

## ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM FLORESTA DEGRADADA NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO MATO GROSSO A PARTIR DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Erone Ghizoni dos Santos<sup>1</sup>, Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>, Anderson Jorge<sup>1</sup>, Kaio Allan Gasparini<sup>1</sup>, Yhasmin Mendes de Moura<sup>2</sup>, Egidio Arai<sup>1</sup>, Valdete Duarte<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av. dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja, São José dos Campos - SP, 12227-010; eronegsantos@gmail.com, yosio@dsr.inpe.br, anderson.jorge@gmail.com, kaioallangasparini@gmail.com, egidio@dsr.inpe.br, valdete@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Lancaster LA1 4YQ, UK; yhas.mendes@gmail.com;

### RESUMO

Os eventos de degradação florestal causados por corte seletivo e fogo alteram constantemente a estrutura da florestal. Por isso, métodos para estimativa periódica de biomassa auxiliam nos cálculos das emissões derivadas de processos de degradação. O objetivo deste trabalho foi utilizar dados de sensoriamento remoto para estimar a biomassa florestal área total em duas cenas Landsat no estado do Mato Grosso. Com isso a área de estudo compreende a região abrangidas pelas cenas 226/68 e 226/69. Utilizou-se dados de campo, LiDAR e imagens orbital para realizar a estimativa de biomassa e obteve-se um  $R^2$  de 0,51 com estoque de 463,89 Tg para as duas cenas com uma biomassa média por hectare de  $70,28 \pm 61,89 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

**Palavras-chave** – biomassa, Mato Grosso, sensoriamento remoto, degradação.

### ABSTRACT

*The forest degradation caused by selective logging and fire change constantly the forest structure. For this reason, methods to estimate biomass periodically help to quantify emissions from degradation process. The aim of this work was to use remote sensing data to estimate aerial forest biomass in two Landsat scenes in Mato Grosso state. The study area is in Mato Grosso state in scene 226/68 and 226/69 location. It was used field data, LiDAR and orbital images to estimate biomass and the results showed a  $R^2 = 0.51$  and stock of 463.89 Tg in two scenes and the mean per hectare was  $70.28 \pm 61.89 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .*

**Keywords** – biomass, Mato Grosso, remote sensing, degradation.

### 1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais apresentam cerca de 30% das espécies de fauna e flora. A Amazônia legal no Brasil, abrange cerca de 59% do território e representa um terço das florestas tropicais do mundo.

No entanto, eventos de degradação como, corte seletivo, fogo e desmatamento vem afetando diretamente a estrutura e estoque de carbono deste ecossistema. Estima-se que entre 2000 e 2010 as emissões foram em torno de  $143 \pm 56 \text{ Tg C ano}^{-1}$  devido somente ao desmatamento [1].

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, por meio do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) mapeia o desmatamento na região da Amazônia legal desde 1988. Porém limita-se na abordagem do mapeamento de áreas degradadas.

Na literatura ainda há uma escassez de dados quanto as áreas degradadas e também as emissões derivadas de degradação (corte seletivo e fogo). Mais recentemente, [2] quantificaram as emissões brutas derivadas do fogo na Amazônia e esta contribui com cerca de  $989 \pm 504 \text{ Tg CO}_2 \text{ ano}^{-1}$ . Estima-se que as áreas degradadas nos trópicos compreendem uma área similar ou maior que as áreas já desmatadas. [3] mapearam os fluxos de carbono na região tropical e encontraram que a degradação contribui com aproximadamente 70% das emissões

As estimativas de biomassa em grandes áreas podem ser auxiliadas com o uso de imagens orbitais [4–6]. Além disso, os dados LiDAR contém informações da estrutura da floresta, melhorando as estimativas em florestas tropicais. [7, 8].

Os dados derivados das imagens orbitais como índices de vegetação, dados de textura e modelo linear de mistura espectral têm sido empregados em estudos que relacionam estas informações com parâmetros biofísicos [9, 10].

Boas estimativas de biomassa auxiliam os cálculos das emissões, por isso o desenvolvimento de técnicas que melhorem estas estimativas contribui para a geração de informações mais precisas e acuradas. O objetivo deste trabalho foi estimar a biomassa em duas cenas Landsat no estado do Mato Grosso utilizando dados de campo, dados LiDAR e dados ópticos orbital.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende as cenas Landsat referentes as órbitas/pontos 226/68 e 226/69 (Figura 1). Para a estimativa de biomassa foi utilizado dados de campo, dados LiDAR e imagens orbitais do sensor OLI (Operational Land Imager) abordo do satélite Landsat 8.

Os dados LiDAR utilizados foram adquiridos do Projeto Paisagens Sustentáveis os quais estão distribuídos ao longo da Amazônia Legal. Porém neste estudo utilizou-se somente os dados contidos nas áreas das cenas 226/68 e 226/69. Os dados de campo consistem em 17 parcelas de dimensões quadradas ( $50 \times 50 \text{ m}$ ) distribuídas ao longo das cenas.

As imagens orbitais utilizadas foram adquiridas do banco de dados do *United States Geological Survey* (USGS) já convertidas em reflectância de superfície (Produto: *Landsat Surface Reflectance Level-2 Science Products*) por meio do

algoritmo *Landsat Surface Reflectance Code* (LaSRC).

A biomassa nas áreas que possuem dados LiDAR foi calculada de acordo com a equação publicada por [11]. Na sequência, esta biomassa foi relacionada com as métricas derivadas das imagens orbitais, as quais consistem em: Índices de vegetação, dados de textura *Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) e imagens frações obtidas a partir do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME).

A validação foi realizada com os dados de campo pela técnica *Leave One Out* – LOO. Por fim, estimou-se a biomassa para toda a área compreendida pelas duas cenas Landsat.

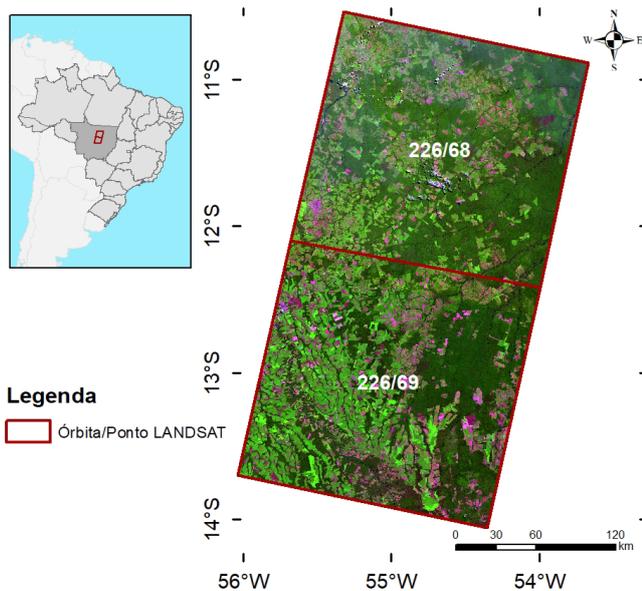


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A correlação entre a biomassa calculada a partir dos dados LiDAR e as métricas derivadas das imagens Landsat tornou possível estimar a biomassa total acima do solo aérea para as duas cenas. Com a validação cruzada apresentando um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,51 e *Root Mean Square Error* (RMSE) de  $57,06 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (47,99%).

O estoque de biomassa acima do solo total para a região compreendida pelas duas cenas Landsat é de aproximadamente  $463,89 \text{ Tg}$  com uma biomassa média por hectare de  $70,28 \pm 61,89 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Além disso, a biomassa ficou mais concentrada em torno de 120 e  $160 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Figura 2). O que difere bastante de áreas de floresta intacta em outras regiões da Amazônia, por exemplo em floresta intacta densa na porção sul amazônica os valores variam entre 298 a  $533 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  [12].

Além disso, destaca-se a classe de 0 a  $40 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  a qual representou cerca de 49% de toda a área, sendo que nesta classe estão as áreas onde não há floresta (Biomassa =  $0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Porém não é possível comparar de maneira direta com outras estimativas, como por exemplo o PRODES, pois além das áreas desmatadas nesta classe ainda estão as áreas de regeneração (biomassa maior que  $0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e também o

PRODES não realiza revisitas nas áreas onde uma vez houve o desmatamento.

As áreas com menor biomassa são um retrato da exploração e da degradação da floresta. No estado do Mato Grosso entre 2012 e 2013 a área de exploração de madeira aumentou 53%, cerca de  $303.585 \text{ ha}$  [13].

Nas áreas degradadas, o corte seletivo afeta a estrutura da floresta de maneira diferente daquelas áreas afetadas por fogo. Em geral, o corte seletivo remove as árvores de interesse econômico e de grandes dimensões. Além de que a derrubada e arresto causam a mortalidade de outros indivíduos. Enquanto o fogo, dependendo da intensidade, pode não atingir os maiores indivíduos. Além de que mesmo após 10 anos da sua ocorrência ainda se observa a mortalidade de indivíduos [14].

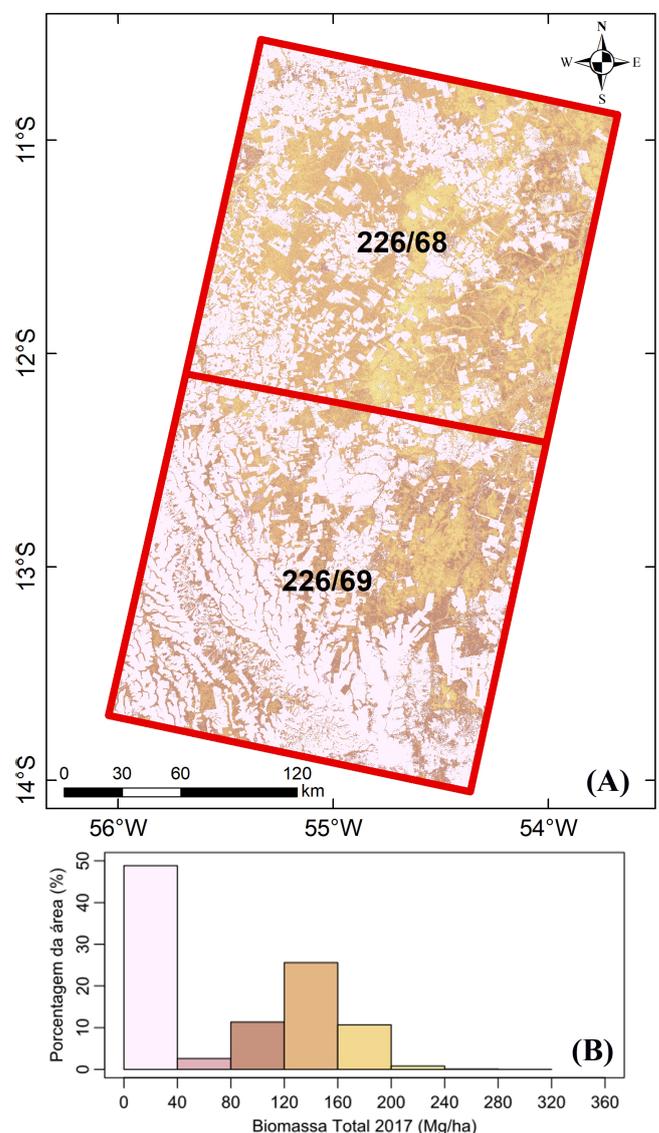


Figura 2: Distribuição da biomassa total acima do solo ao longo das cenas Landsat. Em (A) as imagens. Em (B) o histograma.

### 4. CONCLUSÕES

A utilização de dados de sensoriamento remoto, entre estes, imagens orbitais e dados LiDAR aerotransportado

possibilitam a estimativa de biomassa em floresta tropical. Além disso, a geração de índices de vegetação, dados de textura e imagens frações provenientes do MLME derivados a partir destas imagens permitem boas estimativas de biomassa. A avaliação dos resultados apresentou um  $R^2$  de 0,51 e RMSE de 47,99%.

A metodologia utilizada neste trabalho se mostrou satisfatória para a estimativa de biomassa ao longo de grandes áreas, principalmente com a utilização de dados LiDAR e imagens orbitais. Além de que o desenvolvimento de novas metodologias para a estimativa de biomassa pode contribuir para o cálculo das emissões de carbono, principalmente em áreas degradadas.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao projeto Paisagens Sustentáveis por compartilhar os dados LiDAR e a FAPESP (processo No.: 2016/19806-3) pelo financiamento da campanha para coleta dos dados de campo.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] SONG, X. P. et al. Annual carbon emissions from deforestation in the Amazon basin between 2000 and 2010. *PLoS ONE*, v. 10, n. 5, p. 1–21, 2015. ISSN 19326203.
- [2] ARAGÃO, L. E. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, Springer US, v. 9, n. 1, p. 1–12, 2018. ISSN 20411723. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>>.
- [3] BACCINI, A. et al. Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, v. 358, n. 6360, p. 230–234, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.aam5962>>.
- [4] SAATCHI, S. S. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 108, n. 24, p. 9899–9904, 2011. ISSN 0306400X.
- [5] SAATCHI, S. et al. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, v. 13, n. 4, p. 816–837, 2007. ISSN 13541013.
- [6] GOETZ, S. J. et al. Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: A comparison of methods. *Carbon Balance and Management*, v. 4, p. 1–7, 2009. ISSN 17500680.
- [7] HYYPPÄ, J. et al. Review of methods of small - footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, n. 5, p. 37–41, 2008.
- [8] STEPHENS, P. R. et al. Airborne scanning LiDAR in a double sampling forest carbon inventory. *Remote Sensing of Environment*, Elsevier B.V., v. 117, p. 348–357, 2012. ISSN 00344257. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.009>>.
- [9] ECKERT, S. Improved forest biomass and carbon estimations using texture measures from worldView-2 satellite data. *Remote Sensing*, v. 4, n. 4, p. 810–829, 2012. ISSN 20724292.
- [10] LU, D. et al. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. *Forest Ecology and Management*, v. 198, n. 1-3, p. 149–167, 2004. ISSN 03781127.
- [11] LONGO, M. et al. Aboveground biomass variability across intact and degraded forests in the Brazilian Amazon. *Global Biogeochemical Cycles*, p. 1–22, 2016.
- [12] CUMMINGS, D. L. et al. Aboveground biomass and structure of rainforests in the southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, v. 163, n. 1-3, p. 293–307, 2002. ISSN 03781127.
- [13] SILGUEIRO, V. et al. Mapeamento da ilegalidade na exploração madeireira entre agosto de 2012 e julho de 2013. *Transparência Florestal Mato Grosso*, v. 5, n. 4, p. 12, 2015.
- [14] SATO, L. et al. Post-Fire Changes in Forest Biomass Retrieved by Airborne LiDAR in Amazonia. *Remote Sensing*, v. 8, n. 10, p. 839, 2016.