

O uso do sensoriamento remoto na biodiversidade e conservação

The use of remote sensing in biodiversity and conservation

André Luiz Pereira da SilvaORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4793-4690>

Universidade do Estado do Amapá, Brasil

E-mail: andreengagronomo@gmail.com**Alexandre da Trindade Lélis**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5993-8226>

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

E-mail: alexandre_lelis18@hotmail.com**Welliton de Lima Sena**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3021-2499>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

E-mail: welliton.sena@ifpa.edu.br**Joaquim Alves de Lima Junior**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9003-7998>

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

E-mail: joaquim.junior@ufra.edu.br

RESUMO

O sensoriamento remoto, a ciência da obtenção de informações por meio de registro sem contato, varreu os campos da Ecologia, Biodiversidade e Conservação (EBC). Vários artigos de revisão de qualidade contribuíram para este campo. Contudo, estes artigos discutem frequentemente as questões do ponto de vista de um ecologista ou de um especialista em biodiversidade. Esta revisão centra-se na detecção remota espacial da EBC na perspectiva de especialistas em detecção remota, ou seja, está organizada no contexto da tecnologia de ponta em detecção remota, incluindo instrumentos e técnicas. Aqui, os instrumentos a serem discutidos consistem em sensores de alta resolução espacial, hiperespectral, infravermelho térmico, constelação de pequenos satélites e LIDAR; e as técnicas referem-se à classificação de imagens, índice de vegetação (VI), algoritmo de inversão, fusão de dados e Integração de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Fusão de dados; Integração de Sensoriamento Remoto (RS).

ABSTRACT

Remote sensing, the science of obtaining information through contactless recording, has swept the fields of Ecology, Biodiversity and Conservation (EBC). Several quality review articles have contributed to this field. However, these articles often discuss issues from the perspective of an ecologist or biodiversity expert. This review focuses on EBC space remote sensing from the perspective of remote sensing experts, i.e., it is organized in the context of cutting-edge remote sensing technology, including instruments and techniques. Here, the instruments to be discussed consist of high spatial resolution, hyperspectral, thermal infrared, small satellite constellation, and LIDAR sensors; and the techniques refer to image classification, vegetation index (VI), inversion algorithm, data fusion and Integration of Remote Sensing (SR) and Geographic Information System (GIS).

Keywords: Remote sensing; Data fusion; Remote Sensing Integration (RS).

INTRODUÇÃO

Em geral, a investigação ecológica refere-se à investigação dos organismos e do ambiente circundante, incluindo entidades bióticas e abióticas. Devido à natureza multifacetada da biodiversidade, é difícil simplesmente expressar e medir a biodiversidade (Antolini; Susto, 2014).

ZHANG et al. (2024), afirmam que a proteção do solo e da biodiversidade são realizadas a partir da identificação da localização e distribuição dos danos, para tanto, a tecnologia de sensoriamento remoto fornece uma ferramenta eficaz para mapeamento e monitoramento desses danos, devido à sua cobertura espacial e temporal a um baixo custo.

A biodiversidade deve estar relacionada não apenas com a variação das formas de vida, mas também com os complexos ecológicos dos quais fazem parte. A conservação tornou-se uma forma indispensável de lidar com a acelerada conversão e degradação dos ecossistemas nativos, que têm um efeito significativamente negativo sobre a biodiversidade (Conceição, 2023).

O sensoriamento remoto, a ciência da obtenção de informações por meio de registro sem contato, varreu os campos da ecologia, biodiversidade e conservação (EBC). A detecção remota pode fornecer dados consistentes de observação da Terra a longo prazo, em escalas que vão do domínio local ao global (Camacho-Velasco, et al., 2015).

Além disso, a detecção remota não é trabalhosa e demorada, em comparação com observações baseadas em campo. Os artigos de revisão de Antolini; Susto (2014) publicados na revista “Trends in Ecology and Evolution”, foram citados centenas de vezes por cientistas de todo o mundo que estão envolvidos no sensoriamento remoto de EBC.

Aqui, os instrumentos a serem discutidos consistem em alta resolução espacial, hiperespectral, infravermelho térmico, pequenos satélites constelação e sensores LIDAR; e as técnicas referem-se à classificação de imagens, índice de vegetação (VI), algoritmo de inversão, fusão de dados e integração de sensoriamento remoto (SR) e sistema de informações geográficas (SIG).

METODOLOGIA

Para que os objetivos deste estudo fossem alcançados, foi realizado um estudo de revisão bibliográfica, de cunho exploratório. Foi realizada uma busca nos principais periódicos científicos relacionados ao tema proposto. Foi criada uma biblioteca digital

com todos os trabalhos relacionados. A partir disso, foram selecionados os melhores artigos para a elaboração deste estudo.

Conseqüentemente, a seleção mais criteriosa e focada de artigos científicos e livros que versassem sobre o assunto, viabilizando a análise com discussão dos resultados em panorama com o defendido por autores e pesquisadores. Para realização do levantamento bibliográfico, utilizaram-se as plataformas de pesquisa científica Google Acadêmico e Scielo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Alta resolução especial

De modo geral, a alta resolução espacial, também chamada de resolução espacial fina, é inferior a 10 m e varia de 0,5 a 10 m no domínio comercial para pesquisa ambiental. *IKONOS*, *QuickBird*, *OrbView-3* e *SPOT-5 (Satellite Pour l'Observation de la Terre-5)* são os sistemas comumente usados (Da Silva; Silva-Mann, 2020).

O benefício das imagens de alta resolução espacial é que elas aumentam muito a precisão da identificação e caracterização de pequenos objetos em escalas espaciais que anteriormente só estavam disponíveis em plataformas aéreas (Conceição, 2023).

Além disso, a cobertura de dados e as restrições de segurança ainda são um obstáculo significativo antes do acesso fácil a dado de satélite de alta resolução espacial. Devido à grande quantidade de sensores de alta resolução espacial, as imagens *IKONOS* comumente utilizadas foram selecionadas para exibir suas aplicações típicas em 2008 e 2009 (Junior, *et al.*, 2014).

Hiperespectral

Os dados hiperespectrais têm a capacidade de coletar ampla informação espectral através de um espectro contínuo, geralmente com 100 ou mais bandas espectrais contíguas. É diferente dos sensores multispectrais que detectam relativamente poucas bandas discretas. Centenas de bandas espectrais com larguras de banda espectrais de 10-20 nm oferecem novas possibilidades para detectar diferenças sutis entre objetos de interesse (Herrmann; Nascimento; De Freitas, 2022).

O melhor exemplo é discriminar a cobertura do solo em escala detalhada e específica para cada espécie, como categorias de vegetação ou tipos de solo, que dão uma contribuição notável ao estudo dos padrões de biodiversidade (Queiroz, et al., 2021).

Além disso, Oliveira et al., (2021) resumiram que os dados hiperespectrais foram aplicados com sucesso no registro de informações sobre propriedades críticas das plantas (por exemplo, pigmento foliar, conteúdo de água e composição química), na discriminação de espécies de árvores em paisagens e na identificação bastante precisa entre diferentes espécies.

Portanto, a integração das imagens Hyperion e IKONOS foi proposta para diferenciar as sutis diferenças espectrais dos tipos de uso/cobertura da terra em fazendas familiares no norte da Amazônia equatoriana, com ênfase em florestas secundárias e sucessionais, e os resultados promissores apoiaram a integração uso de dados hiperespectrais e hiperespaciais (Camacho-Velasco, et al., 2015).

Sensoriamento Remoto Térmico

O sensoriamento remoto térmico detecta a energia emitida pela superfície da Terra no infravermelho térmico (TIR, 3 μm a 15 μm), que pode ser irradiada por todos os corpos acima do zero absoluto. Teoricamente, os sensores TIR medem a temperatura da superfície e as propriedades térmicas dos alvos, que são essenciais para o desenvolvimento de uma melhor compreensão e de modelos mais robustos das interações do equilíbrio energético da superfície terrestre (Oliveira, et al., 2021).

Outro bom uso dos dados de sensoriamento remoto TIR é medir a evapotranspiração, evaporação e umidade do solo. Por exemplo, Junior et al., (2014) analisaram o desempenho em escala continental de algoritmos de recuperação de umidade do solo superficial, dependendo de micro-ondas passivas de satélite, dispersômetro e observações de sensoriamento remoto térmico.

Silva et al., (2021) revisaram métodos baseados em sensoriamento remoto Ts/VI (temperatura superficial/índice de vegetação) para a recuperação de fluxos de energia da superfície terrestre e umidade da superfície do solo, e sugeriu que um trabalho futuro deveria avaliar a precisão desses métodos em diversos ambientes.

Constelação de Pequenos Satélites

Um pequeno satélite geralmente se refere à sua massa na faixa de 1–500 kg e a constelação de satélites é definida como grupos de satélites trabalhando em conjunto. Desde 1997, seis simpósios sobre pequenos satélites foram organizados pela Academia Internacional de Astronáutica (IAA) em Berlim, Alemanha (Conceição, 2023).

Além dos benefícios em custo e operação, a constelação de pequenos satélites tem duas vantagens óbvias em aplicações, ou seja, levantamento global e maior frequência de visitas. É relativamente fácil obter dados de observação em todo o mundo num curto espaço de tempo para sistemas de constelação (Antolini; Susto, 2014).

O aumento da frequência de visitas pode não apenas satisfazer a aplicação de detecção de mudanças rápidas na superfície, como monitoramento do crescimento das culturas e detecção de perturbações intrassazonais do ecossistema, mas também promover a aquisição de imagens de boa qualidade com contaminação limitada de nuvens (Queiroz, et al., 2021).

LIDAR

Light Detection and Ranging (LIDAR), também chamada de altimetria a laser, é uma tecnologia de sensoriamento remoto ativo que utiliza um laser para iluminar um objeto alvo e um fotodiodo para registrar a radiação de retroespalhamento. O atual sensoriamento remoto LIDAR pode ser categorizado em dois grupos gerais: LIDARs sem varredura e LIDARs com varredura (Herrmann; Nascimento; De Freitas, 2022).

Os LIDARs sem varredura registram a faixa pulsada que mede o tempo de viagem entre o sinal transmitido e recebido retroespalhado da superfície do objeto. Já os LIDARs de varredura registram a faixa de onda contínua que é produzida em um sinal senoidal transmitido e realizada pela modulação da intensidade da luz laser (Da Silva; Silva-Mann, 2020).

O LIDAR foca na estrutura vertical da floresta, especialmente na altura do dossel florestal e na estimativa da biomassa acima do solo. Já Oliveira, et al., (2021) estimou a altura do dossel da floresta com um RMSE de 5m (83% de variância) em vários tipos de

floresta, incluindo folhas perenes de folhas largas, folhas largas decíduas e povoamentos mistos na América do Norte temperada e florestas tropicais de folhas largas perenes no Brasil.

Técnicas Avançadas em Sensoriamento Remoto da EBC

Critérios semelhantes foram aplicados para escolher as técnicas de sensoriamento remoto discutidas abaixo, incluindo algoritmos ou métodos promissores em classificação de imagens, índice de vegetação (VI), algoritmo de inversão, fusão de dados e integração de RS e GIS (De Almeida; Silva, 2022).

Embora essas técnicas sejam revisadas separadamente, elas são frequentemente integradas na prática. Por exemplo, a fusão de dados pode ser implementada em dados de sensoriamento remoto antes de serem classificados por classificadores avançados, a fim de melhorar a precisão da classificação (Anziliero, 2021).

Classificação de imagens

Independentemente da variedade de usos das imagens de sensoriamento remoto, o primeiro objetivo é extrair informações da paisagem das imagens de satélite. A classificação de imagens tem sido reconhecida como o meio mais eficaz para fazê-lo desde meados de 1800, quando os humanos identificaram pela primeira vez diferentes tipos de uso e cobertura da terra em fotografias aéreas (Silva, et al., 2021).

Herrmann; Nascimento; De Freitas (2022) discutiram em detalhes os elementos fundamentais da interpretação de imagens, incluindo tom da escala de cinza, cor, altura e profundidade, tamanho, forma, textura, sombra do padrão, local, associação e arranjo.

Já Conceição (2023) cita que algoritmos de classificação orientados a objetos foram desenvolvidos para atender a essa necessidade e estabeleceram maior precisão de classificação quando comparados com os métodos tradicionais. As unidades básicas de processamento da classificação orientada a objetos são segmentos, chamados de objetos de imagem, que representam uma unidade relativamente homogênea no terreno (Camacho-Velasco, et al., 2015).

Índice de Vegetação

Os índices de vegetação (VIs) são abundância relativa radiométrica é adimensional e atividade da vegetação verde, incluindo LAI, porcentagem de cobertura verde, conteúdo de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR). Oliveira, et al., (2021), assumiu o benefício dos VIs em maximizar a sensibilidade aos parâmetros biofísicos, normalizar ou modelar efeitos externos, normalizar efeitos internos e auxiliar no esforço de validação e controle de qualidade.

Não há dúvida de que o NDVI é o índice de vegetação mais conhecido. Seu uso em EBC foi consideravelmente revisado por, etc. No entanto, outros índices que são comumente usados nas aplicações relevantes não são levados suficientemente a sério nos artigos de revisão acima mencionados (Da Silva; Silva-Mann, 2020).

Por exemplo, SR foi validado para ter melhor desempenho nos estágios iniciais e intermediários da floresta para a avaliação do LAI com base em dados ASTER nos ecossistemas da floresta tropical da África Oriental. O índice de vegetação modificado ajustado ao solo (MSAVI) foi selecionado como o índice de vegetação ideal em um modelo de mistura linear para mapear a cobertura fracionada do dossel em florestas tropicais no estado amazônico (De Almeida; Silva, 2022).

Algoritmos de Inversão

Vários modelos orientados a processos são desenvolvidos para caracterizar os ambientes da Terra porque os métodos tradicionais baseados em relações estatísticas simples são frequentemente dependentes de sensores e específicos do local. Esses modelos representam a compreensão profunda dos processos físicos que derivam do sistema terrestre e são inquestionavelmente úteis nas observações da Terra em apoio ao EBC (Silva, et al., 2021).

Para monitorar e modelar a poluição das águas pluviais, Queiroz et al., (2021) propuseram uma abordagem de rede Bayesiana, que se enquadra na categoria de simulação de modelo e análise estatística. Um modelo de transferência radiativa foliar denominado LIBERTY (Leaf Incorporating Biochemistry Exhibiting Reflectance and Transmittance Yields) foi selecionado e incorporado com três pigmentos para melhor

entender as relações entre as propriedades bioquímicas, biofísicas e espectrais das folhas (Conceição, 2023).

Queiroz et al., (2021) usaram séries temporais de índices de vegetação de sensoriamento remoto, como MODIS NDVI, em um modelo baseado em processo BIOME-BGC (Biome-Bio Geochemical Cycles) para estimar a produção primária bruta (GPP) de ecossistemas agroflorestais.

Contudo, um problema intrínseco nos modelos inversos é que o processo de entrada para saída é muitas vezes não invertível, ou seja, mais de uma combinação de entradas resulta na mesma saída de assinatura espectral. Anziliero (2021) afirmou que, por ainda ser um problema não linear e mal colocado para inverter os parâmetros da superfície terrestre, mais pesquisas são necessárias para focar no uso da regularização.

Fusão de dados

Cada tipo de imagem tem as suas próprias vantagens e desvantagens, que proporcionam um grande potencial para explorar plenamente dados multifonte cada vez mais sofisticados através da fusão de dados. Por exemplo, as imagens MODIS têm uma vantagem significativa na resolução temporal (um dia), mas são muito pobres na resolução espacial (250, 500 ou 1.000 m) para certas aplicações, enquanto as imagens Landsat TM tiveram um desempenho muito bom na resolução espacial (30 m), mas com revisitação de 16 dias (Herrmann; Nascimento; De Freitas, 2022).

Portanto, Zullo Júnior *et al.*, (2014) desenvolveram o modelo *Spatial Temporal Adaptive Algorithm for Mapping Reflectance Change* (STAARCH) para fundir alta resolução espacial (Landsat) e temporal (MODIS) para mapeamento de distúrbios florestais. Uma definição geral de fusão de dados (imagens) de sensoriamento remoto é dada como a combinação de duas ou mais imagens diferentes para formar uma nova imagem usando um determinado algoritmo (De Almeida; Silva, 2022).

Integração de RS e GIS

RS e SIG têm uma natureza complementar e devem desenvolver-se de forma interdependente. RS fornece rotineiramente informações extraídas de dados de

sensoriamento remoto em escalas que variam de local a global e o objetivo do GIS é armazenar, analisar e visualizar dados espaciais (Silva, *et al.*, 2021).

Embora Hinton tenha revisado bem o uso combinado de dados de sensoriamento remoto e dados GIS vetoriais, Oliveira, *et al.*, (2021) afirmaram que a integração de RS e GIS tornou-se cada vez mais aparente desde Aronoff. Queiroz *et al.*, (2021) listaram os principais fatores para beneficiar a integração, incluindo o desenvolvimento de teoria e métodos analíticos, avanços na computação e na tecnologia do sistema de posicionamento global (GPS).

A contribuição do SIG para o RS consiste em (1) planejamento de missão; (2) dados auxiliares para correção geométrica e radiométrica e classificação de imagens; e (3) coleta, organização e visualização de dados de referência (Camacho-Velasco, *et al.*, 2015).

Por exemplo, um método adaptável que integra imagens de sensoriamento remoto de baixo custo e GIS foi desenvolvido para avaliar a mudança e conversão da cobertura florestal em apoio aos tomadores de decisão na avaliação do uso regional e local da terra e no planejamento de medidas de conservação florestal (Da Silva; Silva-Mann, 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensoriamento remoto desempenha um papel cada vez maior na pesquisa de EBC, especialmente em grandes escalas espaciais e/ou temporais de longo prazo. Além disso, a utilização da detecção remota aprofunda-se com o apoio de produtos e tecnologias de detecção remota de última geração. Certamente, é impossível progredir sem a ajuda de GIS e GPS.

REFERÊNCIAS

ANTOLINI, S. S; SUSTO, Roberto Fava. Condicionadores de Adoção de Inovações e Tecnologias de Agricultura de Precisão por Produtores Rurais: Revisão Sistemática de Literatura e Proposição de um Modelo Conceitual. **FEA-RP-Universidade de São Paulo**, 2014.

ANZILIERO, Darlei. As Técnicas de Monitoramento por VANT: Uma Revisão dos Resultados Obtidos na Agricultura. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 10, p. 34-47, 2021.

CAMACHO-VELASCO, Ariolfo et al. Aplicações e desafios do sensoriamento remoto hiperespectral na geologia colombiana. **Revista Facultad de Ingeniería**, v. 24, n. 40, p. 17-29, 2015.

CONCEIÇÃO, Ívens Hungria da. Histórico do uso de drones na agricultura: uma revisão. 2023.

DA SILVA, Wanderson de Vasconcelos Rodrigues; SILVA-MANN, Renata. Agricultura de Precisão no Brasil: conjuntura atual, desafios e perspectivas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e1979119603-e1979119603, 2020.

DE ALMEIDA, Samira Luns Hatum; SILVA, Rouverson Pereira da. Estimativa da produtividade e maturação do amendoim utilizando ferramentas de agricultura digital. 2022.

DE OLIVEIRA, Marcell Terra et al. Mapeamento da vegetação do cerrado—uma revisão das iniciativas de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, 2020.

DE SOUZA PEREIRA, Célia Santos; SOBRINHO, Teodorico Alves. Programas de controle da erosão hídrica no âmbito rural: um breve panorama brasileiro Programas de controle da erosão hídrica no contexto rural: um breve panorama brasileiro. **Ambiência**, v. 10, n. 3, pág. 851-867, 2014.

HERRMANN, Pâmela Boelter; NASCIMENTO, Victor Fernandez; DE FREITAS, Marcos Wellausen Dias. Sensoriamento Remoto Aplicado à Análise de Fogo em Formações Campestres: Uma Revisão Sistemática. **Rev. Bras. Cartogr**, v. 74, n. 2, 2022.

JUNIOR, Jurandir Zullo et al. Multi-resolução em sensoriamento remoto para monitoramento agrícola: uma revisão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 7, pág. 1517-1529, 2014.

OLIVEIRA, Marcio Regys Rabelo de et al. Avanços do sensoriamento hiperespectral na agricultura: uma revisão. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2021.

QUEIROZ, Daniel Marçal de et al. Sensores aplicados à Agricultura Digital: Uma revisão. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2021.

SILVA, Alexsandro Oliveira da et al. A irrigação na era da agricultura 4.0: manejo, monitoramento e precisão. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2021.

ZULLO JÚNIOR, J. et al. Multi-resolução em sensoriamento remoto para monitoramento agrícola: uma revisão. 2014.

ZHANG, W.; YU, Q.; TANG, H.; LIU, J.; WU, W. Conservation tillage mapping and monitoring using remote sensing. **Computers and Electronics in Agriculture**, V. 218, 2024.