

## ANÁLISE DO DESMATAMENTO NA TERRA INDÍGENA APYTEREWA (PA) POR MEIO DE SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI

Helena Zotelli<sup>1</sup> e Danilo Marques de Magalhães<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Avenida 24 A, 1515, Rio Claro/SP, h.zotelli@unesp.br; <sup>2</sup>Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental (DGPA), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Avenida 24 A, 1515, Rio Claro/SP, danilo.magalhaes@unesp.br

### RESUMO

O estudo analisa a degradação da cobertura vegetal na Terra Indígena Apyterewa entre 2014 e 2024, utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), a partir de imagens do satélite Landsat-8. Os resultados indicam uma transição de vegetação para solo exposto e, finalmente, pastagem. A transição assegura-se no NDVI que cai de 0,4 em janeiro de 2014 para 0,2 em setembro de 2024 no território da TI. A porção mais afetada, ocorre na borda ao sul de Apyterewa, pressionada pela expansão de atividades econômicas. Detaca-se por meio deste, a necessidade urgente de ações para proteger a vegetação e os direitos dos povos indígenas sob crescente pressão humana.

**Palavras-chave** — Terra Indígena Apyterewa, NDVI, Landsat-8, Desmatamento.

### ABSTRACT

*This study examines vegetation cover degradation in the Apyterewa Indigenous Land from 2014 to 2024, employing the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) derived from Landsat-8 imagery. Findings reveal a shift from vegetation to exposed soil and ultimately to pasture, evidenced by a decline in NDVI values from 0.4 in January 2014 to 0.2 in September 2024. The most impacted areas are concentrated along the southern boundary of Apyterewa, where expanding economic activities exert significant pressure. These results underscore the urgent need for protective measures to safeguard vegetation and indigenous rights amid escalating human pressure.*

**Key words** — Apyterewa Indigenous Land, NDVI, Landsat-8, Deforestation.

### 1. INTRODUÇÃO

A região amazônica é mundialmente reconhecida pela sua importância ecossistêmica, possuindo uma das maiores

biodiversidades do planeta e com alto grau de endemismo [1], bem como, por sua relevância hídrica, sendo a maior bacia hidrográfica do mundo [2]. Essas características fazem com que a preservação desse bioma seja fundamental para o desenvolvimento ecológico e humano do Brasil e dos demais países latino-americanos [3]. Além disso, a região abriga a maior população indígena do país, sendo composta por 403,3 mil indígenas vivendo nos territórios oficialmente reconhecidos [4]. A manutenção desses territórios é essencial para a manutenção da qualidade ambiental da região, pois na maioria dos casos atuam como formas inibidoras ao desmatamento, garantindo a preservação da fauna e da flora nativa, protegendo os ecossistemas e assegurando a manutenção da biodiversidade [5].

Entretanto, diversos estudos embasados em dados de sensores remotos, como aqueles organizados pelo Instituto MapBiomass, vêm demonstrando a sistemática remoção da cobertura vegetal nativa na Amazônia, em um processo de transição para pastagens e sucessivamente para cultivos agrícolas [6]. Outro exemplo que utiliza do NDVI para análise do desmatamento é o realizado na Amazônia Legal que concluiu que, em 1988, a presença de biomassa era mais intensa e com poucas áreas de expansão. Já em 2017, constatou-se uma transição do uso do solo devido a ocupação humana [7]. Esse processo de remoção da vegetação é observado desde o período militar, quando foram promovidas várias transformações na região amazônica através de estratégias governamentais [8].

Essa constante expansão das áreas de agropecuária acaba por gerar pressão sobre os territórios indígenas, como é verificado no caso da Terra Indígena (TI) Apyterewa, localizada no sul do estado do Pará, no município de São Félix do Xingu. Nesse local, habita o povo Parakanã em uma área com cerca de 773 mil hectares e uma população de, aproximadamente, 1.383 indígenas [9]. Destacam-se ali os processos de invasão, grilagem, criação ilegal do gado e o avanço do garimpo, fazendo com que se tornasse a terra indígena mais desmatada no país, totalizando uma área de cerca de 20 km<sup>2</sup> de desmate [10].

Diante desse contexto, este estudo propõe a utilização de séries temporais do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (da sigla em inglês, NDVI) para a avaliação do desmatamento nessa TI. O objetivo é o de analisar a transição na cobertura e uso da terra e compreender os principais agentes causadores do desmate, buscando criar subsídios para discutir acerca do modelo de desmatamento vigente na área.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo, foram selecionadas imagens mensais coletadas pelo satélite Landsat-8 (OLI) no período de janeiro de 2014 a setembro de 2024, totalizando 36 cenas analisadas. Os melhores resultados na geração do mosaico foram obtidos a partir da seleção de imagens com baixa cobertura de nuvens e ausência de neblina. Assim, excluiu-se as imagens que apresentavam nuvens, evitando interferências que poderiam comprometer a análise proposta no estudo. Essas imagens foram baixadas do site [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov) e organizadas como um mosaico *dataset* no software ArcGIS Pro. Nesse software, foi construído um raster multidimensional, que consiste em um cubo de dados gerado a partir de imagens capturadas em múltiplas datas. Assim, a dimensão Z desse cubo, consiste no tempo, ou seja, na data de captura das imagens e permite a realização de análises que considerem as mudanças temporais como uma variável intrínseca.

De posse do cubo de dados, procedeu-se à geração do NDVI conforme demonstra a Equação 1

$$NDVI = [\alpha(NIR) - \alpha(RED)] \div [\alpha(NIR) + \alpha(RED)] \quad (1)$$

onde  $\alpha(NIR)$  corresponde à banda 5 e  $\alpha(RED)$  corresponde à banda 4, ambas do sensor OLI do satélite LandSat-8. Os resultados formaram uma nova variável no cubo de dados, que são os índices de vegetação para cada mês analisado. Foi realizada uma análise visual dos dados para compreender os locais onde ocorreram desmatamento no período analisado e selecionados locais para investigação do perfil temporal do NDVI. Os resultados foram comparados com a biblioteca de referência disponível na plataforma SatVeg da Embrapa a fim de se indentifiar o tipo de uso da terra predominante após a derrubada da vegetação nativa. Os resultados foram organizados em forma de gráficos e mapas que são apresentados a seguir.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos resultados gerados, é possível discutir a dinâmica do uso e cobertura da terra na Terra Indígena

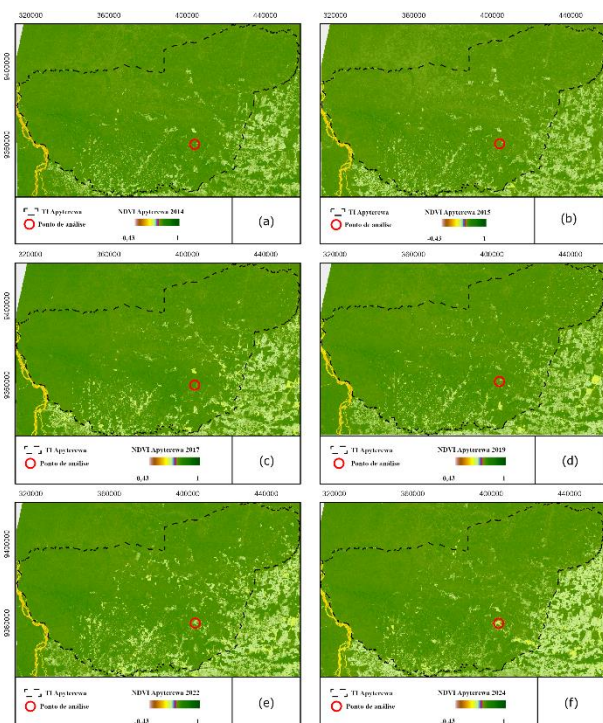
Apyterewa, evidenciando como as variações no NDVI podem refletir diferentes cenários dado aos padrões de desmatamento na área de estudo.

O NDVI propõe avaliar a saúde da vegetação e, na área analisada, variou de -0,43 a 1. Os valores que se aproximam de 1, representam vegetação densa e saudável – em verde. Valores próximo de -0,43 estão associadas a áreas não vegetadas ou degradadas – representados por tons amarelos.

A Figura 1 ilustra a transformação temporal de 2014 a 2024 do NDVI na TI, evidenciando também a pressão exercida sobre o entorno da TI Apyterewa. Dessa forma, os resultados apresentados na figura buscam salientar as mudanças na cobertura vegetal ao longo da última década.

O período escolhido para analisar cronologicamente o desmatamento na área de estudo pautou-se na escolha de anos e imagens que representaram mudanças significativas de cenário. Portanto, a análise deu-se nos meses de agosto de 2014, agosto de 2015, setembro de 2017, agosto de 2019, agosto de 2022 e setembro de 2024.

A Figura 1 também destaca, em vermelho, o ponto de análise que é detalhado na Figura 2. Ele representa uma área específica dentro da TI, onde as mudanças no NDVI serão correlacionadas a fim de identificar o uso predominante da terra após a remoção da vegetação nativa durante o período analisado.



**Figura 1. Evolução temporal do NDVI na Terra Indígena Apyterewa: ago/2014 (a), ago/2015 (b), set/2017 (c), ago/2019 (d), ago/2022 (e) e set/2024(f). Em destaque, o ponto de análise.**

A Figura 1 ilustra uma predominância da vegetação arbórea, representada por tons verdes. Contudo, percebe-se a mudança de contexto para os anos mais recentes, que apresentam valores de NDVI mais baixos, indicadas por áreas amareladas que podem sugerir degradação da vegetação nativa e sua substituição por solo exposto e pastagens.

Em relação ao entrono da TI, reitera-se um aumento considerável da predominância dos tons amarelados para o ano de 2024 – principalmente concentrada no sul do território; cenário que pode estar associado ao avanço de atividades humanas em direção à Apyterewa. Tal perspectiva é assegurada nos valores de NDVI: em 2014, o entorno variava em torno de 0,3; em 2024, o NDVI já mostra valores de 0,05 bem próximos a borda ao sul da TI. Já o limite ao norte, evidencia valores mais seguros de vegetação de aproximadamente 0,4.

Em continuidade à análise do desmatamento da TI, a série temporal evidencia a alteração da cobertura vegetal. Em 2014 e 2015, destaca-se a predominância de tons verdes, o que sugere uma condição favorável da vegetação – com valores de NDVI em torno de 0,4. Entretanto, observa-se que nos anos de 2017 e 2019 existe uma ampliação das áreas representadas por tons amarelados, revelando a alteração do uso do solo na TI.

Esse cenário pode ser averiguado por meio dos valores de NDVI em 2017 e 2019 que apresentam valores de, aproximadamente, 0,1. A redução desse valor é visível também em 2024, que acaba por alcançar 0,09, onde antes, essas áreas obtinham valores de 0,3 nos dois anos iniciais do período de análise.

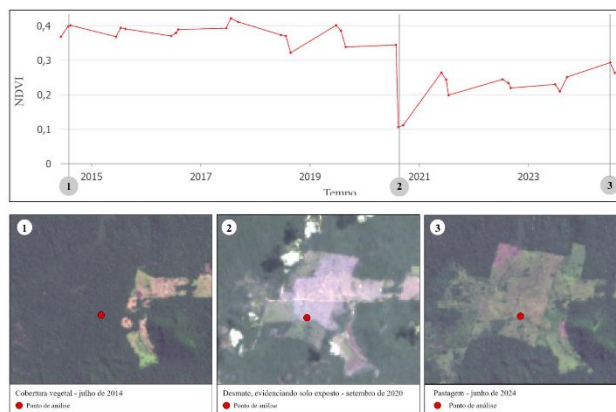
Esse padrão de diminuição do NDVI intensifica-se em 2022 e 2024, através da presença dos tons amarelados por toda a área analisada, ultrapassando os limites anteriormente preservados. Apresenta-se assim, que os valores nessas áreas antes conservadas com NDVI de 0,4 para o ano de 2014, passaram a apresentar valor de 0,2 em 2024.

Além disso, observa-se presença de áreas em amarelo com tonalidades mais intensas, que representam áreas compostas por outros materiais que não a vegetação. Essas se concentram principalmente nas bordas da TI ao sul, dessa maneira, evidencia-se processos mais severos de degradação ambiental – nesse quadro, o NDVI alcança valores de 0,05 em comparação com 2014, onde a área alcançava NDVI de 0,2.

Deve salientar-se que na passagem do ano de 2014 a 2015, houve realce de áreas com aspecto de diminuição da vegetação, entretanto, de forma moderada. Cenário contrário

já evidenciado em 2017, que mostra o surgimento mais evidente de indícios de deterioração da vegetação; contexto que sugere permanecer até 2024. Confirma-se, dessa forma, a diminuição dos valores de NDVI referente a última década.

Em relação à identificação do uso predominante da terra após a remoção da vegetação nativa, sucede-se a Figura 2 que apresenta o gráfico variação temporal do NDVI no ponto analisado, que está destacado em vermelho na Figura 1.



**Figura 2. Análise da série temporal de NDVI na TI Apyterewa. Em destaque, as imagens de satélite demonstrando a cobertura do solo em cronologia com o gráfico.**

O gráfico representado na Figura 2 mostra os valores de NDVI pelo tempo, desde 2014 até 2024. Observa-se que o índice permanece estável até 2020. O primeiro intervalo temporal, destacado com (1) na figura, mostra a condição da vegetação em julho de 2014. A correlação entre os dados do gráfico e da imagem 1 permite inferir que a área possuía cobertura vegetal, o que é confirmado pelo valor de NDVI, que permanece em torno de 0,4.

Entretanto, a partir do final de 2020, há uma queda significativa e abrupta do NDVI de 0,35 para 0,1. O segundo período (2), datado em setembro de 2020, demonstra essa queda do índice que está evidenciado pela presença de solo exposto na área. Assim, como explicitado no gráfico e na imagem, pode-se deduzir que ocorreu a remoção da cobertura vegetal.

Em 2021, há uma recuperação dos valores do índice, variando entre 0,2 e 0,25 ao longo do período, até o 2024. Esse aumento do NDVI, destacado no terceiro período (3), datado de julho de 2024, permite afirmar que existe uma cobertura vegetal de pastagem, onde antes existia o solo exposto.

A partir da comparação desse perfil temporal de NDVI com a biblioteca de padrões do SatVeg da Embrapa, fica



Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Câmpus de Rio Claro

evidente o processo de desflorestamento, que é evidenciado por uma queda brusca do NDVI sucedido por oscilações sazonais, de acordo com o tipo de uso implantado. Na área, percebe-se o advento das pastagens, não tendo sido observado, ainda, terrenos ocupados por monocultura.

## 5. CONCLUSÕES

O estudo nos permite concluir que há uma degradação progressiva da cobertura vegetal na TI Apyterewa, o que é evidenciado pelo aumento de áreas de cobertura de pastagem dentro e nos arredores da TI. Nesse contexto, tonar-se evidente que a TI está sob pressão de atividades econômicas, o que pode aumentar os riscos de degradação e desmatamento dentro de Apyterewa. O avanço dessas atividades, como a expansão de áreas agrícolas, pecuária ou exploração ilegal de recursos, tende a pressionar esse território, resultando em impactos negativos sobre a vegetação nativa e a biodiversidade local.

A análise temporal mostra que as alterações no interior da TI são evidentes a partir de 2017, quando se observa um aumento das áreas degradadas, que é progressivo até 2024. Reitera-se que, para além da preocupação com a pressão exercida no entorno, mostra-se a necessidade de monitoramento do uso e cobertura da terra dentro do território indígena. Os valores de NDVI demonstram que a área de estudo, que é vital tanto para a proteção cultural dos povos originários brasileiros quanto para a preservação ecológica, está enfrentando um avanço do desmatamento, como verificado na última década analisada.

Além disso, a aplicação da análise multidimensional destaca-se com grande potencial em sua agilidade e eficiência na manipulação de grandes conjuntos de dados. A avaliação do NDVI ao longo de 10 anos para a Terra Indígena Apyterewa foi realizada com vantagens em relação a métodos predecessores, quando cada ano seria tratado separadamente. A metodologia escolhida no estudo permite processar todas as camadas temporais simultaneamente, o que otimiza o tempo e recursos computacionais, simplificando o processo, mas garantindo a acurácia dos resultados.

Em relação ao NDVI, conclui-se que o índice, além de já ser amplamente reconhecido na literatura científica para estudos de avaliação da saúde da vegetação e de monitoramento do desmatamento, também provou, nesta pesquisa, ser uma ferramenta eficiente para monitoramento contínuo da vegetação em áreas ambientalmente sensíveis. Dessa forma, o NDVI consolidou-se apropriado ao destacar, no período de 10 anos na TI, as mudanças sutis na cobertura vegetal e no desmatamento.

Por fim, considera-se também os desafios de se trabalhar com dados de sensoriamento remoto na região amazônica. Essa dificuldade pauta-se na presença frequente de nuvens nas imagens de satélite, especialmente no período chuvoso, o que compromete a qualidade das observações e a consistência da série temporal. Esse fator é relacionado com o clima da Amazônia, que apresenta chuvas frequentes e alta umidade ao longo do ano, resultando em uma cobertura constante de nuvens. Para lidar com esse desafio, serão realizadas novas análises utilizando cubos de dados organizados pelo projeto INPE *Data Cube*, que criam composições mensais de imagens com aplicação de máscaras para remoção de nuvens. Além disso, serão testados o conjunto de dados HLS (*Harmonized Landsat Sentinel*), organizados pela agência espacial norte-americana (NASA), que, em função da maior resolução temporal, amplia a possibilidade de se obter imagens sem nuvens dessa região.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] P. M. Fearnside, “Homem e Ambiente na Amazônia”, in *A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais*, Manaus, BR: INPA, 2003, ch. 1, pp. 10 [Online]. Available: [https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/4748/1/floresta\\_mudancas\\_globais.pdf](https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/4748/1/floresta_mudancas_globais.pdf). Accessed on: Março, 20, 2024
- [2] PNUMA. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente and OTCA. Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA), “Perspectivas do Meio Ambiente na Amazônia,” *GEO Amazônia*, vol. 11, no. 22, pp. 37, 2024.
- [3] R. J. da S. Sá, I. B. Félix, G. B. de Souza, A. P. dos S. Silva, A. G. S. de Souza, and J. M. F. Ribeiro, “A Importância da Biodiversidade Amazônica,” *MALQUE Publishing*, pp. 3-4, 2019.
- [4] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “Brasil tem 1,7 milhão de indígenas e mais da metade deles vive na Amazônia Legal,” *Agência IBGE Notícias*, 2022. Available: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37565-brasil-tem-1-7-milhao-de-indigenas-e-mais-da-metade-deles-vive-na-amazonia-legal>. Accessed on: Abril, 5, 2024.
- [5] V. M. Prasnowski, W. González-Daza, G. V. Alvarenga, L. Santos-Silva, A. L. Teixeira, and J. T. Izzo, “Economic, environmental and social threats of a mining exploration proposal on indigenous lands of Brazil,” *Acta Amazonia*, vol. 54, pp. 2-4, 2024.
- [6] M. P. Souza, J. R. dos Santos, L. A. Oliveira, and C. F. Lima, “Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine,” *Remote Sensing*, vol. 12, pp. 2735–2762, 2020.

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Câmpus de Rio Claro

[7] P. F. V. Pinheiro, L. H. O. Monteiro, M. N. M. Maciel, and T. G. M. Braga, "Índice de vegetação normalizada (NDVI) na Amazônia Legal," in *XVI ENEEAmb & IV Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade*, vol. 1, pp. 3-5, 2018.

[8] C. R. Santos, and O. S. Ribeiro, “A Amazônia entre os Anos 1964 a 1970: Apontamentos sobre as Primeiras Intervenções do Autoritarismo,” *SOMANLU – Revista de Estudos Amazônicos*, vol.1, n.1, pp. 4-5, 2022.

[9] Terras Indígenas no Brasil, and ISA. Instituto Sociambiental, "Alerta no Xingu! Agosto registrou pior desmatamento desde 2018," 2021. [Online]. Available: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/noticia/215779>. Accessed on: Abril, 19, 2024.

[10] Rede Xingu+, “Xingu sob Bolsonaro: Dados do Sistema de Monitoramento SIRADX,” 2022. [Online]. Available: <https://ox.socioambiental.org/sites/default/files/202209/Xingu%20sob%20Bolsonaro%202022.pdf>. Accessed on: Abril, 19, 2024.

## 7. AGRADECIMENTO

A autora, concede o agradecimento a FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa, por meio da concessão de bolsa de Iniciação Científica regularizada pelo processo de número 2024/13710-0.