

EBA – Estimativa de Biomassa na Amazônia

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A quantificação da biomassa e do carbono do bioma Amazônia é objeto de estudos de diversos pesquisadores que, a partir de diferentes metodologias e dados, buscam entender a dinâmica da vegetação da região (BACCINI et al., 2012; MITCHARD et al., 2014; NOGUEIRA et al., 2008, 2015; SAATCHI et al., 2007, 2011). Os mapas desenvolvidos a partir desses estudos podem ser utilizados como base de ferramentas de políticas públicas, para inventários de emissões e estimativas de balanço de carbono.

O [Centro de Ciência do Sistema Terrestre](#) (CCST) busca apoiar e direcionar pesquisas para melhorar a precisão da estimativa da biomassa e do carbono do bioma Amazônia. Ometto et al. (2014) compararam alguns dos mapas de biomassa disponíveis para a região e concluíram que existem diferenças significativas entre os mesmos (Figura 1). Apesar disso, o estoque de carbono do bioma estimado pelas diferentes metodologias pode ser considerado igual devido à elevada incerteza dos valores calculados. Consequentemente, essa incerteza é propagada para a estimativa de emissões de gás carbônico do país.

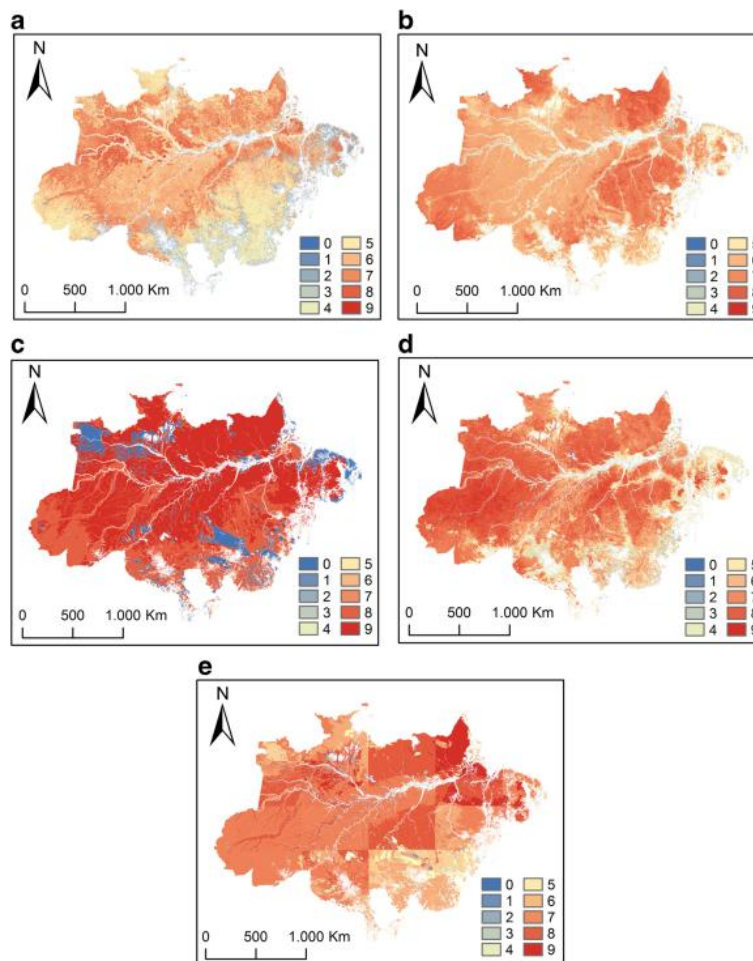


Fig. 1 Amazon region biomass estimates classified as in BS07. *Warmer colors* are representing higher biomass classes. **a** BS07 (Saatchi et al. 2007); **b** BS11 (Saatchi et al. 2011); **c** BN08 (Nogueira et al. 2008a, b); **d** BB12 (Baccini et al. 2012); **e** BM10 (MCT 2010)

2. LASER AEROTRANSPORTADO

Diante das diferenças encontradas nos mapas de biomassa disponíveis para a Amazônia brasileira e as incertezas associadas aos métodos que possibilitaram sua estimativa, o CCST buscou investir em tecnologias que pudessem contribuir na redução dessas incertezas.

Estudos apontam que, além do uso de dados de inventários florestais, dados de laser aerotransportado (ALS, *Airborne Laser Scanning*) podem contribuir com o aumento da área amostrada e possibilitar extrair métricas sobre a estrutura e altura do dossel florestal (ASNER et al., 2012; ASNER & MASCARO, 2014).

Sendo assim, o CCST, com apoio do [Fundo Amazônia](#) e recursos do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), é executor do [Subprojeto 7](#) (Melhoria dos métodos de estimativa de biomassa e de modelos de estimativa de emissões por mudança de uso da terra) do projeto [Monitoramento Ambiental por Satélite no Bioma Amazônia](#) (MSA).

O aerolevanteamento está sendo realizado através de transectos com largura de 300 m e comprimento de 12,5 Km (375 ha), sem sobreposição entre as faixas de voo. A distribuição desses transectos foi realizada inicialmente de maneira aleatória dentro de áreas de floresta do bioma Amazônia, desconsiderando áreas mapeadas pelo [PRODES](#) (2014), mas considerando áreas de floresta secundária identificadas pelo [TerraClass](#) (2012). Alguns desses transectos foram direcionados a fim de cobrir áreas com parcelas de inventário florestal – vide seção 3, “Dados de Campo”.

Em uma primeira campanha de voo, estão sendo coletados dados de 417 transectos (Figura 2), ou seja, 156.522 ha. Na tabela abaixo são apresentadas as principais características de aquisição dos dados.

Tabela 1. Detalhes do ALS

Sensor	LiDAR HARRIER 68i
Frequência de escaneamento	5 Hz a 200 Hz
Tipo de dado	Discreto e Completo (FWF)
Ângulo de varredura completa	45°
Densidade de pulsos	4 pulsos / m ²
Footprint	30 cm
Altura de voo	600 m

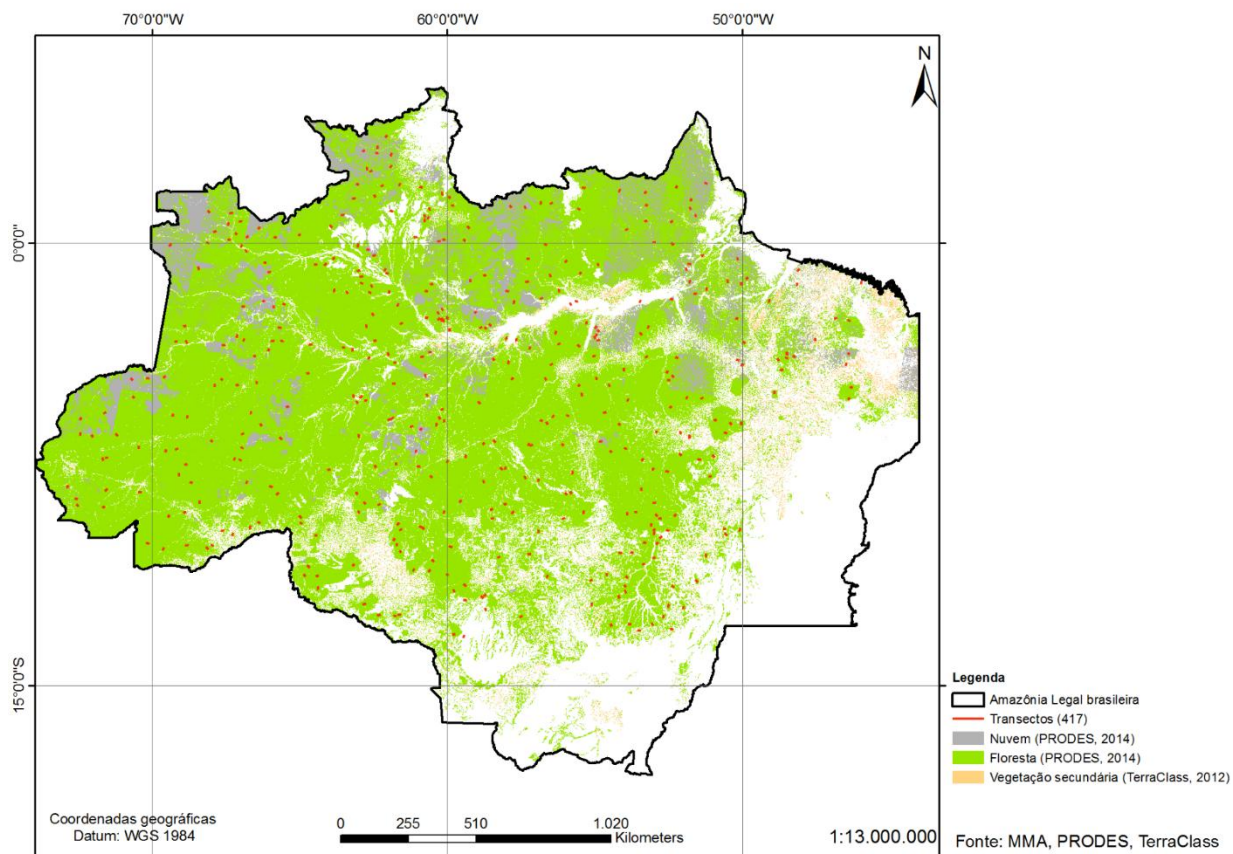


Figura 2. Distribuição dos 417 transectos da primeira campanha de ALS.

Em uma primeira análise das áreas que estão sendo sobrevoadas, nota-se que aproximadamente 27% dos transectos estão localizados sobre áreas de Floresta Ombrófila Aberta e 57% sobre áreas de Floresta Ombrófila Densa (IBGE). Além disso, 2.590 ha são classificados como vegetação secundária pelo TerraClass e, de acordo com o mapa disponibilizado por Hess et al. (2015), 6.768 ha das áreas dos transectos se encontram em áreas inundáveis.

Ao longo do projeto serão feitas análises das áreas já sobrevoadas de maneira a cobrir áreas representativas das diferentes fitofisionomias, além de vegetação secundária e áreas inundáveis.

3. DADOS DE CAMPO

Há um consenso dentro da comunidade científica de que é importante integrar dados de campo com dados de sensoriamento remoto. Neste caso especificamente, é necessário correlacionar as nuvens de pontos LiDAR obtidas a partir do ALS com dados de inventário florestal.

Por serem os transectos distribuídos sobre todo o bioma e os dados de campo serem, além de custosos, de difícil obtenção, optou-se por criar parcerias com diferentes instituições e grupos de pesquisa que já tenham realizado medições in situ.

Já na primeira campanha de campo estão sendo sobrevoadas áreas de estudo dos seguintes grupos:

- [Paisagens Sustentáveis](#): coordenado pelo pesquisador Michael Keller, do serviço florestal dos Estados Unidos (US-FS) e pesquisador visitante da EMBRAPA Informática;
- [EMBRAPA Acre](#): contato com o pesquisador Marcus Vinício Neves D' Oliveira;
- [Laboratório de Manejo Florestal \(LMF\) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia \(INPA\)](#): coordenado pelo pesquisador Niro Higuchi.

Na Figura 3 são apresentadas as parcelas às quais 44 transectos foram direcionados na primeira campanha ALS.

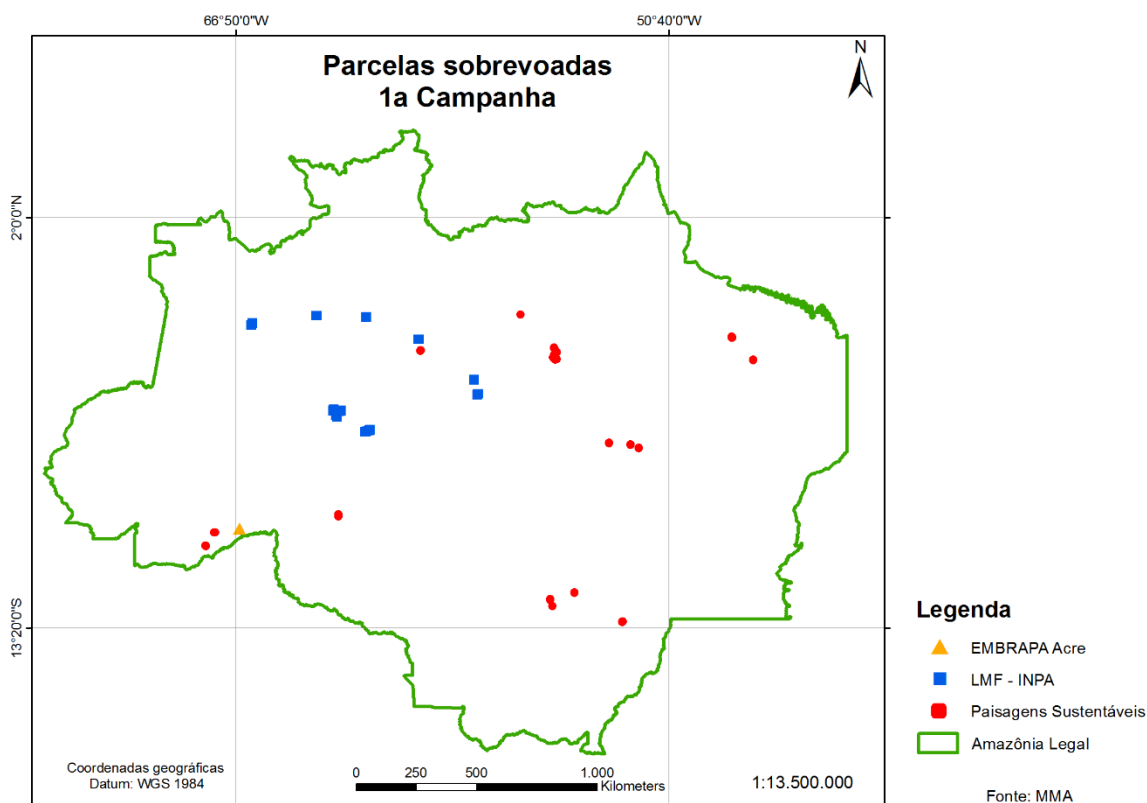


Figura 3. Dados de campo sobrevoados na primeira campanha ALS.

Estão sendo estabelecidas novas parcerias com previsão de sobrevoo de parcelas de campo nas próximas campanhas ALS, com os seguintes grupos:

- [TREES](#): grupo do INPE liderado pelo pesquisador Luiz Aragão;
- [RAINFOR](#): contato com o pesquisador Oliver Phillips;
- [Serviço Florestal Brasileiro \(SFB\)](#): contato com a Gerência Executiva de Monitoramento e Auditoria Florestal;
- [Universidade de Lancaster](#): contato com o pesquisador Fernando Espírito-Santo.

Além disso, sob coordenação do pesquisador Dr. Jean Ometto, há outro projeto apoiado pelo Partnerships for Enhanced Engagement in Research (PEER) que, em paralelo às campanhas ALS, irá

coletar dados de campo em áreas até então não amostradas e que precisam ser representadas para diminuir a incerteza do mapa de biomassa final.

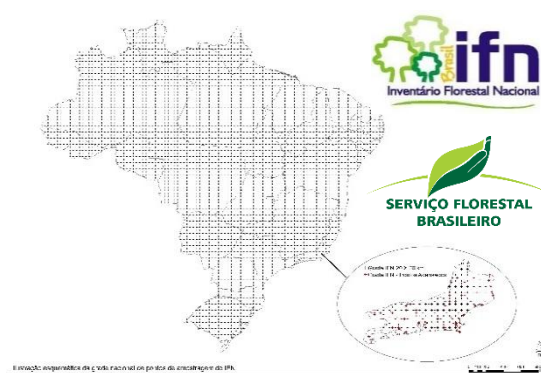
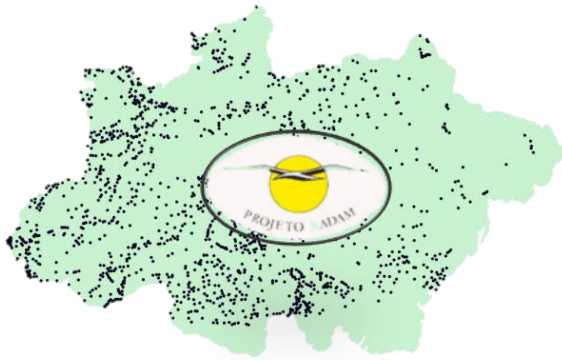
4. GERAÇÃO DO MAPA DE BIOMASSA

O desenvolvimento do mapa de biomassa antevê diversas etapas, entre as quais podemos citar:

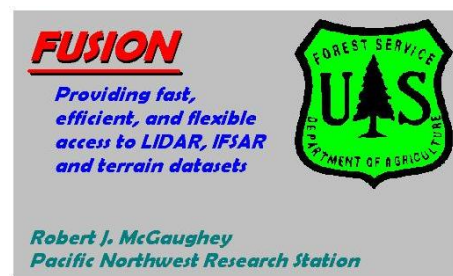
- a. *Determinação das equações alométricas*: o desenvolvimento de equações que relacionem variáveis como diâmetro à altura do peito (DAP), altura (h), densidade da madeira (d) ou outras variáveis dendrométricas com a biomassa da árvore é um procedimento trabalhoso e custoso, pois envolve a derrubada e pesagem de árvores e, em alguns casos, raízes. Equações pantropicais (BROWN, 1997; CHAMBERS et al., 2001; CHAVE, 2005) e desenvolvidas *in situ* (HIGUCHI et al., 1998; SILVA, 2007) vem sendo utilizadas para estimar a biomassa de árvores na região amazônica. Ao longo do projeto, serão selecionadas e testadas as equações disponíveis na literatura científica.



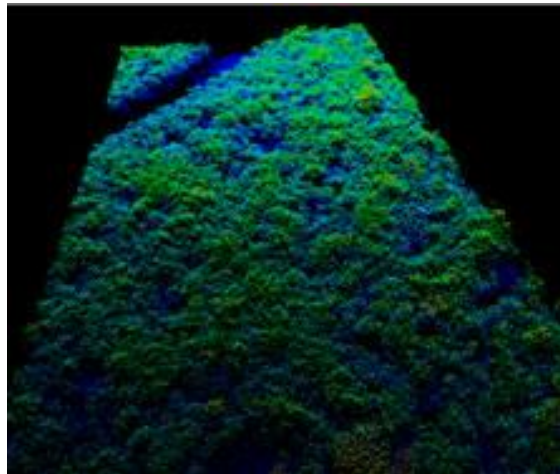
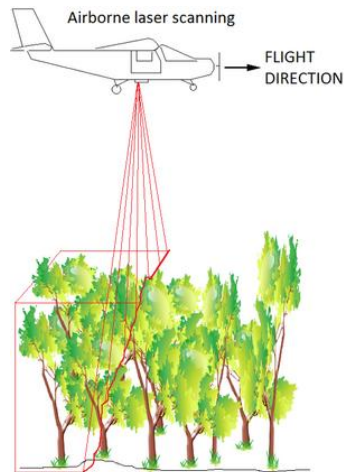
- b. *Inventário florestal*: as equações desenvolvidas podem então ser aplicadas para estimar a biomassa e o carbono de parcelas de inventário florestal. Existem diferentes trabalhos de pesquisa de instituições como o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e a Embrapa Acre que adquirem medições em campo. Além disso, o dado mais completo do país até o momento foi a iniciativa do Radam Brasil, da década de 70, com mais de 2.000 parcelas distribuídas no bioma Amazônia. Há também grandes redes como a do [Rainfor](#) e a iniciativa do Serviço Florestal Brasileiro (SFB) com o [Inventário Florestal Nacional](#). Vide a seção “dados de campo” para ter maiores detalhes sobre os dados de campo que estão sendo utilizados pelo grupo EBA.



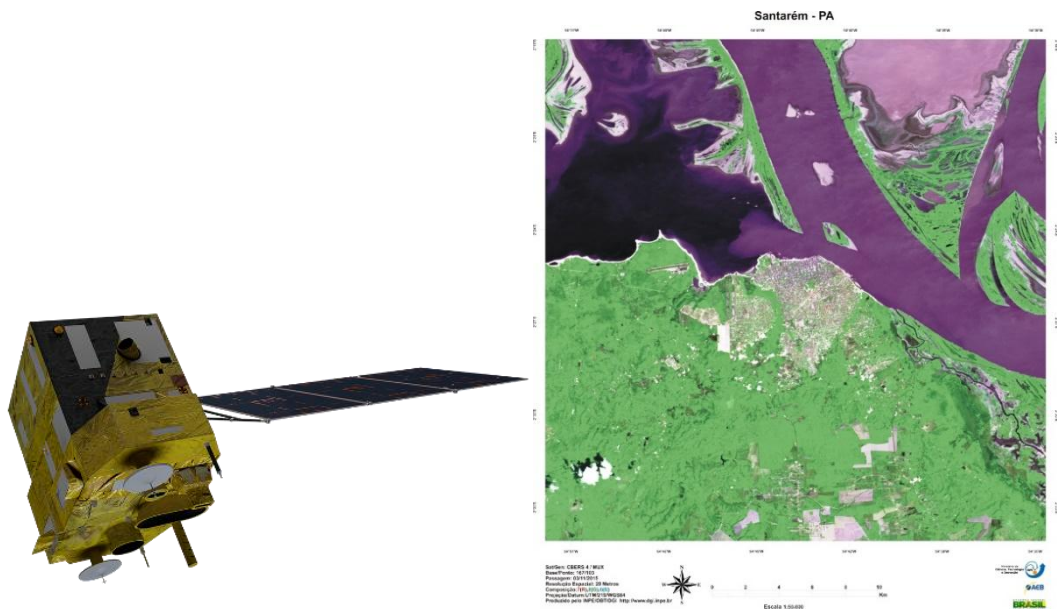
- c. *Extração de métricas das nuvens de pontos LiDAR*: a partir das nuvens de pontos LiDAR serão extraídas informações como o modelo digital do terreno (MDT), o modelo digital da superfície (MDS) e métricas relacionadas à estrutura da floresta, como altura das árvores, e diâmetro de copa. Para isso, são utilizados softwares como o FUSION (desenvolvido pelo Serviço Florestal – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos), o LAsTools (desenvolvido pela empresa Rapidlasso) e aplicações específicas desenvolvidas pelo grupo EBA.



- d. *Correlação entre dados LiDAR e dados de campo:* nessa etapa, as métricas extraídas das nuvens de pontos LiDAR são correlacionadas com as informações dendrométricas obtidas nas parcelas de inventário florestal em campo. Serão desenvolvidos modelos pela equipe EBA, assim como serão testados modelos desenvolvidos por outros grupos de pesquisa.

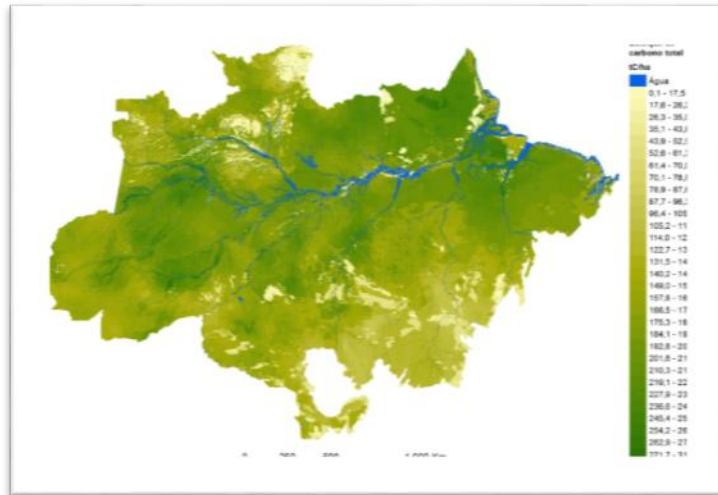


- e. *Inclusão de outras fontes de dados orbitais:* serão avaliadas ao longo do projeto as diferentes opções de imagens adquiridas a nível orbital, como aquelas dos sensores/satélites: WFI, MUX/[CBERS-4](#), OLI/LANDSAT-8; MODIS/TERRA; entre outros.



Satélite CBERS-4 e imagem do sensor WUX (FONTE: www.dgi.inpe.br)

- f. *Espacialização dos dados:* a partir da correlação estabelecida entre os dados LiDAR e parâmetros extraídos das imagens orbitais, será possível estimar informações de biomassa para toda a área do bioma Amazônia.



FONTE: Terceira Comunicação Nacional, 2016

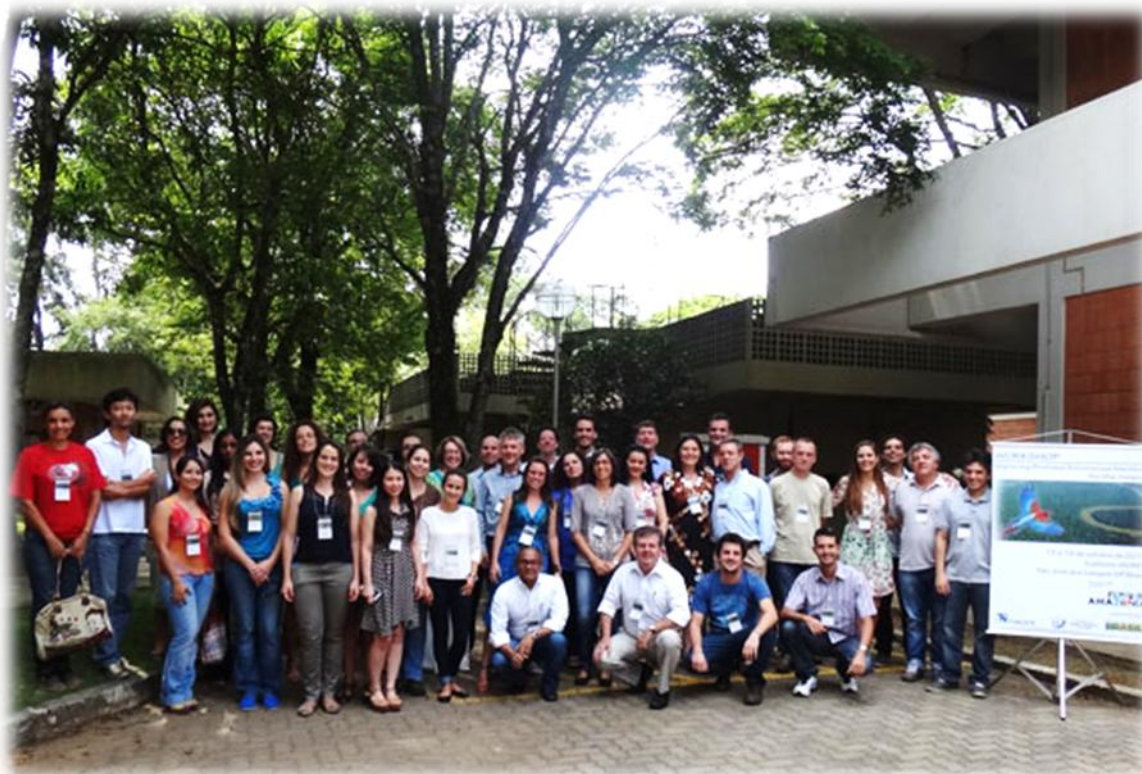
- g. *Contabilização dos outros componentes não arbóreos*: para a inclusão de outros componentes como madeira morta caída e em pé, serapilheira, palmeiras, cipós, sub-bosque e biomassa subterrânea na estimativa de biomassa total do mapa, vem sendo realizada a revisão bibliográfica de literatura científica. A partir da espacialização dos diferentes estudos sobre a região amazônica, pretende-se gerar informações regionalizadas a respeito da contribuição desses diferentes compartimentos de biomassa/carbono.



Imagens de sub bosque e madeira morta. Por: Mauro Assis

5. EVENTOS

Com a finalidade de interagir com especialistas em quantificação de biomassa florestal, processamento de dados LiDAR e aplicação de geoprocessamento para geração de mapas de biomassa, foi realizado o [I WIBEMA](#) (Workshop Improving Biomass Estimation Methods for the Amazon), em outubro de 2015. A programação e outros detalhes do evento podem ser encontrados na página do workshop.



O II WIBEMA está previsto para Novembro de 2016.

Como a tecnologia LiDAR é relativamente nova, o grupo EBA, em parceria com o Laboratório de Manejo Florestal do INPA, organizou o [EIBEMA](#) (Expedição Improving Biomass Estimation Methods for the Amazon), a fim de difundir os conhecimentos adquiridos e especializar os participantes. O curso teve duração de 10 dias e ocorreu na área experimental ZF-2, em Manaus. Durante o curso, vinte alunos puderam participar de atividades práticas em campo, além de terem sido oferecidas aulas teóricas e práticas. Maiores informações sobre o curso podem ser encontradas na página da expedição.



6. PROGRAMAÇÃO PHYTON

O grupo de programação em Python nasceu durante o EIBEMA (vide “Eventos”) e representa uma iniciativa daqueles que utilizam a tecnologia LiDAR para facilitar o manuseio e processamento de *Big Data*. Aqui estão disponibilizados alguns materiais importantes e maiores discussões podem ser encontradas [em site específico no GitHub](#).

7. EQUIPE

Jean Ometto (Coordenador)



Engenheiro Agrônomo, graduado pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) com especialização na França, mestre pela ESALQ/USP, doutor pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) e pós-doutor pela Universidade de Utah, EUA. Especialista em Ecologia de Ecossistemas com foco em dinâmicas e interações entre sistemas aquáticos, terrestres e atmosfera. É, atualmente, pesquisador titular e Coordenador do Centro de Ciências do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CST/INPE).

E-mail: jean.ometto@inpe.br

Bruna Elisa Zanchetta Leal



Possui graduação em Ciência da Computação pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP) (2007). Mestrado em Engenharia de Computação, departamento de Sistemas Digitais (DSD), pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP) (2010) e doutorado em Engenharia de Computação, DSD, POLI-USP (2016). Trabalha com desenvolvimento de sistemas computacionais desde 2007. No INPE, trabalhou com o grupo de Supervisão de Bordo (Subord) da Divisão de Eletrônica Aeroespacial (DEA-ETE), no desenvolvimento do software de monitoramento e controle de satélites (SMC), análise de requisitos de teste e simulações com o computador de bordo do satélite Amazonia-2. A sua área de atuação (ensino, pesquisa e projetos de desenvolvimento) inclui: desenvolvimento de algoritmos baseados em Lógica Fuzzy e Máquinas de Suporte Vetorial (SVM) para reconhecimento de padrões em imagens e Inteligência Artificial. Na equipe EBA, atua no desenvolvimento da interface do INPE-EM (Arcabouço de modelagem de emissões de gases do efeito estufa), do grupo EBA (Estimativa de biomassa na Amazônia).

Diego Sciammarella Lupion Montecin



Engenheiro da Computação formado pela Universidade Paulista (UNIP), de São José dos Campos, onde trabalhou no desenvolvimento de um braço robótico que espelhasse os movimentos do braço humano, usando o sensor Kinect da Microsoft. Trabalhou na Divisão de Eletrônica Aeroespacial (DEA) do INPE, em projetos de painel solar dos programas CBERS 3 & 4 e no projeto de cablagem para satélite na Plataforma de Multi-Missão (PMM) do satélite Amazônia-1. Na equipe EBA, pesquisa sobre os padrões de perda de biomassa na região amazônica.

E-mail: diego_slm@msn.com

Graciela Tejada



Possui graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Católica Boliviana San Pablo (2004), mestrado em Ciência da Geoinformação e Observação da Terra pela Universidade de Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (2008). Desde 2007 trabalha na quantificação de carbono em florestas e com mecanismos de mitigação de mudanças climáticas. De 2008 a 2010, trabalhou com projetos de REDD (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação) na Bolívia e na República dos Camarões pela Fundação Amigos da Natureza. Atuou no projeto AMAZALERT em 2010 e, em 2013, trabalhou na modelagem de desmatamento da Amazônia Boliviana até 2050. Atualmente, é estudante de doutorado do CCST, onde pesquisa sobre a heterogeneidade espacial e temporal da biomassa florestal da Amazônia brasileira com foco na modelagem das emissões de carbono por desmatamento através do modelo INPE-EM.

E-mail: gracielatejadap@gmail.com

Mauro Lúcio Rodrigues de Assis



Engenheiro agrícola pela UFV, com MBA em Gestão de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas. Trabalha há mais de 12 anos no desenvolvimento de sistemas para gestão de florestas. Participou de projetos deste tipo no Brasil, em outros países da América Latina e, na Europa, em países como Escócia, Alemanha e Letônia. Atualmente é aluno de mestrado em Computação Aplicada no INPE e trabalha como analista de dados LiDAR do projeto EBA. **E-mail:** assismauro@hotmail.com

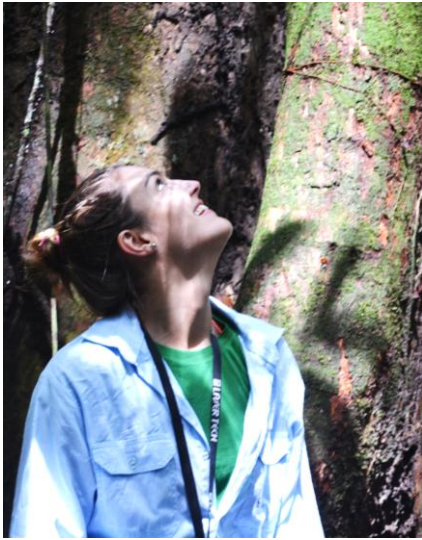
Pedro Valle de Carvalho e Oliveira



Graduou-se em Geografia pelo Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH). Possui Mestrado em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Trabalhou na produção do Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções de gases do efeito estufa - emissões no setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas. Foi colaborador do Geospatial Sciences Center of Excellence (GSCE) da South Dakota State University (SDSU), onde estudou sobre fenologia de superfície (Land Surface Phenology). Pesquisa temas ligados a sensoriamento remoto, geoprocessamento, análise espacial, biomassa/carbono de florestas e mudanças de uso e cobertura da terra. É um dos responsáveis por atualizar o mapa de biomassa da Amazônia a partir do uso da dados LiDAR.

E-mail: pedrovco@gmail.com

Roberta Zecchini Cantinho



Engenheira Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e estudante de MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Tem experiência em mapeamento de uso e cobertura da terra e florestas e na estimativa das emissões oriundas de suas mudanças. Trabalhou como consultora PNUD junto à equipe do MCTI na Terceira Comunicação Nacional de Gases de Efeito Estufa, no setor de mudança de uso e cobertura da terra e florestas (LULUCF). Na equipe EBA, é responsável pela gestão das atividades e pela revisão bibliográfica da contribuição dos diferentes componentes da biomassa florestal.

E-mail: robertazcantinho@hotmail.com

8. REFERÊNCIAS

MAPAS DE BIOMASSA

Baccini, A. et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon density maps. *Nat Clim Chang* 2(3):182–185, 2012.

Mitchard E. T. A.; Feldpausch, T. R.; Brienen, R. J. W. et al. Markedly divergent estimates of Amazon forest carbon density from ground plots and satellites. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 935–946, 2014.

Nogueira, E. M.; Fearnside, P. M.; Nelson, B. W.; Barbosa R. I.; Keizer, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*, 256, 1853–1867, 2008.

Nogueira, E. M.; Myanai, A.; Fonseca, F. O. R.; Fearnside, P. M. Carbon stock loss from deforestation through 2013 in Brazilian Amazonia. *Global Change Biology*, 21, 1271–1292, 2015. <http://doi.org/10.1111/gcb.12798>

Saatchi, S. S.; Houghton, R. A.; Dos Santos Alval, R. C.; Soares, Á. J. V.; Yu, Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Glob Chang Biol* 13(4):816–837, 2007.

Saatchi, S. S. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proc Natl Acad Sci U S A* 108(24):9899–9904, 2011.

APLICAÇÃO DE ALS

ASNER, G. P. et al. High-resolution mapping of forest carbon stocks in the Colombian Amazon. *Biogeosciences*, v. 9, n. 7, p. 2683-2696, 2012.

Asner, G. P.; Mascaro, J. Remote Sensing of Environment Mapping tropical forest carbon: Calibrating plot estimates to a simple LiDAR metric. *Remote Sensing of Environment*, 140, 614–624, 2014. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.023>

EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS

Brown, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer UN FAO Forestry Paper 134, Rome, pp 55, 1997. <http://www.fao.org/docrep/W4095E/W4095E00.htm>

Chambers, J. Q.; dos Santos, J.; Ribeiro, R. J.; Higuchi, N. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 152, 73–84, 2001.

Chave J, et al. (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87–99.

Higuchi, N.; dos Santos, J.; Ribeiro, R. J.; Minette, Y. B. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 28, 153–166, 1998.

Silva, R. P. Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM). PhD Thesis. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM, Brazil, 2007.

OUTROS

Hess, L. L.; Melack, J. M.; Affonso, A. G.; Barbosa, C. Wetlands of the Lowland Amazon Basin: Extent, Vegetative Cover, and Dual-season Inundated Area as Mapped with JERS-1 Synthetic Aperture Radar. *Wetlands*, 35, 745–756, 2015. <http://doi.org/10.1007/s13157-015-0666-y>

Ometto, J. P.; Aguiar, A. P.; Assis, T.; Soler, L.; Valle, P.; Tejada, G.; Lapola, D.M.; Meir, P. Amazon forest biomass density maps: tackling the uncertainty in carbon emission estimates. *Climatic Change*, 124, 545–560, 2014.