomassa 2). Esses dados foram calculados para a biomassa acima do solo, de copa e de tronco, neste último caso considerando-se somente o DAP (tronco 1), ou o DAP e altura do dossel dominante (tronco 2). Esses dados foram calculados a partir de equações apresentadas na tabela 1.

**Tabela 1.** Equações alométricas utilizadas para o cálculo de biomassa dos diferentes compartimentos florestais (baseado em Woortmann, 2010), onde PF=peso da massa fresca e HT=altura total de árvores.

	Equação	S <sub>xy</sub> %	R <sup>2</sup>
Biomassa total	$\ln PF_{total} = -1,373 + 2,546 * \ln DAP$	4,19	0,98
	$\ln PF_{total} = -1,938 + 2,344 * \ln DAP + 0,388 * \ln HT$	4,25	0,98
Biomassa acima do solo	$\ln PF_{BAS} = -1,553 + 2,567 * \ln DAP$	4,27	0,98
Biomassa de copa	$\ln PF_{copa} = -2,942 + 3,385 * \ln DAP - 1,300 * \ln HC$	7,54	0,91
Biomassa de tronco	$\ln PF_{tronco} = -1,781 + 2,504 * \ln DAP$	4,52	0,97
	$\ln PF_{tronco} = -2,684 + 2,18 * \ln DAP + 0,621 * \ln HT$	3,83	0,98

#### 3.2. Medidas de LiDAR

Amostras de LiDAR de chão portátil correspondente ao sistema de Riegl LD90-3100VHS-FLP (Horn, Áustria) foram coletadas ao longo de nove trilhas de 50 m em diferentes fragmentos naturais de campinaranas (Figura 1). O LiDAR de chão gera um perfil vertical unidimensional da copa ao longo do transecto (Parker e Russ, 2004), fornecendo valores de retorno de sinal que necessitam de métricas de interpretação. Para todos os dados, os valores de retorno foram agrupados em 1x1 m de resolução, formando grades com frequência de distribuição de células de 1m<sup>2</sup> (Popescu et al. 2002). Os parâmetros testados do primeiro retorno dos dados LiDAR nos fragmentos de campinaranas florestadas foram a média e a mediana da altura máxima do sinal do primeiro retorno.

A seleção dos dados do LiDAR mais adequados para relacionar com a estrutura das campinaranas não foi um processo trivial, devido ao grande volume de dados produzidos. O LiDAR fornece dados contínuos dos pulsos de retorno com uma quantidade elevada de pontos, sendo necessários processamentos e seleção dos dados mais adequados para as análises (Hopkinson et al. 2004). van Aardt et al. (2008) apontam a intensidade média, a mediana, o coeficiente de variação, os valores máximo e mínimo, o erro padrão da média e o desvio padrão como variáveis do LiDAR possíveis de serem utilizadas em análises vegetacionais.

### 4. Resultados e Discussão

#### 4.1. Relação de LiDAR, estrutura da vegetação e biomassa

Os parâmetros selecionados foram aqueles que tiveram correlação  $\leq 0,7$  entre eles na análise de correlação de Pearson (Tabela 2). Para as análises, foram utilizados os parâmetros: densidade de indivíduos; altura dominante, que corresponde a 20% das maiores alturas das árvores (H<sub>dom</sub>); DAP médio; e dados de biomassa.

A partir da análise de correlação de Pearson, o DAP médio apresentou -0,79 de correlação com a densidade e 0,57 com a altura dominante, enquanto a densidade e a altura dominante tiveram correlação de -0,68 (Tabela 2). Os parâmetros de biomassa estiveram relacionados entre si com valores acima de 0,94 e o DAP médio apresentou uma correlação forte com todos os valores de biomassa ( $\geq 0,80$ ). Já a densidade e altura dominante não apresentaram valores altos de correlação com os parâmetros de biomassa.

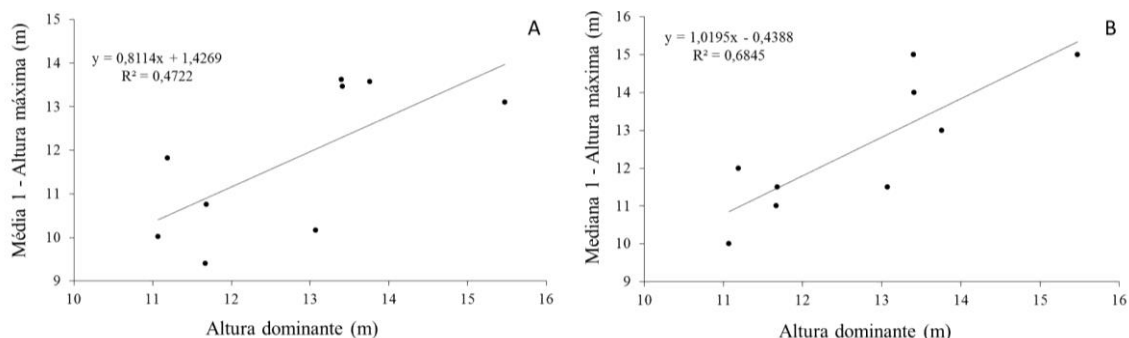
**Tabela 2.** Correlação de Pearson entre os parâmetros estruturais e de biomassa.

	Estruturais			Biomassa					
	Densidade	Hdom	DAP médio	Total 1	Total 2	Copa	Tronco 1	Tronco 2	Acima do solo
Densidade	1								
Hdom	-0,68	1							
DAP médio	-0,79	0,57	1						
Total 1	-0,48	0,11	0,81	1					
Total 2	-0,58	0,29	0,89	0,98	1				
Copa	-0,53	0,16	0,83	1,00	0,98	1			
Tronco 1	-0,47	0,09	0,80	1,00	0,98	1,00	1		
Tronco 2	-0,62	0,40	0,92	0,95	0,99	0,96	0,94	1	
Acima do solo	-0,49	0,11	0,81	1,00	0,98	1,00	1,00	0,95	1

A correlação negativa entre o DAP médio e a densidade provavelmente está relacionada às características de alta densidade de indivíduos com troncos finos das campinaranas florestadas (Figura 2B). A utilização do DAP médio para as estimativas de biomassa possivelmente provocou a correlação alta entre esses parâmetros. Desta forma, as variáveis DAP médio e a altura dominante foram utilizadas como variáveis fitoestruturais para as análises de regressão com os dados do LiDAR.

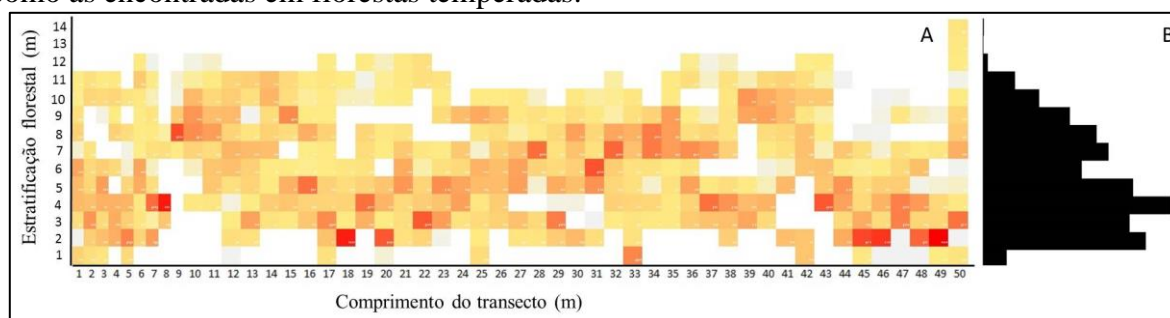
Foram obtidas relações moderadas da altura da vegetação com a média da altura dos dados LiDAR ( $R^2 = 0,47$ ) (Figura 3A). O melhor resultado foi obtido com a mediana da altura dos dados LiDAR e a altura da vegetação ( $R^2 = 0,68$ ) (Figura 3B). Em comparação com florestas temperadas, esses resultados para altura foram relativamente promissores. Porém, esperava-se uma correlação maior entre os dados de campo e o LiDAR, como registrado em trabalhos prévios para medidas de altura do dossel (Lefsky et al. 2002). Adicionalmente, correlações fortes foram documentadas em florestas de coníferas do hemisfério norte (Hopkinson et al. 2004; Hilker et al. 2010).

A complexidade das florestas pode diminuir a acurácia nas estimativas fitoestruturais pelo LiDAR. Lovell et al. (2003) compararam o uso do LiDAR em quatro tipos florestais e encontraram incertezas maiores das estimativas em florestas com a estrutura de dossel mais complexa e de maior variação espacial. Schiatti (2013) encontrou relações entre 71 e 77% entre o parâmetros do LiDAR e a altura das árvores em florestas no interflúvio Madeira-Purus. Esses valores são ligeiramente menores que os obtidos para florestas temperadas (e.g. Hopkinson et al. 2004; Hilker et al. 2010). Como as florestas tropicais tem maior complexidade estrutural que as florestas temperadas (Terborgh, 1985), é possível que na Amazônia, o uso do LiDAR apresente limitações para as estimativas fitoestruturais.



**Figura 3.** Relação entre a altura dominante, média (A) e mediana (B) de altura máxima de dados LiDAR.

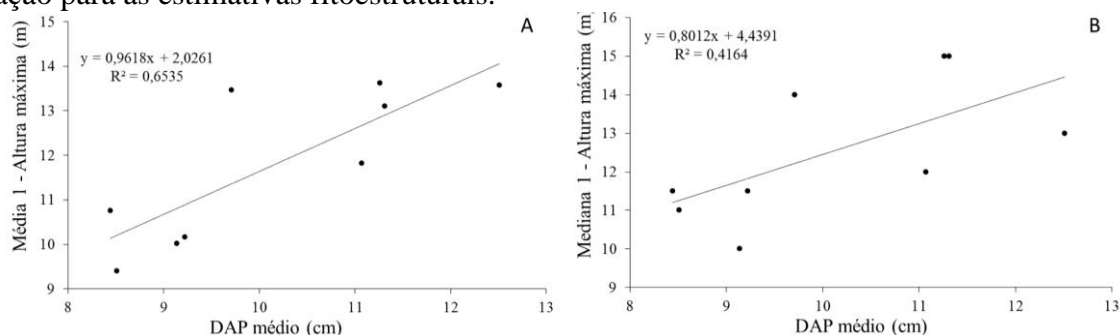
Campinarana florestal caracteriza-se por árvores de caules eretos, pouco tortuosos, dossel quase contínuo, às vezes aberto ou com estrato arbustivo denso (Gribel et al. 2009; Schaefer et al. 2009). Essa densidade alta dos estratos inferiores pode ser analisada utilizando a densidade de pulso do LiDAR. Para a área de estudo, foi possível perceber a concentração dos maiores valores de retorno do sinal nos estratos mais baixos da floresta (Figura 4). Antonarakis (2011), ao comparar florestas manejadas com florestas naturais na França, notou uma maior subestimativa do LiDAR na determinação da altura do dossel da floresta natural e atribuiu esse problema à reflexão dos pulsos nas folhas dos estratos mais baixos. O mesmo autor concluiu que, quanto mais denso os estratos, menos informações serão retornadas dos estratos superiores e, portanto, menor será a probabilidade de determinar acuradamente à altura do dossel. Apesar do resultado promissor para as campinaranas, a densidade maior dos estratos mais baixos pode ter causado a subestimação dos dados LiDAR nessa vegetação da área de estudo, não possibilitando relações mais forte de estimativas de altura da floresta como as encontradas em florestas temperadas.



**Figura 4.** Densidade dos pulsos do LiDAR de chão ao longo do transecto de 50 m em uma das áreas de campinarana florestada (A) estudadas no PNV (Vermelho = pontos com maior retorno de pulso do LiDAR; Tons amarelados = pontos com valores intermediários de retornos de pulsos do LiDAR; e Cinza = pontos com menores valores de retorno de pulso do LiDAR). A figura B, representa a soma do número de retornos ao longo dos 50 m do transecto. Cada barra representa o valor total de retornos dos pulsos a cada metro, verticalmente no estrato florestal. Os valores variaram de 2 a 494 pulsos por  $m^2$  e estratos mais baixos apresentaram os maiores valores de retornos de pulso. Isso indica que as partes mais baixas da campinarana florestada tem maior densidade florestal que partes superiores.

O DAP médio teve a relação mais forte com a média da altura dos dados LiDAR ( $R^2 = 0,65$ ) (Figura 5A), enquanto relação moderada foi obtida com a mediana da altura dos dados LiDAR ( $R^2 = 0,41$ ) (Figura 5B). Hopkinson et al. (2004) encontraram forte correlação entre os dados do LiDAR e o DAP para as florestas de coníferas, com  $R^2 = 0,85$ . Provavelmente, o problema de subestimativa dos dados de altura do LiDAR nas campinaranas do PNV também

não permitiu uma relação mais forte com o DAP médio. Porém, parâmetros do LiDAR como a intensidade média, a mediana, o coeficiente de variação, o valor máximo e mínimo, o erro padrão da média e desvio padrão dos primeiros e segundos retornos podem ser testados futuramente nas campinaranas florestadas dessa área a fim de estabelecer parâmetros de maior relação para as estimativas fitoestruturais.



**Figura 5.** Relação entre o DAP médio, média (A) e mediana (B) de altura máxima de dados LiDAR.

## 5. Conclusão

Os resultados do presente trabalho levaram a concluir que o LiDAR de chão tem bom potencial para estimar alguns parâmetros fitoestruturais em campinaranas florestadas da região amazônica, tendo acurácia relativamente consistente ao se comparar com resultados obtidos em florestas com menor complexidade florestal. Em particular, a média e a mediana da altura máxima do primeiro retorno do LiDAR foram parâmetros melhor relacionados ao DAP médio e à altura das campinaranas florestas. Apesar dos resultados obtidos para esses parâmetros, é necessário, ainda, um esforço adicional para melhor testar a eficiência de dados LiDAR em estimativas fitoestruturais desse tipo vegetacional, de forma a contribuir para minimizar os recursos empregados em algumas pesquisas ecológicas na Amazônia.

## Agradecimentos

Este trabalho tem o apoio financeiro da FAPESP Projeto# 13/50475-5. Os agradecimentos são extensivos à Coordenação do Parque Nacional do Viruá, por prover apoio logístico durante a coleta de dados em campo. Agradecimentos especiais são reservados à Juliana Schiatti e a Programa de ecologia do INPA pelo apoio no uso do LiDAR.

## Referências Bibliográficas

- Anderson, A.B. White-sand vegetation of Brazilian Amazonia. **Biotropica**, v. 13, p. 199-210, 1981.
- Antonarakis, A.S. Evaluating forest biometrics obtained from ground lidar in complex riparian forests. **Remote Sensing Letters**, v. 2, p. 61-70, 2011.
- Barlow, J.; Haugaasen, T.; Peres, C. A. Effects of surface wildfires on understory bird assemblages in Amazonian forests. **Biological Conservation**, v. 105, p. 157-169, 2002.
- Breugel, M. v.; Martínez-Ramos, M.; Bongers, F. Community dynamics during early secondary succession in Mexican tropical rain forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, p. 663-674, 2006.
- Chasmer, L.; Hopkins, C.; Treitz, P. Assessing the three-dimensional frequency distribution of airborne and ground-based lidar data for red pine and mixed deciduous forest plots. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 36, p. 66-70, 2004.
- DeWalt, S.J., Maliakal, S.K., Denslow, J.S. Changes in vegetation structure and composition along a tropical forest chronosequence: Implications for wildlife. **Forest Ecology and Management**, v.182, p. 139-151, 2003.
- d'Oliveira, M.V.N.; Reutebuch, S.E; McGaughey, R.J.; Andersen, H. Estimating forest biomass and identifying low-intensity logging areas using airborne scanning lidar in Antimary State Forest, Acre State, Western Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 479-491, 2012.
- Guariguata, M.R.; Ostertag, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, v.148, p. 185-206, 2001.

- Guilherme, E; Borges, S.H. Ornithological Records from a Campina/Campinarana Enclave on the Upper Juruá River, Acre, Brazil. **The Wilson Journal of Ornithology**, v, 123, p. 24-32, 2011.
- Gribel, R.; Ferreira, C.A.C.; Coelho, L.S.; Santos, J.L.; Ramos, J.F.; Silva, K.A.F. **Vegetação do Parque Nacional do Viruá – RR**. Relatório Técnico/ICMBio. 2009.
- Hilker, T.; van Leeuwen, M.; Coops, N.C.; Wulder, M.A.; Newnham, G.J.; Jupp, D.L.B. Comparing canopy metrics derived from terrestrial and airborne laser scanning in a Douglas-fir dominated forest stand. **Trees**, v. 24, p. 819–832, 2010.
- Hopkinson, C.; Chasmer, L.; Young-Pow, C.; Treitz, P. Assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 34, p. 573–583, 2004.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Sistema fitogeográfico Inventário das formações florestais e campestres Técnicas e manejo de coleções botânicas Procedimentos para mapeamentos**. Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro – RJ. 2012.
- ICMBio. 2014. Plano de Manejo do Parque Nacional do Viruá. Boa Vista, ICMBio, 626 p.
- ITERAIMA - Instituto de Terras e Colonização de Roraima. **Diagnóstico do Estado de Roraima, subsídio à elaboração de projetos específicos para a transferência das terras da União para o Estado**. Governo do Estado de Roraima. 2005.
- Lefsky, M.A.; Cohen, W.B.; Parker, G.G.; Harding, D.J. LiDAR remote sensing for ecosystem studies. **Bioscience**, v. 52, p. 19–30, 2002.
- Lovell, J.L.; Jupp, D.L.B.; Culvenor, D.S. Coops, N.C. Using airborne and ground-based ranging LiDAR to measure canopy structure in Australian forests. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 29, p. 607–622, 2003.
- MacArthur, R.H; MacArthur, J.W. On bird species diversity. **Ecology**, v. 42, p.594-598, 1961.
- Nagendra, H. Using remote sensing to assess biodiversity. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, p. 2377–2400, 2001.
- Magnussen, S.; Boudewyn, P. Derivations of stand heights from airborne laser scanner data with canopy-based quantile estimators. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 28, p. 1016-1031, 1998.
- Parker, G.G.; Russ, M.E. The canopy surface and stand development: assessing forest canopy structure and complexity with near-surface altimetry. **Forest Ecology and Management**, v. 189, p. 307–315, 2004.
- Popescu, S.C.; Wynne, R.H.; Nelson, R. F. Estimating plot-level tree heights with lidar: Local filtering with a canopy-height based variable window size. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, p. 71–95, 2002.
- RADAMBRASIL. **Folha SC. 19-Rio Branco. Ministério das Minas e Energia**, Departamento Nacional da Produção Mineral, Projeto RADAM BRASIL, Rio Janeiro, RJ. 1976.
- Schaefer, C.E.; Mendonça, B.A.F.; Filho, E.I.F. **Geoambientes e paisagens do Parque Nacional do Viruá – RR**. Relatório, 50p. 2009.
- Schiatti, J. **Interações entre floresta, chuva e água do solo afetam a composição e estrutura da vegetação na Amazônia Central**. 2013. 144 p. Tese (Doutorado em ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus – AM. 2008.
- Stark, S.C.; Leitold, V.; Wu, J.L.; Hunter, M.O.; Castilho C.V.; Costa, F.R.; McMahon, S.M.; Parker, G.G.; Shimabukuro, M.T.; Lefsky, M.A.; Keller, M.; Alves, L.F.; Schiatti, J.; Shimabukuro, Y.E.; Brandão, D.O.; Woodcock, T.K.; Higuchi, N.; Camargo, P.B.; Oliveira, R.C.; Saleska, S.R.; Chave, J. Amazon forest carbon dynamics predicted by profiles of canopy leaf area and light environment. **Ecology Letters**, v. 12, p. 1406-14, 2012.
- Terborgh, J. 1985. The vertical component of plant species diversity in temperate and tropical forests. **American Naturalist** 126:760–777.
- Tuomisto, H.; Ruokolainen, K.; Yli-Halla, M. Dispersal, environment, and floristic variation of western Amazonian forests. **Science**. v.299, p.241-244, 2003.
- van Aardt, J.A.; Wynne, R.H.; Scivani, J.A. Lidar-based Mapping of Forest Volume and Biomass by Taxonomic Group Using Structurally Homogenous Segments, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 74, 8, p. 1033-1044, 2008.
- Vicentini, A. A vegetação ao longo de um gradiente edáfico no Parque Nacional do Jaú. In: Borges S.H.; Iwanaga S.; Durigan, C.C.; Pinheiro M.R (Eds). **Janelas para a biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia**. Manaus. Fundação Vitória Amazônica, WWF-Brasil, USAID, 2004. p. 105-131.
- Woortmann, C. P. I. B. **Equações alométricas, estoque de biomassa e teores de carbono e nitrogênio de campinaranas da Amazônia central**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2010.
- Zani, H.; Rossetti, D.F. Multitemporal Landsat data applied for deciphering a megafan in northern Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 19, p. 6060-6075. 2012.