



Sensoriamento remoto “das enchentes, inundações e alagamentos”: potencialidades e limitações

Alex Mota dos Santos¹
Fabrizia Gioppo Nunes²

© Geografia Grapiúna
2026



Este trabalho está
licenciado sob uma
licença [Creative
Commons Attribution
4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Aceito: 14/ 05/ 2026

RESUMO

As imagens de satélite revolucionaram a forma como os cientistas obtêm dados e informações sobre as paisagens terrestres e suas dinâmicas. Nesse contexto, este artigo analisa as potencialidades e as limitações do uso de imagens de sensoriamento remoto obtidas por sensores passivos no mapeamento de áreas atingidas por enchentes, inundações e alagamentos. A metodologia contemplou a análise da literatura e de imagens dos satélites CBERS-4A e Landsat-9, plataformas que disponibilizam dados recentes, gratuitos e compatíveis com análises em escala municipal. Para isso, foram analisadas imagens de municípios da porção sul do estado da Bahia que representaram áreas afetadas por esses desastres naturais. Os resultados demonstraram que os sensores passivos apresentam limitações relacionadas às condições atmosféricas em análises de escala regional, sendo mais adequados para estudos em áreas restritas e em locais com baixa cobertura de nuvens.

Palavras-chave: Análise de paisagem; desastres naturais; imagens de satélite.

*Remote sensing of floods, river flooding, and urban waterlogging:
potential and limitations*

ABSTRACT

Satellite imagery has revolutionized the way scientists obtain data and information about terrestrial landscapes and their dynamics. In this context, this article analyzes the potential and limitations of using remote sensing images acquired by passive sensors for mapping areas affected by floods, inundations, and urban flooding. The methodology involved a literature review and the analysis of images from the CBERS-4A and Landsat-9, which provide recent, free, and suitable data for municipal-scale analyses. To this end, images from municipalities located in the southern portion of the state of Bahia that were affected by these natural disasters were analyzed. The results showed that passive sensors present limitations related to atmospheric conditions in regional-scale analyses, making them more suitable for studies in smaller areas and in locations with low cloud cover.

Keywords: Landscape analysis; natural disasters; satellite images.

INTRODUÇÃO

As imagens de satélite revolucionaram o modo como os cientistas obtêm dados e informações sobre as paisagens terrestres. O avanço das tecnologias de aquisição remota

¹ Doutor em Geografia, Professor da Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7186-3482>. E-mail: alex.geotecnologias@gmail.com

² Doutora em Geologia Ambiental, Professora da Universidade Federal de Goiás - UFG. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6159-4701>. E-mail: fabrizia.iesa.ufg@gmail.com

de dados e a ampliação do uso de imagens obtidas por diferentes plataformas contribuíram para a consolidação do sensoriamento remoto, que atualmente abrange sistemas orbitais, suborbitais e terrestres. Inclusive com a criação de disciplinas de graduação e de cursos de especialização a nível das pós-graduação.

Uma das linhas de pesquisa mais proeminentes do sensoriamento remoto é aquela que se dedica a mapear os desastres naturais que ocorrem no contexto das mudanças climáticas. Segundo Klemas (2015), as inundações de rios e as tempestades costeiras têm afetado a vida de um maior número de pessoas do que a maioria dos outros desastres naturais relacionados ao clima. Para Malik *et al.* (2020), as inundações e os alagamentos se tornaram um dos maiores desastres ambientais do mundo. O aumento da ocorrência de inundações e alagamentos globais tem sido atribuído ao desmatamento, às alterações na utilização do solo, à má gestão das bacias hidrográficas e às alterações climáticas (Shahabi *et al.*, 2020). As imagens de sensoriamento remoto permitem a obtenção de dados consistentes e atualizados para o monitoramento de corpos hídricos, o que favorece as análises de inundações e alagamentos (Carvalho Júnior, 2018).

As pesquisas que aplicam imagens de satélite no mapeamento de inundações, alagamentos e enchentes são variadas (Chawan, Kakade e Jadhav, 2020; Shahabi *et al.*, 2020; Servidoni *et al.*, 2023; Rakuasa, 2024; Odiana, Ugbodaga e Okwuokei, 2024), inclusive aquelas que se concentram nas análises dos riscos e das previsões (Saha e Agrawal, 2020; Fleischmann *et al.*, 2021; Malik *et al.*, 2020).

Com isso, é fundamental distinguir o mapeamento de áreas onde ocorreram esses fenômenos do mapeamento de áreas propensas. O primeiro tipo de mapeamento refere-se à identificação do pulso de inundação e dos alagamentos, onde de fato as inundações e/ou alagamentos ocorreram numa área. O segundo, consiste em identificar e delinear áreas que têm suscetibilidade/propensão de serem inundadas e/ou alagadas, considerando as prováveis alterações do uso e cobertura da terra e as mudanças climáticas.

Apesar dos avanços tecnológicos observados nas últimas décadas, ainda há lacunas em estudos voltados à estimativa de risco de inundações e alagamentos, bem como no desenvolvimento de ferramentas de previsão em algumas regiões do mundo (Luu *et al.*, 2021). Ainda segundo os referidos autores, a estimativa e a previsão de risco ainda são componentes desafiadores de um sistema de proteção contra esses desastres naturais (Luu *et al.*, 2021).

Assim, Luu *et al.* (2021) revelam que os fatores de suscetibilidade a inundações e alagamentos variam de acordo com as características da área de estudo. Os autores destacam como variáveis a serem consideradas: a precipitação, a densidade de drenagens, a distância do rio, o uso e cobertura do solo, a geologia, a elevação, a direção do fluxo, a acumulação de fluxo, o declive e a curvatura do relevo. Para Licco e Mac Dowel (2015), as cheias, inundações e alagamentos podem ter significados diferentes, não havendo um consenso científico e técnico sobre esses termos. De acordo com os referidos autores, para a Superintendência de Proteção e Defesa Civil do estado da Bahia, as inundações ou alagamentos nas cidades são “águas acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos, por fortes precipitações pluviométricas, em áreas com sistemas de drenagem ineficiente” (Licco; Mac Dowell, 2015, p.164).

No Brasil, diversas são as cidades afetadas por inundações e alagamentos. Inclusive, segundo Servidoni *et al.* (2023), as mudanças climáticas têm promovido eventos catastróficos de chuvas intensas e extremas no Sul da Bahia. Para Santana *et al.* (2020), o uso do solo sem planejamento adequado e sem a adoção de técnicas de conservação, associadas à declividade elevada, pode aumentar a vulnerabilidade das características físicas das bacias e, com isso, potencializar a probabilidade de inundações e alagamentos em municípios situados na porção Sul da Bahia.

Apesar disso, ainda são restritas as pesquisas que se dedicam ao mapeamento de áreas inundáveis e com potencial de serem alagadas. Diante disso, este artigo analisa as potencialidades e as limitações do uso de imagens de sensoriamento remoto obtidas por sensores passivos no mapeamento de áreas atingidas por enchentes, inundações e alagamentos. Para isso, foram utilizadas imagens dos satélites CBERS-4A e Landsat-9, que são plataformas que disponibilizam dados recentes, gratuitos e compatíveis com análises em escala municipal.

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À ANÁLISE “DAS ENCHENTES, INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS”

A recorrência de pesquisas que se propõem a mapear áreas atingidas por alagamentos e inundações vem ocorrendo devido ao desenvolvimento contínuo e à crescente sofisticação dos sensores remotos, juntamente com as infraestruturas avançadas de armazenamento e gerenciamento de dados (Carvalho Júnior, 2018). Segundo Martins *et al.* (2023), alia-se às novas tecnologias o farto número de bases geoespaciais que

disponibilizam dados e informações de sensoriamento remoto gratuitamente, sendo algumas delas ofertadas desde a década de 1970.

Assim, destaca-se o programa *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT), colocado em órbita pela primeira vez em 1972, e que estabeleceu os EUA como o líder mundial em sensoriamento remoto terrestre (Williams, Goward e Arvidson, 2006). No ano de 1999, o Brasil lançou o primeiro satélite do programa *China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS), em parceria com a China. As imagens do CBERS também são disponibilizadas gratuitamente, favorecendo pesquisas acadêmicas, inclusive no ensino básico e superior (Santos *et al.*, 2024; Krizek, Ocanha e Santos, 2024).

Apesar das vantagens operacionais dos sensores ativos, especialmente em condições atmosféricas adversas, a maior parte das imagens gratuitas amplamente utilizadas em estudos ambientais ainda é gerada por sensores passivos. Além disso, os sensores ativos também podem oferecer alta resolução espacial e vantagens importantes, como a missão Sentinel-1 (do Programa Copernicus), além de operarem independentemente da cobertura de nuvens e da iluminação solar.

Segundo Martins *et al.* (2023), os sensores passivos dependem de uma fonte externa de Radiação Eletromagnética (REM), geralmente o Sol, enquanto os sensores ativos produzem a própria fonte de REM. As imagens obtidas por sensores passivos são fortemente influenciadas por condições variáveis da atmosfera, inclusive pela cobertura de nuvens (Martins *et al.*, 2023).

As áreas de Mata Atlântica, a exemplo do Sul da Bahia, apresentam elevada nebulosidade (Neves, 2021). Tal dinâmica climática impõe restrições ao uso de imagens obtidas por sensoriamento remoto orbital passivo (Lu *et al.*, 2012).

A alternativa é o uso de imagens de sensores ativos, como as de radar. Segundo Jia *et al.* (2021), a vantagem desses instrumentos é que trazerem a possibilidade de extração de informações mesmo com a presença de nuvens, permitindo a operação sob condições de nebulosidade ou a noite (Fitzgerald, 2010).

Um dos exemplos de tecnologias mais recentes de sensoriamento remoto ativo são dos tipos *Synthetic Aperture Radar* (SAR) e *Light Detection and Ranging* (LiDAR) (Martins *et al.*, 2023). Os produtos de LiDAR são relevantes para mapear a extensão e a altura da lâmina d'água em áreas propensas a inundações e alagamentos (Brown, Hambidge e Brownnett, 2016). O método proposto por Brown, Hambidge e Brownnett (2016) usa o limite de inundação derivado de dados de SAR orbital, com resolução espacial de 8 metros, para estimar a elevação da superfície de água em pontos ao redor da área inundada, cruzando

essas informações com um modelo digital de elevação (MDE) derivado de dados LiDAR. Apesar disso, os custos de obtenção de imagens de sensoriamento remoto ativo de alta tecnologia são mais elevados (Martins *et al.*, 2023).

Além do tipo do sensor orbital (ativo ou passivo), destaca-se ainda a importância de conhecer características como as resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal. De modo geral, a resolução é uma medida da capacidade que um sistema sensor possui de distinguir respostas espectralmente semelhantes ou espacialmente próximas (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2024).

Como já mencionado, a resolução pode ser classificada em espacial, temporal, espectral e radiométrica. Desse modo, a resolução espacial, dada em metros, deve ser suficiente para proporcionar o detalhamento dos alvos terrestres atingidos pela água, o que depende também da escala do fenômeno.

As grandes áreas inundadas e/ou alagadas podem ser identificadas por sensores que disponibilizam imagens de média a alta resolução espacial, a depender da escala de análise e das características do evento. No presente estudo, destacam-se os satélites CBERS 4A e Landsat-9.

De modo geral, a resolução espectral refere-se ao número de bandas espectrais e à largura dos intervalos espectrais captados pelos sensores, que podem ser classificados em multiespectrais e hiperespectrais. Conforme Herold, Gardner e Roberts (2003), há limitações significativas para os sensores multiespectrais, nos quais a localização e o caráter de bandas largas nas faixas espectrais resolvem, apenas em parte, as características espectrais complexas dos ambientes urbanos, especialmente para tipos de superfície construída. Inclusive, são justamente essas áreas construídas as mais impactadas por enchentes, inundações e alagamentos. Já os sensores hiperespectrais têm como vantagem a capacidade de formar imagens com milhares de espectros, com um nível de resolução espectral muito próximo daquele verificado em espectrorradiômetros de campo ou de laboratório (Rudorff, 2006).

A resolução radiométrica está associada à sensibilidade do sistema sensor em distinguir dois níveis de intensidade do sinal de retorno (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2024a). Ainda segundo o INPE (2024a), uma resolução de 10 bits (1024 níveis digitais) é melhor que uma de 8 bits. Contudo, a alta resolução radiométrica implica em imagens mais pesadas computacionalmente, o que resulta em maior esforço para o seu processamento.

Por sua vez, a resolução temporal refere-se ao intervalo de tempo necessário para que um satélite volte a imagear a mesma área da superfície terrestre. No caso de áreas inundáveis, dependendo das características do relevo e da cobertura do solo, o escoamento pode ocorrer em questão de horas ou dias. Silva Neto (2023) afirma que uma resolução temporal de 6 a 12 dias permite um bom conjunto de dados sobre a dinâmica espacial na superfície terrestre, por exemplo, em ambientes inundáveis.

Além da consideração das resoluções dos sensores, é fundamental conhecer os procedimentos de Processamento Digital de Imagens (PDI), disponíveis. A exemplo, a técnica de fusão pode auxiliar na melhoria da resolução espacial de imagens de diferentes sensores. Segundo Leonerdi *et al.* (2009), as técnicas de fusão de imagens possibilitam integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática com a melhor resolução espectral das demais bandas, resultando em uma imagem colorida que reúne ambas as características.

As técnicas de PDI compõem um campo vastíssimo de pesquisas (Rudorff, 2006; Dewangan, 2016; Shahabi *et al.*, 2020; Santos e Nunes, 2021; Luu *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2023). Para Fonseca *et al.* (2009), as técnicas de PDI permitem a extração de informações e o melhoramento da qualidade visual das imagens a fim de torná-las interpretáveis por um analista humano ou por aprendizagem de máquina (*machine learning*).

Ademais, segundo Martins *et al.* (2023), o PDI pela abordagem clássica ainda é o mais comum. Apesar da valorização e do aumento do número de aplicações via *machine learning*, o predomínio dos métodos clássicos de PDI pode estar relacionado ao fato de que o aprendizado de máquina ainda não se tornou uma realidade ampla no PDI, sendo seu domínio relativamente restrito.

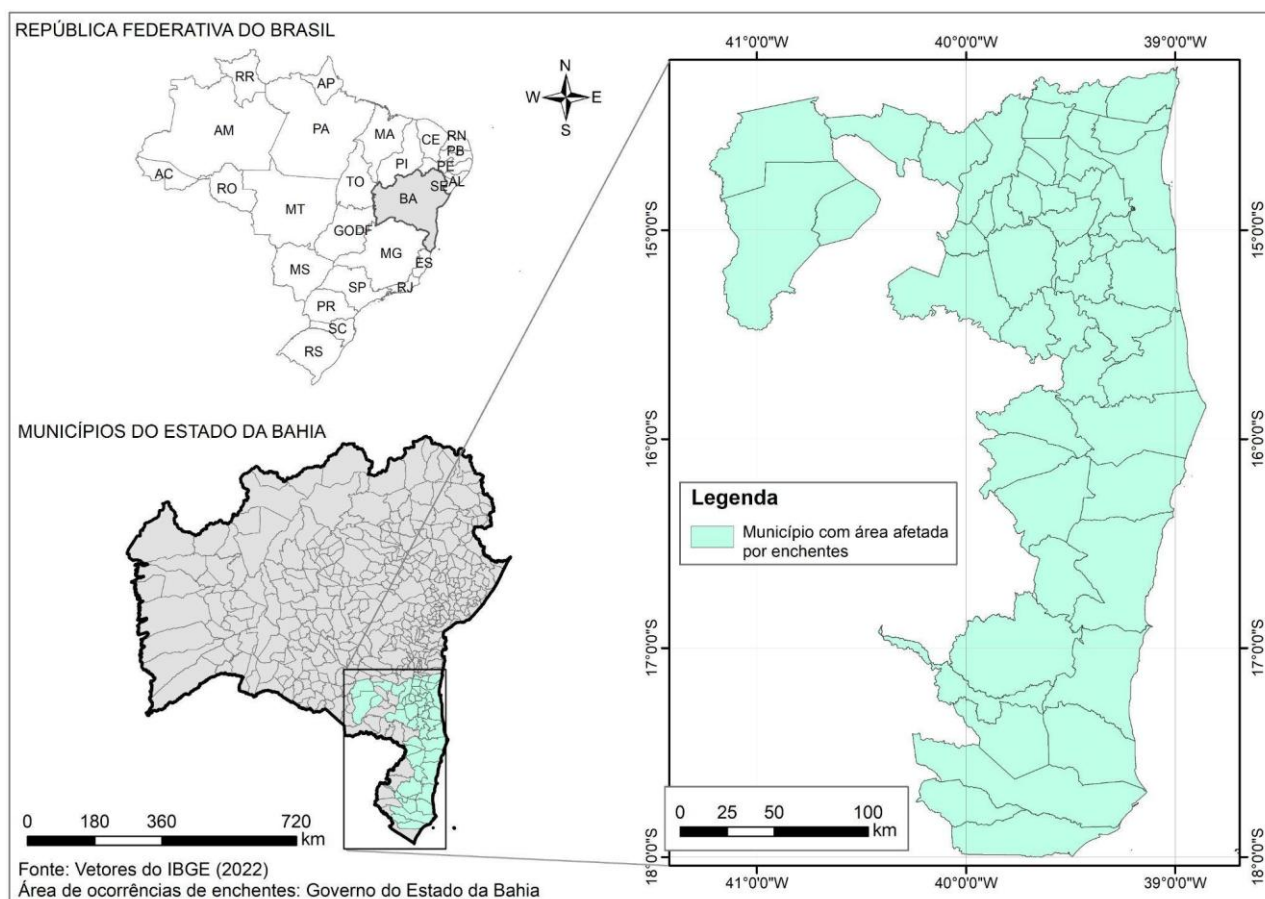
Por abordagem clássica compreende-se o processamento digital de imagens realizado em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Assim, os SIGs têm sido usados para uma ampla gama de aplicações geoespaciais. Nesse contexto, este artigo apresenta as potencialidades e as limitações do uso de imagens de sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas atingidas por enchentes, inundações e/ou alagamentos.

METODOLOGIA

Foram considerados na análise 49 municípios baianos com registros recorrentes de enchentes, inundações e/ou alagamentos, com base em dados disponibilizados pela Superintendência de Proteção e Defesa Civil da Bahia (Bahia, 2022), cujas localizações

estão apresentadas na Figura 1. Esse recorte territorial foi adotado por concentrar áreas historicamente vulneráveis a eventos hidrológicos extremos, permitindo avaliar a aplicabilidade das imagens de sensoriamento remoto, obtidas por sensores passivos.

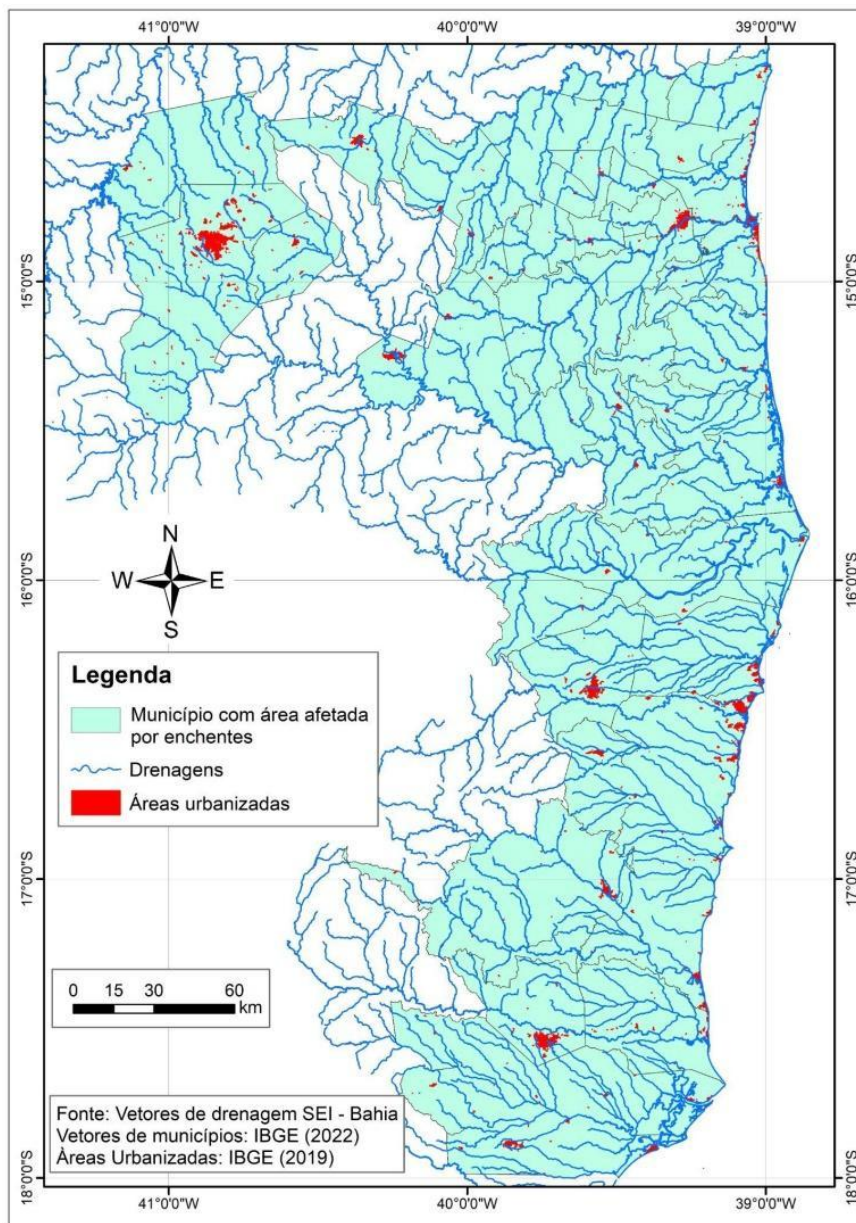
Figura 1 – Municípios com alguma área recorrentemente afetada por enchentes, inundações e/ou alagamentos no estado da Bahia



Fonte: Elaboração própria.

De modo geral, o clima na porção Sul da Bahia caracteriza-se por ser bastante úmido, com chuvas variando entre 1.800 e 1.200 mm, e temperaturas médias mensais superiores a 20°C (Teixeira, Oliveira e Teixeira, 2021). Além disso, historicamente, as cidades foram formadas ao longo de rios, isso também é perceptível na área em estudo (Figura 2).

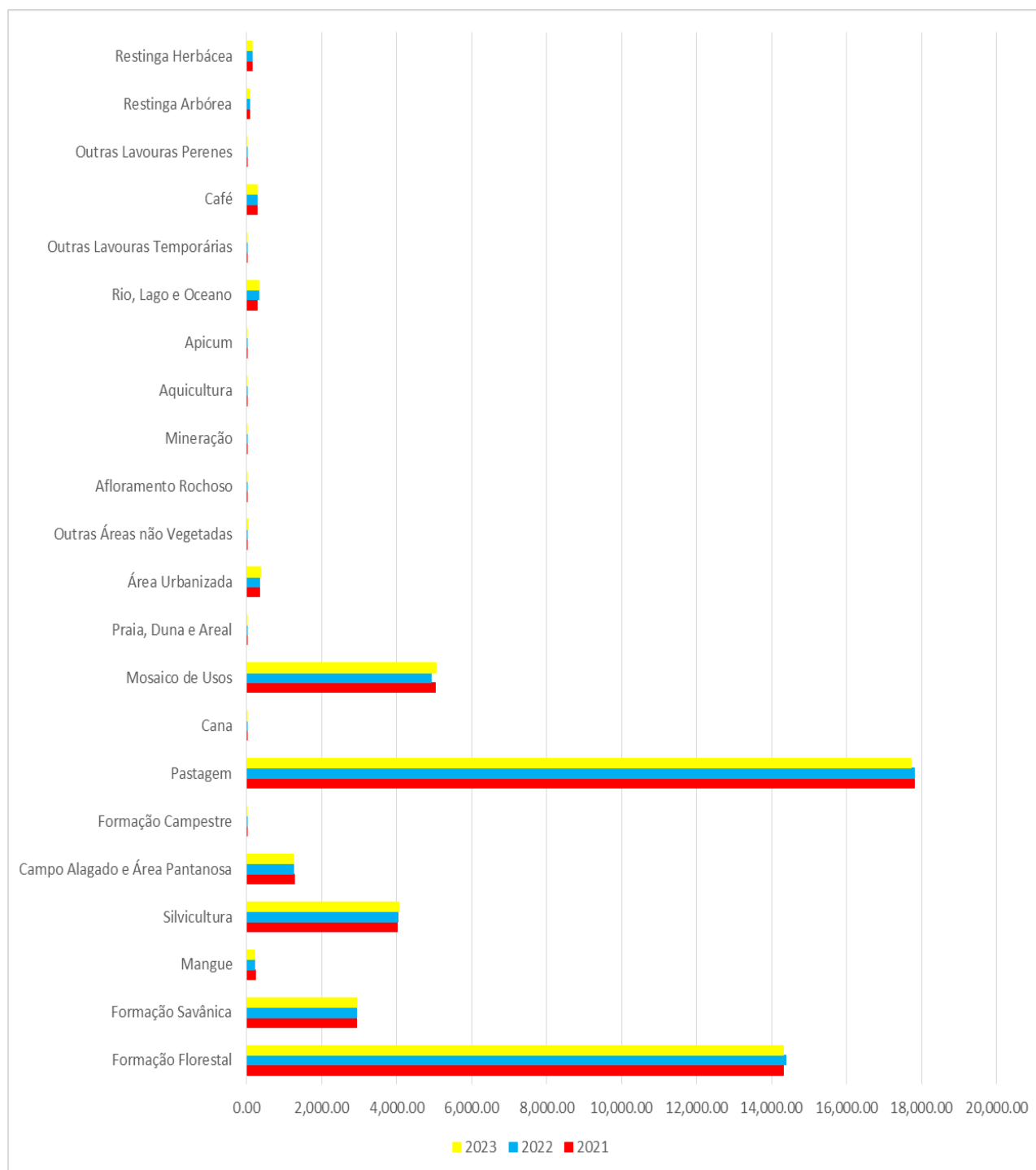
Figura 2 - Localização das áreas urbanizadas e sua relação com as drenagens na área em estudo



Fonte: Elaboração própria.

Segundo os dados do MapBiomas, Coleção 10.1, essa área passou por uma recente transformação no que se refere ao uso e cobertura da terra, dos anos de 2021, 2022 e 2023 (Figura 3). O maior crescimento ocorreu nas classes de Lavouras Temporárias e Áreas não-Vegetadas. Ademais, a área urbanizada apresentou crescimento de 5,2% no mesmo período analisado.

Figura 3 - Comparação de classes de uso nos anos de 2021, 2022 e 2023 na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores com dados do MapBiomas, Coleção 10.1 (2024).

Assim, considerando as imagens de sensoriamento remoto disponíveis gratuitamente e do período mais recente (a partir do ano de 2021), destacaram-se para análise as imagens do CBERS-4A e Landsat-9. O satélite CBERS-4A, como referido, é resultado de uma parceria exitosa entre Brasil e China.

Na versão CBERS-4A, lançada em 20 de dezembro de 2019, da base de Taiyuan, na China, é possível obter imagens tomadas por três câmeras: Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM); Câmera Multiespectral (MUX) e Câmera Imageadora de Campo Largo (WFI), com suas características sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características das câmeras do CBERS-4A

Características	WPM	MUX	WFI
Bandas Espectrais (Resolução espectral)	0,45-0,52µm (B)	0,45-0,52µm (B)	0,45-0,52µm (B)
	0,52-0,59µm (G)	0,52-0,59µm (G)	0,52-0,59µm (G)
	0,63-0,69µm (R)	0,63-0,69µm (R)	0,63-0,69µm (R)
	0,77-0,89µm (NIR)	0,77-0,89µm (NIR)	0,77-0,89µm (NIR)
	0,45-0,90 µm (PAN)		
Resolução espacial	2 m	16,5 m	55 m
	8 m		
Largura da Faixa Imageada	92 km	95 km	684 km
Resolução temporal	31 dias	31 dias	5 dias
Resolução radiométrica	10 bits	8 bits	10 bits

Fonte: Modificado de INPE (2024b).

Para nossas análises foram obtidas cenas da câmera de melhor resolução espacial do CBERS-4A - WPM. As órbitas/pontos selecionadas foram: 195/132, 195/133, 195/134, 195/135, 195/136, 196/133, 196/134, 198/131, 198/132, 198/131 e 198/130, referentes aos meses de dezembro de 2021 e de 2023 (período de eventos climáticos extremos na Bahia), para efeito de comparação das áreas inundáveis e/ou alagadas.

O Landsat-9 foi lançado em setembro de 2021 e opera com os sensores *Operational Land Imager (OLI-2)* e *Thermal Infrared Sensor (TIRS-2)*. Do Landsat-9, foram obtidas as imagens das órbitas/ponto (215/071, 215/72, 215/73, 216/070; 216/71, 216/72, 216/73 e 217/72).

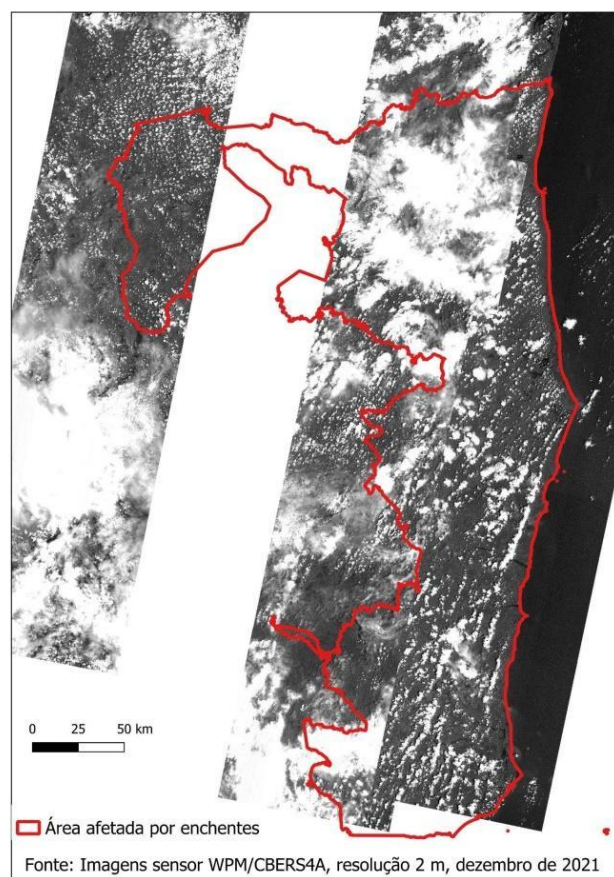
Segundo a *National Aeronautics And Space Administration (NASA, 2024)*, o Landsat-9 foi projetado para capturar simultaneamente quatro bandas espectrais visíveis (Bandas 1, 2, 3 e 4), uma banda espectral do infravermelho próximo (Banda 5), e três bandas espectrais do infravermelho de ondas curtas (Bandas 6, 7 e 9), com resolução espacial de 30 m, além de uma banda pancromática com resolução espacial de 15 m (Banda 8) e duas bandas térmicas (Bandas 10 e 11) com resolução espacial de 100 m.

As imagens CBERS-4A estão disponíveis no link <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore> e as imagens do Landsat-9 estão disponíveis pelo *site da* NASA, no link: <https://search.earthdata.nasa.gov/search?fdc=Land%2BProcess%2BDistributed%2BActive%2BArchive%2BCenter%2B%2528LPDAAC%2529>.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens com melhores resoluções espaciais são provenientes do sensor WPM do CBERS4A, 2 metros (PAN) e 8 metros (multiespectral) (Figura 4). Contudo, a presença de nuvens inviabiliza as análises em escalas regionais. Ademais, uma faixa da imagem não foi processada pelo INPE.

Figura 4 – Aspectos das imagens do sensor WPM/CBERS-4A da porção Sul da Bahia.

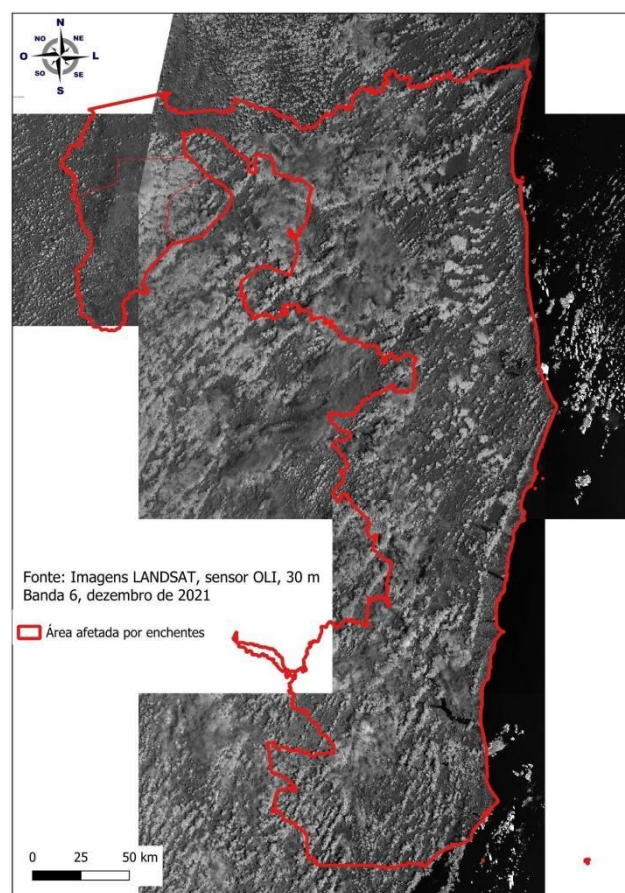


Fonte: Cenas imagens sensor WPM, organização própria (2024).

As dificuldades para análise por imagens Landsat-9, sensor OLI podem ser observadas na Figura 5. Devido à alta nebulosidade, as análises em escalas regionais também ficam comprometidas.

Apesar disso, segundo Bezerra, Sano e Ferreira (2007), o CBERS se tornou um caso de sucesso, uma opção para estudos diversos, devido à garantia da continuidade desse programa por parte do governo federal e da disponibilização de seus dados sem custos na rede mundial de computadores. Contudo, a alta nebulosidade na porção Sul da Bahia, em períodos de intensas chuvas, como as ocorridas no mês de dezembro de 2021, impede análises regionais do pulso de inundação dos rios e do acúmulo da lâmina d'água precipitada.

Figura 5 – Aspectos das imagens do sensor OLI, Landsat-9, da porção Sul da Bahia.



FONTE: Cenas imagens sensor OLI, organização própria (2024).

Nesse sentido, é preciso referir que as limitações não são atribuídas somente à presença de nuvens, mas também das sombras que esses alvos produzem nas imagens. Uma saída para a remoção de nuvens e sombras em imagens de sensoriamento remoto se dá pela aplicação de filtros. Segundo Sousa *et al.* (2013, p. 2),

A remoção e a redefinição das regiões de nuvens e sombras são feitas basicamente através de duas abordagens: a primeira consiste no uso de imagens de referência, em que se obtêm as informações reais das regiões cobertas, permitindo substituí-las pelas áreas correspondentes; a segunda ocorre estimando as regiões ocultas por esses elementos, quando não se tem nenhuma informação a priori daquela cena.

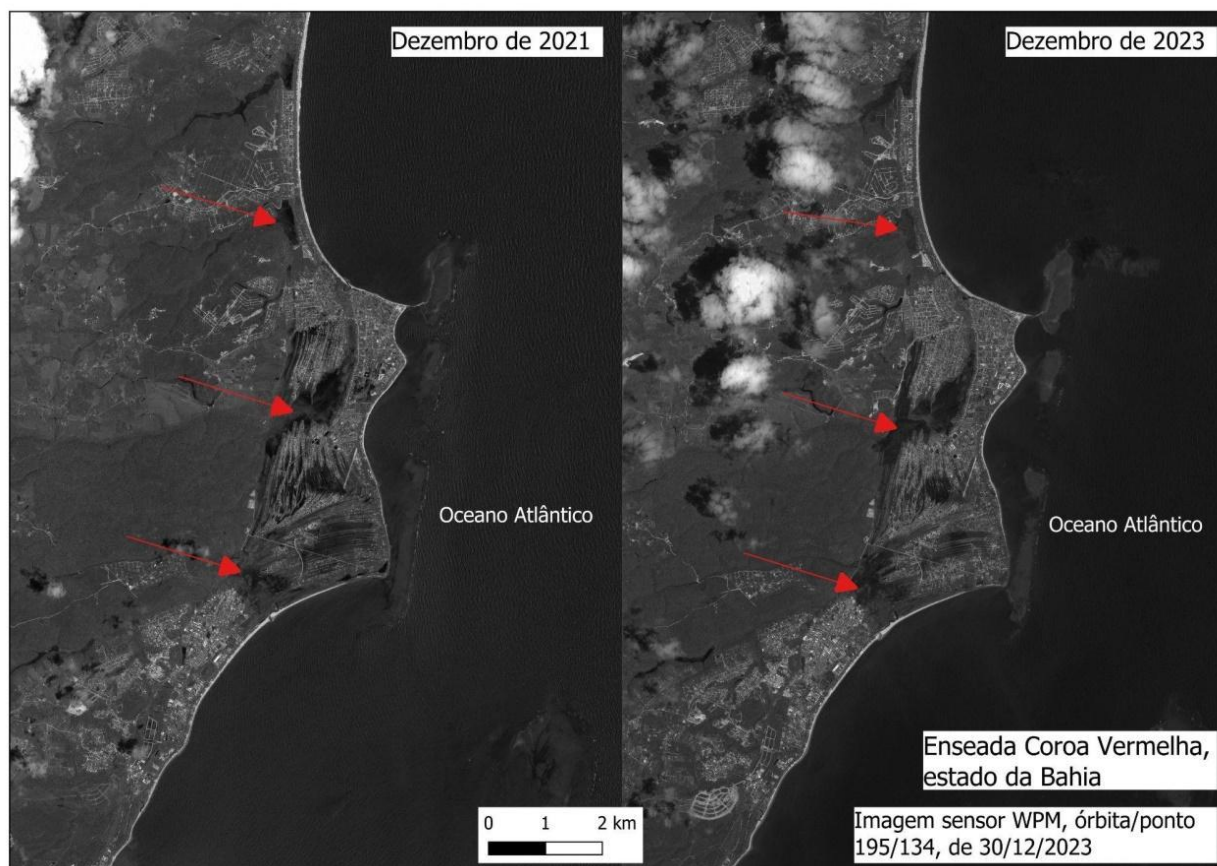
Identificam-se, ainda, técnicas mais simples de pura remoção de nuvens; no entanto, nesse caso, ruídos nas imagens poderão também ser removidos. Na hipótese da aplicação da metodologia apresentada por Sousa *et al.* (2013), tem-se a dificuldade de se encontrar imagens de períodos distintos e próximos devido à baixa resolução temporal. Contudo, é necessário ponderar a aplicabilidade dessas técnicas, como a fusão de imagens, em estudos sobre enchentes e alagamentos. Em eventos hidrológicos extremos, a dinâmica espaço-temporal da inundação pode variar rapidamente, de modo que a substituição de áreas encobertas por nuvens por imagens de referência obtidas em outras datas pode gerar inconsistências na delimitação real das áreas afetadas. Nesses casos, o uso de sensores ativos pode representar uma alternativa mais adequada devido à sua capacidade de aquisição em condições atmosféricas adversas.

Em ambientes do bioma Cerrado, Santos e Burjack (2007), ao analisarem o desempenho do CBERS-2, na determinação da morfologia de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia, conseguiram estabelecer análises comparativas nos períodos seco e chuvoso. Contudo, o Cerrado apresenta uma sazonalidade climática mais bem definida, com períodos secos mais pronunciados e menor persistência de cobertura de nuvens em comparação com áreas úmidas do litoral do Brasil.

Apesar das referidas limitações e da análise acabar ficando restrita a uma pequena parcela da imagem, é possível comparar áreas de inundação e alagamentos nas cenas do CBERS-4A, de dezembro de 2021 com a de dezembro de 2023, meses nos quais ocorreram eventos extremos na área de estudo (Figura 6). Observa-se que as áreas atingidas no ano de 2023 foram maiores que as do ano de 2021, na Enseada de Coroa Vermelha, inclusive no perímetro urbano.

De modo geral, foram fortes as chuvas nessa porção do território baiano. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), no mês de dezembro de 2023, na Bahia, foi identificado um evento com 145,2 mm de precipitação, no dia 20.

Figura 6 – Comparação de áreas inundadas em imagens CBERS-4A, senso WPM.



FONTE: Cenas imagens sensor WPM, organização própria.

Diante do que foi observado, recomenda-se o mapeamento mais detalhado de áreas inundáveis/alagadas no sul da Bahia por meio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). O VANT configura o sensoriamento remoto suborbital amplamente utilizado na atualidade. Algumas das vantagens dos VANTs são a possibilidade de construção de Modelos Digitais de Elevação (MDE), de boa precisão (Sartori, 2018), muito úteis em análises de áreas atingidas por eventos climáticos extremos. Ademais, a resolução temporal pode ser diária e a resolução espacial é altíssima (centimétrica). Contudo, para extensas áreas, existem limitações quanto à autonomia das baterias das aeronaves. Além disso, devido à altíssima resolução espacial, é necessário um processador robusto para a manipulação de um conjunto extenso de imagens.

Outra tecnologia que tem sido testada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden/INPE), são as imagens de radar do Sentinel-1, da Agência Espacial Europeia (ESA), que permitem o monitoramento contínuo da região afetada por alagamentos e/ou inundações, independentemente da cobertura de nuvens.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O texto revelou as potencialidades e as limitações do uso do sensoriamento remoto para mapeamento de áreas atingidas por enchentes, inundações e/ou alagamentos. As limitações ocorrem devido à alta nebulosidade observada em períodos chuvosos no bioma Mata Atlântica. Superar essa limitação é um processo complexo, pois a obtenção de dados e informações por sensoriamento remoto gratuito oferece restrições, já que predominam imagens de sensores passivos em escala regional.

As limitações observadas atingem as pesquisas acadêmicas de qualificação profissional, tendo em vista que nem sempre essas ações contam com recursos de financiamento disponíveis. Apesar disso, é possível que, em casos específicos e a depender da dinâmica atmosférica no período de interesse da análise, essas áreas possam ser visualizadas com imagens de sensoriamento remoto (de sensores passivos) obtidas gratuitamente.

REFERÊNCIAS

- BEZERRA, H. S.; SANO, E. E.; FERREIRA, L. G. Desempenho do satélite sino-brasileiro de recursos terrestres CBERS-2 no mapeamento da cobertura da terra no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 171-185, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbg/a/TsWZJmcPcQ4j9xKZWB6QWv/?lang=pt>. Acesso em: 03 ago. 2026.
- BROWN, K. M.; HAMBIDGE, C. H.; BROWNETT, J. M. Progress in operational flood mapping using satellite synthetic aperture radar (SAR) and airborne light detection and ranging (LiDAR) data. **Progress in Physical Geography**, [S. l.], v. 40, n. 2, p. 196-214, 2016. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0309133316633570>. Acesso em: 03 ago. 2026.
- BAHIA, Superintendência de Proteção e Defesa Civil da Bahia. Defesa Civil da Bahia apresenta balanço de atingidos pelas enchentes. Disponível em: <https://www.ba.gov.br/comunicacao/2021/12/noticias/defesa-civil-da-bahia-apresenta-balanco-de-atingidos-pelas-enchentes>.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A. Aplicações e perspectivas do sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas inundáveis. **Revista de Geografia**, Recife, v. 35, n. 4, p. 412-431, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/352115661_APLICACOES_E_PERSPECTIVAS_DO_SENSORIAMENTO_REMOTO_PARA_O_MAPEAMENTO_DE_AREAS_INUNDAVEIS. Acesso em: 03 ago. 2026.
- CHAWAN, A. C.; KAKADE, V. K.; JADHAV, J. K. Automatic detection of flood using remote sensing images. **Journal of Information Technology**, [S. l.], v. 2, n. 01, p. 11-26, 2020. Disponível: <https://irojournals.com/itdw/article/view/1275>. Acesso em: 03 ago. 2026.
- FITZGERALD, G. J. Characterizing vegetation indices derived from active and passive sensors. **International Journal of Remote Sensing**, [S. l.], v. 31, n. 16, p. 4335-4348, 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431160903258217>. Acesso em: 03 ago. 2026.

FLEISCHMANN, A. S *et al.* River flood modeling and remote sensing across scales: lessons from Brazil. In: **Earth observation for flood applications**. [S. l.]: Elsevier, 2021. p. 61-103. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9780128194126000043>. Acesso em: 03 ago. 2026.

FONSECA, L. M. G.; NAMIKAWA, L. M.; & CASTEJON, E. F. Digital image processing in remote sensing. In: **Tutorials of the Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing (SIBGRAPI TUTORIALS)**. p. 59-71. 2009. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5395150>. Acesso em: 03 ago. 2026.

HEROLD, M.; GARDNER, M. E.; ROBERTS, D. A. Spectral resolution requirements for mapping urban areas. **IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing**, [S. l.], v. 41, n. 9, p. 1907-1919, 2003. Disponível em: 10.1109/TGRS.2003.815238. Acesso em: 03 ago. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Eventos extremos: dezembro/2023 foi marcado por diversos episódios de chuva com impactos no agronegócio**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/eventos-extremos-dezembro-2023-foi-marcado-por-bastante-calor-e-diversos-epis%C3%B3dios-de-chuva-com-impactos-no-agroneg%C3%B3cio>. Acesso em: 03 ago. 2026.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Sensoriamento Remoto**, 2024a. Disponível em: https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html#:~:text=Resolu%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20uma%20medida%20da,em%20espacial%2C%20espectral%20e%20radiom%C3%A9trica.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. Câmeras Imageadoras CBERS 04A, 2024b. Disponível em: <http://www.cbers.inpe.br/sobre/cameras/cbers04a.php>

WANG, W. *et al.* Review on active and passive remote sensing techniques for road extraction. **Remote Sensing**, v. 13, n. 21, p. 271-282, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.05.005>. Acesso em: 03 ago. 2026.

KLEMAS, V. Remote sensing of floods and flood-prone areas: an overview. **Journal of Coastal Research**, [S. l.], v. 31, n. 4, p. 1005-1013, 2015. Disponível: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00160.1>. Acesso em: 03 ago. 2026.

KRIZEK, J. P. O.; ALVES, S. L.; SANTOS, L. C. M. Estado da arte da utilização de geotecnologias no ensino de ecologia: uma análise quali-quantitativa. **Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio**, [S. l.], p. 290-313, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.46667/renbio.v15i1.674>. Acesso em: 03 ago. 2026.

LEONERDI, F. *et al.* Fusão de imagens CBERS 2B: CCD-HRC. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Abril 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009, p. 6951-6958. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.12.28/doc/6951-6958.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2026.

LICCO, E. A.; MAC DOWELL, S. F. Alagamento, enchentes, enxurradas e inundações: digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**. [S. l.], São Paulo, v. 5, n. 3, p. 159-174, 2015. Disponível em: https://www1.sp.senac.br/hotsites/blogs/revistainiciacao/wp-content/uploads/2015/12/110_IC_artigo-.pdf. Acesso em: 03 ago. 2026.

LU, D. *et al.* Aboveground forest biomass estimation with landsat and LiDAR data and uncertainty analysis of the estimates. **International Journal of Forestry Research**, [S. l.], 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2012/436537>. Acesso em: 03 ago. 2026.

LUU, C. *et al.* Flood-prone area mapping using machine learning techniques: a case study of Quang Binh province, Vietnam. **Natural Hazards**, [S. l.], v. 108, n. 3, p. 3229-3251, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-021-04821-7>. Acesso: 03 ago. 2026.

MALIK, S. *et al.* Prediction of highly flood prone areas by GIS based heuristic and statistical model in a monsoon dominated region of Bengal Basin. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [S. l.], v. 19, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100343>. Acesso em: 03 ago. 2026.

MARTINS, S. *et al.* Processamento digital de imagens para mapeamento de uso e cobertura da terra: uma revisão de literatura. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, RN, v. 9, n. 2, p. 131-143, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/32515/17743>. Acesso em: 03 ago. 2026.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Spectral bands and applications. Washington, DC: NASA, 2025. Disponível em: <https://science.nasa.gov/mission/landsat/spectral-bands-and-applications/>. Acesso em: 5 ago. 2026

NEVES, K. M. **Estimativa de biomassa florestal integrando dados Landsat-8 e fotogrametria aérea digital em diferentes escalas: um estudo de caso em uma bacia hidrográfica no bioma Mata Atlântica**. 2021. 99 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2021. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/17204>. Acesso em: 05 ago. 2026.

ODIANA, S.; UGBODAGA, F.; OKWUOKEI, N. G. Determining flood prone areas in edo state using Geographic Information System (GIS) and remote sensing. **Journal of Energy Technology and Environment**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 123-134, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11412214>. Acesso em: 05 ago. 2026.

RAKUASA, H. Identification of flood prone areas in Sumatra Barat province using remote sensing data and Geographic Information System based on machine learning. **Journal of International Multidisciplinary Research**, [S. l.], v. 2, n. 5, p. 234-240, 2024. Disponível em: <https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=4016029>. Acesso em: 05 ago. 2026.

RUDORFF, C. **Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/EO-1 e de espectrômetro de campo visando a compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, SP, 2006. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/INPE_7f3f39c90d71c0f3c8ca56915415aeb2. Acesso em: 05 ago. 2026.

SAHA, A. K.; AGRAWAL, S. Mapping and assessment of flood risk in Prayagraj district, India: a GIS and remote sensing study. **Nanotechnology for Environmental Engineering**, [S. l.], v. 5, p. 1-18, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41204-020-00073-1>. Acesso em: 05 ago. 2026.

SANTANA, G. *et al.* (Orgs.). **Contribuições das pesquisas em ciências ambientais para a sustentabilidade no estado da Bahia**. Criação Editora, Aracaju, 2020.

SARTORI, R. Z. **Avaliação comparativa de modelos hidrodinâmicos para previsão de inundações: um estudo de caso do município de Getúlio Vargas-RS**. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim,

RS, 2018. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/2059/1/SARTORI.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2026.

SANTOS, A. M.; BURJACK, M. I. A. Análise do desempenho do satélite sino-brasileiro de recursos terrestres (CBERS 2) na determinação de morfologia de sistemas lacustres da planície aluvial do médio Rio Araguaia entre Bandeirantes e Luiz Alves. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 21-26. Disponível: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.00.54/doc/1079-1086.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2026.

SANTOS, A. M. *et al.* Cartografia digital aplicada aos estudos de temas ambientais, econômicos e sociais no ensino básico. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, RS, v. 28, p. 1-26, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/84815/64090>. Acesso em: 05 ago. 2026.

SANTOS, A. M.; NUNES, F. G. Mapeamento de cobertura e do uso da terra: críticas e autocríticas a partir de um estudo de caso na Amazônia brasileira. **Geosul**, Florianópolis, v. 36, n. 78, p. 476–495. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72887>. Acesso em: 05 ago. 2026.

SHAHABI, H. *et al.* Flood detection and susceptibility mapping using sentinel-1 remote sensing data and a machine learning approach: hybrid intelligence of bagging ensemble based on k-nearest neighbor classifier. **Remote Sensing**, v. 12, n. 2, 2020. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs12020266>. Acesso em: 05 ago. 2026.

SERVIDONI, L. E. *et al.* Methodological proposal to remote detection and management of areas that are naturally vulnerable to floods. **Earth Sciences Research Journal**, Bogotá, Colômbia, v. 27, n. 1, p. 59-68, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/esrj.v27n1.103542>. Acesso em: 05 ago. 2026.

SILVA NETO, T. A. Mapeamento de áreas inundáveis na região do Baixo Jaguaribe (Ceará) utilizando imagens Sentinel-1 e Sentinel-2. 70 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76146>. Acesso em: 05 ago. 2026.

SOUSA, D. F. *et al.* Uma abordagem híbrida e semi-automática para a remoção de nuvens e sombras de imagens de satélite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 16., 2013; Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR: INPE, 2013. p. 8027-8034. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.18.21/doc/p0327.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2026.

TEIXEIRA, T. M. A.; OLIVEIRA, V. P. V.; OLIVEIRA, A. C. Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São João de Tiba, Extremo Sul da Bahia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 14, n. 04, p. 1941-1956, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/249413/39020>. Acesso em: 05 ago. 2026.

WILLIAMS, D. L.; GOWARD, S.; ARVIDSON, T. Landsat: yesterday, today, and tomorrow. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, [S. l.], v. 72, n. 10, p. 1171-1178, 2006. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/asprs/pers/2006/00000072/00000010/art00005;jsessionid=5q3a9pia7o4ji.x-ic-live-01#>. Acesso em: 05 ago. 2026.