

Modelagem de paisagens através de dados de sensoriamento remoto para o centro e oeste baiano, Brasil

Landscape modeling through remote sensing data for central and western Bahia, Brazil

Modelado del paisaje mediante datos de teledetección para el centro y oeste de Bahía, Brasil

Luciel Passos de Oliveira  

Universidade Federal da Bahia - UFBA, Salvador (BA), Brasil

lucielpassos@gmail.com

Uilmer Rodrigues Xavier da Cruz  

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte (MG), Brasil

uilmer@ufmg.br

Resumo

Este estudo apresenta uma discussão sobre a modelagem espacial de paisagens mediante o uso de técnicas de sensoriamento remoto, abordando, inicialmente, uma discussão conceitual sobre os temas de modelagem, sensoriamento remoto e paisagens. O estudo apresenta como questão de pesquisa: como representar a diversidade de paisagens com seus componentes ambientais sensíveis a ações antrópicas no Centro e também no Oeste baiano? Diante dessa questão, a pesquisa possui como objetivo geral: representar os pontos com maior vulnerabilidade ambiental na área de estudo. A área de estudo desta pesquisa corresponde à porção central agregada ao Oeste do território do estado da Bahia. Por meio de procedimentos como sensoriamento remoto e processamento digital de imagens, foi possível alcançar, como resultados, a geração e a quantificação de um modelo representativo dos aspectos de cobertura da terra. Esse modelo possibilitou análises e posteriores recomendações para questões ambientais inerentes à realidade da área investigada.

Palavras-chave: Índices de vegetação. Morfologia. Geotecnologias e Ambientes.

Abstract

This study presents a discussion about the spatial modeling of landscapes through the use of remote sensing techniques. Initially presenting a conceptual discussion on the themes modeling, remote sensing and landscapes. The study brings as a question of research: how to represent the diversity of landscapes with their environmental components sensitive to



anthropic actions in the center and also west Baiano? -Given this issue, the research has as its general objective: - represent the points with the highest environmental vulnerability. The study area of this research corresponds to the areas located in the central portion added to the west of the territory of the state of Bahia. Through procedures with remote sensing and digital image processing, it was possible to achieve the result to generate and quantify a representative model for the aspects of land cover which enabled analysis and subsequent recommendations for environmental issues inherent to the reality of the investigated area.

Keywords: Vegetation index. Morphology. Geotechnologies and environments.

Resumen

Este estudio presenta una discusión sobre el modelado espacial de paisajes mediante el uso de técnicas de teledetección, abordando inicialmente una discusión conceptual sobre los temas de modelado, teledetección y paisajes. El estudio presenta como pregunta de investigación: ¿cómo representar la diversidad de paisajes con sus componentes ambientales sensibles a las acciones humanas en el Centro y también en el Oeste de Bahía? Frente a esta problemática, el objetivo general de la investigación es representar los puntos de mayor vulnerabilidad ambiental en el área de estudio. El área de estudio de esta investigación corresponde a la porción central agregada al Oeste del territorio del estado de Bahía. A través de procedimientos como la teledetección y el procesamiento digital de imágenes, se logró lograr, como resultados, la generación y cuantificación de un modelo representativo de aspectos de cobertura del suelo. Este modelo permitió realizar análisis y posteriores recomendaciones sobre cuestiones ambientales inherentes a la realidad de la zona investigada.

Palabras-clave: Índices de vegetación. Morfología. Geotecnologías y Ambientes.

Introdução

Vivemos uma era marcada por diversas tecnologias, principalmente aquelas destinadas à investigação das questões ambientais, como as geotecnologias. Nesse cenário, Ângelo (2015) afirma que o desafio atual da representação de dados espaciais consiste na petição computacional da dinâmica dos processos territoriais. Assim, essas ações vão além da simples inserção de uma série temporal nos bancos de dados computacionais; o desafio é transformar esses sistemas, essencialmente estáticos, em ferramentas capazes de prover representações realistas de processos “espaço-temporais” (Burrough, 1998). Dessa forma, isso ocorre mediante a compreensão de fatores e leis que governam a dinâmica a ser observada na paisagem, especialmente quando esta for o tema principal da investigação que emprega as geotecnologias (Lana, 2009; Pedrosa, 2004; Ângelo, 2015).

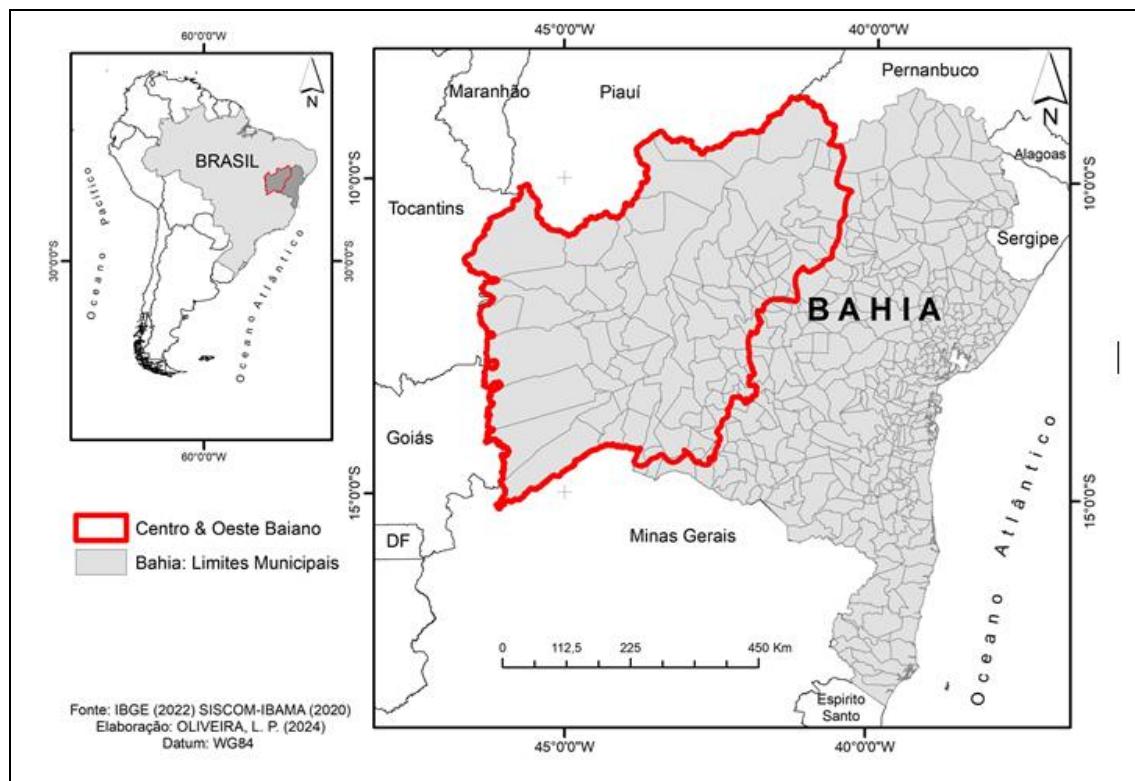
No conjunto das geotecnologias e da modelagem, para este estudo, trazemos o sensoriamento remoto, que pode ser definido de forma ampla como uma das maneiras de adquirir informações sobre um objeto ou alvo na superfície da Terra, sem que haja

contato físico com ele (Barros et. al.; 2016). Os sensores remotos possibilitam coletar energia originada do objeto na superfície, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-la de forma adequada para a extração de informações. Esta tecnologia vem sendo utilizada em várias áreas do conhecimento, devido à possibilidade de obter uma grande quantidade de informações a respeito de uma área ou de um ecossistema em diferentes momentos, com baixo custo, em comparação com outras formas de estudo que exigem mais campo, e boa qualidade, permitindo a visualização integrada do ambiente, entre outros benefícios (Novo, 1992; Florenzano, 2002).

A paisagem, aqui, é compreendida como o conjunto dos elementos naturais, expressando-se através de um arranjo espacial e representando o estágio atual de uma dinâmica em determinado tempo longo (Troll, 1982). Dessa forma, a paisagem pode ser compreendida de maneira clássica, conforme Troll (1982), ou seja, como forma, funcionalidade e transformação (Oliveira e Suertegaray, 2014, p.213). Nesse sentido, a temática da paisagem encontra no sensoriamento remoto e na modelagem espacial por meio de computação um arcabouço metodológico em constante processo evolutivo, baseado no aperfeiçoamento de técnicas, métodos e recursos cada vez aptos a oferecer respostas a perguntas relacionadas a questões ambientais, territoriais e tantas outras em que se aplica o uso das geotecnologias e da computação (Novo, 1992; Veldkamp & Fresco, 1996; Verburgh et al., 2002; Florenzano, 2002; Soares-Filho et al, 2006).

Este estudo traz como questão de pesquisa: como representar a diversidade de paisagens com seus componentes ambientais sensíveis a ações antrópicas no Centro e também no Oeste baiano? Diante dessa questão, a pesquisa possui como objetivo geral: representar os pontos com maior vulnerabilidade ambiental na área de estudo. Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos: i) elaborar uma base de dados para a área de estudo; ii) investigar aspectos da cobertura vegetal e do uso da terra por meio de índices de vegetação e composição; e iii) identificar áreas ecologicamente sensíveis a atividades antrópicas. A área de estudo desta pesquisa compreende as áreas localizadas na porção central agregada ao Oeste do território do estado da Bahia, limitando-se aos estados do Piauí, Tocantins, Goiás e Minas Gerais (ao sul), como ilustra a Figura 1.

Mapa 1: Localização da área de estudos



Fonte: Autores, 2025.

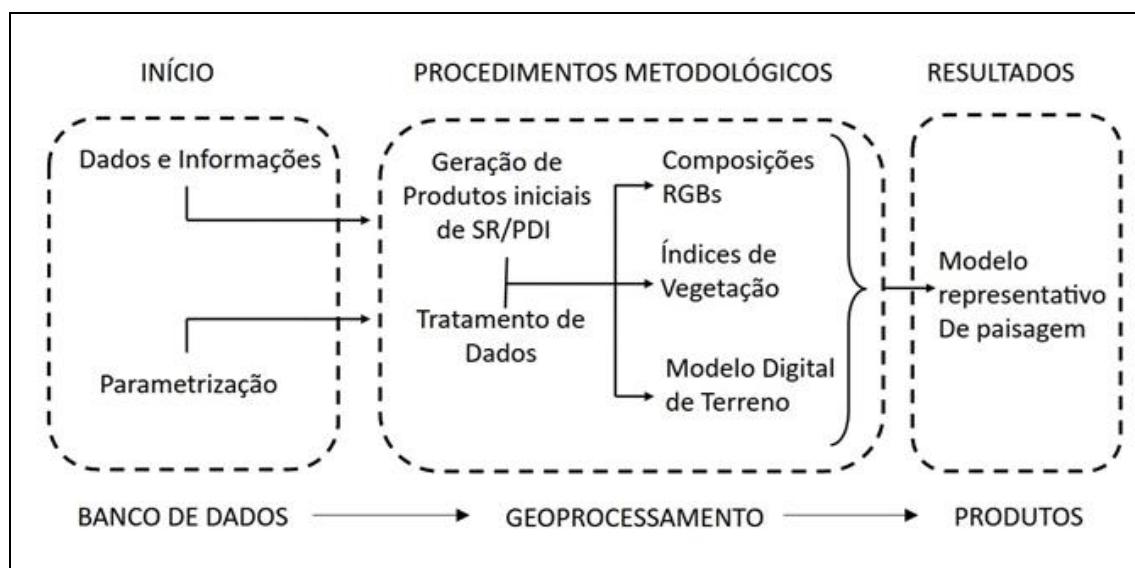
Trata-se de uma região fortemente influenciada pelos biomas Caatinga e Cerrado, marcados pela presença do Rio São Francisco. A área é caracterizada pelo predomínio do agronegócio, com atividades de agricultura e pecuária em vários níveis de produção. Diante desse cenário ambiental, cabe a aplicação da modelagem espacial e do sensoriamento remoto para fins investigativos da complexidade da paisagem.

A escolha dessa área para a realização do estudo pretendido foi motivada pelo potencial de aplicação da modelagem e do sensoriamento remoto nessa parte do estado da Bahia. As características climáticas e as condições atmosféricas possibilitam o uso dessas técnicas durante a maior parte do ano, pois a região apresenta reduzida influência de fenômenos atmosféricos, como as nuvens, que atrapalham a aplicação do sensoriamento para a captação de imagens. É importante destacar que trabalhos envolvendo o uso de sensoriamento remoto encontram nas condições atmosféricas locais um determinante para sua execução e a consequente produção de resultados.

Metodologia

Os procedimentos metodológicos desta pesquisa partem dos conceitos de modelagem de Burrough (1998) e Soares-Filho et al. (2006). Assim, a modelagem é utilizada como uma ferramenta para o tratamento de dados e informações, a fim de cumprir os objetivos deste estudo. Em síntese, os trabalhos desta pesquisa foram sistematizados em três etapas: 1) definição dos dados e informações, seguida de parametrização e definição/construção do banco de dados; 2) processamento ou geoprocessamento dos dados utilizados, realizado em ambiente computacional *Desktop* x64 com o uso de *software* livre x64 (QGIS 3.22); e 3) geração dos produtos para discussão dos resultados (modelos representativos), como ilustra a Figura 2.

Figura 2: Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa



Fonte: Autores, 2025.

O recorte da área de estudo foi definido com base na viabilidade do uso da cena (imagem) obtida pelo satélite AMAZÔNIA 1, equipado com a câmera (sensor) imageadora de amplo campo de visada (*Wide Field Imager — WFI*). Foram consideradas imagens captadas com baixa interferência de fenômenos atmosféricos (nuvens e umidade do ar) e que enquadrasssem a área pretendida, correspondente à cena dentro do ponto de órbita 034/017 na data de 18 de julho 2023. Os dados preliminares empregados neste estudo são compostos por vetores e polígonos relacionados ao recorte

da área de estudo, como limites municipais e estaduais, cursos hídricos, estradas, rodovias e localidades, distribuídos on-line por instituições como o IBGE, o IBAMA e a SEI-BA (Quadro 1).

Quadro 1: Sumarização das fontes/fornecedores utilizadas na pesquisa

DISTRIBUIDOR / SIGLA		ENDEREÇO PARA ACESSO ONLINE
Instituto Brasileiro de Geografia e Estática.	IBGE	https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html
Instituto Nacional de Meio Ambiente.	IBAMA	https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/?page=1
Mapbiomas.org	Mapbiomas	https://brasil.mapbiomas.org/downloads/
Superintendência de Estudos Econômicos da Bahia.	SEI-BA	https://portal.geo.sei.ba.gov.br/portal/apps/sites/#/seigeo

Fonte: Autores, 2025.

Os dados raster foram adquiridos através do portal da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE), mediante *download* pela *internet* [www.dgi.inpe.br] (INPE, 2021). A cena utilizada para o recorte da área de estudo foi adquirida em nível de processamento L-4, já ortorretificada, ou seja, uma imagem com correção radiométrica e correção geométrica de sistema, refinada pelo uso de pontos de controle e de um modelo digital de elevação do terreno (Marcari-Junior, 2013; Silva, Grande, Oliveira, 2022; Feitosa et. al., 2023 e INPE, 2021). As quatro bandas adquiridas correspondem às características descritas no Quadro 2.

Quadro 2: Características da imagem do satélite AMAZÔNIA-1 com sensor WFI
utilizado na pesquisa

Nº da Banda	Faixa Espectral	Quantização	Resolução espacial	Faixa imageada	Sistema de Referência	Revisão
BANDA 1	<i>Blue (0.45 - 0.52 μm)</i>	16 bits	64 m	850 km	Datum WGS 1984	5 dias
BANDA 2	<i>Green (0.52 – 0.59 μm)</i>					
BANDA 3	<i>Red (0.63 – 0.69 μm)</i>					
BANDA 4	<i>NIR (0.77 – 0.89 μm)</i>					

Fonte: Autores, 2025.

Após a aquisição das imagens, estas foram submetidas à etapa de processamento digital de imagens (PDI) para tratamento e geração de produtos a partir da manipulação das bandas. Foi utilizado o *software* QGIS 3.22 x64 para o processamento das imagens *raster*. Foram realizados procedimentos de correção atmosférica (GAIDA, 2020), visando a corrigir e atenuar a influência dos efeitos da atmosfera nas imagens. Para isso, foi empregada a correção pelo método *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S) (Chandrasekhar, 1960; Tanré et al., 1990; Vermote et al., 2006; e Gaiada, et. al., 2020), implementada no sistema de informações geográficas *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS) (GRASS Development Team, 2018), por meio da extensão i.atcorr (Zietsman et al., 2018; Gaiada, et. al., 2020). Após a etapa de correção atmosférica, os dados e informações de sensoriamento remoto produzidos pelo PDI possibilitaram a geração dos seguintes produtos: Índices de Vegetação (IVs) (Novo, 1992; Jansen, 2002; Florenzano, 2002; Ponzoni, Shimabukuro, Kuplich, 2015), Modelos Digitais de Terreno (MDT) (Zhilin, 2004; Farr et. al., 2007; Macedo, Surya, 2018) e Modelos Representativos de Paisagens (Cavalcanti, 2014; Camara et. al., 2015).

A partir das referências mencionadas anteriormente, este estudo empregou dois índices de vegetação durante os testes: 1º) *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI); e 2º) *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). Ambos foram calculados no ambiente da calculadora *raster* do *software* QGIS 3.22 x64 (Quadro 3).

Quadro 3: Fórmulas matemáticas para cálculos dos Índices de Vegetação utilizados no estudo

A)

$$\text{NDVI} = \sum = \left(\frac{\gamma_{\text{NIR}} - \gamma_{\text{Red}}}{\gamma_{\text{NIR}} + \gamma_{\text{Red}}} \right)$$

B)

$$\text{SAVI} = \sum = \left(\frac{\gamma_{\text{NIR}} - \gamma_{\text{Red}}}{\gamma_{\text{NIR}} + \gamma_{\text{Red}}} \right) \times \left(1 + \gamma_L \right)$$

Fonte: Autores, 2025.

Após o cálculo dos índices de vegetação e a organização desses produtos no banco de dados geográfico do projeto no ambiente de *softwares*, as imagens produzidas (IVs e RGBs) foram sobrepostas em um ambiente de visualização tridimensional (3D),

utilizando como base o modelo derivado da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução original de 90 m, reamostrada para 30 m, empregando o sistema de referência *World Geodetic Survey 1984 – WGS84* (DUREN et. al., 1998).

O princípio básico de elaboração do Modelo Simplificado de Representação da Paisagem (MSRP) consiste em empregar IVs e MDT sobrepostos em uma estrutura de banco de dados para visualização tridimensional (3-D). Nela, a camada morfológica é o MDT, e as demais camadas são sobreposições secundárias. Para gerar o MSRP, é necessário equacionar os dados empregados (IVs e MDT) mediante equivalência e padronização de projeção, *datum*, formato e unidade de medida das camadas (Figura 3).

Figura 1: Equação do Modelo Simplificado de Representação da Paisagem (MSRP)

$$\Sigma = \left\{ \left[\frac{V_{Vegetação}}{Z_{Geomorfologia}} \right] \right\}$$

Cobertura da Terra

Parâmetro natural (determinante)

Fonte: Autores, 2025.

A partir do modelo 3D elaborado, com as camadas e classes acrescidas (IVs, MDT e polígonos), é possível interpretar os resultados do estudo. É importante considerar que os dados/produtos numéricos (valores tabulares) foram submetidos ao software de planilha OpenOffice Calc para a realização de operações matemáticas e a geração de gráficos. Estes foram empregados durante a leitura da paisagem, uma vez que integram os produtos da modelagem espacial realizada.

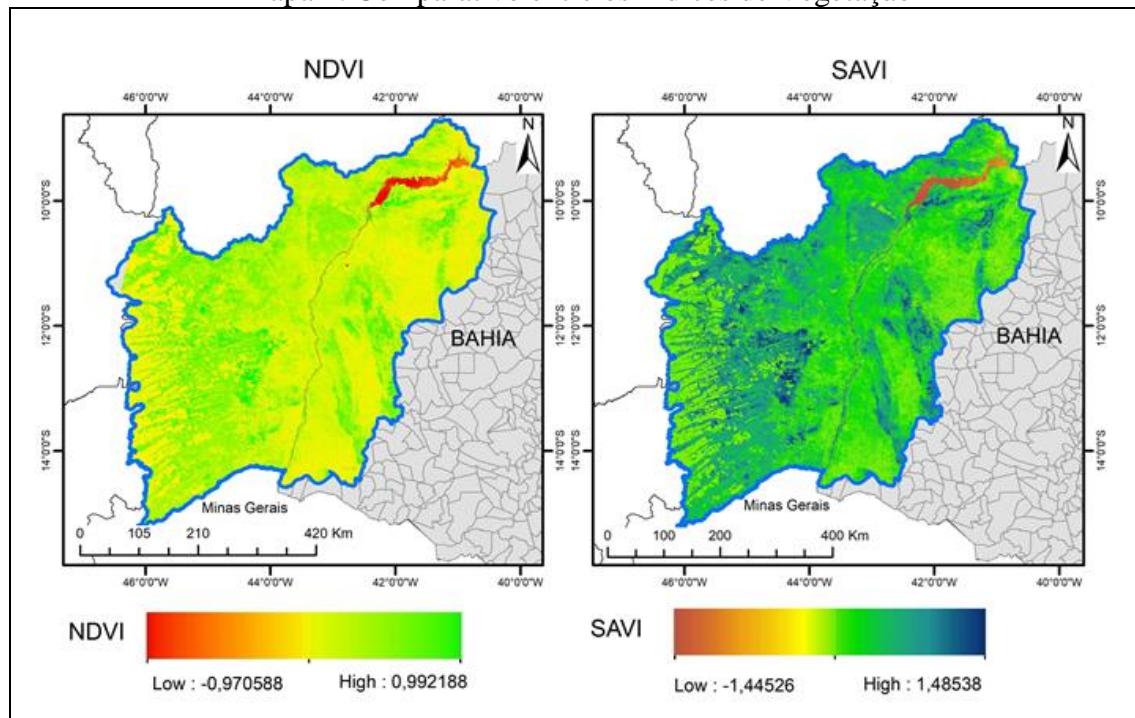
Resultados e discussões

Este estudo apresentou como resultados informações ambientais e produtos de modelagem espacial com o objetivo de representar pontos de vulnerabilidade ambiental ao longo da área de estudo, além de um modelo simplificado da paisagem (MSP) que

possibilita representar a complexidade existente. Com relação aos produtos (dados e informações) iniciais, destacam-se os Índices de Vegetação (IV), gerados a partir dos dados do sensor WFI do satélite AMAZONIA 1, associados ao Modelo Digital de Terreno (MDT) da área de estudo. Esses dados foram integrados para resultar no produto final, o MSP.

O primeiro produto gerado (calculado) foi o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Trata-se de um índice baseado na normalização da diferença de vegetação. O NDVI possibilitou identificar áreas com níveis variados de vegetação, considerando características fisionômicas e taxonômicas da flora local. Esse índice sinalizou áreas com vegetação de menores porte e densidade, assim como atividade fotossintética diferenciada, indicando, dessa maneira, pontos de fragilidade/vulnerabilidade. Os valores do NDVI variaram entre um máximo de 0,99 μ m, para vegetação mais verde e vigorosa, e um mínimo de -0,97 μ m, para vegetação rasteira, mais estressada, chegando até ausência de vegetação ou solo exposto (Figura 4).

Mapa 2: Comparativo entre os Índices de Vegetação

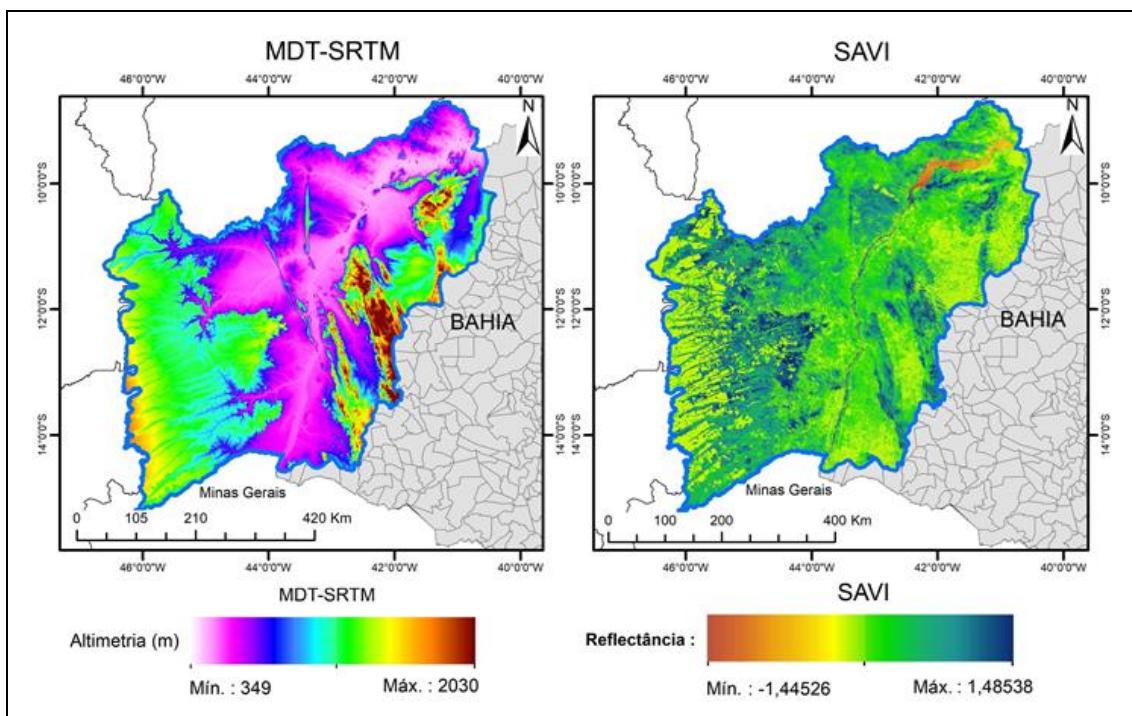


Fonte: Autores, 2025.

Assim como o NDVI, também foi empregado o *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), um índice ajustado para o solo, indicado para áreas semiáridas ou com vegetação menos densa e com maior tendência a estresses hídricos e, principalmente, para áreas com cobertura vegetal menos densa e mais secas. Ele também está presente em áreas com solo mais exposto, em contraste com áreas húmidas. O SAVI apresentou valores mínimos de $-0,90 \mu\text{m}$ para os pontos com vegetação caracterizadas por Cerrado, Caatinga e Pastagens Extensivas e valores máximos de $1,44 \mu\text{m}$ para áreas com fragmentos de vegetação nativa e pontos de agricultura intensiva com culturas em desenvolvimento.

Buscando uma análise de conjunto da paisagem da área de estudo, ambos os índices, NDVI (variando de $0,99 \mu\text{m}$ a $-0,97 \mu\text{m}$) e SAVI (de $1,44 \mu\text{m}$ a $-0,90 \mu\text{m}$), foram sobrepostos a um Modelo Digital de Terreno (MDT) com altimetrias entre 349m e 2030m acima do nível do mar. A relação entre IVs e MDT possibilita a análise das relações entre a cobertura vegetal e a morfologia da área. Neste estudo, foi possível identificar associações entre a irregularidade do terreno com valores mais altos de IV (Mapa 3).

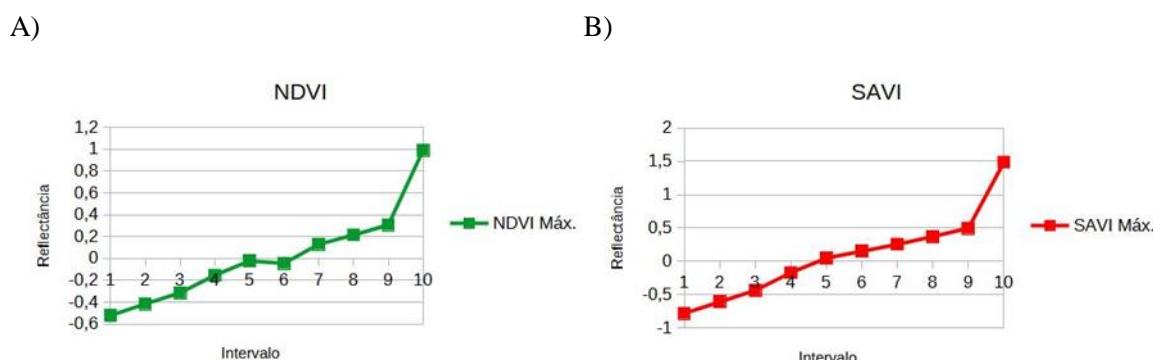
Mapa 3: Relevo e cobertura vegetal na área de estudos.



Fonte: Autores, 2025.

As áreas antropizadas, principalmente aquelas com atividades como a agricultura e pastagens extensivas, estão localizadas ao extremo oeste da área de estudo. Nessas áreas, apesar da incidência de relativos planaltos, as altitudes médias são de aproximadamente 700m. Essas áreas apresentaram valores de SAVI entre $-0,99\mu\text{m}$ e $1,3\mu\text{m}$ (máximos e mínimos), indicando coberturas vegetais de natureza antrópica, como culturas de grãos e algodão, predominantes na região. A área de estudo encontra-se em intenso processo de transformação da paisagem, principalmente em decorrência do crescimento da agricultura, o que tem resultado em marcas estampadas na paisagem mediante a exposição do solo e a redução da vegetação nativa (Cerrado ao oeste e Caatinga ao leste). O cálculo dos índices SAVI e NDVI possibilitou a representação gráfica de seus comportamentos e valores, como ilustra o Gráfico 1.

Gráfico 1: Índices NDVI e SAVI calculados para a área de estudo

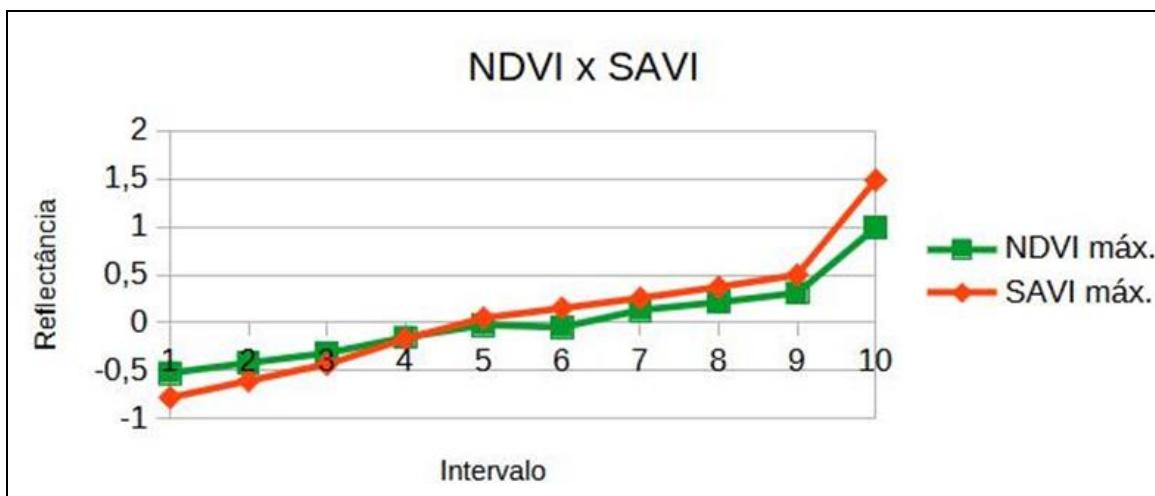


Fonte: Autores, 2025.

O índice NDVI (Gráfico 1-A) apresentou um mínimo de $-0,6\mu\text{m}$ para áreas com ausência total de cobertura vegetal, como solos expostos e corpos d'água, e um máximo de $1\mu\text{m}$ para pontos específicos na paisagem com vegetação densa e/ou porte arbóreo, localizados principalmente em áreas mais remotas, em decorrência da influência do relevo com altitudes mais elevadas ($< 900\text{m}$). O índice SAVI, representado pelo Gráfico 1-B, permite validar/confirmar as leituras e interpretações do NDVI. O SAVI apresentou um valor mínimo de $-1\mu\text{m}$ e um valor máximo de $1,5\mu\text{m}$, correspondendo o mínimo a áreas não vegetadas e o máximo a áreas vegetadas e com atividade fotossintética elevada, atendendo aos mesmos padrões altimétricos analisados, quando pareados.

Para este estudo, ressaltam-se as análises sistematizadas dos elementos e fatores formadores da paisagem, tendo como referência a teoria dos geossistemas (Bertalanfy, 1975 e Bertrand, 1978). Assim, foi realizada, em paralelo, a análise do SAVI e NDVI. Dessa maneira, foi possível verificar aproximações dos valores de refletâncias (μm) diante dos intervalos no gráfico da área de estudo. Ao comparar os IVs, observa-se uma regularidade maior dos valores do SAVI. Já o NDVI apresentou uma variação entre os intervalos mais centrais do Gráfico 2:

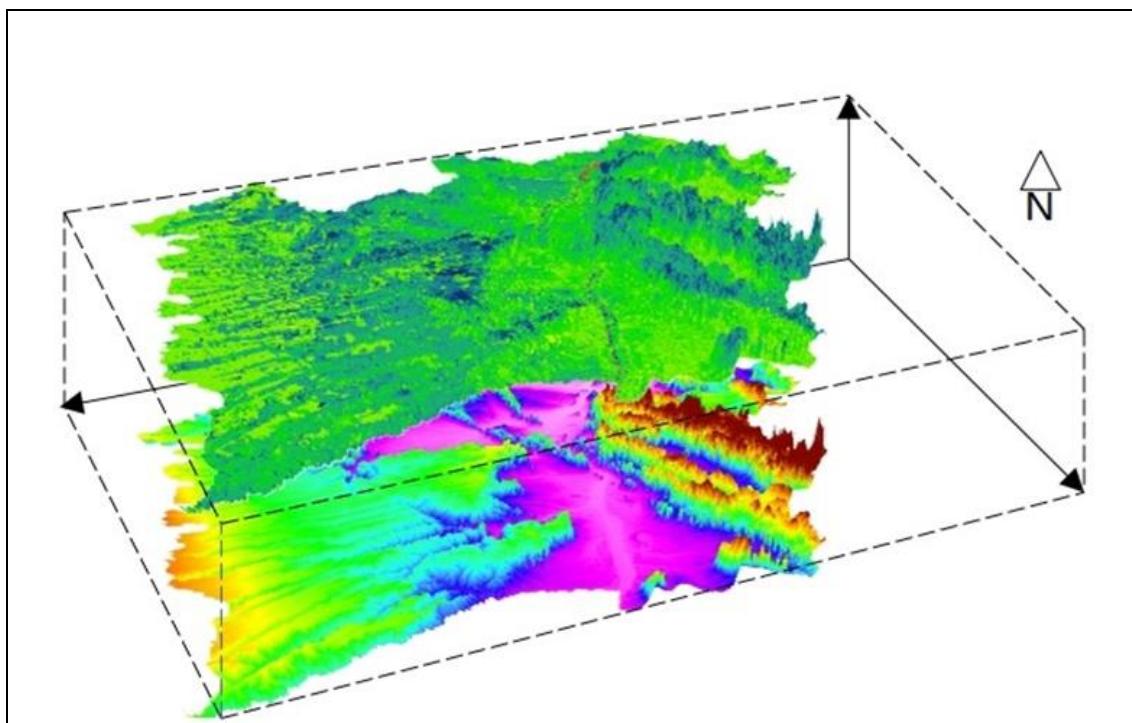
Gráfico 2: Representação do conjunto de índices de vegetação NDVI e SAVI na área de estudos



Fonte: Autores, 2025.

Os valores representados anteriormente no Gráfico 2 ilustram a complexidade da cobertura vegetal na área de estudo, uma vez que a vegetação apresenta variações que indicam pontos de vulnerabilidade, principalmente nas áreas com valores menores ($> -0,5\mu\text{m}$) e fragmentos com valores mais elevados ($< 0,5\mu\text{m}$), isolados em decorrência do relevo com altimetrias inferiores a 800m. A partir dessas informações, foi possível gerar uma representação tridimensional (3D) da área de estudo, a fim de possibilitar uma análise integrada da paisagem, considerando os elementos de relevo e cobertura da terra sobrepostos (Mapa 4).

Mapa 4: Perspectiva tridimensional para a Paisagem da área de estudos.



Fonte: Autores, 2025.

A representação 3D da paisagem possibilitou identificar a relação entre cobertura vegetal e relevo, evidenciando pontos de vulnerabilidade ambiental. Esses pontos são caracterizados pela perda da cobertura vegetal nativa e pela proximidade com pontos de antropismo intensificados, como campos de lavoura e áreas de solo exposto. A modelagem 3D possibilitou identificar remanescentes de vegetação nativa, principalmente ao leste da área de estudo, onde a topografia, as altitudes e o clima inviabilizam a agricultura intensiva como ocorre na extremidade oeste. Assim, pode-se inferir que a morfologia do terreno exerce uma influência na presença e na manutenção da preservação ambiental na área investigada. O Rio São Francisco impacta a paisagem da região, assim como as frações da Serra do Espinhaço e da Serra do Sincorá, ao leste.

A modelagem 3D empregando MDT e IV — principalmente o SAVI, por conta do ajuste das condições ambientais locais — se tornou uma ferramenta viável para a análise integrada da paisagem, considerando tanto os sistemas naturais existentes quanto o trabalho humano mediante as atividades agropastoris. Dessa forma, a partir da modelagem 3D realizada, considera-se a consolidação do Modelo Simplificado da Paisagem (MSP) para a área de estudo, indicando pontos de fragilidade ao extremo

oeste, em áreas destinadas à agricultura, e ao leste, na fração da área com relevo acidentado e altimetrias mais elevadas, onde foi possível detectar fragmentos mais conservados e densos de vegetação nativas.

Durante a análise dos IVs na superfície dos municípios, foi possível observar que os municípios localizados nas áreas de relevância para o agronegócio através das atividades de cultura de soja, milho e algodão (Luís Eduardo Magalhães, Barreiras, Formosa do Rio Preto, Roda Velha e São Desiderio) localizados no extremo oeste do estado da Bahia apresentaram NDVI com valores de refletância, sendo, mínimo de -0,970 μ m e máximos 0,992 μ m e o SAVI com mínimo de -1,445 μ m e máximo 1,485 μ m. Esses valores de refletância (μ m), são resultados das vastas áreas de cultura, demonstrando uso intensificado do solo pelas atividades agrícolas. Estes índices (NDVI e SAVI) indicaram valores aproximados (-0,970 μ m ~0,992 μ m e -1,445 μ m ~ 1,485 μ m), nas áreas dos municípios de Gentio do Ouro, Souto Soares, Iraquara e Mulungu do Morro, os quais a cobertura vegetal apresentou níveis de potencialidade e vigor relevante, devido às condições climáticas com presença de umidade e pluviosidade inerente de altitudes elevadas (<850m ~ 2080m). Foi possível notar que nas direções longitudes extremas da área de estudos, a vegetação sofre influência climática, assim como das altitudes (<750m / 0,800 μ m). Conforme quadro 3 abaixo.

Quadro 3: Quantificação dos valores de índice de vegetação, relevo e municípios.

Fração da área de cobertura	Número de municípios	MDT-SRTM (m)		NDVI (μ m)		SAVI (μ m)	
		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
10,5%	9	1014	2030	0,992	-0,970	0,770	-1,440
19,5%	16	647	746	0,780	0,520	0,160	-0,480
35%	29	349	451	0,650	-0,970	1,200	-1,440
40%	33	757	1013	0,720	-0,430	1,043	-0,980

Fonte: Autores, 2025

Os municípios da porção central da área de estudos, sendo estes, pertencentes ao Vale do Rio São Francisco, principalmente Barra, Bom Jesus da Lapa, Paratinga, Ibotirama, Moquém do São Francisco, Xique-Xique, Sobradinho, Pilão Arcado,

Remanso entre outros, possuem uma cobertura vegetal com valores estáveis de refletância sendo $-0,802\mu\text{m} \sim 0,992\mu\text{m}$ para o NDVI e $-1,020 \sim 1,030\mu\text{m}$ para o SAVI. Os valores mencionados para os índices, indicam uma área com cobertura vegetal que destoa dos municípios localizados nas extremidades leste e oeste da área de estudos. A relação entre índices de vegetação (NDVI e SAVI) com a morfologia da região (MDT), possibilitou identificar a variação da cobertura vegetal na área, assim aspectos da relação entre limites municipais, ambientes (altitudes e cobertura vegetal) e caracterização na paisagem. A investigação das relações entre os índices de vegetação e modelo digital de terreno utilizado (NDVI, SAVI e SRTM) demonstrou a importância, assim como a influência das altitudes, na formação da cobertura vegetal, e sua repercussão com relação aos seus usos (agricultura e pecuária extensiva). Foi possível identificar frações dos municípios e sua relação com altitudes (relevo) e índices de vegetação (Quadro 3).

Considerações finais

A realização desta pesquisa possibilitou aperfeiçoar o uso das geotecnologias aplicadas na rotina dos autores. Este estudo, além de promover o exercício do conhecimento geográfico e geotecnológico, possibilitou a experimentação de técnicas de modelagens especiais, que já vinham sendo discutidas pelos autores em momentos e publicações anteriores.

É importante ressaltar a recomendação de continuidade dos trabalhos de monitoramento ambiental na área de estudo, empregando recursos de modelagem espacial simplificada (MSP) e outras técnicas que possam produzir informação úteis. Essas informações podem contribuir tanto com o Estado (órgãos específicos) quanto com a sociedade civil (ONGs, entre outros agentes) na busca pelo aperfeiçoamento da fiscalização, da conservação e da gestão do Oeste e do Centro baiano.

Agradecimentos

O artigo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001". Bolsa de pós-doutorado - (PIPD).

Referências

- ANGELO, J. R. **Modelagem Espacial Dinâmica dos Determinantes Sociais e Ambientais da Malária e Simulação de Cenários 2020 para o Município de Porto Velho – Rondônia.** 2015. 189 f. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.
- BARROS, A.C.; SILVA, T.J.; COSTA, D.M. Sensoriamento Remoto na Análise Ambiental da Microbacia do Córrego da Água Amarela, Itaberá/SP. **HOLOS Environment**, [S.l.], v.16 n.1, p.27, 2016.
- BERK, A., CONFORTI, P., HAWES, F., PERKINS, T., GUIANG, C., ACHARYA, P., KENNEDY, R., GREGOR, B., VAN DEN BOSCH, J. 2016. **Next generation MODTRAN® for improved atmospheric correction of spectral imagery.** Burlington: Spectral Sciences, Inc. AFRL-RV-PS-TR-2016-0105, 2016. 64 p.
- BERTALANFY, Ludwig von. **Teoria Geral dos Sistemas.** Petrópolis: Ed. Vozes, 1975.
- BERTRAND, G. Paysage et Geographie Physique Global. Revue Geographique des pyrénées et du Sud-Ouest. **Toulouse**, [S.l.], v. 49, n. 2, p. 167-180, 1978.
- BURROUGH, P. Dynamic modelling and geocomputation. In: Longley, P.A.; Brooks, S.M.; McDonnel, R.; MacMillan, B. (ed.). **Geocomputation: a primer.** London: John Wiley & Sons, 1998. p. 165-190.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V.; MEDEIROS, J.S. de. **Fundamentos epistemológicos da ciência da Geoinformação.** In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). Introdução à ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001. 16 p.
- CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de Paisagens: Fundamentos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- CHANDRASEKHAR, S. **Radiative transfer.** New York: Dover Publications, Inc. 415, 1960.
- DUREN, R.; WONG, E.; BRECKENRIDGE, B.; SHAFFTER, S.; DUNCAN, C.; TUBBS, E.; SALOMON, P. 1998. **Metodology, attitude, and orbit determination for spaceborn interferometric synthetic aperture radar.** SPIE AeroSense Conference on Acquisition, Tracking and Pointing. XII, April/1998.
- FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, R.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBREK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. **The shuttle radar topography mission.** Reviews of Geophysics, 45, RG2004, 2004.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos. 2002.

FEITOSA, J. V. P.; LUZ, N. C.; ARRAES, R. R. M.; PINHEIRO, A. F.; ROCHA, L. S.; FRANCO, R. C. M.; TORRES, W. R. G.; MORAIS, D. C.; SOUZA, A. A. A.; GOMES, A. R.; ALMEIDA, C. A. **Identificação analítica de classes de desflorestamento com sensor WFI - AMAZÔNIA-, no Projeto DETER - AMAZÔNIA**. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE – Florianópolis-SC, pp.1834 -1837. 2 a 5 de abril de 2023.

GAIDA, W.; BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J. Correção Atmosférica em Sensoriamento Remoto: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S./l.], v.13, n. 01, p. 229-248, 2020.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. **Amazônia: Discretivo da Missão do Satélite**. São José dos Campos – SP. 13/09/2021

JANSEN, L.J.M. & GREGORIO, A. Di. **Parametric land cover and land use classifications as tools for environmental change detection**. Agriculture Ecosystems e Environment. v. 91, p.89–100, 2002.

LANA, R. M. **Modelos dinâmicos acoplados para simulação da ecologia do vetor Aedes aegypti**. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Biomas Tropicais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2009.

MACEDO, R. J. A; SURYA, L. Comparação entre Modelos Digitais de Elevação dos Sensores SRTM e ALOS PALSAR para Análise Digital de Terreno. **Revista Contexto Geográfico**, Maceió-AL, v.3. n.6, p.47–55, dezembro/2018

MARCARI-JUNIOR, E. **Calibração de geometria interna das imagens do sensor AWFI/AMAZONIA-1**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, 2013;

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto**: princípios e aplicações. São Paulo: Editora Edgard Bucher Ltda., 1998. 308 p.

OLIVEIRA, M. G.; SUERTEGARAY, D. M. A. Processos Geomorfológicos na Evolução da Paisagem. **Revista FSA**, Teresina, v. 11, n. 2, art. 11, p. 211-233, abr./jun. 2014.

PEDROSA, B. M.; CÂMARA, G. **Aspectos conceituais da modelagem dinâmica espacial**. In: WORKSHOP DOS CURSOS DE COMPUTAÇÃO APLICADA DO INPE, 1. (WORCAP), 2001, São José dos Campos. Anais ... São José dos Campos: INPE, 2001. p. 106-108. CD-ROM; On-line. Disponível em: <http://urlib.net/lac.inpe.br/worcap/2004/09.06.17.43>. Acesso em: 11 nv. 2017.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y.E., KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. Oficina de Textos. São Paulo - SP, 160p. 2015.

SILVA, W. K. L.; GRANDE, E. T. G.; OLIVEIRA, D. C. Estudo do satélite brasileiro Amazônia - 1 e de sua trajetória: Mapeamento Sistemático e Análise Documental dos Artefatos Históricos. **Research, Society and Development**, [S.I.], v. 11, n. 2, p. 1-35, 2022.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M. et al. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, [S.I.], v. 440, n. 7083, p. 520–3, 2006. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16554817>. Acesso em: 11 nov. 2017.

TANRÉ, D., DEROO, C., DUHAT, P., HERMAN, M., MORCRETTE, J. J., PERBOS, J., DESCHAMPS, P. Y. 1990. Technical note description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5S code. **International Journal of Remote Sensing**, [S.I.], v. 11, p. 659-668, 1990.

TROLL, C. El paisaje geográfico y su investigación. In: MENDONZA, J. G; JIMENEZ, J. M; CONTERO, N. (Org.). **El pensamiento geográfico. Estudio interpretativo y antología de textos (De Humboldt a las tendências atuais)**. Madrid: Alianza Editorial, 1982. 323 -329 p.

VELDKAMP, A.; FRESCO, L. CLUE-CR: An integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. **Ecological Modeling**, [S.I.], v. 91, p. 231-248, 1996.

VERBURG, P. H.; VELDKAMP ,S. W.; ESPALDON, R.L.V. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. **Environmental management**, [S.I.], v. 30, n.3, p. 391–405, 2002. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12148073>. Acesso em: 11 nov. 2017.

VERMOTE, E., TANRÉ, D., DUEZÉ, J. L., HERMAN, M., MORCRETTE, J. J., KOTCHENOVA, S. Y. 2006. **Second simulation of a satellite signal in the solar spectrum – vector (6SV)**. 6S user guide version 3. Laboratoire d'Optique Atmosphérique.2006.

ZHILIN, LI; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital terrain modeling: principles and methodology**. Flórida: CRC PRESS, 2004.

AUTORES

Luciel Passos de Oliveira – É graduado em Geografia e mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), e Doutor em Geografia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Atualmente é Professor no Centro Estadual de Educação Profissionalizante do Oceano (CEEPO).

Endereço: Universidade Federal da Bahia - Av. Milton Santos, s/nº - Ondina, Salvador - BA, 40170-110.

Uilmer Rodrigues Xavier da Cruz – É graduado em Geografia - Ênfase em Sistemas de Informações Geográficas pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC/MG), mestre em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e doutor em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atualmente é discente de Residência pós-doutoral em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Endereço: Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências (IGC/UFMG) – Programa de Pós-graduação em Geografia - Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901.

Artigo recebido em: 04 de janeiro de 2025.

Artigo aceito em: 28 de março de 2025.

Artigo publicado em: 01 de abril de 2025.