

## **Análise da relação entre dados de LiDAR e de biomassa florestal no sudoeste da Amazônia**

Luciane Yumie Sato <sup>1</sup>  
Yosio Edemir Shimabukuro <sup>1</sup>  
Michael Keller <sup>2,3</sup>  
Maiza Nara dos Santos <sup>2</sup>  
Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão <sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Embrapa Monitoramento por Satélite  
Avenida Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão, Campinas - SP, Brasil  
maizanara@gmail.com

<sup>3</sup>USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry  
Jardín Botánico Sur, 1201 Calle Ceiba  
San Juan, Puerto Rico, 00926 USA  
mkeller.co2@gmail.com

**Abstract.** Understanding the dynamics of tropical forest structure is critical for quantifying impacts of environmental changes on these ecosystems. Biomass is one of the main forest structural attributes and its quantification allows the analysis of changes in carbon stocks. However, a comprehensive assessment of tropical forest dynamics is dependent on the use of remote sensing techniques, because of its large geographical extent. In this context, Light Detection and Ranging (LiDAR) stands out as a recent technology used to obtain direct measurements of vegetation height. This work aims to perform a preliminary analysis of the relationship between LiDAR data and field measurements of forest structure in areas located in the southwestern flank of the Brazilian Amazon. Ultimately, our goal is to analyze changes in above-ground biomass (AGB) and carbon stocks in these areas. We found that height obtained from LiDAR data and biomass are linearly related, resulting in a  $R^2$  equal to 0.4425. This result indicate that mean height from LiDAR data may not be the most suitable measurement to estimate AGB if used as a single variable. We suggest that other metrics, such as wood density, 70<sup>th</sup>, 80<sup>th</sup>, 90<sup>th</sup>, 95<sup>th</sup>, 99<sup>th</sup> LiDAR height percentiles, can further improve the estimation of AGB from LIDAR data. Moreover, we also envisage that it is required to introduce alternative ways to estimate on-the-ground biomass at the plot level, as the experimental design did not allow direct comparison.

**Palavras-chave:** Light Detection and Ranging, Amazon, Above-Ground Biomass, Tropical Forest, LiDAR, Amazonia, biomassa acima do solo, Floresta Tropical.

### **1. Introdução**

A Floresta Amazônica abriga um quinto das espécies terrestres conhecidas e 10% do estoque de carbono dos ecossistemas terrestres (Saatchi et al., 2007; May et al., 2013). Esta ocupa uma área de 5,4 milhões de km<sup>2</sup> e é considerada como a maior floresta tropical do mundo. Além disso, a Amazônia apresenta um papel fundamental na ciclagem da água, armazenamento de carbono e na regulação do clima local e regional (Clement e Higuchi, 2006; Nobre et al., 2007).

As florestas tropicais são caracterizadas pela elevada heterogeneidade em sua estrutura e dinâmica (Phillips et al., 2004; Quesada et al., 2012). Essas variações estão relacionadas com os fatores ambientais de cada região, como a sazonalidade de temperatura e de precipitação, as características edáficas e a radiação solar incidente na vegetação (Aragão et al., 2009; Feldpausch et al., 2011; Banin et al., 2012). Adicionado a esses fatores, a estrutura e dinâmica das florestas tropicais podem variar devido às alterações causadas por ações antrópicas. As

atividades humanas, como a exploração madeireira e o fogo, modificam esses ecossistemas e os tornam vulneráveis à degradação (Davidson et al., 2012).

Dentre as diversas métricas que permitem avaliar as variações estruturais das florestas, se destaca a estimativa de biomassa florestal acima do solo (*Above-Ground Biomass* - AGB), que fornece informações a respeito do carbono estocado nessas áreas (Houghton, et al., 2009). Para estimar a biomassa florestal, diferentes técnicas podem ser aplicadas. Atualmente, para estimativas regionais de biomassa, os dados provenientes de sensores remotos são amplamente utilizados. Esses sensores podem ser ópticos, de RADAR, multiespectrais ou LiDAR (*Light Detection and Ranging*) (Main-Knorn et al., 2011; García-Martín et al., 2012).

O LiDAR se destaca como uma recente tecnologia empregada para a obtenção de medidas diretas da vegetação, como altura do dossel, o número de indivíduos, o volume e o diâmetro da copa (Dubayah et al., 2000; Popescu et al., 2011). Assim, este sensor é indicado para a estimativa de biomassa florestal, pois as variáveis que podem ser medidas diretamente pelo LIDAR apresentam correlação com os dados de AGB medidas em campo (Drake et al., 2003).

Portanto, esse trabalho tem como principal objetivo realizar uma análise entre a relação dos dados de altura, extraídos das imagens do LiDAR, e os dados de AGB de áreas localizadas no sudoeste da Amazônia brasileira. Esses dados irão fornecer subsídios para posteriores análises de estimativas de AGB e de carbono estocado nessas áreas.

## 2. Metodologia de trabalho

### 2.1. Área de Estudo

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram analisadas três áreas de estudo denominadas de Humaitá, Bonal e Talismã. Essas áreas estão localizadas na região leste do estado do Acre, próximas a capital Rio Branco, conforme ilustra o mapa apresentado na Figura 1a.

Os mapas da Figura 1b, Figura 1c e Figura 1d ilustram as áreas de sobrevoo do LiDAR (retângulo branco) sobre uma imagem do satélite Landast-5 do sensor TM (*Thematic Mapper*), numa composição R(5), G(4) e B(3).

### 2.2. Dados de LiDAR

Os dados de LiDAR foram adquiridos a partir de sobrevoos realizados, no ano de 2013, sobre as três áreas de estudo. Para a área de Humaitá, os dados de LiDAR foram adquiridos no dia 15 de setembro, enquanto que os dados das áreas de Bonal e Talismã foram coletados no dia 16 de setembro. No total foram adquiridos 500 ha em cada uma das regiões de Humaitá e Talismã. Em Bonal, a área total adquirida foi de 600 ha.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros do sobrevoo das três áreas de estudo.

Tabela 1. Parâmetros do sobrevoo.

	<b>Humaitá</b>	<b>Bonal</b>	<b>Talismã</b>
Instrumento	Optec Orion	Optec Orion	Optec Orion
Data de aquisição	15/09/2013	16/09/2013	16/09/2013
Altitude máxima de voo	900 m	900 m	900 m
Campo de visada	11,1°	11,1°	11,1°
Frequência de pulso	100 kHz	100 kHz	100 kHz
Densidade mínima de retornos	4 ppm <sup>2</sup>	4 ppm <sup>2</sup>	4 ppm <sup>2</sup>
Densidade média de retornos	66,61 ppm <sup>2</sup>	33,41 ppm <sup>2</sup>	10,81 ppm <sup>2</sup>
Densidade média de primeiros retornos	30,48 ppm <sup>2</sup>	15,54 ppm <sup>2</sup>	5,13 ppm <sup>2</sup>

ppm<sup>2</sup>: pontos por metro quadrado

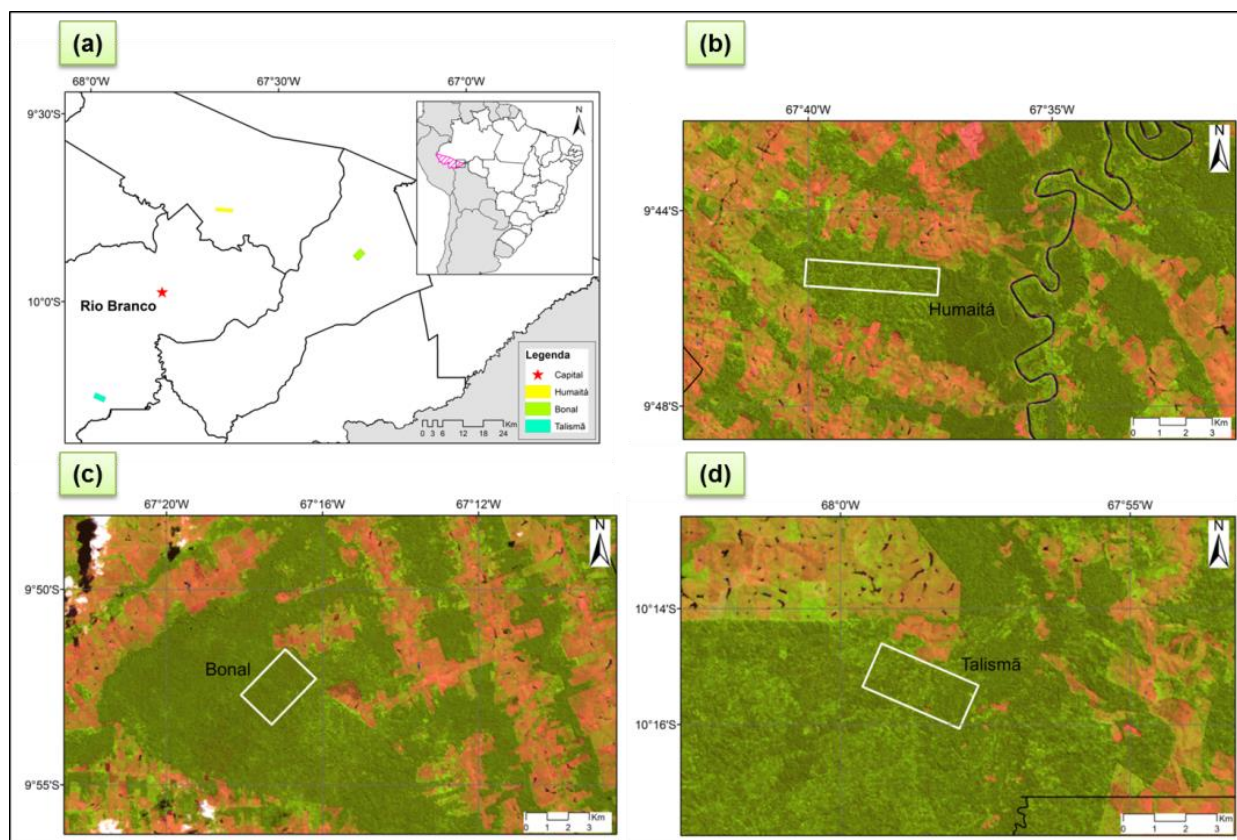


Figura 1. Localizações das áreas de estudo: (a) áreas dos sobrevoos de LiDAR na região leste do estado do Acre, (b) sobrevoos do LiDAR (retângulo branco) na área de Humaitá, (c) sobrevoos do LiDAR (retângulo branco) na área de Bonal e (d) sobrevoos do LiDAR (retângulo branco) na área de Talismã.

### 2.3. Processamento dos Dados de LiDAR

Os dados de LiDAR foram processados com auxílio do software FUSION. Este sistema foi desenvolvido pelo Silviculture and Forest Models Team, Research Branch of the US Forest Service e é uma eficiente ferramenta, que permite analisar e visualizar os dados de LiDAR (McGaughey, 2014).

O FUSION é gratuito e pode ser adquirido através do endereço eletrônico <http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/fusionlatest.html>.

A partir do uso desse sistema, foi possível extrair os dados de altura do dossel. Para isso, o sistema subtrai o Modelo Digital de Elevação (MDT) do Modelo de Superfície do Dossel (MSD). As Figura 2, Figura 3 e Figura 4 ilustram o MDT (acima) e a Altura dos indivíduos (abaixo) das áreas de Humaitá, Bonal e Talismã, respectivamente.

### 2.4. Dados de inventário florestal

Os dados de inventário florestal foram adquiridos em uma campanha de campo realizada nos meses de junho e julho de 2014. Esses dados foram coletados por uma equipe especializada do IFT (Instituto Floresta Tropical).

No campo, foram instaladas 10 parcelas para as áreas de Humaitá e Bonal, totalizando 20 parcelas, e na área de Talismã foram instaladas 5 parcelas. Foram coletadas as coordenadas geográficas dos cantos das parcelas através da utilização de um GPS Diferencial. Essa etapa é importante para obter, com elevada exatidão, a localização das parcelas sobre as imagens de LiDAR. Nesse estudo, o erro médio da localização dos cantos das parcelas foi de 59 cm.

Cada parcela instalada apresenta um tamanho de 50 m x 50 m. Dentro das parcelas foram alocadas subparcelas de 10 m x 50 m. Nas áreas das subparcelas foram medidos o DAP

(Diâmetro a Altura do Peito) e a altura total dos indivíduos com DAP maior ou igual a 10 cm. No restante da parcela (40 x 50 m) foram medidos a altura total e o DAP dos indivíduos com DAP maior ou igual a 35 cm.

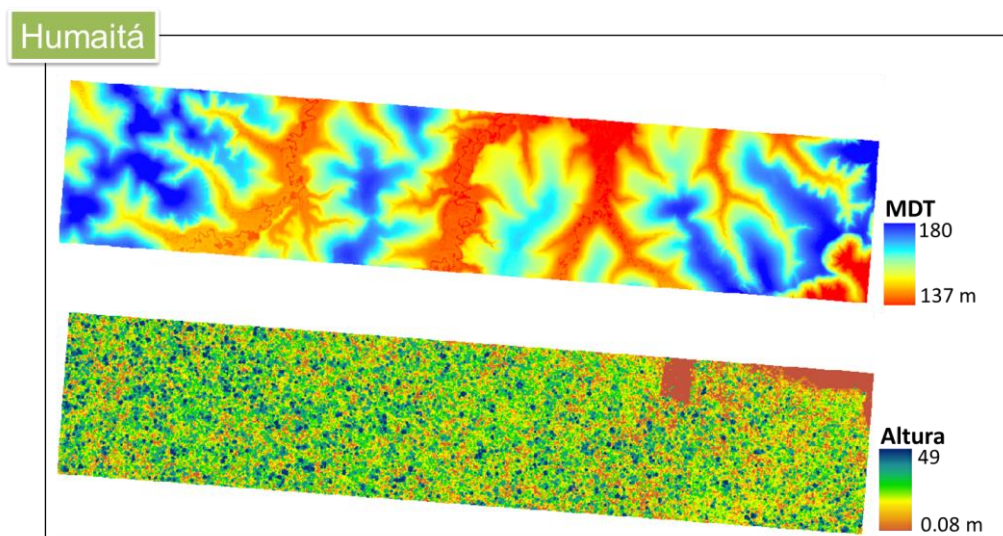


Figura 2. MDT e altura obtidos após processamento dos dados de LiDAR de Humaitá.

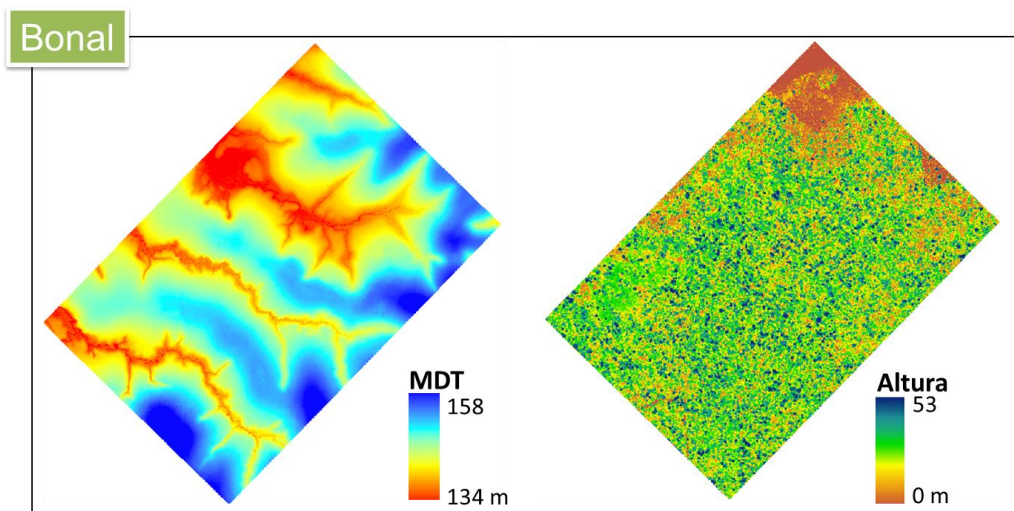


Figura 3. MDT e altura obtidos após processamento dos dados de LiDAR de Bonal.

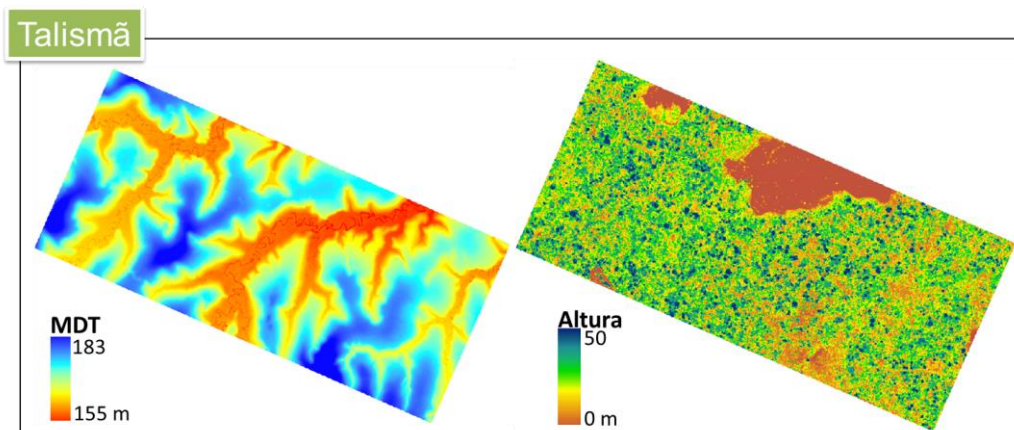


Figura 4. MDT e altura obtidos após processamento, dos dados de LiDAR de Talismã.

## 2.5. Extrapolação dos dados de campo e cálculo de AGB

A AGB das parcelas foi calculada a partir da equação de Brown (1989), conforme apresentada na equação:

$$AGB = e^{(-3,1141+0,97919*\ln(DAP^2*H))} \quad (1)$$

onde  $AGB$  corresponde a biomassa florestal acima do solo, dada em kg;  $DAP$  é o Diâmetro a Altura do Peito, dado em centímetros e  $H$  a altura total, dado em metros.

Para o cálculo da altura média da parcela, foi realizada a extrapolação da medida dos indivíduos com  $DAP$  entre 10 e 35 cm, pois esses indivíduos foram medidos apenas na área da subparcela (10 x 50 m).

A altura média da parcela foi calculada através da multiplicação da altura média dos indivíduos com  $DAP \leq 35$  cm por 5 e somando a altura média dos indivíduos com  $DAP \geq 35$  cm (Equação 2). Esse mesmo peso foi considerado no cálculo da AGB da parcela.

$$\overline{H}_{parcela} = \frac{5 * \sum_i H_i^{\leq 35} + \sum_i H_i^{\geq 35}}{5 * N_{\leq 35} + N_{\geq 35}} \quad (2)$$

onde  $\overline{H}_{parcela}$  é a altura média estimada da parcela (50 x 50 m),  $\sum_i H_i^{\leq 35}$  é a soma das alturas dos indivíduos com  $DAP \leq 35$  cm,  $\sum_i H_i^{\geq 35}$  é a soma das alturas dos indivíduos com  $DAP \geq 35$  cm, e  $N_{\leq 35}$  é o número de indivíduos com  $DAP \leq 35$  cm e  $N_{\geq 35}$  é o número de indivíduos com  $DAP \geq 35$  cm.

$$AGB_{parcela} = 5 * \sum_i AGB_i^{\leq 35} + \sum_i AGB_i^{\geq 35} \quad (3)$$

onde  $AGB_{parcela}$  é a biomassa florestal acima do solo estimada da parcela,  $\sum_i AGB_i^{\leq 35}$  é a soma da biomassa dos indivíduos com  $DAP \leq 35$  cm e  $\sum_i AGB_i^{\geq 35}$  é a soma da biomassa dos indivíduos com  $DAP \geq 35$  cm.

## 3. Resultados e discussões

### 3.1. Análise dos dados de campo e dos dados de LiDAR

As distribuições diamétricas dos indivíduos das três áreas de estudo seguem o padrão da curva J-invertido, com um grande número de indivíduos nas classes de menores diâmetros e com decréscimo exponencial no número de indivíduos nas classes de maiores diâmetros (Figura 5a).

A Figura 5b apresenta os valores médios de AGB (Mg/ha) das parcelas para cada área analisada nesse estudo. Nessa figura, observa-se pouca variação de AGB média entre as áreas, com suave decaimento de AGB na sequência Humaitá, Bonal e Talismã.

A relação entre a AGB da parcela (variável dependente) e a altura média do LiDAR (variável independente), apresentou correlação significativa, com valores de coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,4425 e raiz do erro médio quadrático (RMSE) de 4,3. A Figura 6 apresenta a distribuição dos dados, a regressão linear e o valor do  $R^2$ . Considerando que na regressão foi utilizada uma única variável independente os valores encontrados podem ser considerados satisfatórios.



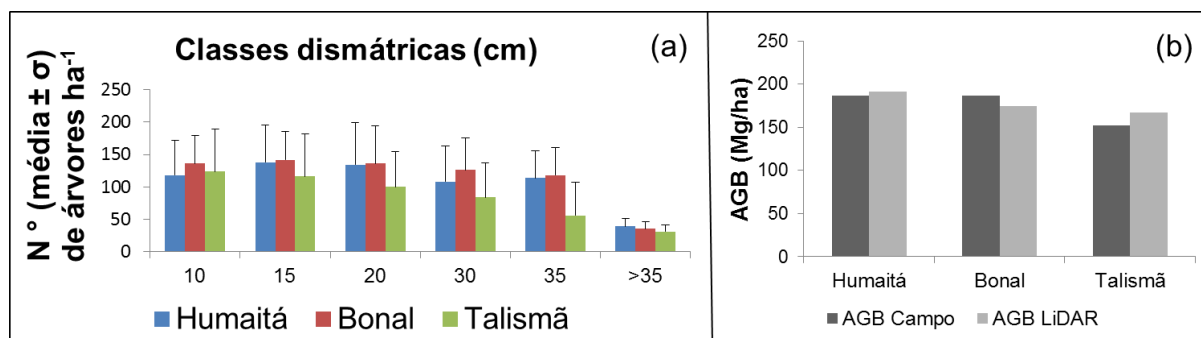


Figura 5. (a) gráfico da distribuição média das classes diamétricas, com os respectivos valores dos desvios padrões. Os retângulos azul são as distribuições médias da área de Humaitá, os retângulos vermelho de Bonal e os retângulos verde de Talismã. (b) gráfico da distribuição média de AGB das três áreas de estudo. Os retângulos cinza-escuros são os valores de AGB obtidos a partir dos dados de campo e os retângulos cinza-claros são os valores obtidos dos dados de LiDAR.

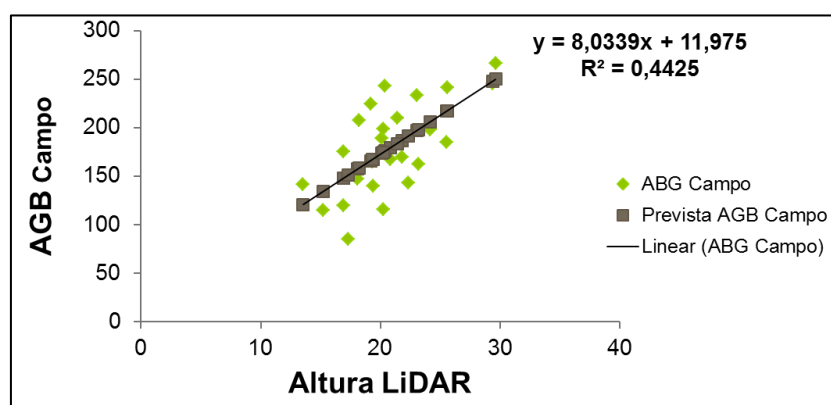


Figura 6. Gráfico da regressão entre a altura média do LiDAR e a AGB do campo.

#### 4. Conclusões

A partir da análise realizada nesse trabalho, foi observado que as medidas de altura obtidas a partir dos dados de LiDAR apresentam uma relação linear com a AGB florestal. Foi encontrada uma correlação significativa com valores de  $R^2$  de 0,4425. Entretanto, não é recomendado o uso apenas da variável altura na estimativa de AGB florestal. Para o desenvolvimento de trabalhos futuros, é sugerido que sejam utilizadas outras variáveis na estimativa de AGB florestal em campo, como por exemplo, a densidade da madeira e a aplicação de equações de AGB, mais robustas, como a equação proposta por Chave et al. (2014).

Além disso, são necessárias análises complementares para melhorar as relações entre os dados de campo e os dados do LiDAR. Para isso, pretende-se utilizar os valores das métricas de altura e intensidade de pulso laser para os percentis: 70°, 80°, 90°, 95° e 99°. O estudo desenvolvido por Silva et al. (2013) demonstra que a utilização desses percentis pode melhorar a predição e estimativas florestais a partir dos dados de LiDAR.

Por fim, se planeja avaliar novos métodos para extrapolação da AGB da parcela, pois o desenho experimental testado, nesse estudo, pode influenciar na comparação entre os dados de campo e os dados de LiDAR.

#### Agradecimentos

Os dados Lidar foram adquiridos pelo Projeto Paisagens Sustentáveis Brasil, apoiado no Brasil pela Embrapa e pelo Serviço Florestal, Agência para o Desenvolvimento Internacional

e Departamento de Estado dos Estados Unidos. L.E.O.C.A. agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade processo 304425/2013-3 e ao MCTI/CNPq/FNDCT – Ação Transversal - nº 68/2013 – Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA processo 458022/2013-6 e ao Programa Ciência sem Fronteiras (CNPq).

## 5. Referências

- Aragão, L. E. O. C.; Malhi, Y.; Metcalfe, D. B.; Silva-Espejo, J. E.; Jiménez, E.; Navarrete, D.; Almeida, S.; Costa, A.C. L.; Salinas, N.; Phillips, O.L.; Anderson, L. O.; Alvarez, E.; Baker, T. R.; Goncalvez, P. H.; Huamán-Ovalle, J.; Mamani-Solórzano, M.; Meir, P.; Monteagudo, A.; Patiño, S.; Peñuela, M. C.; Prieto, A.; Quesada, C. A.; Rozas-Dávila, A.; Rudas, A.; Silva Jr., J.A.; Vásquez, R. Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. **Biogeosciences**, v. 6, p. 2759-2778, 2009.
- Banin, L.; Feldpausch, T. R.; Phillips, O. L.; Baker, T. R.; Lloyd, J.; Affum-Baffoe, K.; Arets, E. J. M. M.; Berry, N. J.; Bradford, M.; Brienen, R. J. W.; Davies, S.; Drescher, M.; Higuchi, N.; Hladik, A.; Iida, Y.; Salim, K. A.; Kassim, A. R.; King, D. A.; Lopez-Gonzalez, G.; Metcalfe, D.; Nilus, R.; Peh, K. S.-H.; Reitsma, J. M.; Sonké, B.; Taedoumg, H.; Tan, S.; White, L.; Wöll, H.; Lewis, S. L. What controls tropical forest architecture? Testing environmental, structural and floristic drivers. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, p. 1179–1190, 2012.
- Brown, S.; Gillespie, A. J. R.; Lugo, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v. 35, p. 881-902, 1989.
- Brown, I. F.; Schroeder, W.; Setzer, A.; De Los Rios Maldonado, M; Pantoja, N.; Duarte, A.; Marengo, J. Monitoring fires in southwestern Amazonia Rain Forests, **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 87, n. 26, p. 253–259, 2006.
- Chave, J.; Réjou-Méchain, M.; Búrquez, A.; Chidumayo, E.; Colgan, M. S.; Delitti, W. B.C.; Duque, A.; Eid, T.; Fearnside, P. M.; Goodman, R. C.; Henry, M.; Martínez-Yrizar, A.; Mugasha, W. A.; Muller-Landau, H. C.; Mencuccini, M.; Nelson, B. W.; Ngomanda, A.; Nogueira, E. M.; Ortiz-Malavassi, E.; Péliissier, R.; Ploton, P.; Ryan, C. M.; Saldarriaga, J. G.; Vieilledent, G. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, v. 20, p. 3177–3190, 2014.
- Clement, C. R.; Higuchi, N. A floresta Amazônica e o futuro do Brasil. **Jornal da Ciência**, p. 44-49, 2006.
- Davidson, E. A.; Araújo, A. C.; Artaxo, P.; Balch, J. K.; Foster Brown, I.; Bustamante, M. M. C.; Coe, M. T.; Defries, R. S.; Keller, M.; Longo, M.; William Munger, J.; Schroeder, W.; Soares-Filho, B. S.; Souza, M. C.; Wofsy, S. C. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, p. 321-328, 2012.
- Drake, J. B; Knox R, G.; Dubayah R, O.; Clark, D. B.; Condit, R.; Blair, J. B.; Hofton, M. A. Above-ground biomass estimation in closed canopy Neotropical forests using lidar remote sensing: factors affecting the generality of relationships. **Global Ecology and Biogeography**, v. 12, p. 147-159, 2003.
- Dubayah, R. O.; Knox, R. G.; Hofton, M. A.; Blair, J. B.; Drake, J. B. Land surface characterization using lidar remote sensing. In: HILL, M.; ASPINALL, R. (Ed). Spatial Information for Land Use Management. International Publishers Direct, Singapore. 2000.
- Feldpausch, T. R.; Banin, L.; Phillips, O. L.; Baker, T.R.; Lewis, S.L.; Quesada, C.A.; Affum-Baffoe, K.; Arets, E. J. M. M.; Berry, N. J.; Bird, M.; Brondizio, E. S.; Decamargo, P.; Chave, J.; Djagbletey, G.; Domingues, T. F.; Drescher, M.; Fearnside, P. M.; França, M. B.; Fyllas, N. M.; Lopez-Gonzalez, G.; Hladik, A.; Higuchi, N.; Hunter, M.O.; Iida, Y.; Salim, K. A.; Kassim, A. R.; Keller, M.; Kemp, J.; King, D. A.; Lovett, J. C.; Marimon, B. S.; Marimon-Junior, B. H.; Lenza, E.; Marshall, A. R.; Metcalfe, D. J.; Mitchard, E. T. A.; Moran, E. F.; Nelson, B. W.; Nilus, R.; Nogueira, E. M.; Palace, M.; Patiño, S.; Peh, K. S. H.; Raventos, M. T.; Reitsma, J. M.; Saiz, G.; Schrodt, F.; Sonké, B.; Taedoumg, H. E.; Tan, S.; White, L.; Wöll, H.; Lloyd, J. Height-diameter allometry of tropical forest trees. **Biogeosciences**, v. 8, p. 1081-1106, 2011.
- Houghton, R. A.; Hall, F.; Goetz, S. J. Importance of biomass in the global carbon cycle. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 114, n. G2, 2009.

May, P.; Soares-Filho, B. S.; Strand, J. How Much is the Amazon Worth? The State of Knowledge Concerning the Value of Preserving Amazon Rainforests. **World Bank Policy Research Working Paper No. 6668**. 2013. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=2343709>>. Acesso em: 29 dez. 2013.

McGaughey, R. J. **Fusion/LDV: Software for Lidar data analysis and visualization**. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, University of Washington, Seattle, 2014, 179p.

Nobre, C. A.; Sampaio, G.; Salazar, L. Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*, v. 59, n.3, p. 22-27, 2007.

Phillips, O.L.; Baker, T.R.; Arroyo, L.; Higuchi, N.; Killeen, T.J.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; Lloyd, J.; Malhi, Y.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Vargas, P.N.; Silva, J.N.; Terborgh, J.; Martínez, R.V.; Alexiades, M.; Almeida, S.; Brown, S.; Chave, J.; Comiskey, J.A.; Czimczik, C.I.; Di Fiore, A.; Erwin, T.; Kuebler, C.; Laurance, S.G.; Nascimento, H.E.; Olivier, J.; Palacios, W.; Patiño, S.; Pitman, N.C.; Quesada, C.A.; Saldias, M.; Lezama, A.T.; Vinceti, B. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. **Philosophical transactions of the Royal Society of London**, v. 359, n. 1443, p. 381-407, 2004.

Popescu, S. C.; Zhao, K.; Neuenschwander, A.; Lin, C. Satellite Lidar vs. small footprint airborne Lidar: Comparing the accuracy of aboveground biomass estimates and forest structure metrics at footprint level. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 11, p. 2786-2797, 2011.

Quesada, C. A.; Phillips, O. L.; Schwarz, M.; Czimczik, C. I.; Baker, T. R.; Patiño, S.; Fyllas, N. M.; Hodnett, M. G.; Herrera, R.; Almeida, S.; Alvarez Dávila, E.; Arneeth, A.; Arroyo, L.; Chao, K. J.; Dezzeo, N.; Erwin, T.; Di Fiore, A.; Higuchi, N.; Honorio Coronado, E.; Jimenez, E. M.; Killeen, T.; Lezama, A. T.; Lloyd, G.; López-González, G.; Luizão, F. J.; Malhi, Y.; Monteagudo, A.; Neill, D. A.; Núñez Vargas, P.; Paiva, R.; Peacock, J.; Peñuela, M. C.; Peña Cruz, A.; Pitman, N.; Priante Filho, N.; Prieto, A.; Ramírez, H.; Rudas, A.; Salomão, R.; Santos, A. J. B.; Schmerler, J.; Silva, N.; Silveira, M.; Vásquez, R.; Vieira, I.; Terborgh, J.; Lloyd, J. Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate. **Biogeosciences**, v. 9, p. 2203-2246, 2012.

Saatchi, S. S.; Houghton, R. A.; Dos Santos Alvalá, R. C.; Soares, J. V.; Yu, Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. **Global Change Biology**, v. 13, p. 816-837, 2007.

Saatchi, S.; Buermann, W.; Steege, H.; Mori, S.; Smith, T. B. Modeling distribution of Amazonian tree species and diversity using remote sensing measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 5, p. 2000-2017, 2008.

Silva, C. A.; Klauberg, C.; Hudak, A.; Liebermann, R.; Carvalho, S. P. C.; Rodriguez, L. C. E. Utilização da tecnologia LiDAR para estimação da biomassa florestal em povoamentos de *Eucalyptus* sp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 6097-6104. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GCP5>>. Acesso em: 23 out. 2014.