

MAPEAMENTO EXPEDITO DE COBERTURA FLORESTAL DA AMÉRICA DO SUL POR MEIO DE IMAGENS-FRAÇÃO DERIVADAS DO SENSOR VIIRS

Edson Eyji Sano ¹, Egidio Arai ², Yosio Edemir Shimabukuro ², Gustavo Bayma ³, Gabriel Máximo da Silva ²

¹ Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, CEP: 73301-970, edson.sano@embrapa.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, CEP: 12227-010, egidio.arai@inpe.br, yosio.shimabukuro@inpe.br, gabriel.maximo@inpe.br

³ Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, CEP: 13918-110, gustavo.bayma@embrapa.br

RESUMO

Este artigo apresenta um novo método para mapear rapidamente a cobertura florestal na América do Sul utilizando imagens-fração derivadas dos dados do sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS). Foram selecionadas séries temporais de 2012 a 2022 disponíveis na plataforma Google Earth Engine (GEE). As imagens-fração anuais foram geradas com base nos *endmembers* de frações de vegetação, solo e sombra. Uma técnica de limiarização foi aplicada a essas imagens, considerando que áreas florestadas normalmente exibem proporções medianas de vegetação e sombra e baixas proporções de solo, enquanto áreas não-florestadas geralmente apresentam baixas proporções de vegetação e sombra, e altas proporções de solo. Foi encontrado um total de 7.933.000 km² de florestas na América do Sul, predominantemente no Brasil (54,4%) e na Colômbia (10,8%). O método proposto permite uma abordagem rápida de avaliação da cobertura florestal para análises globais.

Palavras-chave — séries temporais, modelo linear de mistura espectral, uso e cobertura da terra.

ABSTRACT

This article presents a new method for rapidly mapping forest cover in South America using fraction images derived from the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) datasets. We selected the VIIRS time series from 2012 to 2022 available on the Google Earth Engine (GEE) platform. Annual fraction images were generated based on endmembers of vegetation, soil, and shade fractions. A thresholding approach was applied to these images, considering that forested areas typically exhibit median proportions of vegetation and shade and low soil proportions while no-forested areas generally show low vegetation and shade proportions and high soil proportions. We found a total of 7,933,000 km² of forests in South America, predominantly in Brazil (54.4%) and Colombia (10.8%). The proposed method offers a rapid approach of assessing forest cover for global analyses.

Key words — *time series, linear spectral mixing model, land use and land cover.*

1. INTRODUÇÃO

Vários estudos e aplicações operacionais envolvendo cobertura florestal têm-se baseado no índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) por causa da sua formulação matemática simples e da sua capacidade de descrever as propriedades biofísicas da vegetação [1]. No entanto, as limitações do NDVI, especialmente quanto à saturação ao estimar parâmetros estruturais da vegetação em dosséis densos, são amplamente conhecidas [2-3].

As imagens derivadas de modelos lineares de mistura espectral (MLME), os quais expressam frações de vegetação e outros alvos como solos e sombras, podem superar algumas limitações dos índices de vegetação. As frações de vegetação oferecem uma representação física das condições de vegetação e são menos susceptíveis à saturação ao representar copas densas, em comparação com o NDVI [4].

Em outubro de 2011, foi lançado o sensor *Visible Infrared Imager Radiometer Suite* (VIIRS) a bordo do satélite *Suomi National Polar-Orbiting Partnership* (Suomi-NPP) com o intuito de dar continuidade à aquisição de dados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) [5]. Os dados do VIIRS são adquiridos em cinco bandas I, com resolução espacial de 375 m a nadir, e 16 bandas M, com resolução espacial de 750 m a nadir, em diferentes periodicidades (diária, 8 dias, 16 dias, mensal e anual) e disponibilizados em tamanhos de pixels de 500 m, 1 km, e 5,6 km (0,05 graus). Passados 13 anos desde o seu lançamento, já se pode afirmar que há disponível uma série temporal consistente que permite análises de mudanças ou manutenção de uso e cobertura da terra de diferentes regiões, principalmente em escalas nacionais e continentais.

Este trabalho objetivou apresentar um método para mapear, de forma expedita, a cobertura florestal da América do Sul. Para isso, foi utilizada uma abordagem de limiarização aplicada a imagens-fração de vegetação, solo e sombra, derivadas de dados adquiridos pelo sensor VIIRS nas bandas I, disponibilizadas com tamanho de

pixel de 500 m e reamostradas para 1 km neste estudo. Nesse continente, observam-se as maiores taxas de cobertura florestal e uma das mais altas taxas de desmatamento do mundo [6].

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo é o continente da América do Sul que abrange aproximadamente 18 milhões de km², está localizado entre as latitudes 11° N e 55° S e longitudes entre 34° W e 82° W, e engloba 12 países diferentes. Devido à diversidade das condições físicas do continente, a vegetação que cobre a região é bastante variada, com 51% dessa área coberta por florestas, principalmente na bacia amazônica [7-8]. A cobertura vegetal é complexa, principalmente nos planaltos e nas áreas com diferenças acentuadas na precipitação. Além disso, o continente enfrenta uma acelerada expansão da ocupação humana. De acordo com Zalles et al. [9], a conversão de coberturas naturais para coberturas antropizadas aumentou em 2,68 milhões de km² no período de 1985 a 2018.

2.2. Métodos

A Figura 1 mostra o fluxograma das principais etapas do trabalho. Neste estudo, foram selecionados os produtos denominados de VNP09GA Versão 1 [10] que fornecem estimativas de reflectância da superfície terrestre nas bandas I1 (0,640 µm, vermelho), I2 (0,865 µm, infravermelho próximo) e I3 (1,61 µm, infravermelho de ondas curtas) com um tamanho de pixel de 500 m, além de nove bandas (M1-M5, M7, M8, M10 e M11) com tamanho de pixel de 1 km, corrigidas para efeitos de gases moleculares e aerossóis. Os dados diários do produto VNP09GA foram utilizados para compor os mosaicos anuais (medianas) de todo o continente sul-americano, no período de 2012 a 2022, utilizando a plataforma Google Earth Engine (GEE).

As cenas obtidas pelas bandas I1, I2 e I3 foram filtradas com base nas informações da banda *Quality Flag* (QF) para minimizar os efeitos das nuvens em cada imagem diária. As bandas de reflectância de superfície do produto mensal de 500 m, reamostradas para 1 km, referentes ao período de 2012 a 2022, foram utilizadas para compor mosaicos anuais de junho a outubro, os quais serviram de parâmetros de entrada do MLME [11] para produzir as imagens fracionadas. As imagens-fração geradas foram processadas pelo algoritmo de classificação baseado no método do paralelepípedo, considerando os limiares que separam as áreas florestadas de outros tipos de uso e cobertura da terra [12].

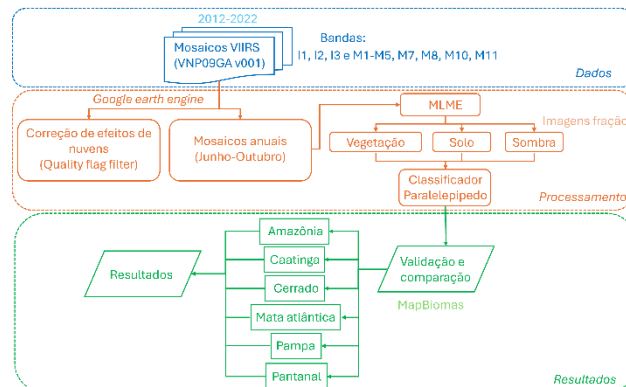


Figura 1. Fluxograma das principais etapas de trabalho deste estudo.

Neste estudo, as áreas com floresta estacionais, decíduas e semi-decíduas, manguezais, restingas arborizadas e reflorestamentos artificiais (por exemplo, plantios de eucalipto) foram consideradas como pertencentes à classe florestal. Por outro lado, as áreas de savanas arborizadas e savanas arbóreo-arbustivas foram consideradas como não pertencentes à classe florestal. Os resultados obtidos foram comparados com os dados disponibilizados pelo Projeto MapBiomas [13] para os seis biomas brasileiros.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a composição colorida RGB das bandas I1, I2 e I3 do sensor VIIRS para a América do Sul, juntamente com o mapeamento das áreas florestais do continente. Foi encontrado um total de aproximadamente 7.933.000 km² de cobertura florestal em todo o continente sul-americano (Figura 3). Esse valor corrobora o total de cobertura florestal de 8.240.000 km² encontrado por Eva et al. [14] para a mesma área de estudo e que foi baseado em 1.600 imagens de satélites adquiridas por três diferentes sensores: *Along Track Scanning Radiometer*; *Spot Vegetation*; e *Operational Line-scan System*.

Conforme esperado, os países equatoriais (Brasil, Colômbia, Peru e Venezuela) apresentaram as maiores áreas florestadas em termos de valores absolutos. Por outro lado, o Paraguai e o Uruguai, localizados no extremo sul do continente e ocupados predominantemente por formações campestres (pampas e chacos), apresentaram as menores coberturas florestadas.

Na Figura 4, são apresentados os cálculos de áreas florestadas para os seis biomas brasileiros. Houve destaque para o bioma Amazônia, que apresentou 3,47 milhões de km² de cobertura florestal, seguido pela Mata Atlântica, com 438 mil km². Em comparação com os dados do MapBiomas, houve uma ligeira tendência do VIIRS em superestimar os valores de floresta, exceto para o bioma Cerrado.

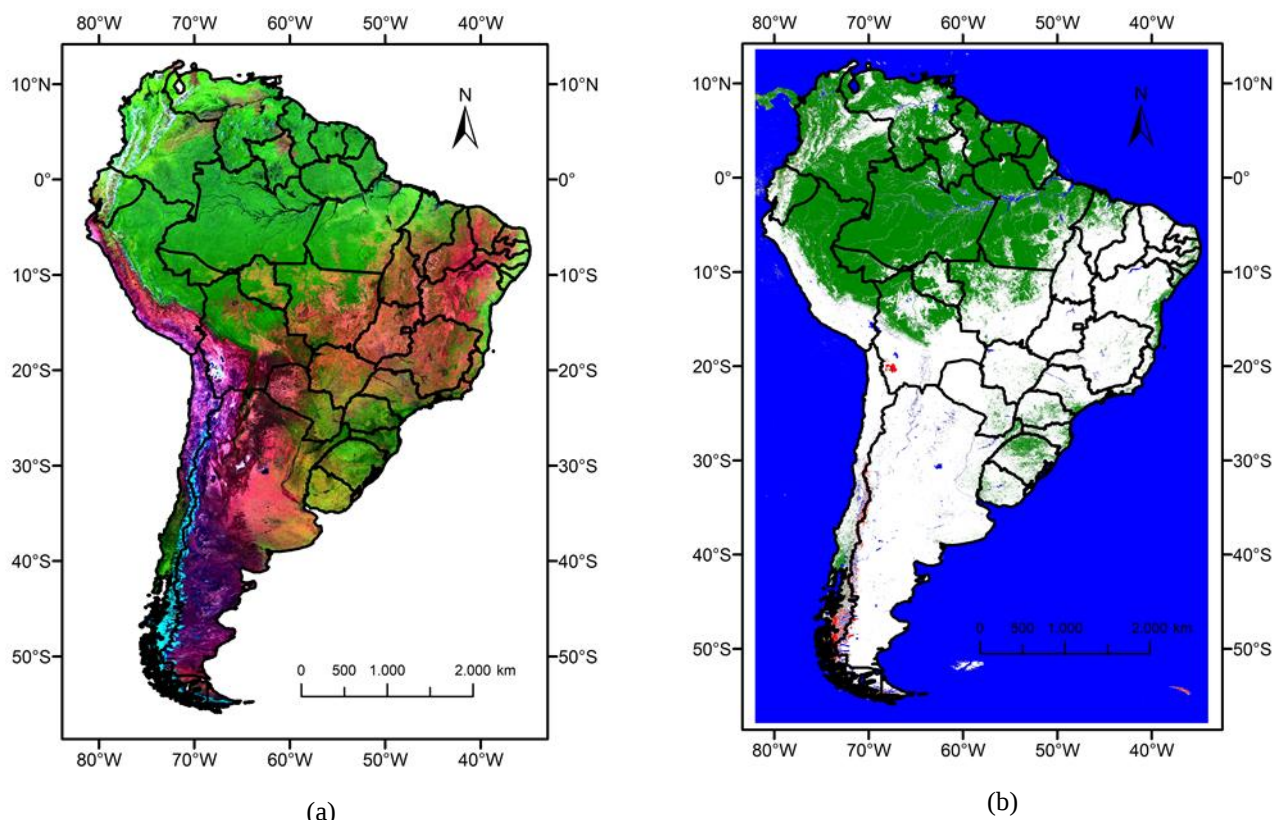


Figura 2. Composição colorida RGB das bandas I1 (faixa espectral do vermelho), I2 (infravermelho próximo) e I3 (infravermelho médio) do sensor VIIRS da América do Sul (a) e as correspondentes áreas de florestas, estimadas pelas imagens-fração (b).



Figura 3. Cálculo de áreas ocupadas (em km²) por cobertura florestal na América do Sul.

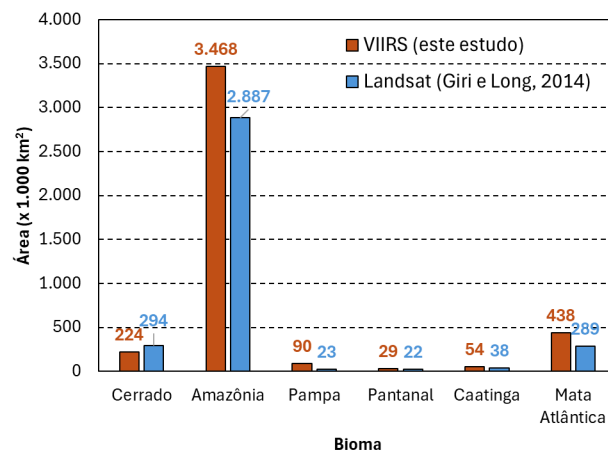


Figura 4. Cálculo de áreas ocupadas por cobertura florestal nos seis biomas brasileiros. Os resultados obtidos também foram comparados com os dados disponibilizados pelo Projeto MapBiomass.

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicaram que os dados do sensor VIIRS processados pelo modelo linear de mistura espectral permitem mapear as áreas de cobertura florestal

com rapidez e boa acurácia. Trabalhos futuros podem incluir a avaliação do potencial deste sensor para detecção de mudanças rápidas causadas por atividades antrópicas e eventos climáticos extremos.

5. REFERÊNCIAS

- [1] A. Huete, K. Didan, T. Miura, E. Rodriguez, X. Gao, and L. Ferreira. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, p. 195–213, 2002.
- [2] F. Baret, and G. Guyot. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, v. 35, p. 161–173, 1991.
- [3] X. Gao. Optical–biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*, v. 74, p. 609–620, 2000.
- [4] A. J. Elmore, J. F. Mustard, S. J. Manning, and D. B. Lobell. Quantifying vegetation change in semiarid environments. *Remote Sensing of Environment*, v. 73, p. 87–102, 2000.
- [5] C. O. Justice, M. O. Román, I. Csizar, E. F. Vermote, R. E. Wolfe, and et al. Land and cryosphere products from Suomi NPP VIIRS: Overview and status. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 118, p. 9753–9765, 2013.
- [6] C. Giri, and J. Long. Land cover characterization and mapping of South America for the year 2010 using Landsat 30 m satellite data. *Remote Sensing*, v. 6, p. 9494–9510, 2014.
- [7] D. M. Olson, E. Dinerstein, E. D. Wikramanayake, N. D. Burgess, G. V. N. Powell, et al. Terrestrial ecoregions of the world : A new map of life on Earth. *Bioscience*, v. 51, p. 933–938, 2001.
- [8] J. L. S. Ross. O relevo brasileiro no contexto da América Do Sul. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 61, p. 21–58, 2016.
- [9] V. Zalles, M. C. Hansen, P. V. Potapov, D. Parker, S. V. Stehman, et al. Rapid expansion of human impact on natural land in South America since 1985. *Science Advances*, v. 7, eabg1620, 2021.
- [10] E. Vermote. *VNP09GA v001. VIIRS/NPP surface reflectance daily L2G global 1 km and 500 m SIN grid*. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/products/vnp09gav001/>>. Acesso em: 23 fevereiro 2023.
- [11] Y. E. Shimabukuro, and J. A. Smith. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 29, p. 16–20, 1991.
- [12] L. A. K. Mertes, D. L. Daniel, J. M. Melack, B. Nelson, L. A. Martinelli, and B. R. Forsberg. Spatial patterns of hydrology, geomorphology, and vegetation on the floodplain of the Amazon River in Brazil from a remote sensing perspective. *Geomorphology*, v. 13, p. 215–232, 1995.
- [13] MapBiomass. *MapBiomass v.9.0*. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 07 outubro 2024.
- [14] H. D. Eva, A. S. Belward, E. E. Miranda, C. M. Bella, V. Gond, O. Huber, S. Jones, M. Sgrenzaroli, and S. Fritz. A land cover map of South America. *Global Change Biology*, v. 10, p. 731–744, 2004.