



ARTIGO

# TECNOLOGIA DE OBSERVAÇÃO DA TERRA POR SATÉLITE PARA O MONITORAMENTO DOS BIOMAS BRASILEIROS

POR

Lubia Vinhas, Claudio A. Almeida, Karine R. Ferreira

[lubia.vinhas@inpe.br](mailto:lubia.vinhas@inpe.br), [claudio.almeida@inpe.br](mailto:claudio.almeida@inpe.br), [karine.ferreira@inpe.br](mailto:karine.ferreira@inpe.br)

A tecnologia de observação da superfície da Terra por satélites desempenha um papel crucial no acompanhamento das metas e indicadores dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, na medida em que fornece informações sobre o estado da atmosfera, oceanos, das terras firmes e da criosfera, de maneira sistemática e expedita. Isso torna possível acompanhar as mudanças no planeta, fornecendo dados e evidências, direta ou indiretamente,

para apoiar políticas públicas e atividades dos diversos setores da sociedade.

Os primeiros sistemas orbitais de sensoriamento remoto começaram a ser desenvolvidos na década de 1960, voltados principalmente para aplicações relacionadas à meteorologia. O satélite americano Landsat 1 carregando o *Multispectral Scanner Sensor* (MSS), lançado em 1972, é considerado o primeiro satélite com o objetivo específico de estudar e monitorar a terra firme do planeta. Atualmente, mais de

150 satélites de observação da Terra estão operacionais, com sensores que medem diferentes intervalos do espectro eletromagnético, do visível ao micro-ondas. A maioria dos sensores em órbita são chamados de passivos, pois medem a radiação solar refletida ou a energia térmica emitida pela superfície ou atmosfera da Terra. Existem ainda os sensores chamados de ativos, que emitem energia e registram a resposta refletida ou retroespalhada. As feições e características da superfície afetam a reflexão da energia e assim são inferidas a partir das medidas obtidas pelos sensores.

As imagens de sensoriamento remoto são insumos para aplicações na área ambiental, como a quantificação de parâmetros biofísicos e a execução de mapeamentos do uso e cobertura da Terra em diferentes escalas. Elas são caracterizadas por quatro parâmetros chamados de resolução, que dependem das características dos sensores. A resolução espacial indica o tamanho da menor área do terreno que gera uma medida do sensor, e reflete o grau de detalhamento das feições na imagem (quanto maior a resolução maior é o detalhamento); a resolução temporal indica o tempo decorrido entre a obtenção de duas imagens do mesmo ponto; a resolução espectral se refere a capacidade do sensor de distinguir diferentes intervalos do espectro eletromagnético, as bandas; finalmente, a resolução radiométrica se refere ao número de bits usados para codificar os valores na imagem.

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) foi responsável pela construção, lançamento e operação dos satélites *China-Brazil Earth Resource*

*Satellite*, CBERS-1, CBERS-2, CBERS-3, CBERS-4, e CBERS-4A, feitos em cooperação com a China, e também do satélite Amazônia-1 construído somente pelo Brasil. O CBERS-4, o CBERS-4A (<http://www.cbbers.inpe.br/>) e o Amazônia-1 (<http://www.inpe.br/amazonia1/>) estão operacionais e carregam sensores ópticos. As imagens geradas pelos satélites brasileiros operados pelo INPE podem ser usadas sem custos ou restrições. Elas podem ser selecionadas e baixadas através do portal <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore> ou através de interfaces baseadas em protocolos abertos por programação. Em 2022, o INPE começou a implementar a construção de um repositório espelho de dados dos satélites Sentinel-1 e Sentinel-2 operados pela Agência Espacial Europeia (ESA) (<https://sentinels.copernicus.eu>), para ampliar a colaboração com a União Europeia em atividades relacionadas a observação da Terra e aumentar a disponibilidade desses dados para a comunidade brasileira. Além disso, também visa desenvolver e gerar outros dados secundários e produtos derivados de interesse dos pesquisadores.

O grande volume de imagens de sensoriamento remoto disponíveis sem ou com baixo custo requer uma mudança no fluxo de trabalho para o processamento e extração de informações desses repositórios. Ao invés da seleção e cópia de poucas imagens para computadores individuais para serem processadas, a tendência atual é a construção de repositórios de dados prontos para análise em ambientes de computação em nuvem, que oferecem ferramentas de processamento para obtenção do produto final. Dentro desse paradigma,



destaca-se o conceito de “cubo de dados”, que genericamente se refere a uma matriz de múltiplas dimensões para organizar os dados, simplificando o seu gerenciamento e potencialmente melhorando o desempenho de consultas e análises sobre eles. Nos cubos de dados de imagens, as dimensões mínimas são a localização espacial (por exemplo, latitude e longitude), temporal, e uma ou mais dimensões referentes aos valores das imagens (por exemplo, as bandas espectrais ou outros índices criados a partir de bandas originais).

O projeto Brazil Data Cube (BDC), desenvolvido pelo INPE, está produzindo cubos de imagens de sensoriamento remoto de média resolução, como as do CBERS-4, CBERS-4A e Sentinel 2, para todo o território nacional. Além disso, desenvolve uma plataforma para processá-los. O portal do projeto, disponível em <http://www.brazil-datacube.org>, é o ponto de acesso a todos os produtos produzidos pelo projeto [1].

### **Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra**

A cobertura da Terra se refere à identificação do tipo de cobertura, natural ou artificial, em uma unidade geográfica, é o que se pode observar nas imagens de sensoriamento remoto. O uso da Terra refere-se aos arranjos, atividades e na forma como a área é ocupada. Os dois termos são relacionados e usados concomitantemente na definição de temas, ou classes, atribuídos a segmentos homogêneos do terreno, que resultam em mapas de uso e cobertura. Os mapas de uso e cobertura são importantes para a mensuração dos indicadores relacionados às metas dos Objetivos do Desen-

volvimento Sustentável, por exemplo no caso do ODS 15 – Vida Terrestre –, que tem como uma de suas metas a conservação dos ecossistemas e como um indicador a proporção de área florestal na área total do território.

O INPE atua desde 1988 na produção de dados sobre a cobertura dos biomas brasileiros, executando projetos de mapeamento para atender diferentes objetivos. O DETER gera diariamente alertas de degradação e desmatamento nos biomas Cerrado e Amazônia; o PRODES, Projeto de Monitoramento de Desmatamento por Satélite, faz o mapeamento da perda da vegetação natural nos biomas brasileiros anualmente [2]. Já o TerraClass, conduzido pelo INPE e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), faz o mapeamento do uso pós-desmatamento nos biomas Amazônia e Cerrado com uma frequência bienal ([www.terraclass.org](http://www.terraclass.org)). A Figura 1 mostra dois exemplos de mapas produzidos pelo PRODES e pelo TerraClass.

As metodologias para geração de mapas de uso e cobertura, a partir de imagens de observação da Terra, evoluíram desde a interpretação visual por especialistas de um conjunto limitado de imagens até o uso de algoritmos semiautomáticos e automáticos. Hoje, essas metodologias podem ser implementadas para processar os mega volumes de dados de imagens em plataformas de nuvem. Nos últimos anos, as técnicas de aprendizado de máquina têm sido exploradas e aprimoradas para a produção de mapeamentos mais precisos, mais detalhados e mais frequentes [3].



(A)



(B)

**FIG. 01 | EXEMPLOS DE MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA PRODUZIDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE IMAGENS: (A) MAPA DE ÁREAS DESMATADAS DESDE 1988, NO BIOMA AMAZÔNIA E B) MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO NO BIOMA CERRADO, EM 2020, PRODUZIDO PELO PROJETO TERRACLASS. FONTE: EXTRAÍDO DE [HTTP://TERRABRASILIS.DPI.INPE.BR](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br) (A) [HTTP://WWW.TERRACLASS.ORG](http://www.terraclass.org) (B).**

Os projetos de monitoramento sistemático do INPE acompanham a evolução científica e tecnológica nessas áreas, aprimorando as metodologias usadas na geração dos dados pelos quais são responsáveis. Especialmente com o processamento de séries temporais de imagens, que explicitam melhor feições espaciais e perfis temporais, os quais são usados para caracterizar os diferentes usos e coberturas da Terra. Essas características são exploradas nas metodologias de mapeamento dos projetos do INPE como no caso do DETER [4] e do TerraClass [5].

Concluindo, o INPE investe em todos os aspectos necessários para o cumprimento de sua missão como produtor de dados sobre o uso e a cobertura dos biomas brasileiros, utilizando dados de observação da Terra. O INPE desenvolve e

opera satélites de sensoriamento remoto além de ter sido pioneiro na implementação de uma política de distribuição de imagens sem custos ou restrições de uso, garantindo o acesso a imagens orbitais para o desenvolvimento de seus projetos bem como para toda a comunidade interessada. Também investe em pesquisa e desenvolvimento em geoinformática, com um conjunto de sistemas de informação geográfica também distribuídos sem custos ou restrições. E atualmente, continua avançando na sua infraestrutura computacional para o desenvolvimento e aprimoramento de algoritmos e métodos mais modernos de processamento de big data [6]. E por fim, incorpora esses desenvolvimentos em seus projetos, contribuindo para a soberania tecnológica do país nessa temática.

## Referências

1. FERREIRA, K. R. et al. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. *Remote Sensing*, v. 12, n. 24, p. 4033, 9 dez. 2020.
2. ALMEIDA, C. A. et al. Metodologia para Monitoramento da Floresta usada nos projetos Prodes e Deter. São José dos Campos: Inpe, 2021. 27p. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34R/443GTAS>>.
3. TALUKDAR, S. et al. Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations—A Review. *Remote Sensing*, v. 12, n. 7, p. 1135, 2 abr. 2020.
4. DOBLAS, J. et al. DETER-R: An Operational Near-Real Time Tropical Forest Disturbance Warning System Based on Sentinel-1 Time Series Analysis. *Remote Sensing*, v. 14, n. 15, p. 3658, 30 jul. 2022.
5. <http://www.brazildatacube.org/terraclass-cerrado-lanca-mapeamento-produzido-com-tecnologias-e-dados-do-projeto-brazil-data-cube/>
6. SIMÕES, R., et al. Satellite image time series analysis for big earth observation data. *Remote Sensing* v.13, n. 13, p. 2428, 2021.



**LUBIA VINHAS** é pesquisadora sênior no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). É doutora em geoinformática pelo INPE, docente do curso de Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (CAP-INPE). Foi Coordenadora-Geral de Observação da Terra e atualmente é coordenadora do projeto Base de Informações Georreferenciadas.



**CLAUDIO ALMEIDA** é tecnologista sênior do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. É doutor em Geomática pela Université de Montpellier. Foi Chefe do Centro Regional da Amazônia. Atualmente é Coordenador do programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas do INPE.



**KARINE REIS FERREIRA** é doutora em Computação Aplicada e trabalha no INPE com pesquisa e desenvolvimento em Geoinformática. É docente do curso de pós-graduação em Computação Aplicada do INPE e coordenadora do projeto Brazil Data Cube (<http://brazildatacube.org/>), liderando pesquisa e desenvolvimento em processamento de grandes volumes de cubos de dados de observação da Terra e em análise de séries temporais de imagens.