

# DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DO ÍNDICE DE RESSECAMENTO DA VEGETAÇÃO POR TEMPERATURA (TDVI) EM FRAGMENTOS FLORESTAIS DE MATA ATLÂNTICA

Bruna Henrique Sacramento <sup>1</sup>, Arthur Pereira dos Santos <sup>2</sup>, Hetiany Ferreira da Costa <sup>3</sup>, Leticia Tondato Arantes <sup>4</sup>, Camille Vasconcelos Silva <sup>5</sup>, Darllan Collins da Cunha e Silva <sup>6</sup>, Roberto Wagner Lourenço <sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Ambiental, {<sup>1</sup> [bruna.sacramento](mailto:bruna.sacramento@unesp.br), <sup>2</sup> [arthur.p.santos](mailto:arthur.p.santos@unesp.br), <sup>3</sup> [hetiany.costa](mailto:hetiany.costa@unesp.br), <sup>4</sup> [leticia.tondato](mailto:leticia.tondato@unesp.br), <sup>5</sup> [camille.vasconcelos](mailto:camille.vasconcelos@unesp.br), <sup>6</sup> [darllan.collins](mailto:darllan.collins@unesp.br), <sup>7</sup> [roberto.lourenco](mailto:roberto.lourenco@unesp.br)} @unesp.br

## RESUMO

Eventos de escassez de água em regiões de Mata Atlântica ressaltam a necessidade de análise da dinâmica espaço-temporal da disponibilidade hídrica. Para isto, esta pesquisa utilizou o Índice de Ressecamento da Vegetação por Temperatura (TDVI) de fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabaçu (BHRS), em Ibiúna (SP), entre os anos de 2000 e 2020. Os fragmentos florestais de 2000 e 2020 foram obtidos de imagens de Sensoriamento Remoto dos satélites Landsat 7 e CBERS 04-A, respectivamente. Os fragmentos foram classificados conforme o tamanho (Médio, Grande e Muito grande). O TDVI foi obtido de imagens orbitais Landsat 5 e Landsat 8. Houve diminuição do intervalo de valores de TDVI de 2000 para 2020. Os fragmentos maiores apresentaram maiores valores de TDVI. A escassez de água para as plantas pode ser um fator negativo para a conservação e recuperação vegetal, portanto, estudos dessa natureza permitem auxiliar na gestão da Mata Atlântica.

**Palavras-chave** — Índice de Vegetação, Disponibilidade hídrica, remanescentes florestais, Ecologia de Paisagem, Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

Water scarcity events in Atlantic Forest regions highlight the need to analyze the space-time dynamics of water availability. For this, this research used the Temperature Vegetation Dryness Index (TDVI) of forest fragments of the Sorocabaçu River Basin (BHRS), in Ibiúna (SP), between the years 2000 and 2020. Forest fragments from 2000 and 2020 were obtained from Remote Sensing images from the Landsat 7 and CBERS 04-A satellites, respectively. The fragments were classified according to size (Medium, Large and Very Large). The TDVI was obtained from Landsat 5 and Landsat 8 orbital images. There was a decrease in the range of TDVI values from 2000 to 2020. Larger fragments had higher TDVI values. The scarcity of water for plants can be a negative factor for plant conservation and recovery, therefore, studies

of this nature allow to assist in the management of the Atlantic Forest.

**Key words** — Vegetation index, Water availability, forest remnants, Landscape Ecology, Remote Sensing.

## 1. INTRODUÇÃO

Com apenas 14% de sua cobertura vegetal original, a Mata Atlântica é um dos seis biomas brasileiros e é fundamental aos serviços ecossistêmicos de manutenção a biodiversidade e regulação climática [1,2,3,4]. Apesar de sua importância, este é um bioma ameaçado pelas pressões antrópicas e secas climatológicas, impactando diretamente na escassez hídrica [5].

Uma forma de avaliar esses efeitos sobre a vegetação é por meio do Índice de Ressecamento da Vegetação por Temperatura (TDVI). O TDVI é um indicador de escassez hídrica e pode ser um importante indicador do potencial de evapotranspiração da vegetação [6]. Os valores do TDVI variam entre 0 e 1, sendo indicadores, respectivamente, de altas e baixas condições de disponibilidade de água e, consequentemente, de umidade no ecossistema analisado.

A aplicação do TDVI parte do princípio de que a umidade do solo é a principal fonte de variação da temperatura da superfície ( $T_s$ ). Essa alteração deve-se à inércia térmica e controle sobre o balanço de energia solar [6].

Assim, a investigação da disponibilidade hídrica em florestas para o desenvolvimento fenológico e a reprodução das plantas é de fundamental importância para a conservação e preservação das mesmas. A partir disto, o grau de estresse hídrico ao qual as plantas estão submetidas pode ser diagnosticado pela variação do TDVI.

Na temática de Ecologia de Paisagem, parte-se de pressuposto de que relações físico-biológicas regem diferentes unidades de espaço de uma região [1,7]. Dentre características avaliadas nesta abordagem, tem-se o tamanho de fragmentos florestais. Conforme Rosoman [8], remanescentes florestais com maiores extensões são habitats que garantem a proteção florestal de carbono e a viabilidade em longo prazo, se comparadas com áreas menores ou mais fragmentadas.

Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o TDVI de fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabaçu (BHRS), em Ibiúna (SP), nos anos de 2000 e 2020 por meio de ferramentas de Sensoriamento Remoto.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A BHRS localiza-se no município paulista de Ibiúna e possui cerca de 203 km<sup>2</sup> (Figura 1). Esta região possui clima do tipo subtropical com verão úmido e inverno seco – Cwa (50 a 80%) conforme a atualização da classificação de Köppen [9].

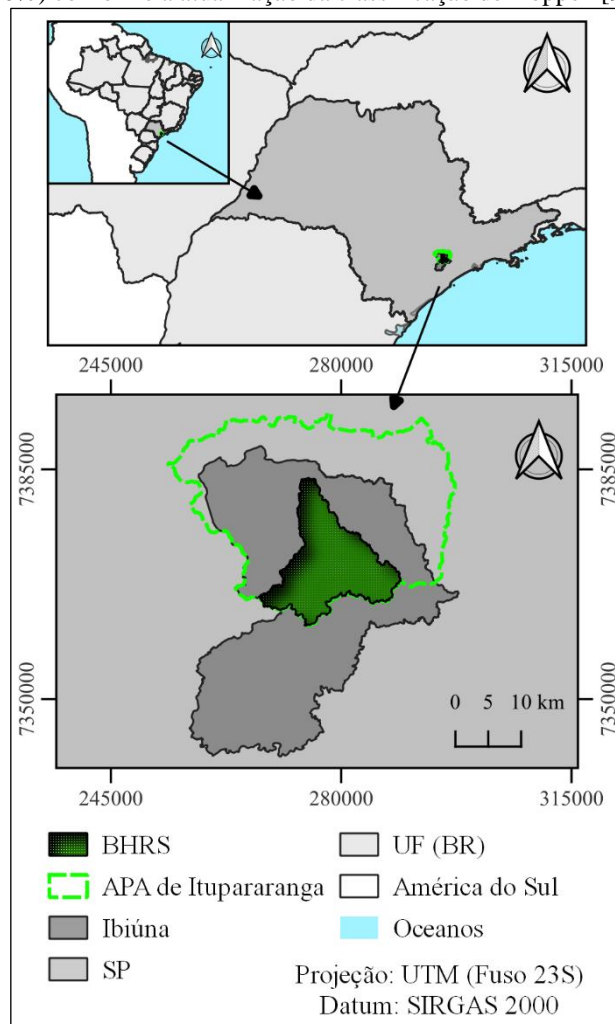


Figura 1. Localização da área de estudo

A região de estudo está inserida na Área de Preservação Ambiental (APA) de Itupararanga, bem como em regiões definidas como prioritárias para conservação do bioma Mata Atlântica (Serra do Mar Planalto e Reserva Florestal do Morro Grande). Ambas as áreas prioritárias destacam-se na conservação da Mata Atlântica pela alta presença de remanescentes florestais e diversas espécies endêmicas [10,11,12].

A fitofisionomia dos fragmentos florestais dessa região é do tipo Floresta Ombrófila Densa do tipo Montana, caracterizada por espécimes finos, casca grande e rugosa, folhas pequenas e de consistência coriácea [13,14,15].

### 2.1 Procedimentos metodológicos

A organização dos dados da base cartográfica (contendo limite da BHRS e Uso da Terra) foi realizada no ArcGIS 10.8 [16]. A BHRS foi delimitada a partir de dados altimétricos que foram vetorizados de cartas topográficas do Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo (IGC), em escala 1:10.000, do município de Ibiúna.

Os fragmentos florestais da BHRS foram adquiridos dos mapas de Uso da Terra da área de 2000 e 2020, ambos obtidos de retificações de um produto semelhante referente a 2010. O mapeamento de Uso da Terra da BHRS de 2010 foi realizado por interpretação visual de uma ortofoto de cor verdadeira do sensor *Vexcel Ultracam* (resolução espacial de 45 cm, referente a junho de 2010).

Para obtenção dos produtos de 2000 e 2020, foram utilizadas imagens Landsat 7 e CBERS 04-A, respectivamente, referentes a agosto, em composição cor verdadeira e fusão da banda pancromática (resoluções espaciais finais de 15 e 2 metros, respectivamente). Para ambos os períodos de análise, foram apenas considerados os fragmentos florestais com área superior ou igual a 10 hectares. Os remanescentes florestais foram, ainda, classificados conforme seu tamanho: Médio (10 – 50 ha); Grande (50 – 100 ha) e; Muito grande (> 100 ha) [17].

Para análise do índice espectral TDVI, foram utilizadas as bandas termais dos satélites Landsat 5 e 8 (bandas 6 e 10, respectivamente) obtidas da plataforma *Earth Explorer* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) – órbita/ponto 219/76. A banda termal do Landsat 5 possui 120 m de resolução espacial, enquanto a do Landsat 8 possui 100 m. A  $T_s$  foi elaborada a partir das radiâncias espectrais das bandas termais mencionadas pelo *plugin Semi-Automatic Classification* (SCP) do QGIS 3.22 [18,19]. A partir dos dados de  $T_s$ , o TDVI foi obtido segundo a equação abaixo [20], no QGIS 3.22.

$$TDVI = \frac{T_s - T_{s\ min}}{T_{s\ max} - T_{s\ min}}$$

Da imagem contendo o TDVI para toda a BHRS, os dados foram extraídos para o recorte dos fragmentos florestais da área de estudo por meio da ferramenta “*recortar raster pela camada de máscara*” do QGIS 3.22 [19].

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os mapas de TDVI dos fragmentos florestais da BHRS de 2000 e 2020, respectivamente. Os valores do TDVI variaram entre 0 a 0,903 – Figura 2(A) – e de 0 a 0,893 – Figura 2(B) – para os anos de 2000 e 2020, respectivamente.

De acordo com a literatura, valores de TDVI entre 0,2 e 0,5 caracterizam umidade boa e seca moderada [6]. Em estudo semelhante realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Una (cujo curso hídrico principal é dos afluentes do Rio Sorocaba, junto aos rios Sorocabuçu e Sorocamirim), Souza *et al.* [6] encontraram valores de TDVI semelhantes aos da presente pesquisa (média de 0,35 para a classe de Matas).

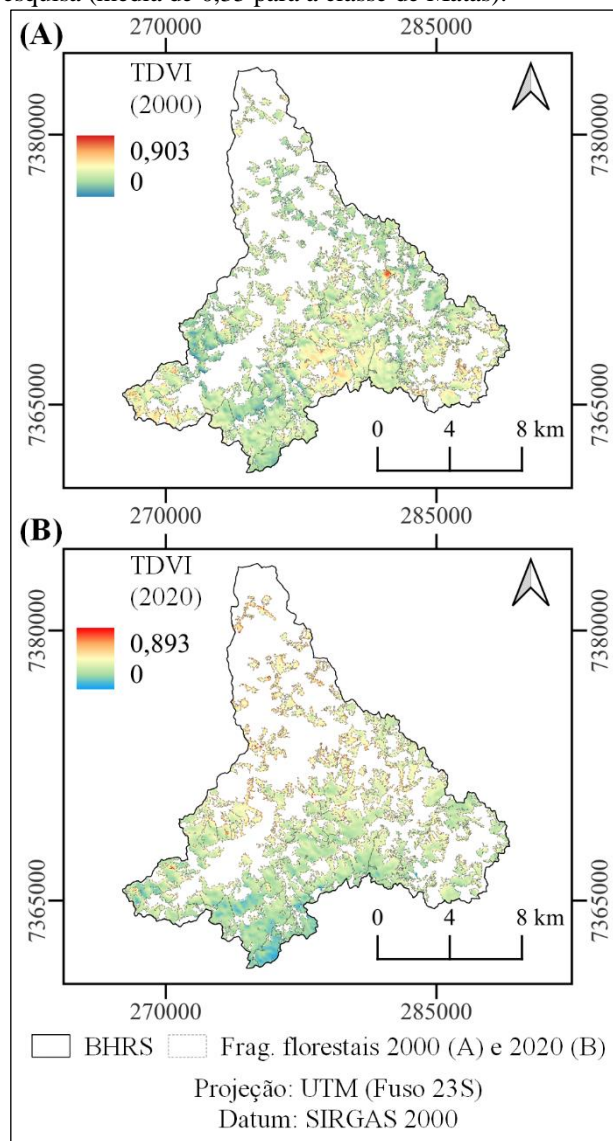


Figura 2. TDVI dos fragmentos florestais de 2000 (A) e 2020 (B) da BHRS

Ao analisar a dinâmica temporal do TDVI em uma região da Floresta Amazônica, no estado brasileiro de Rondônia, Cho *et al.* [21] observaram o mesmo padrão do presente estudo: diminuição dos valores médios. Os autores apontam, ainda, que é provável que baixos valores de TDVI da vegetação possam impactar na dinâmica da evapotranspiração local. A evapotranspiração é um processo hidrológico que relaciona a superfície à atmosfera por meio

da troca de água e energia e pode estar diretamente ligado a mudanças no clima [5]. A relação entre o TDVI e a evapotranspiração deve ser mais explorada em estudos na BHRS.

A Figura 3, por sua vez, contém um gráfico da distribuição do TDVI ao longo das classes dos fragmentos florestais analisados na BHRS. Conforme a Figura 3(A), pode-se observar que as médias de TDVI aumentaram de 2000 a 2020, para os fragmentos florestais das classes Médio e Grande. Além da degradação florestal, estes resultados indicam menor disponibilidade hídrica no período.

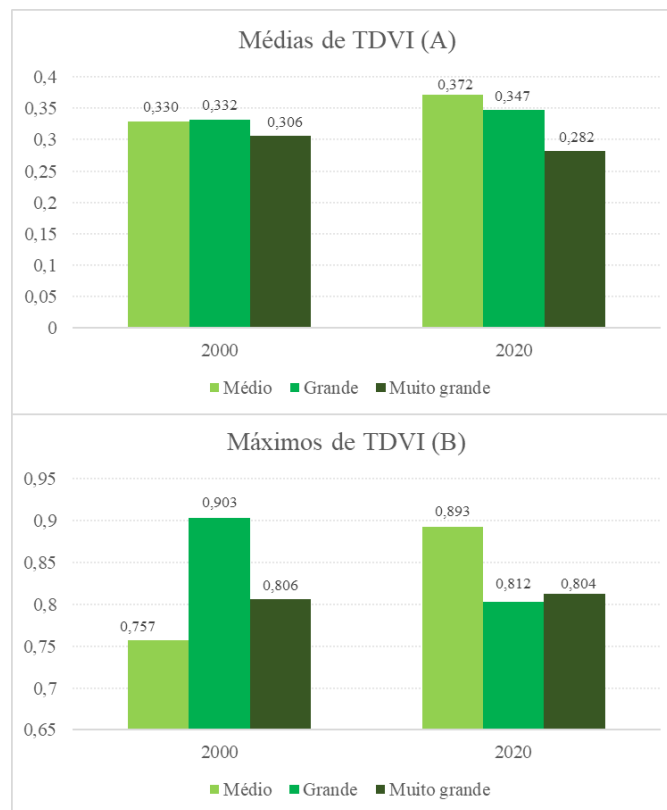


Figura 3. Gráfico de valores médios (A) e máximos (B) de TDVI para os períodos de análise

Quando analisadas as classes de tamanho, pelos valores máximos – Figura 3(B) –, é possível concluir que os menores fragmentos florestais tiveram um aumento significativo de valores de TDVI. Isso indica que quanto menor o fragmento, maior a chance do mesmo sofrer influência do solo, visto que fragmentos menores são mais suscetíveis a abertura de clareiras e perda de biodiversidade, o que pode aumentar a evaporação da água do solo dada a maior incidência da luz solar [5]. O aumento do TDVI resultante da diminuição do tamanho do fragmento resulta em processos curtos e rápidos de perda de umidade para a atmosfera, não contribuindo com a sustentabilidade do ecossistema local.



#### 4. CONCLUSÕES

Pela aplicação da metodologia apresentada, foi possível verificar que o TDVI dos remanescentes florestais apresentou essencialmente uma tendência que indica diminuição da disponibilidade hídrica da vegetação local. Estudos desta natureza são importantes, visto que a escassez de água para as plantas pode ser um fator negativo para a conservação e recuperação vegetal, principalmente considerando a importância de remanescentes de Mata Atlântica. Desta forma, analisar a dinâmica espaço-temporal deste fenômeno é importante para a correta gestão deste bioma.

Por fim, esta pesquisa ainda deverá contemplar investigações futuras que permitam avaliar como as mudanças do TDVI se relacionam com etapas do ciclo hidrológico local (como precipitação e temperatura ambiente). Aplicação de metodologias desta natureza, aliadas a técnicas de Sensoriamento Remoto, auxiliam em análises ambientais e de mudanças climáticas.

#### 5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] SACRAMENTO, B. H. *et al.* Análise de métricas de paisagem e influências do Uso do Solo e Cobertura Vegetal em fragmentos florestais da Mata Atlântica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19., 2019, Santos. *Anais [...]*. São José dos Campos: INPE, 2019.
- [2] Fundação SOS Mata Atlântica. *Estudo aponta municípios de São Paulo que mais regeneram a Mata Atlântica*. São Paulo, 2018. 3 p.
- [3] SALAZAR, A. *et al.* Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. *Global and Planetary Change*, v. 139, p. 97-108, 2016.
- [4] GUIMARÃES, H. *et al.* Indicators of ecosystem services in a military Atlantic Forest area, Pernambuco—Brazil. *Ecological Indicators*, v. 80, p. 247-257, 2017.
- [5] GUAUQUE-MELLADO, D. *et al.* Evapotranspiration under Drought Conditions: The Case Study of a Seasonally Dry Atlantic Forest. *Atmosphere*, v. 13, n. 6, p. 871, 2022.
- [6] SOUZA, J. C. *et al.* Dinâmica Espacial e Sazonal da Temperatura, Umidade e Estresse Hídrico em Diferentes Tipos de Cobertura Vegetal. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 37, p. 80-94, 2019.
- [7] FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. *Landscape Ecology*. Nova Jersey: John Wiley & sons, 1986.
- [8] ROSOMAN, G. Conservação de Fragmentos de Florestas com Alta Concentração de Carbono: antecedentes e princípios. In: GRUPO DE COORDENAÇÃO DA METODOLOGIA HCS (Org.). *Ferramentas para Metodologia HCS*. 1 ed., 2015, cap. 5, p. 69-76, 2015.
- [9] DUBREUIL, V. *et al.* Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. *EchoGéo*, v. 41, p. 1-28, 2017.
- [10] METZGER, J. P. *et al.* Uma área de relevante interesse biológico, porém pouco conhecida: a Reserva Florestal do Morro Grande. *Biota Neotropica*, v. 6, n. 2, p. 1-33, 2006.
- [11] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. *Áreas prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: atualização – Portaria MMA nº 09, de 23 de janeiro de 2007*. 301 p. Brasília. 2007.
- [12] SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SMA. *Serra do Mar e Mosaicos da Mata Atlântica: Uma Experiência de Recuperação Socioambiental*. 138 p. 2014.
- [13] VIDAL, M. M. *et al.* Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 30, n. 3, p. 521-532, 2007.
- [14] FUNDAÇÃO FLORESTAL. *Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental (APA) Ituparanga*. 2009. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/plano-de-manejo-apa-ituparanga/>>. Acesso em: 1 maio 2019.
- [15] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p. ISBN 978-85-240-4272-0.
- [16] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. *ArcGIS 10.8*. Redlands, 2017.
- [17] SANTOS, J. F. C. *et al.* Fragmentação florestal na Mata Atlântica: o caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 151-158, 2017.
- [18] CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, v. 6, n. 64, 2021.
- [19] QGIS DEVELOPMENT TEAM. *QGIS Association*. QGIS 3.22 Białowieża. 2022.
- [20] GAO, Z.; GAO, W.; CHANG, N. Integrating temperature vegetation dryness index (TVDI) and regional water stress index (RWSI) for drought assessment with the aid of LANDSAT TM/ETM+ images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 13, n. 3, p. 495-503, 2011.
- [21] CHO, J. *et al.* Satellite-based assessment of Amazonian surface dryness due to deforestation. *Remote Sensing Letters*, v. 7, n. 1, p. 71-80, 2016.