

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MONITORAMENTO ESPAÇO-
TEMPORAL NO TERRITÓRIO INDÍGENA ANAMBÉ, AMAZÔNIA ORIENTAL**

**GEOTECHNOLOGIES APPLIED TO SPATIOTEMPORAL MONITORING IN
THE ANAMBÉ INDIGENOUS TERRITORY, EASTERN AMAZON**

**GEOTECNOLOGÍAS APLICADAS AL MONITOREO ESPACIO-TEMPORAL EN
EL TERRITORIO INDÍGENA ANAMBÉ, AMAZONÍA ORIENTAL**



10.56238/revgeov17n2-164

Alexsandro Abner Campos Baía

Mestrando em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: alexsandroacbaia@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-1082-3238>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2234505553472872>

Iedo Souza Santos

Doutor em Engenharia de Produção

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: iedo@uepa.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2563-3245>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0003944334870038>

Gilmara Maureline Teles da Silva de Oliveira

Doutora em Desenvolvimento Sustentável

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

E-mail: gilmarateles.eng@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6715-5945>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4428438303830749>

Eliane de Castro Coutinho

Doutora em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: elianecoutinho@uepa.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3152-7828>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7392327864420841>

Eder Silva de Oliveira

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: ederso@uepa.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2560-2214>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2581670135236908>



RESUMO

A Amazônia enfrenta uma intensificação do desmatamento e da degradação ambiental, com impactos diretos sobre a biodiversidade, o clima e os territórios indígenas, especialmente em áreas submetidas à pressão da expansão agropecuária. Considerando esse contexto, objetivou-se analisar a dinâmica espaço-temporal do uso, cobertura da terra e da condição da vegetação na Terra Indígena Anambé, localizada no município de Moju, estado do Pará. Para tanto, procedeu-se à integração de dados de sensoriamento remoto multitemporais, incluindo imagens Landsat e Sentinel-2 para cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), associados a dados do Projeto MapBiomias para o mapeamento das classes de uso e ocupação do solo no período de 1985 a 2024. Desse modo, observa-se que o território mantém predominância de formações florestais e estabilidade do vigor vegetativo no núcleo da área, enquanto as mudanças mais expressivas concentram-se nas bordas, sobretudo na porção sul, onde ocorre expansão de pastagens, áreas não vegetadas e indícios de abertura de acessos. Isso permite concluir que a Terra Indígena Anambé apresenta elevada integridade ecológica interna, mas encontra-se sob crescente pressão antrópica periférica, sendo fundamental o monitoramento contínuo e o fortalecimento da governança territorial para garantir sua conservação a longo prazo.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. NDVI. Uso e Cobertura da Terra. Territórios Indígenas. Amazônia.

ABSTRACT

The Amazon has been experiencing an intensification of deforestation and environmental degradation processes, with direct impacts on biodiversity, climate regulation, and Indigenous territories, especially in regions under pressure from agricultural expansion. In this context, the present study aimed to analyze the spatiotemporal dynamics of land use, land cover, and vegetation vigor in the Anambé Indigenous Land, located in the municipality of Moju, Pará State, Brazil. To achieve this, a multitemporal remote sensing approach was applied, integrating Landsat and Sentinel-2 imagery for the calculation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), together with thematic land use and land cover data from the MapBiomias Project for the period between 1985 and 2024. The combined analysis allowed the identification of stable vegetation vigor and predominance of forest formations in the core of the territory, while more significant land cover changes were concentrated along the borders, particularly in the southern portion, where expansion of pasture areas, non-vegetated surfaces, and possible access routes were observed. These findings indicate internal ecological integrity associated with increasing peripheral anthropogenic pressure. It is concluded that although the Anambé Indigenous Land remains largely preserved, its long-term stability depends on continuous monitoring, control of external pressures, and the strengthening of Indigenous territorial governance, contributing to climate change mitigation and biodiversity conservation in the Amazon.

Keywords: Remote Sensing. NDVI. Land Use and Land Cover. Indigenous Lands. Amazon.

RESUMEN

La Amazonía enfrenta una intensificación de los procesos de deforestación y degradación ambiental, con impactos directos sobre la biodiversidad, el clima y los territorios de pueblos indígenas, especialmente en áreas sometidas a la presión de la expansión agropecuaria. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la dinámica espacio-temporal del uso y cobertura de la tierra, así como del vigor de la vegetación, en la Tierra Indígena Anambé, ubicada en el municipio de



Moju, estado de Pará, Brasil. Para ello, se aplicó un enfoque multitemporal de teledetección, integrando imágenes Landsat y Sentinel-2 para el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), junto con datos temáticos del Proyecto MapBiomass para el mapeo del uso y cobertura del suelo en el período comprendido entre 1985 y 2024. El análisis combinado permitió identificar estabilidad en el vigor vegetativo y predominio de formaciones forestales en el núcleo del territorio, mientras que los cambios más significativos se concentraron en las bordes, especialmente en la porción sur, donde se observó expansión de pastizales, áreas no vegetadas y posibles accesos. Estos resultados indican integridad ecológica interna asociada a una creciente presión antrópica periférica. Se concluye que, aunque la Tierra Indígena Anambé se mantiene mayormente conservada, su estabilidad a largo plazo depende del monitoreo continuo, el control de presiones externas y el fortalecimiento de la gobernanza territorial indígena, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y a la conservación de la biodiversidad amazónica.

Palabras clave: Teledetección. NDVI. Uso y Cobertura del Suelo. Tierras Indígenas. Amazonía.



1 INTRODUÇÃO

A Amazônia tem sido apontada por diversos estudos recentes como uma região que enfrenta uma tripla crise ambiental, marcada pelas mudanças climáticas, perda de biodiversidade e intensificação de processos de degradação associados à poluição e à conversão do uso da terra. Nesse contexto, a expansão agrícola tem sido identificada como um dos principais vetores diretos do desflorestamento na região amazônica, impulsionada pelo crescimento da demanda global por alimentos e commodities, o que tem provocado transformações significativas na estrutura e no funcionamento desse bioma (Bolson; Araújo, 2022; Vidal; Neto, 2023; Monteiro; Bernardes, 2024).

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) entre agosto de 2023 e abril de 2024, houve um aumento de 27% nos alertas de desmatamento ilegal na Amazônia brasileira quando comparado ao mesmo período do ano anterior, totalizando 4.869 km² desmatados, frente a 3.537 km² no período precedente (INPE, 2024). Esses números demonstram que, apesar de avanços institucionais e políticas de monitoramento, o desmatamento continua sendo um dos principais desafios ambientais do país.

O desmatamento na Amazônia está diretamente relacionado à perda de biodiversidade, à alteração dos ciclos hidrológicos e ao agravamento das mudanças climáticas globais, além de representar uma ameaça direta aos territórios e modos de vida dos povos indígenas (Lacerda, 2024, Santana *et al.*, 2024, 2025). As terras indígenas, reconhecidas como áreas estratégicas para a conservação florestal, vêm sendo pressionadas pela expansão da fronteira agrícola, pela ocupação irregular de terras públicas e privadas, pelo avanço da agropecuária e pelo extrativismo ilegal de madeira, além da incorporação de técnicas modernas de produção agrícola no entorno dessas áreas (Oviedo; Senra, 2023; Reydon *et al.*, 2020).

O estado do Pará, segundo maior estado do país e inteiramente inserido no bioma Amazônia, apresenta historicamente elevados índices de desmatamento (Soares, 2019, Santana *et al.*, 2024, 2025). Estudos do Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia (Imazon) apontam que assentamentos rurais no estado têm contribuído de forma significativa para o avanço do desmatamento, devido à pressão por uso produtivo da terra por populações com limitado acesso a recursos e infraestrutura (Imazon, 2020). Paradoxalmente, áreas protegidas, que deveriam funcionar como barreiras à conversão florestal, também vêm sofrendo pressão crescente, o que evidencia fragilidades na governança territorial.

Nesse cenário, as Terras Indígenas assumem papel fundamental como barreiras ao desmatamento e refúgios de biodiversidade, mas ao mesmo tempo tornam-se áreas vulneráveis às dinâmicas de transformação da paisagem no entorno. A Terra Indígena Anambé, localizada no município de Moju, insere-se nesse contexto de pressões regionais, sendo cercada por áreas de



expansão agropecuária e por uma matriz produtiva em transformação, o que torna essencial compreender a dinâmica espacial e temporal das mudanças em sua cobertura e uso da terra

Diante desse contexto, surge a seguinte questão de pesquisa: como se apresenta a dinâmica espaço-temporal do uso, cobertura da terra e condição da vegetação na Terra Indígena Anambé, no município de Moju (PA), ao longo das últimas décadas?

Nesse sentido, o objetivo deste artigo foi avaliar a evolução temporal e espacial da cobertura e uso da terra, bem como do vigor da vegetação, na Terra Indígena Anambé, por meio da integração de índices espectrais derivados de sensoriamento remoto (NDVI) e dados temáticos de uso e ocupação do solo.

A realização deste estudo justifica-se pela urgência de compreender os processos de transformação territorial em áreas indígenas amazônicas, uma vez que o avanço do desmatamento e da degradação florestal projeta impactos não apenas locais, mas globais. Avaliar essas dinâmicas com base em dados multitemporais de satélites permite identificar padrões de conservação interna e pressões externas, subsidiando estratégias de monitoramento, proteção territorial e mitigação das mudanças climáticas.

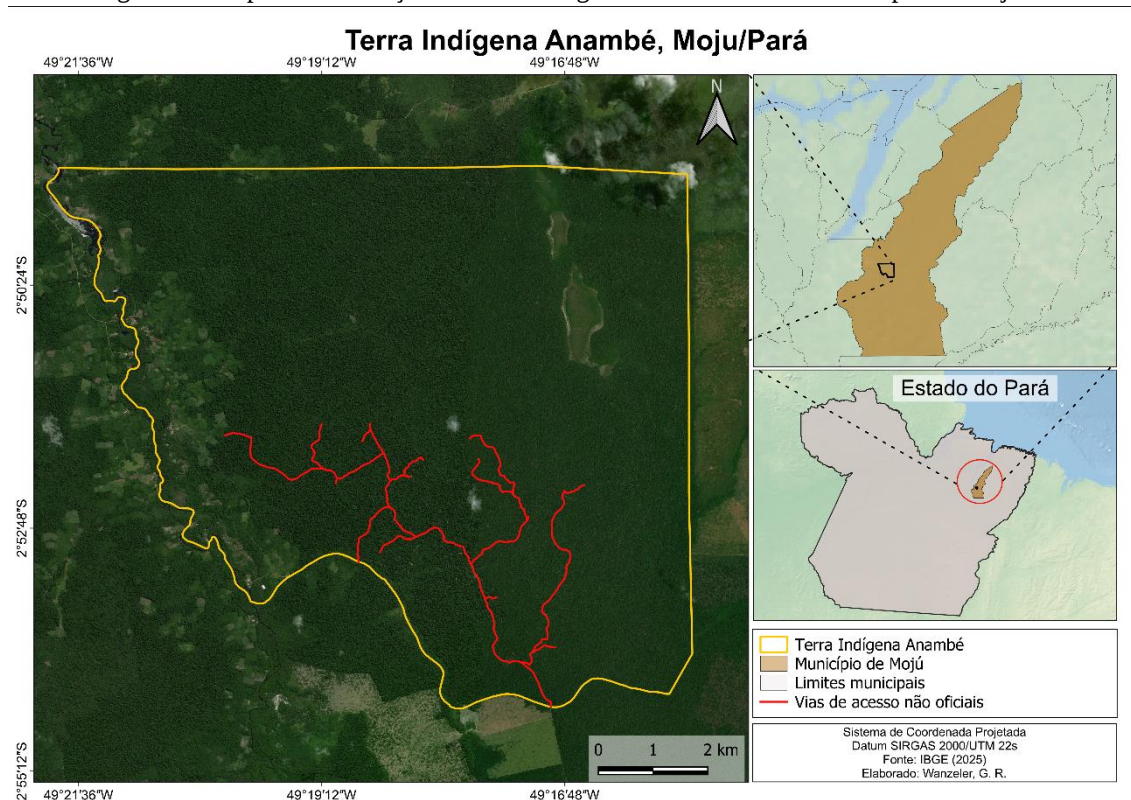
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Terra Indígena Indígenas Anambé, homologada pelo Decreto Federal Nº 380 de 1991, possui uma área de 7.883 ha composto por terras indígenas do povo Anambé uma população de 124 pessoas regularizada e tradicionalmente ocupada (Figura1), limitando-se ao norte com os municípios de Barcarena e Belém, ao leste com Tailândia e Acará, ao sul com Breu Branco e a oeste com Mocajuba, Igarapé-Miri e Abaetetuba possuindo uma área de 9.094,135 km² (Brasil, 1981).



Figura 1 – Mapa de localização da Terra Indígena dos Anambés no município de Moju/Pará



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

2.2 COLETA DE DADOS

Foram utilizadas imagens multiespectrais dos satélites Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI e Sentinel-2 MSI, cobrindo o período de 1985 a 2024. As imagens Landsat foram obtidas com resolução espacial de 30 m, enquanto as imagens Sentinel-2 com resolução de 10 m nas bandas visíveis e do infravermelho próximo. As cenas foram selecionadas priorizando períodos de menor cobertura de nuvens e compatibilidade sazonal entre os anos, a fim de reduzir interferências atmosféricas e fenológicas.

As imagens passaram por procedimentos de correção radiométrica e atmosférica no software ArcGis 10.8.2 para padronização e análise das séries temporais (Roy *et al.*, 2014).

2.3 CÁLCULO DO NDVI

Para maximizar o efeito da vegetação na área de estudo e identificar ações antrópicas, foi calculado para todos os anos estudados, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), com base na equação 1, utilizando a calculadora algébrica do software ArcGis 10.8.2

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$



Em que NIR corresponde à reflectância no infravermelho próximo e RED à reflectância no vermelho. O NDVI é amplamente empregado para estimar vigor e densidade da vegetação, sendo particularmente útil em estudos de monitoramento ambiental em larga escala (Rouse *et al.*, 1974; Huete *et al.*, 2002).

Os mapas anuais de NDVI foram classificados em faixas interpretativas (água, solo exposto, vegetação rala, vegetação média e vegetação densa) para facilitar a análise espacial e a comparação temporal. Considerou-se, entretanto, a limitação do NDVI em ambientes de alta biomassa, onde ocorre saturação do índice (Huang *et al.*, 2021).

2.4 MAPEAMENTO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O mapeamento de uso e ocupação do solo foi realizado com base na integração de dados do Projeto MapBiomas (Coleção 9) e na classificação não supervisionada das imagens multiespectrais. O MapBiomas fornece séries históricas anuais de cobertura e uso da terra para o Brasil, baseadas em algoritmos de aprendizado de máquina e validação sistemática (MAPBIOMAS, 2025).

A classificação não supervisionada foi aplicada para refinar a interpretação local das classes, utilizando agrupamentos espectrais que posteriormente foram interpretados visualmente e reclassificados em categorias temáticas compatíveis com a legenda adotada: Formação Florestal, Floresta Alagável, Campo Alagado, Pastagem, Dendeicultura, Área Não Vegetada e Rios. Essa abordagem é reconhecida como útil em áreas com heterogeneidade espectral elevada e limitada disponibilidade de amostras de treinamento (Paradis *et al.*, 2022).

2.5 ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL

A análise consistiu na comparação espaço-temporal dos mapas de NDVI e das classes de uso e ocupação do solo ao longo da série histórica. Foram avaliados padrões de estabilidade da vegetação no interior do território e a dinâmica de expansão de classes antrópicas nas bordas, com ênfase na identificação de zonas de transição e possíveis vetores de fragmentação.

Os percentuais de ocupação por classe utilizados na discussão foram estimados com base na proporção visual das áreas mapeadas, e considerados valores indicativos da ordem de grandeza da cobertura territorial. A interpretação integrada entre NDVI e classes temáticas permitiu diferenciar variações espectrais naturais, especialmente em ambientes alagáveis, de alterações associadas à conversão antrópica (Junk *et al.*, 2011).

A combinação entre índices espectrais contínuos (NDVI) e mapeamento temático de uso do solo permitiu uma análise complementar da paisagem. Enquanto o NDVI forneceu informações sobre o vigor e a condição fisiológica da vegetação, o mapeamento de uso do solo permitiu identificar explicitamente processos de conversão e mudanças estruturais na cobertura terrestre. Essa integração



é amplamente recomendada para estudos de dinâmica ambiental, pois aumenta a confiabilidade interpretativa e reduz as ambiguidades associadas ao uso isolado de um único indicador (Huete *et al.*, 2002; Roy *et al.*, 2014).

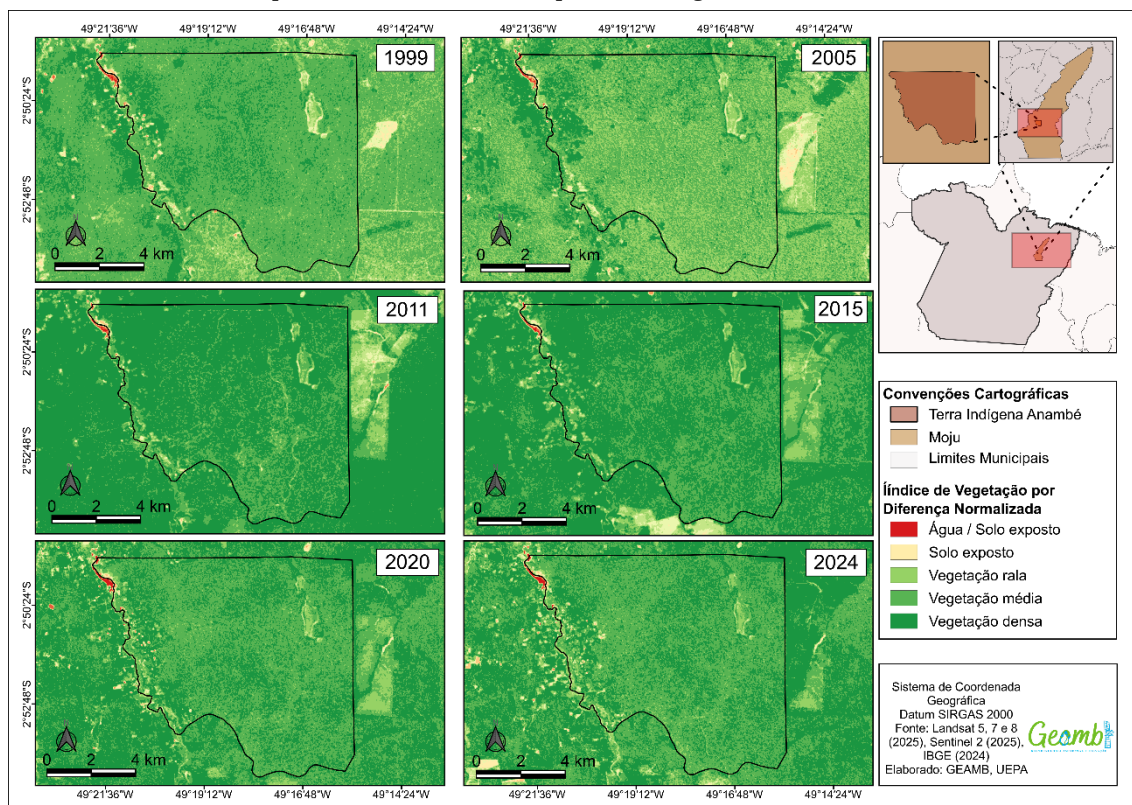
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise multitemporal do NDVI entre 1999 e 2024 (Figura 2) evidencia a dinâmica espacial do vigor da vegetação na Terra Indígena Anambé ao longo de aproximadamente 25 anos, permitindo avaliar a condição estrutural da cobertura vegetal. De modo geral, observa-se a predominância de valores associados à vegetação média a densa em praticamente todo o território durante todo o período analisado, indicando manutenção do dossel florestal. Esse comportamento é típico de florestas tropicais preservadas, nas quais o NDVI tende a permanecer elevado devido à alta biomassa foliar e atividade fotossintética contínua (Rouse *et al.*, 1974; Tucker, 1979).

Nas áreas centrais do território, o NDVI mantém tonalidades mais intensas de verde ao longo de toda a série temporal, sugerindo estabilidade estrutural da vegetação e ausência de grandes eventos de supressão florestal. Essa estabilidade interanual é característica de formações florestais maduras, que apresentam baixa variabilidade espectral quando não submetidas a distúrbios antrópicos significativos (Huete *et al.*, 2002). Ainda assim, deve-se considerar que o NDVI apresenta limitação de saturação em florestas densas, o que reduz sua sensibilidade a degradações sutis, como extração seletiva de madeira ou perturbações de sub-bosque (Huang *et al.*, 2021).



Figura 2 – Dinâmica temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Terra Indígena Anambé, Pará, no período de 1999 a 2024, a partir de imagens Landsat e Sentinel-2.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

Em contraste, as bordas do território, especialmente nas porções oeste e sul, apresentam maior heterogeneidade espectral ao longo dos anos. Nessas áreas observa-se presença recorrente de tonalidades associadas a vegetação rala e solo exposto, indicando menor densidade de cobertura vegetal. Essa variação espacial sugere influência de pressões antrópicas no entorno, pois áreas abertas ou com vegetação secundária apresentam menor reflectância no infravermelho próximo e maior reflectância no vermelho, resultando em valores reduzidos de NDVI (Huete *et al.*, 2002).

A sequência temporal indica que, embora o núcleo florestal mantenha estabilidade, as zonas periféricas mostram maior variabilidade interanual, com manchas de NDVI mais baixo tornando-se mais frequentes nos anos recentes. Esse padrão é compatível com processos de degradação de borda, nos quais a proximidade com áreas abertas altera microclima, umidade e estrutura do dossel, afetando a resposta espectral da vegetação adjacente (Laurance *et al.*, 2007).

Observa-se também que áreas associadas à rede hidrográfica apresentam variações sazonais de NDVI, refletindo a dinâmica dos ambientes alagáveis. Em florestas alagáveis e campos inundáveis, oscilações na umidade do solo e no regime de inundação podem alterar temporariamente a reflectância da vegetação sem representar conversão antrópica, sendo fenômeno já descrito para zonas úmidas amazônicas (Junk *et al.*, 2011).

A integração entre a estabilidade do NDVI nas áreas centrais e a maior variabilidade nas bordas reforça a interpretação de que a Terra Indígena Anambé mantém integridade florestal interna, mas está



sujeita a pressões externas crescentes. Esse padrão é consistente com estudos que mostram que territórios indígenas conservam grandes blocos de floresta, embora sofram influência indireta das transformações na matriz produtiva circundante (Silva-Junior *et al.*, 2023; West, 2024).

Entretanto, a sequência temporal revela que as alterações mais recorrentes se concentram nas bordas do território, especialmente na porção sul, onde se intensificam áreas com menor vigor vegetativo ao longo dos anos mais recentes. Esse padrão sugere a expansão progressiva de usos antrópicos no entorno e a possível abertura de acessos, configurando um vetor de fragmentação que amplia a vulnerabilidade ecológica do território. Mesmo sem grandes clareiras internas, a pressão periférica pode desencadear processos de degradação indireta associados a efeitos de borda.

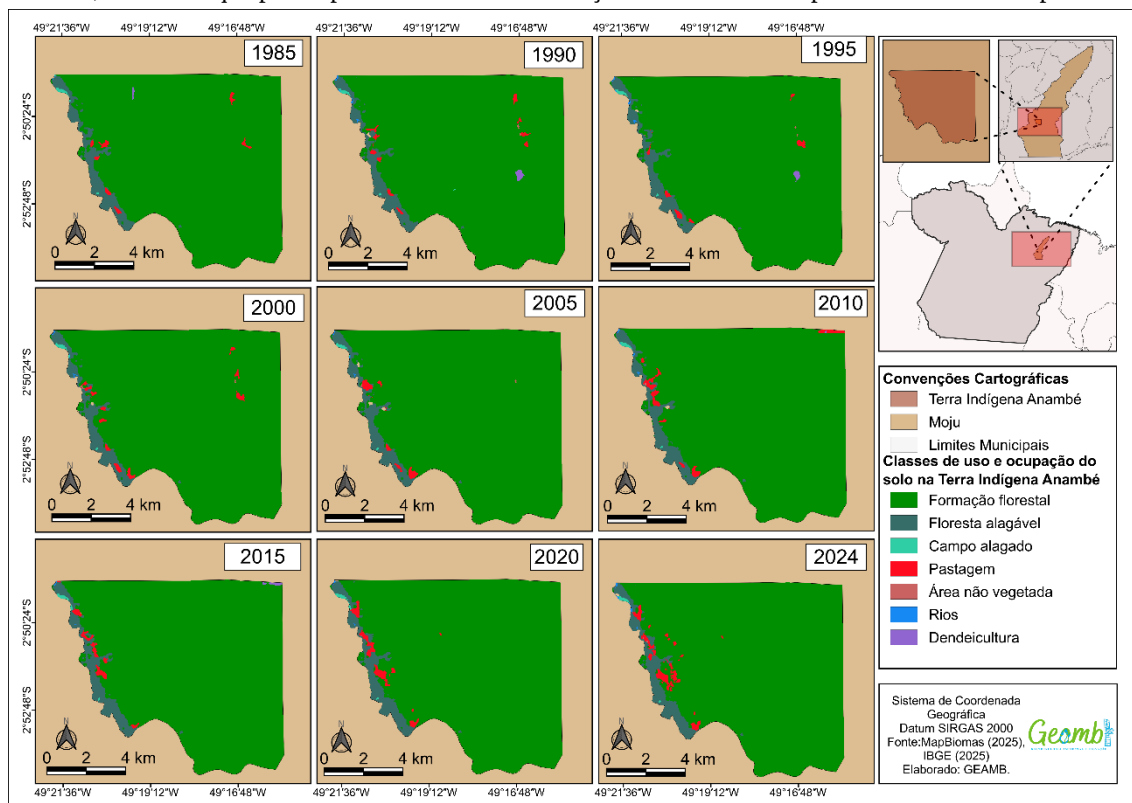
Essas transformações têm implicações diretas para as comunidades indígenas, pois a integridade da floresta sustenta recursos alimentares, culturais e hídricos essenciais. A redução do vigor vegetativo nas bordas pode comprometer áreas de uso tradicional, afetar a disponibilidade de fauna e alterar a qualidade da água dos igarapés, impactando a segurança alimentar e a reprodução sociocultural das populações locais.

A análise multitemporal do uso e ocupação do solo na Terra Indígena Anambé (Figura 3), indica que a classe Formação Florestal permanece amplamente dominante ao longo de toda a série histórica (1985–2024), ocupando visualmente cerca de 85–92% do território. Essa continuidade espacial do dossel florestal no núcleo da área confirma a manutenção da integridade estrutural da vegetação nativa, reforçando o papel das terras indígenas como importantes barreiras ao avanço do desmatamento regional (Silva-Junior *et al.*, 2023; West, 2024).

As classes associadas a ambientes úmidos, Floresta Alagável e Campo Alagado, representam juntas aproximadamente 4–8% da área total, concentrando-se ao longo da rede hidrográfica e planícies de inundação. Esses ambientes mantêm distribuição relativamente estável ao longo do tempo e exercem função ecológica essencial na regulação hidrológica e manutenção da biodiversidade, sendo componentes estruturantes da paisagem amazônica (Junk *et al.*, 2011).



Figura 3 - Evolução espaço-temporal do uso e ocupação do solo na Terra Indígena Anambé, em Moju – Pará, no período de 1985 a 2024, com destaque para a predominância de formações florestais e a expansão de áreas antrópicas nas bordas.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

A classe Rios corresponde a cerca de 2–3% da área, mantendo configuração espacial constante ao longo da série temporal. A preservação das zonas ripárias associadas a esses cursos d'água contribui para a conectividade ecológica, estabilidade geomorfológica e sustentação das atividades tradicionais das comunidades indígenas.

As áreas de Pastagem apresentaram crescimento progressivo ao longo das décadas. Nos anos iniciais (1985–1995), representavam visualmente menos de 3% da área, distribuídas de forma esparsa nas bordas oeste e noroeste. A partir de 2000, essas áreas passam a se expandir e, nos anos mais recentes (2015–2024), ocupam aproximadamente 6–8% do território, concentrando-se sobretudo na porção sul e sudoeste. Esse padrão espacial é consistente com a expansão de frentes agropecuárias no entorno de áreas protegidas, configurando um gradiente de pressão periférica típico da dinâmica amazônica (Laurance *et al.*, 2002; Laurance *et al.*, 2007).

A classe Área Não Vegetada representa aproximadamente 1–2% da superfície, ocorrendo de forma pontual e geralmente associada a clareiras, solos expostos ou áreas de circulação. Observa-se maior incidência dessa classe nas bordas sul e sudeste nos anos mais recentes, reforçando a interpretação de intensificação da pressão antrópica no entorno imediato do território.

A dendeicultura, ainda que represente menos de 1% da área total, surge nos anos mais recentes e indica a inserção do território em um contexto regional de expansão da palma de óleo. Mesmo com pequena extensão espacial, essa classe possui importância estratégica por representar a consolidação

de monoculturas permanentes no entorno, o que pode intensificar efeitos de borda e alterar a dinâmica ecológica regional (Butler; Laurance, 2009; Vieira *et al.*, 2008).

A distribuição espacial das classes revela que a porção sul da Terra Indígena Anambé concentra a maior parte das conversões antrópicas recentes, incluindo pastagens e áreas não vegetadas. A disposição linear de algumas dessas feições sugere a possível abertura de ramais ou acessos, elementos amplamente reconhecidos como vetores de fragmentação florestal na Amazônia, pois facilitam a expansão de atividades antrópicas e ampliam os efeitos de borda sobre áreas adjacentes (Cochrane; Laurance, 2002).

Mesmo com a expansão periférica, o núcleo do território permanece dominado por formações florestais contínuas, o que indica que a conversão ainda não se consolidou de forma ampla no interior. Esse padrão confirma a coexistência de conservação interna e pressão periférica, situação frequentemente observada em terras indígenas amazônicas cercadas por matrizes produtivas em expansão (Silva-Junior *et al.*, 2023).

Os impactos dessas mudanças têm implicações diretas para as comunidades indígenas, pois a manutenção da cobertura florestal sustenta recursos alimentares, medicinais, culturais e hídricos essenciais. A intensificação das áreas abertas nas bordas pode comprometer a disponibilidade de fauna e a qualidade da água, afetando a segurança alimentar e a reprodução sociocultural das populações locais.

Sob a perspectiva econômica, a expansão de pastagens e monoculturas nas bordas está associada a processos de valorização de usos de curto prazo em detrimento dos serviços ecossistêmicos da floresta em pé, dinâmica que estimula a conversão florestal no entorno de áreas protegidas (Santana *et al.*, 2024, 2025)

Além disso, a substituição da cobertura florestal por usos agropecuários intensifica processos de erosão e degradação física do solo, afetando a estabilidade ambiental regional (Goes e Oliveira, 2022).

Assim, os percentuais estimados indicam que a Terra Indígena Anambé mantém mais de quatro quintos de sua área coberta por formações florestais, mas apresenta crescimento gradual de áreas antrópicas nas bordas, especialmente no setor sul. Esse padrão reforça que a principal vulnerabilidade atual do território não está no interior preservado, mas na dinâmica de transformação da paisagem regional no seu entorno.

A integração entre a análise do NDVI e o mapeamento de uso e ocupação do solo permitiu construir uma interpretação mais consistente da dinâmica ambiental na Terra Indígena Anambé, em Moju. O NDVI, amplamente utilizado como indicador da atividade fotossintética e do vigor da vegetação, forneceu uma visão contínua da condição do dossel ao longo do tempo, enquanto a classificação temática permitiu identificar explicitamente os tipos de cobertura e suas transformações



espaciais (Rouse *et al.*, 1974; Huete *et al.*, 2002). Essa abordagem combinada é reconhecida na literatura de sensoriamento remoto como essencial para diferenciar estabilidade ecológica de processos de conversão e degradação da paisagem (Roy *et al.*, 2014).

Os resultados indicaram que o núcleo do território manteve valores elevados e estáveis de NDVI, sugerindo continuidade da vegetação florestal densa ao longo de mais de duas décadas. Paralelamente, o mapeamento de uso e ocupação demonstrou que a classe Formação Florestal permaneceu amplamente dominante, reforçando a leitura de que o interior do território conserva elevada integridade ecológica. Esse padrão está de acordo com estudos que demonstram que terras indígenas na Amazônia funcionam como áreas de contenção do desmatamento, preservando grandes blocos florestais mesmo em contextos de pressão regional (Silva-Junior *et al.*, 2023; West, 2024).

Por outro lado, a combinação das duas metodologias evidenciou que as transformações espaciais mais relevantes se concentram nas bordas do território, onde o NDVI apresentou maior variabilidade e o mapeamento temático registrou expansão de pastagens, áreas não vegetadas e dendeicultura. Esse padrão é consistente com a literatura sobre fragmentação florestal amazônica, que aponta a periferia de áreas protegidas como zonas críticas de transição, onde os efeitos de borda se intensificam e os impactos ecológicos podem ocorrer mesmo sem desmatamento extensivo no interior (Laurence *et al.*, 2007).

A integração metodológica também permitiu distinguir variações espectrais naturais de alterações antrópicas permanentes. Ambientes como florestas alagáveis e campos inundáveis apresentaram oscilações de NDVI associadas à sazonalidade hidrológica, mas mantiveram sua classificação temática ao longo do tempo, indicando que essas variações refletem processos ecológicos naturais e não conversão de uso do solo (Junk *et al.*, 2011). Essa diferenciação só foi possível pela leitura conjunta dos índices espectrais e das classes temáticas.

Outro aspecto relevante foi a identificação de zonas críticas de vulnerabilidade, especialmente na porção sul da área, onde a coincidência entre NDVI reduzido e expansão de classes antrópicas sugere intensificação de pressões externas e possível abertura de acessos. A literatura demonstra que a proximidade de áreas abertas altera o microclima e a estrutura da vegetação adjacente, ampliando os efeitos de borda e a suscetibilidade a distúrbios como incêndios (Cochrane; Laurance, 2002; Laurance *et al.*, 2007).

Do ponto de vista socioambiental, a síntese entre NDVI e uso do solo indica que a manutenção da floresta no interior do território é essencial para sustentar os modos de vida das comunidades indígenas, pois garante recursos alimentares, hídricos e culturais. A degradação progressiva nas bordas pode comprometer a conectividade ecológica e a qualidade ambiental, afetando a disponibilidade de recursos naturais e os serviços ecossistêmicos que sustentam a vida local.



Em síntese, a integração entre NDVI e mapeamento de uso e ocupação do solo demonstrou que a Terra Indígena Anambé apresenta elevada estabilidade florestal interna, mas está sujeita a pressões antrópicas crescentes nas zonas periféricas, sobretudo no setor sul. Essa complementaridade metodológica forneceu base robusta para compreender simultaneamente a condição da vegetação e a dinâmica espacial da paisagem, permitindo identificar não apenas onde a floresta permanece preservada, mas também onde se concentram os principais riscos futuros ao território.

A análise combinada do NDVI e do uso e ocupação do solo demonstra que a Terra Indígena Anambé, em Moju – Pará, mantém um núcleo florestal estruturalmente conservado ao longo das últimas décadas, evidenciado tanto pela estabilidade dos valores de vigor vegetativo quanto pela predominância da classe Formação Florestal. Essa convergência entre indicadores espectrais e temáticos reforça o papel do território como área estratégica para a conservação da floresta amazônica e para a manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais à estabilidade climática, hidrológica e biológica regional.

Entretanto, a síntese das duas abordagens também evidencia que as transformações mais significativas se concentram nas bordas, especialmente na porção sul, onde a expansão de pastagens, áreas não vegetadas e feições lineares associadas a possíveis acessos coincide com maior variabilidade e redução do NDVI. Esse padrão indica que a principal vulnerabilidade atual não está no interior preservado, mas na intensificação das pressões antrópicas periféricas, capazes de desencadear processos de degradação indireta por efeitos de borda. Assim, a manutenção da integridade ecológica da Terra Indígena Anambé dependerá do monitoramento contínuo por sensoriamento remoto e do fortalecimento das estratégias de proteção territorial frente às dinâmicas de transformação da paisagem no entorno.

Além disso, os resultados ressaltam que a conservação do território possui dimensão não apenas ecológica, mas também sociocultural, uma vez que a floresta sustenta os modos de vida, a segurança alimentar e a identidade das comunidades indígenas. A continuidade da cobertura florestal interna, aliada ao controle das pressões externas e à valorização de estratégias de uso sustentável da terra, constitui elemento central para a resiliência socioecológica da área. Dessa forma, políticas públicas integradas, monitoramento participativo e fortalecimento da governança indígena são fatores determinantes para garantir que a estabilidade observada no núcleo florestal se mantenha frente às transformações regionais em curso.

4 CONCLUSÃO

A análise combinada do NDVI e do uso e ocupação do solo demonstra que a Terra Indígena Anambé, em Moju – Pará, mantém um núcleo florestal estruturalmente conservado ao longo das últimas décadas, evidenciado tanto pela estabilidade dos valores de vigor vegetativo quanto pela



predominância da classe Formação Florestal. Essa convergência entre indicadores espectrais e temáticos reforça o papel do território como área estratégica para a conservação da floresta amazônica e para a manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais à estabilidade climática, hidrológica e biológica regional.

Entretanto, a síntese das duas abordagens também evidencia que as transformações mais significativas se concentram nas bordas, especialmente na porção sul, onde a expansão de pastagens, áreas não vegetadas e feições lineares associadas a possíveis acessos coincide com maior variabilidade e redução do NDVI. Esse padrão indica que a principal vulnerabilidade atual não está no interior preservado, mas na intensificação das pressões antrópicas periféricas, capazes de desencadear processos de degradação indireta por efeitos de borda. Assim, a manutenção da integridade ecológica da Terra Indígena Anambé dependerá do monitoramento contínuo por sensoriamento remoto e do fortalecimento das estratégias de proteção territorial frente às dinâmicas de transformação da paisagem no entorno.

Além disso, os resultados ressaltam que a conservação do território possui dimensão não apenas ecológica, mas também sociocultural, uma vez que a floresta sustenta os modos de vida, a segurança alimentar e a identidade das comunidades indígenas. A continuidade da cobertura florestal interna, aliada ao controle das pressões externas e à valorização de estratégias de uso sustentável da terra, constitui elemento central para a resiliência socioecológica da área. Dessa forma, políticas públicas integradas, monitoramento participativo e fortalecimento da governança indígena são fatores determinantes para garantir que a estabilidade observada no núcleo florestal se mantenha frente às transformações regionais em curso.



REFERÊNCIAS

- BARONA, E.; RAMANKUTTY, N.; HYMAN, G.; COOMES, O. T. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, v. 5, n. 2, 024002, 2010.
- BUTLER, R. A.; LAURANCE, W. F. Is oil palm the next emerging threat to the Amazon? *Tropical Conservation Science*, v. 2, n. 1, p. 1–17, 2009.
- COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. *Journal of Tropical Ecology*, v. 18, n. 3, p. 311–325, 2002.
- GOES, J. C.; OLIVEIRA, E. S. Relationship between soil management and rainfall erosion. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*. v.9, n.5. p.174 – 183. 2022
- HUANG, S.; TANG, L.; HUPP, C.; LIU, H.; DUBAYAH, R. A commentary review on the use of NDVI in the era of remote sensing. *Journal of Forestry Research*, v. 32, p. 1–13, 2021.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1–2, p. 195–213, 2002.
- IMAZON – INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. *Desmatamento nos assentamentos da Amazônia Legal*. Belém: Imazon, 2020.
- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) – Alertas de desmatamento na Amazônia Legal*. São José dos Campos: INPE, 2024.
- IPBES – INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES. *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn: IPBES Secretariat, 2019.
- JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; SCHÖNGART, J.; COHN-HAFT, M.; ADENEY, J. M.; WITTMANN, F. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. *Wetlands*, v. 31, p. 623–640, 2011.
- LAURANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; VASCONCELOS, H. L.; BRUNA, E. M.; DIDHAM, R. K.; STOUFFER, P. C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R. O.; LAURANCE, S. G.; SAMPAIO, E. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. *Conservation Biology*, v. 16, n. 3, p. 605–618, 2002.
- LAURANCE, W. F.; NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, S. G.; ANDRADE, A.; FEARNESIDE, P. M.; RIBEIRO, J. E. L.; CAPRETZ, R. L. W. Habitat fragmentation, variable edge effects, and the landscape-divergence hypothesis. *PLoS ONE*, v. 2, n. 10, e1017, 2007.
- LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon tipping point. *Science Advances*, v. 4, n. 2, eaat2340, 2018.
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass – Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 2025.
- NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; ALMEIDA, O. T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. *Conservation Biology*, v. 20, n. 6, p. 1595–1603, 2006.



NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; BORMA, L. S.; CASTILLA-RUBIO, J. C.; SILVA, J. S.; CARDOSO, M. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, v. 113, n. 39, p. 10759–10768, 2016.

NOLTE, C.; AGRAWAL, A.; SILVIUS, K. M.; SOARES-FILHO, B. S. Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, v. 110, n. 13, p. 4956–4961, 2013.

PARADIS, E.; BÉLANGER, M.; LÉVESQUE, J.; GRENIER, M.; LALONDE, M. Probabilistic unsupervised classification for large-scale land cover mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 110, 102805, 2022.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*. Washington, D.C.: NASA, 1974. p. 309–317.

ROY, D. P.; WULDER, M. A.; LOVELAND, T. R.; WOODCOCK, C. E.; ALLEN, R. G.; ANDERSON, M. C.; HELDER, D.; IRONS, J. R. *et al.* Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, v. 145, p. 154–172, 2014.

PENDRILL, F.; PERSSON, U. M.; GODAR, J.; KASTNER, T.; MORAN, D.; SCHMIDT, S.; WOOD, R. Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions. *Global Environmental Change*, v. 56, p. 1–10, 2019.

SANTANA, A. C. DE, SANTANA, ÁDINA L. DE, GOMES, S. C., COSTA, N. L., OLIVEIRA, E. S. DE, SANTANA, ÁDAMO L. DE, & OLIVEIRA, G. M. T. DA S. DE. (2024). Contribuições metodológicas para explicar os fatores determinantes da destruição da Floresta Amazônica. *Revista de Gestão Social E Ambiental - RGSA*, 18(4), e05174. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-084>

SANTANA, A.C., GOMES, S.C., SANTANA, Á.L., OLIVEIRA, E.S. Biosocioeconomic Contributions to Restructuring the Sustainable Growth of the Main Value Chains in the Amazon. In: Leal Filho, W., Viera Trevisan, L., Costa, G.B., Lima, I.B.d. (eds) *Amazon 2030 - Sustainability Issues in the World's Largest Rainforest Region*. World Sustainability Series. Springer, Cham. 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81465-5_28

SILVA-JUNIOR, C. H. L.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FONSECA, M. G.; SHIMABUKURO, Y. E. Brazilian Amazon indigenous territories under deforestation pressure. *Scientific Reports*, v. 13, 2023.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, p. 127–150, 1979.

VIEIRA, I. C. G.; TOLEDO, P. M.; SILVA, J. M. C.; HIGUCHI, H. Deforestation and threats to the biodiversity of Amazonia. *Brazilian Journal of Biology*, v. 78, n. 2, p. 163–173, 2008.

WEST, T. A. P. Formal designation of Brazilian indigenous lands linked to reductions in deforestation. *Ecological Economics*, v. 84, 2024.

