

Variabilidade da vegetação de acordo com o regime de precipitação no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Itumbiara – Brasil (2010-2020)

Variability of vegetation spectral indexes according to rainfall regime around the Itumbiara Hydroelectric Power Plant reservoir – Brazil (2010-2020)

Izaias de Souza Silva

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
São José dos Campos, São Paulo, Brasil
izaiasdesouzasilvaa@gmail.com

 ORCID: 0000-0002-0977-2002

Diego Tarley Ferreira Nascimento

Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás (IESA/UFG)
Goiânia, Goiás, Brasil
diego_nascimento@ufg.br

 ORCID: 0000-0002-0420-3636

Información del artículo

Recibido: 08 junio 2022

Revisado: 10 febrero 2023

Aceptado: 18 abril 2023

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI 10.17561/at.23.7209

 CC-BY

© Universidad de Jaén (España).
Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente (CSIC)

RESUMO

A disponibilidade de dados de Sensoriamento Remoto tem se mostrado fundamental na avaliação da variabilidade diária, mensal, sazonal e anual dos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre. No presente estudo, tem-se por objetivo averiguar a variação paisagística durante a sazonalidade e o regime de precipitação no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Itumbiara – GO. Para tanto, utilizou-se imagens do satélite Landsat 7 (ETM+) e Landsat 8 (OLI) para avaliar a variabilidade dos índices de vegetação (*Enhanced Vegetation Index* – EVI – e *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI), conforme a variação mensal, sazonal e anual da precipitação no período compreendido entre 2010 e 2020. Os dados demonstraram uma inequívoca relação da dinâmica da vegetação com a alternância e duração dos períodos chuvosos e secos na área em estudo, com maior sensibilidade de resposta do EVI, em relação ao NDVI.

PALAVRAS-CHAVE: Índice espectral, NDVI, EVI, UHE, Landsat.

ABSTRACT

The availability of Remote Sensing data has proved to be fundamental in the assessment of the daily, monthly, seasonal and annual variability of phenomena that occur on the Earth's surface. In the present study, the objective is to investigate the landscape variation during the seasonality and the precipitation regime in the surroundings of the reservoir of the Itumbiara Hydroelectric Power Plant - GO. For that, Landsat 7 (ETM+) and Landsat 8 (OLI) satellite images were used to evaluate the variability of vegetation indices (*Enhanced Vegetation Index* - EVI - and *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), according to monthly, seasonal variation and annual rainfall in the period between 2010 and 2020. The data showed an unequivocal relationship between vegetation dynamics and the alternation and duration of rainy and dry periods in the study area, with greater sensitivity of the EVI response, in relation to the NDVI.

KEYWORDS: Spectral index, NDVI, EVI, UHE, Landsat.

Variabilidad de la vegetación según el régimen de precipitación alrededor del embalse Central Hidreléctica Itumbiara – Brasil (2010-2020)

RESUMEN

La disponibilidad de datos de Teledetección ha demostrado ser fundamental en la evaluación de la variabilidad diaria, mensual, estacional y anual de los fenómenos que ocurren en la superficie terrestre. En el presente estudio, el objetivo es investigar la variación del paisaje durante la estacionalidad y el régimen de precipitaciones en el entorno del embalse de la Usina Hidroeléctrica Itumbiara - GO. Para ello, se utilizaron imágenes satelitales Landsat 7 (ETM+) y Landsat 8 (OLI) para evaluar la variabilidad de los índices de vegetación (Enhanced Vegetation Index - EVI - y Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), según variación mensual, estacional y precipitación anual. en el período comprendido entre 2010 y 2020. Los datos mostraron una relación inequívoca entre la dinámica de la vegetación y la alternancia y duración de los períodos lluvioso y seco en el área de estudio, con mayor sensibilidad en la respuesta del EVI, en relación al NDVI.

PALABRAS CLAVE: Índice espectral, NDVI, EVI, UHE, Landsat.

Variabilité de la végétation en fonction du régime pluviométrique autour du réservoir de la centrale hydroélectrique d'Itumbiara – Brésil (2010-2020)

RÉSUMÉ

La disponibilité des données de télédétection s'est avérée fondamentale dans l'évaluation de la variabilité quotidienne, mensuelle, saisonnière et annuelle des phénomènes qui se produisent à la surface de la terre. Dans la présente étude, l'objectif est d'étudier la variation du paysage au cours de la saisonnalité et du régime des précipitations dans les environs du réservoir de la centrale hydroélectrique d'Itumbiara - GO. Pour cela, des images satellites Landsat 7

(ETM+) et Landsat 8 (OLI) ont été utilisées pour évaluer la variabilité des indices de végétation (Enhanced Vegetation Index - EVI - et Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), en fonction des variations mensuelles, saisonnières et des précipitations annuelles. dans la période entre 2010 et 2020. Les données ont montré une relation sans équivoque entre la dynamique de la végétation et l'alternance et la durée des périodes pluvieuses et sèches dans la zone d'étude, avec une plus grande sensibilité dans la réponse de l'EVI, par rapport au NDVI.

MOTS CLÉ: Indice spectral, NDVI, EVI, UHE, Landsat.

Variabilità della vegetazione a seguito del regime delle precipitazioni al di fuori della Centrale Idroelettrica di Itumbiara – Brasile (2010-2020)

RIASSUNTO

La disponibilità dei dati del Telerilevamento si è rivelata fondamentale nella valutazione della variabilità giornaliera, mensile, stagionale e annuale dei fenomeni che si verificano sulla superficie terrestre. Nel presente studio, l'obiettivo è indagare la variazione del paesaggio durante la stagionalità e il regime delle precipitazioni nei dintorni del bacino della Centrale Idroelettrica di Itumbiara - GO. Per questo, le immagini satellitari Landsat 7 (ETM+) e Landsat 8 (OLI) sono state utilizzate per valutare la variabilità degli indici di vegetazione (Enhanced Vegetation Index - EVI - e Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), in base alla variazione mensile, stagionale e alle precipitazioni annuali nel periodo compreso tra il 2010 e il 2020. I dati hanno evidenziato una relazione inequivocabile tra la dinamica della vegetazione e l'alternanza e durata dei periodi piovosi e secchi nell'area di studio, con maggiore sensibilità in risposta dell'EVI, rispetto all'NDVI.

PAROLE CHIAVE: Indice spettrale, NDVI, EVI, UHE, Landsat.

Introdução

O monitoramento sistemático dos ecossistemas, dos recursos ambientais e da paisagem tem se constituído como um importante subsídio analítico nas ciências ambientais, sobretudo por representar o reflexo da forma como a sociedade tem ocupado e se apropriado do espaço. Nesse sentido, o Sensoriamento Remoto Orbital, a partir da disponibilização de imagens de satélites e das técnicas de processamento digital, junto aos recursos dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e do Geoprocessamento, têm provido insumos e produtos fundamentais para a modelagem espacial e temporal dos fenômenos que ocorrem na paisagem.

Convém destacar que uma das técnicas mais amplamente utilizadas no monitoramento da paisagem diz respeito aos índices espectrais de vegetação (IVs). Em síntese, os IVs correspondem a medidas radiométricas adimensionais que retratam a abundância relativa e a atividade da biomassa verde da cobertura vegetal. Conforme apontado pela literatura¹, os IVs são combinações lineares, razões ou transformações ortogonais de bandas espectrais específicas, tendo como propósito principal realçar a vegetação em relação aos demais alvos da superfície, sendo muito úteis também para avaliar as condições fenológicas da vegetação e dinâmica paisagística diária, semanal, sazonal e anual.

Os IVs, como exemplo dos consagrados *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI), têm sido corriqueiramente utilizados para avaliação dos parâmetros biofísicos da vegetação em áreas agrícolas, bem como, análises dos efeitos da sazonalidade da precipitação no estresse hídrico da cobertura vegetal de grandes áreas². O NDVI, proposto na década de 70³, representa um indicador da densidade de biomassa verde, que tem como principal objetivo apresentar a resposta espectral que descreve o seu vigor vegetacional, separando áreas de vegetação do solo de fundo, considerando as propriedades de brilho dos alvos. Especificamente, o NDVI resulta da diferença de reflectância entre a Banda do Infravermelho Próximo (NIR) e a Banda do Vermelho (RED), dividida pela sua soma, representado numericamente em valores no intervalo de -1 a +1. A premissa é a de que, quanto mais próximo de +1, maior é a presença da

vegetação; e, quanto mais próximo de -1, mais escassa é a vegetação.

Visando reduzir as influências da atmosfera e do solo no monitoramento da cobertura vegetal, bem como otimizar a sensibilidade dos índices de vegetação em condições de elevada biomassa, implementou-se o EVI⁴. A diferença do EVI em relação ao NDVI deve-se ao fato (o EVI) conter um fator de ajuste para o solo (L), e dois coeficientes (C_1 e C_2) que preveem o uso da Banda do Azul para correção da Banda do Vermelho em relação ao espalhamento atmosférico por aerossóis, melhorando significativamente a sua sensibilidade em condições de elevada biomassa⁵.

Não obstante, considerando a severidade da crise hídrica evidenciada sobretudo nos últimos anos pelos baixos volumes de precipitação e os consequentes menores níveis de reservatórios destinados à geração de energia elétrica e ao abastecimento humano, no presente estudo buscou-se correlacionar os índices de vegetação (EVI e NDVI) aos regimes de precipitação, a fim de analisar como a precipitação influencia no comportamento do vigor da vegetação e, consequentemente, na infiltração e recarga de reservatórios, tendo como estudo de caso o entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Itumbiara – situada na divisa dos estados de Goiás e Minas Gerais.

Metodologia

Os procedimentos metodológicos do estudo consistiram essencialmente em 1) revisão bibliográfica; 2) compilação, tratamento e representação de dados de precipitação; 3) aquisição e processamento digital de imagens de satélite para implementação dos índices espectrais e 4) correlação entre a variação mensal das chuvas e dos índices de vegetação.

O levantamento dos índices espectrais se deu junto à plataforma *Google Earth Engine* (GEE), mediante o Processamento Digital de Imagens (PDI) da coleção *Landsat 7 (ETM+)* e *8 (OLI)*, as quais contam com resolução espacial de 30 m e são disponibilizadas gratuitamente pela USGS/NASA. Especificamente, os índices espectrais NDVI e o EVI foram implementados a partir da aplicação das Equações 1 e 2, respectivamente:

¹ Jansen, 2009.

² Verona, Shimabukuro e Santos, 2005.

³ Rouse et al., 1974.

⁴ Justice et al., 1998.

⁵ Jansen, 2009.

Equação (1):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

Onde:

ρ_{NIR} = Reflectância na Banda do Infravermelho Próximo;
 ρ_{RED} = Reflectância na Banda do Vermelho.

Equação (2)

$$EVI = G \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + C1 + \rho_{RED} - C2 \times \rho_{Blue} + L)}$$

Onde:

G = Fator de ganho;
 L = Fator de ajuste para componentes abaixo do dossel (no solo);
 C1 e C2 = Coeficientes de ajuste para resistência dos efeitos da atmosfera;
 ρ_{NIR} = Reflectância na Banda do Infravermelho Próximo;
 ρ_{RED} = Reflectância na Banda do Vermelho
 ρ_{Blue} = Reflectância na Banda do Azul.

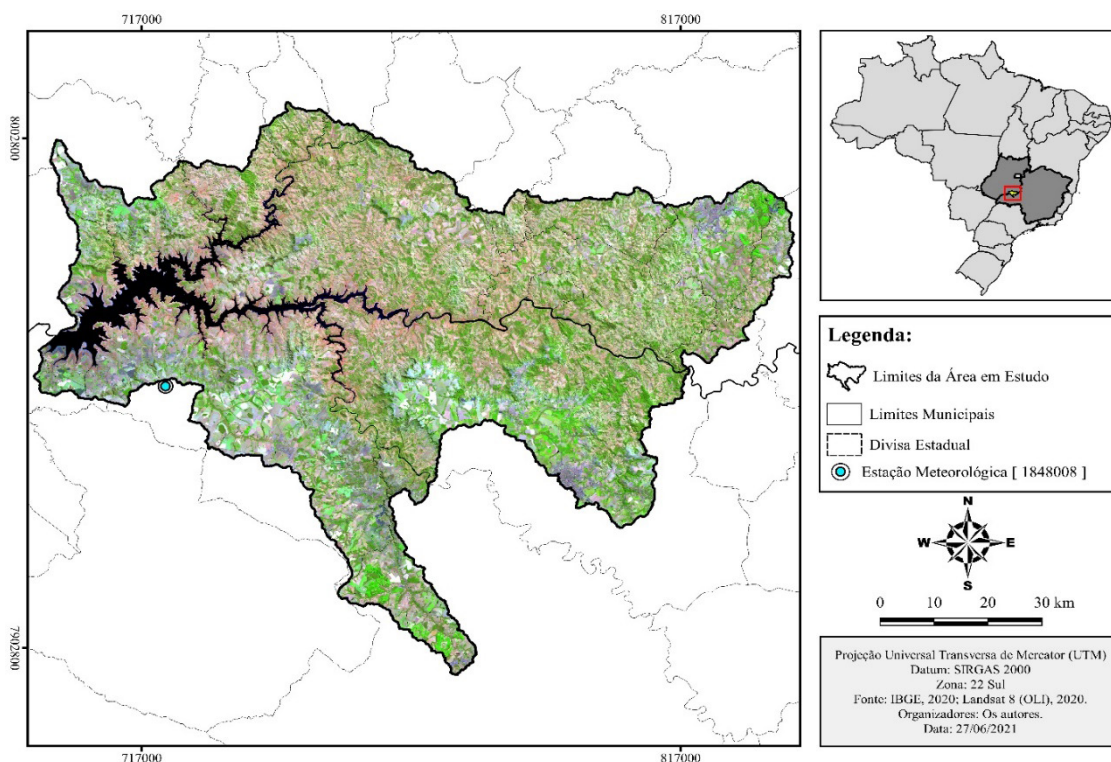
Do conjunto de imagens disponíveis no repositório, foram filtradas e utilizadas apenas aquelas cujo percentual de cobertura de nuvens atendeu ao critério de filtro <9%, sendo estas selecionadas para empilhamento das bandas multiespectrais e composição do mosaico, compreendendo o recorte espacial da Área de Influência Direta do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Itumbiara.

Ainda na plataforma *Google Earth Engine*, foram aplicadas técnicas de correção e realce, por intermédio do redutor mediana e de algoritmos disponíveis na própria plataforma, que removem possíveis ruídos, como nuvens e pixels que representam sombras em encostas, possibilitando assim uma melhoria substancial na qualidade do mosaico, como pode-se observar na Figura 1, referente ao mapa de localização da área em estudo.

Para a análise temporal da variação dos índices espectrais EVI e NDVI, além dos aspectos supracitados, convém destacar que foi levado em consideração os dados referentes a um único pixel, com a correspondência espacial da estação meteorológica pela qual foram coletados os dados de precipitação.

Os registros mensais de precipitação foram coletados a partir da estação meteorológica de código

Figura 1. Mapa de localização da área em estudo / Mapa de ubicación del área de estudio



Fonte: ANA, 2020; Landsat 8 (OLI), 2020. Org.: Os autores.

1848008, localizada no município de Tupaciguara – MG, nas proximidades do reservatório da UHE (Figura 1), administrada pela Agência Nacional de Águas (ANA). Tendo em vista a representação gráfica dos dados inerentes ao cômputo dos volumes mensais e anuais de precipitação do período de 2010 a 2020, assim como os dados referentes aos índices EVI e NDVI; utilizou-se o *software Excel*, do pacote *Microsoft Office*, versão 2019, para elaboração.

Os volumes mensais e anuais de precipitação do período de 2010 a 2020 foram representados por meio de um pluviograma e, em seguida, cotejados às variações mensais do EVI e NDVI, sendo, então, avaliada a correlação entre a variação das chuvas e dos IVs, por meio do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson.

Resultados e Discussões

A partir da Tabela 1, pode-se observar os valores mensais e anuais da precipitação na área em estudo, entre 2010 a 2020. Com relação aos acumulados anuais, especificamente, observou-se uma média de 1.507,4 mm, e acumulados acima da média nos anos 2011, 2012, 2013, 2017, 2018 e 2020, com destaque para 2018, quando registrou-se o total anual de 1968,2 mm. Nesse sentido, observou-se também que o ano mais seco foi 2014, com volume precipitado de apenas 1.229,1 mm.

Ainda considerando a Tabela 1, referente ao pluviograma da precipitação no contexto do reservatório da

UHE Itumbiara, é possível demarcar o período chuvoso dentre os meses de outubro e abril (sete meses), com os meses característicos do final da primavera e início do verão representando os meses mais chuvoso do ano, especialmente novembro, dezembro e janeiro. Por sua vez, os menores volumes de chuva ocorrem entre os meses de maio e setembro (cinco meses), compreendendo o período de estiagem, com destaque para a ocorrência de até três meses consecutivos sem registro de precipitação, conforme visto entre junho e agosto dos anos de 2017 e 2020.

Vale ainda destacar que, em determinados anos, o período de estiagem se antecipa (conforme constatado nos anos de 2010, 2015 e 2016), se prolonga (como visto nos anos de 2014 e 2017) ou apresenta ambas situações, se estendendo desde o mês de abril até outubro, como foi observado para o caso específico do ano de 2010. Essas variações do regime de chuva na AID do reservatório da UHE Itumbiara, são capazes de trazer sérias e preocupantes consequências na paisagem e na organização das atividades antrópicas, especialmente na geração de energia elétrica, produção agrícola e disponibilidade de água para outros usos, como ocorre no abastecimento humano e também dessedentação de animais.

Na Figura 2 são apresentados os gráficos que retratam a variação mensal das chuvas e dos IVs (EVI e NDVI), sendo evidente a relação entre a alternância de períodos chuvosos e secos com a dinâmica da biomassa e do vigor da cobertura vegetal, de maneira que, nos

Tabela 1. Pluviograma da precipitação em Tupaciguara-MG (2010 – 2020) / Precipitación pluvial en Tupaciguara-MG (2010 - 2020)

Data	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
2010	241,8	113,6	215,3	47,5	16,8	18,4	0,0	0,0	31,2	79,1	281,8	288,9	1334,4
2011	381,5	184,2	542,5	148,2	0,0	24,5	0,0	0,0	0,5	167,1	119,2	203,5	1771,2
2012	271,5	243,5	200,6	95,4	21,5	67,2	0,0	0,0	26,9	133,5	340,2	217,9	1618,2
2013	433,1	193,5	176,5	76,3	28,1	7,2	0,0	0,0	50,1	94,8	235,3	264,9	1559,8
2014	88,8	163,1	284,0	92,1	8,4	3,7	90,1	0,3	67,0	164,8	182,6	184,2	1229,1
2015	124,5	255,7	314,7	47,3	32,1	8,2	9,1	0,0	26,0	131,9	257,8	131,7	1339
2016	441,2	49,8	229,8	4,9	8,2	24,7	0,0	18,2	1,0	139,8	197,7	158,4	1273,7
2017	177,2	103,2	254,0	212,1	75,9	0,0	0,0	0,0	24,2	61,0	364,6	295,4	1567,6
2018	439,1	248,7	104,5	229,9	12,3	0,0	0,0	22,7	19,4	114,9	567,2	209,5	1968,2
2019	114,4	208,8	220,3	127,4	35,1	0,0	0,0	10,4	45,2	124,6	97,7	267,1	1251
2020	230,2	386,2	203,2	77,9	43,4	0,0	0,0	0,0	16,7	216,1	160,1	335,0	1668,8

Fonte: ANA, 2021. Org.: Os autores.

períodos chuvosos pode-se observar os maiores valores de EVI e NDVI; e nos períodos de estiagem, nota-se a condição inversa, com padrões de declínio gradual nos valores dos respectivos índices (EVI e NDVI), o que ressalta a assertiva das mudanças sazonais na paisagem no entorno do reservatório da UHE Itumbiara, com destaque para as condições de cobertura e proteção do solo.

Pela Figura 2, ainda se observa que, no período de estiagem a vegetação tende a perder consideravelmente o seu vigor, alcançando registros mínimos de EVI e NDVI. Neste período são vistos os menores registros de EVI e NDVI como, respectivamente, de 0,110 e 0,281 nm, no mês de julho de 2020, como reflexo dos três meses consecutivos sem registro de ocorrência de precipitação no contexto da área em estudo.

Por sua vez, no período chuvoso, especialmente nos meses de novembro, dezembro e janeiro, os valores

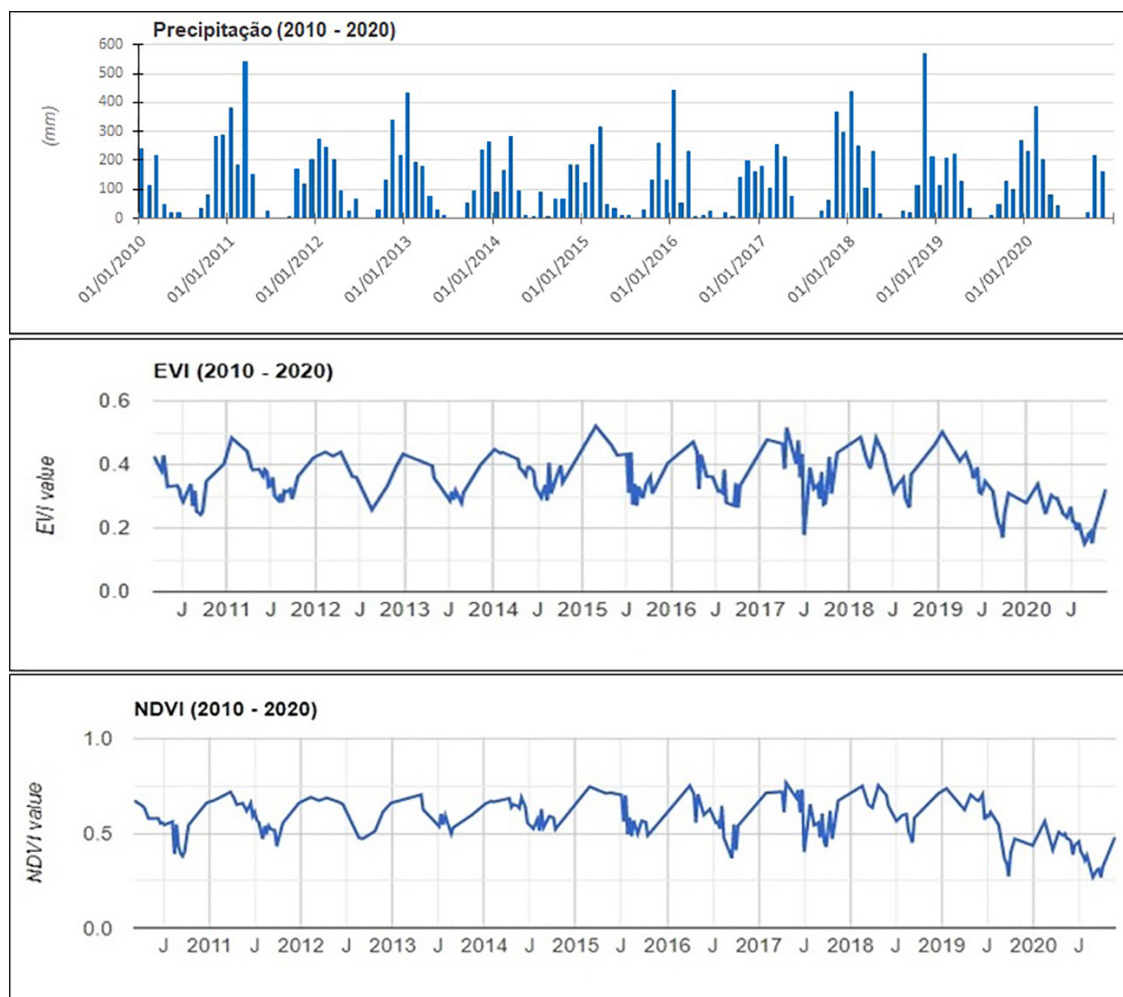
de EVI e NDVI tendem a aumentar, apresentando, por exemplo, valores de 0,501 e 0,737 nm, respectivamente, conforme visto em janeiro do ano de 2020.

A Figura 3 ilustra como a variabilidade sazonal das chuvas tem influência no vigor da vegetação e, por consequência, na paisagem e sua estrutura, tendo como exemplo as imagens dos meses de janeiro (período chuvoso) e setembro (período de estiagem) de 2020.

Ao longo de toda série temporal, observa-se uma redução dos IVs no último ano (2020), que pode ser reflexo do menor acumulado anual registrado em 2019 e também da maior extensão do período de estiagem em 2020, que se iniciou já em abril e se estendeu até setembro.

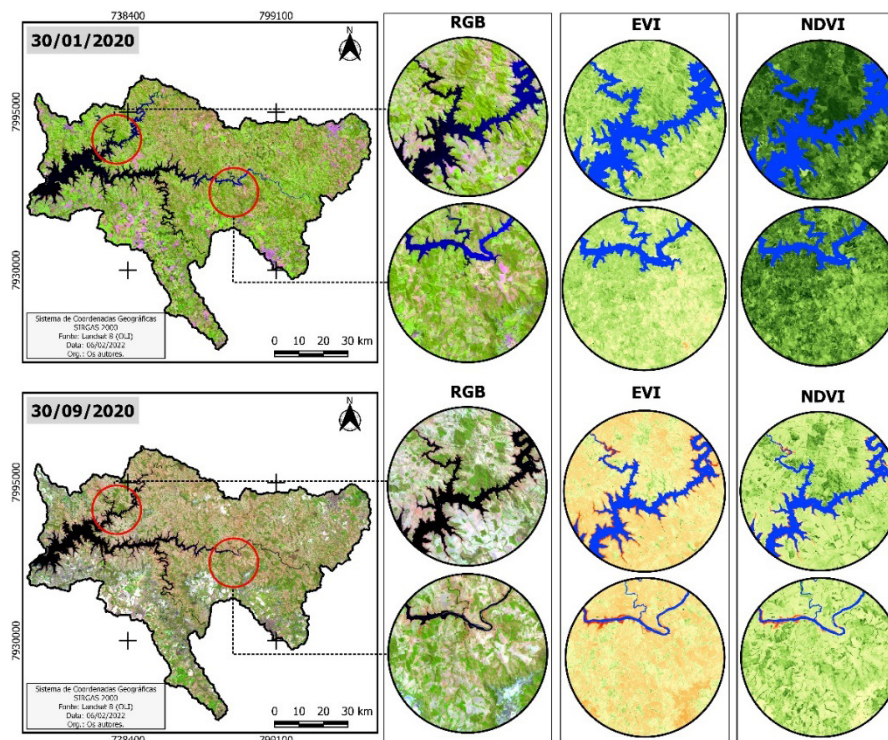
Considerando os dois IVs, nota-se que o EVI, por ser um índice ajustado, tem resposta mais sensível à vegetação e representa melhor a variação do seu vigor com relação à sazonalidade da precipitação. Essa

Figura 2. Variabilidade dos IVs (EVI e NDVI) em relação aos regimes de precipitação (2010 – 2020) / Variabilidad de los IV (EVI y NDVI) en relación con los regímenes de lluvia (2010 - 2020)



Fonte: Os autores.

Figura 3. Variabilidade sazonal dos IVs (EVI e NDVI) entre janeiro e setembro de 2020 / Variabilidad estacional de IVs (EVI y NDVI) entre enero y septiembre de 2020



Fonte: Landsat 8 (OLI), 2020. Org.: Os autores.

característica do EVI sobre a biomassa da vegetação, não só reforça a sua importância nos mapeamentos de cobertura e uso da terra, como também demonstra sua relevância na discriminação de diferentes tipologias vegetais.

Afim de destacar a influência do regime anual e da variabilidade sazonal da precipitação na dinâmica da vegetação, nos gráficos da Figura 4 são apresentados os resultados da correlação de Pearson em relação variação mensal dos IVs e da precipitação. Verifica-se que em toda série temporal observada há correlação positiva entre o regime mensal de precipitação e o vigor da vegetação, com significância estatística moderada na maioria dos anos.

No que diz respeito ao EVI, os coeficientes de Pearson ficaram sempre acima de 0,51 – alcançando o máximo de 0,83 (em 2013), retratando uma correlação forte. Com relação ao NDVI, com exceção dos anos de 2016 e 2019, quando os coeficientes de Pearson foram de 0,26 e 0,38, respectivamente, denotando uma correlação fraca, os demais anos apresentaram coeficiente superior a 0,5, que indica uma correlação moderada.

Considerações Finais

A utilização de dados de Sensoriamento Remoto, sob o aporte de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e de técnicas de Geoprocessamento, tem se destacado e contribuído de forma relevante na elucidação das intervenções humanas sobre o meio, subsidiando informações e produtos capazes de auxiliar no planejamento ambiental e na gestão e ordenamento territorial.

No presente trabalho, evidencia-se a aplicabilidade de dados e de técnicas de processamentos digital de imagens de satélite para avaliar e analisar a dinâmica da paisagem no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Itumbiara, destacando a inequívoca influência da sazonalidade e do regime de precipitação no comportamento do vigor e da abundância da cobertura vegetal, a partir de índices espectrais de vegetação (EVI e NDVI).

Destaca-se como pertinentes e necessários estudos complementares, no sentido de averiguar como a variabilidade das chuvas e do vigor da vegetação são capazes de influenciar o ciclo hidrológico, especialmente com

Figura 4. Correlação dos IVs com os regimes de precipitação (2010 – 2020) / Correlación de IVs con régimen de lluvias (2010 - 2020)



Org.: Os autores.

relação à infiltração da água e a manutenção dos reservatórios, sejam para geração de energia, como também aqueles destinados à dessedentação animal e ao abastecimento humano.

Referências

Jensen, J. R. 2009: *Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos (Brasil), Parentese.

Justice, C. O., Vermote, E., Townshend, J. R. G., Defries, R., Roy, D. P., Hall, D. K., Salomonson, V. V., Privette, J. L., Riggs, G., Strahler, A., Lucht, W., Myneni, R. B., Knyazikhin, Y., Running, Muller, J., Lewis, P. e Barnsley, M. J. 1998: "The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1228-1249. <http://doi.org/10.1109/36.701075>.

Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A. e Deering, D. W. 1974: "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS", en *EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM*, n. 3, 1974, Washington. *Proceeding.*, 309-317.

Verona, J. D., Shimabukuro, Y. E. e Santos, J. R. 2005: "Potencialidades das imagens-fração multitemporais TM/Landsat na caracterização de variações fenológicas em área de floresta tropical na Amazônia", en *Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto*. São José dos Campos, INPE.