



VARIAÇÕES TEMPORAIS NA VEGETAÇÃO BASEADO NA CORRELAÇÃO DE NDVI E DE PLUVIOMETRIA EM UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA TROPICAL EM MINAS GERAIS

Temporal variations in vegetation based on the correlation of NDVI and rainfall in a tropical watershed in Minas Gerais State, Brazil

Rafael Santos Silva

Universidade Federal de São João del-Rei, Programa de Pós-Graduação em Geografia

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7942-0240>

silva777@gmail.com

Múcio do Amaral Figueiredo

Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2682-2021>

muciofigueiredo@ufsj.edu.br

João Vitor de Alvarenga Martins

Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Geografia - Bacharelado

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-7609-7483>

alvarengaufsj@gmail.com

Artigo recebido em jan/2023 e aceito em abr/2023

RESUMO

As mudanças intensas e desordenadas na cobertura vegetal são frequentemente causadas pelo uso e ocupação da terra pelo ser humano. Para verificar as alterações na vegetação nas bacias hidrográficas, o uso do sensoriamento remoto tem sido utilizado como ferramenta para analisar a cobertura e o uso da terra por meio de imagens de satélite e séries temporais. O objetivo deste artigo é verificar a relação entre os volumes pluviométricos e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em áreas rurais, utilizando a sub-bacia hidrográfica do Rio das Mortes Pequeno (BHRMP) no período de 16 anos (2006 - 2021). Foram utilizadas as imagens dos satélites MODIS e CHIRPS, a partir dos dados do website SATVeg e do aplicativo ClimateEngine, para composição de séries temporais de NDVI e de validação da precipitação. Na Bacia hidrográfica do Rio das Mortes Pequeno foi analisado regressões e progressões da vegetação para as classes de agricultura, floresta plantada, pastagem e floresta. Pelas análises das séries temporais foi possível identificar uma relação existente entre precipitação e o os dados de NDVI. As classes de Floresta e Floresta plantada registraram uma redução do valor médio de NDVI acompanhando uma tendência linear de redução de atividade vegetativa possivelmente devido à queda nos valores pluviométricos. Para as classes de agricultura e de pastagem, são identificados desenvolvimento vegetacional o que indica uma progressão linear e

aumento do valor médio de NDVI. A disponibilidade dos dados do satélite CHIRPS proporcionou identificar redução linear de aproximadamente 43% de chuva no período 2006 a 2021 na BHRMP. Foi identificada correlação significativa entre o NDVI e precipitação nas regiões de cerrado. As análises de séries temporais produziram resultados para possíveis políticas e estratégias de gestão ambiental.

Palavras-chave: Séries temporais; tendência linear; SATVeg; *ClimateEngine*.

ABSTRACT

Changes in vegetation cover, which are disorderly and intense, are caused by land use and occupation by man. To verify changes in vegetation in watersheds, the use of remote sensing has been used as a tool to analyze land cover and use through satellite images and time series. The objective of this article is to verify the relationship between rainfall volumes and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in rural areas, using the Rio das Mortes Pequeno watershed (BHRMP in portuguese) over a period of 16 years (2006 - 2021). Images from MODIS and CHIRPS satellites were used, based on data from the SATVeg website and the ClimateEngine application, for the composition of NDVI time series and precipitation validation. The two satellites are used for monitoring vegetation in large regions and for assessing the precipitation cycle in areas with few rainfall stations. In the Rio das Mortes Pequeno watershed it was analyzed regressions and progressions of the vegetation for agriculture, planted forest, pasture and forest classes. By the time series analysis it was possible to identify the relationship between precipitation and NDVI data. The Forest and Planted Forest classes recorded a reduction in the average value of NDVI, following a linear trend of reduction in vegetative activity due to the fall in rainfall. For the agriculture and pasture classes, vegetational development is identified, which indicates a linear progression and an increase in the mean value of NDVI. The availability of data from the CHIRPS satellite made it possible to identify a linear reduction of approximately 43% of rainfall in the period 2006 to 2021 in the BHRMP. A significant correlation was identified between NDVI and precipitation in the Cerrado regions. Time series analyzes produced results for possible environmental management policies and strategies.

Keywords: Time series; linear tendency; SATVeg; ClimateEngine.

1. INTRODUÇÃO

A relação do homem com a natureza tem se alterado ao longo das décadas, tendo afetado de forma intensiva o equilíbrio com o meio ambiente. As florestas têm sido exploradas e substituídas para atividades como a produção agrícola, mineração e grandes centros urbanos que fragmentam os espaços naturais de forma desordenada (SAMPAIO, 2007). Para Mancino *et al.* (2014), as alterações em áreas de florestas naturais estão relacionadas às ações de práticas agrícolas, mineração, incêndios e pecuária que representam as principais mudanças nas terras rurais.

Para detectar as mudanças no espaço, muitos estudos utilizam o sensoriamento remoto para obter informações sobre sistemas agrícolas em diferentes escalas (BURKE; LOBELL, 2017). Pesquisas utilizam o sensoriamento remoto para analisar o uso e ocupação da terra, incluindo a cobertura florestal, expansão urbana, queimadas, produções agrícolas e outras mudanças decorrentes na superfície terrestre, como podem ser verificados nas pesquisas de Nascimento (2017), Rosa *et al.*

(2011), Oliveira *et al.* (2015), Domingues e Bermann (2012), Espírito-Santo *et al.* (2005), Silva *et al.* (2005), Rudorff *et al.* (2007), Dias e Oliveira (2011) e Ferreira Neto *et al.* (2019).

Durante o estudo de uma região, as informações precisas e pertinentes da localização com os principais tipos de cultivo têm implicações econômicas, alimentares, políticas e ambientais (SINGH, 2012), informações que são possíveis de serem extraídas das imagens de satélites. As tecnologias de sensoriamento remoto são desenvolvidas e aplicadas em pesquisas, nos últimos anos, para fornecer soluções viáveis e econômicas com intuito de aumentar a disponibilidade de dados espaciais e temporais. Porém, para aplicar em áreas com formações vegetacionais heterogêneas, especialmente em paisagens agrícolas, como é o caso da sub-bacia hidrográfica do Rio das Mortes Pequeno, em Minas Gerais, se torna um desafio, pois são locais que ocorrem rápidas mudanças em áreas espacialmente restritas (pequenas propriedades rurais), enquanto que em áreas espacialmente mais abrangentes [médias e grandes propriedades rurais, por exemplo], as mudanças são mais lentas (SUN *et al.*, 2021).

Dentro das técnicas de processamento de imagens, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, em inglês), que possui uma significativa capacidade de classificar o vigor da vegetação no espaço e no tempo (BARBOSA, 2017). O NDVI é representado em uma escala de (-1) a (+1), no qual (-1) representa ausência de vegetação e (+1) representa vegetação com alto vigor vegetativo. Uma das vantagens do NDVI é que ele pode ser utilizado em todos os biomas e variados estudos (BARBOSA, 2017). Devido a essas características, realizar a análise de espaços agrícolas por meio do NDVI auxilia na identificação de mudanças ocorridas ao longo de determinados períodos.

As pesquisas que analisam séries temporais de NDVI verificam o crescimento da cultura ou mudança na vegetação com resolução espaço-temporal (SINGH *et al.*, 2020), como também nos estudos de mapeamento de recuperação de vegetação pós-fogo no Chile (PEÑA; ULLOA, 2017) e para identificar a degradação e regeneração de terras na Mongólia (ECKERT *et al.*, 2015). Muitos estudos analisam as mudanças ocorridas na vegetação utilizando o NDVI relacionado com os dados pluviométricos, visto que as precipitações estão diretamente relacionadas com a variação fenológica das plantas.

Os dados de pluviometria (Pv) são importantes para análise da vegetação presente em determinado espaço, pois permitem relacionar e comparar os períodos de acordo com a quantidade de biomassa presente na área de estudo (BARBOSA *et al.*, 2017).

Segundo Brasil Neto *et al.* (2019), os estudos de correlação entre Pv e NDVI são importantes para dar suporte a gestão das atividades na agricultura e fornecer políticas que favoreçam as populações que trabalham com a produção de alimentos. Luo *et al.*, (2015), descrevem estudos que

indicam a relação entre NDVI e as mudanças no clima e ratifica que os dados de NDVI possuem forte relação com a temperatura e a Pv.

Neste estudo, o objetivo foi detectar as mudanças da vegetação na BHRMP, localizada nos municípios de São João del-Rei e Conceição da Barra de Minas, MG, correlacionando dados do NDVI e de Pv. A detecção de mudanças foi realizada por meio de análise da série temporal, de 16 anos de dados do NDVI, oriundos dos dados disponibilizados pelo Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg) relacionando-o com dados de precipitação adquiridos pelo satélite CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data).

A BHRMP exerce um papel importante de desenvolvimento socioeconômico dos dois municípios, devido às atividades rurais diversificadas de uma estrutura agrária de pequena produção na região mencionada, (GOMES; AGUIAR, 2012) tornando assim importantes os estudos que contribuam com questões sobre a disponibilidade vegetativa primária e antropogênica e hídrica da BHRMP, como instrumento de auxílio aos agricultores da região e ao poder público estadual.

2. ÁREA DE ESTUDO

A BHRMP é uma sub-bacia hidrográfica do Rio das Mortes, afluente da sua margem esquerda do Rio Grande em seu curso, no estado de Minas Gerais. A BHRMP possui uma área de 566,03 km² (56.603ha) e perímetro de 201.58 km. O principal afluente nasce e percorre em maior extensão o município de São João del-Rei, flui no sentido sudeste/noroeste, e a sua foz se encontra com o Rio das Mortes no município de Conceição da Barra de Minas (Figura 1).

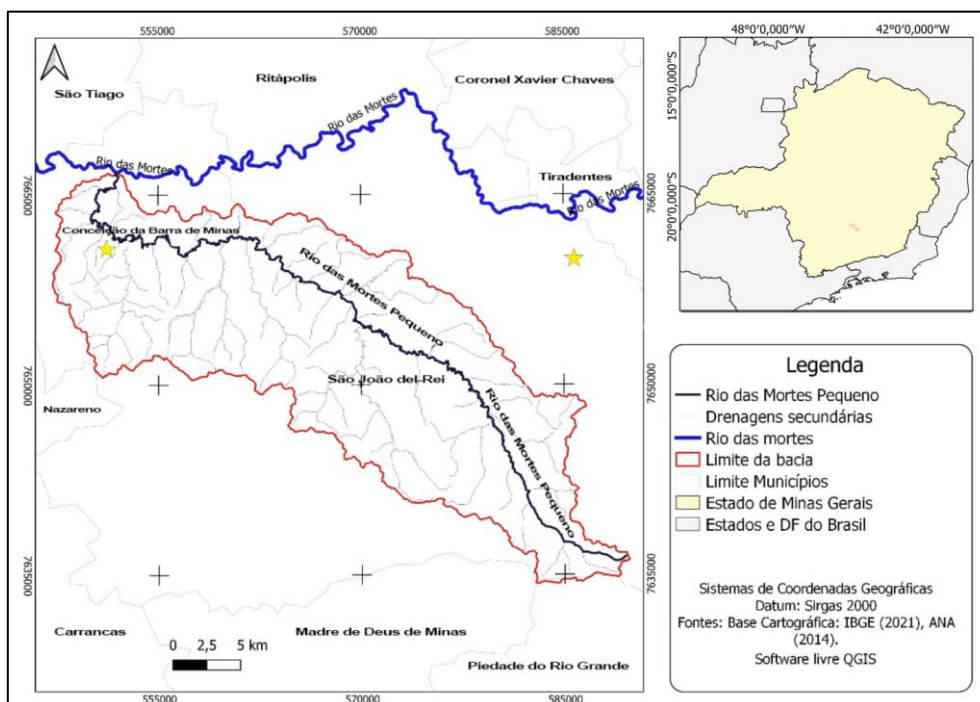


Figura 1 – Localização da BHRMP.

O município de São João del-Rei possui clima do tipo Cwb (tropical de altitude), segundo a classificação de Köppen, caracterizado por verões úmidos e invernos secos (ALVARES *et al.*, 2013). A cobertura vegetal predominante é caracterizada como campo cerrado e cerrado (INMET, 2012). No Cerrado, a vegetação apresenta variação entre as estações de seca e de chuva, o que altera as estruturas físicas e químicas das plantas conforme o período (SAMPAIO, 2007).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Dados dos satélites

Neste estudo, as variações temporais e espaciais da cobertura vegetal da BHRMP foram obtidas utilizando-se os dados do satélite MODIS para cálculo do NDVI e do CHIRPS para validação da precipitação.

Para análise do uso e cobertura da terra foi utilizado a ferramenta do SATVeg, um website disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que disponibiliza dados de séries temporais de NDVI e EVI (SATVeg, 2022). Foi considerado apenas o índice de vegetação do produto MOD13Q1, ou seja, o NDVI, disponibilizado a cada 16 dias com resolução espacial de 250 m que pode ser utilizado para análises regionais a globais (PANEK; GOZDOWSKI, 2020). A partir dos dados extraídos, foram obtidas as séries temporais disponíveis, do período compreendido entre 01 de janeiro de 2006 a 31 de dezembro de 2021.

Foram selecionadas quatro áreas de uso e cobertura da terra mais relevantes na área BHRMP: agricultura, pastagem, floresta e floresta plantada. Foram selecionados e amostrados os pontos através classificação supervisionada, permitindo a identificação de pontos do uso e cobertura da terra. Após a escolha dos pontos amostrais, selecionados na própria plataforma, foram confeccionados as séries temporais de NDVI para o período analisado, com dados obtidos na plataforma SATVeg.

Os valores de NDVI da janela de amostragem foram expressos em forma de gráfico como função do tempo. Os pontos selecionados foram plotados a partir do pré-filtro para retirada de pixels sem dados (No data) e pixels com a presença de nuvens (SATVeg, 2022). O filtro *Savitzky-Golay* (SG) foi utilizado para suavização dos dados, com janela móvel de número 4, devido a simetria e a propriedade linear que o filtro proporciona (LUO, YING e BAI, 2005). O filtro SG foi utilizado por Shihua *et al.* (2014), para monitorar a cultura de plantação de arroz, por Tang *et al.* (2020) para reconstruir séries temporais com anomalias atmosféricas através de algoritmos computacionais, e por Chakroun (2021), para realizar o monitoramento da seca em uma região do norte da África. O uso do filtro SG tem a função de diminuir ruídos quando são analisadas séries temporais de NDVI, pois, estas são frequentemente afetadas quando há presença de nuvens e também por condições atmosféricas adversas (ZHU *et al.*, 2022).

3.2. Dados pluviométricos

As informações de precipitação foram adquiridas no site do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O BDMEP recolhe dados diários desde 1961 e em forma digital, a partir do ano de 2006, com informações para cada estação. No município de São João del Rei (A-514) existe uma estação localizada na Universidade Federal de São João del Rei no Campus Tancredo Neves (Lat: [-21.11], Long: [-44.25]). As outras estações mais próximas de São João del Rei estão localizadas na cidade de Barbacena, Lavras, Oliveira e Conselheiro Lafaiete.

Os registros da estação foram validados pelo banco de dados do satélite CHIRPS, que é um produto de precipitação pluviométrica obtido por meio da ferramenta em nuvem de spatial data science ‘Google Earth Engine’, através do aplicativo *ClimateEngine*.

O processamento do banco de dados do satélite CHIRPS possibilita a análise das estimativas diárias, bem como dos resumos mensais e anuais da precipitação (mm) desde 1981. Para a BHRMP, foi selecionado um conjunto de dados de precipitação do CHIRPS e extraído apenas a precipitação sobre a área de captação e, em seguida, convertida em uma série temporal mensal com médias de um período de 16 anos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens obtidas do satélite MODIS foram amostradas para as classes de floresta, agricultura, pastagem e floresta plantada retiradas do *site* SATveg. Para as três primeiras classes (floresta, agricultura e pastagem) foram selecionadas áreas nas quais a cobertura do solo se manteve inalterada ao longo de todo o período estudado (Figura 2) e, para classe floresta plantada, foram selecionadas áreas em que houve a inserção da atividade de silvicultura.

A classe da agricultura (Figura 3) apresenta picos positivos (ascendentes) associados às fases de crescimento das culturas. Os picos negativos (descendentes) representam os períodos de colheitas. As variações dos picos positivos e negativos dos valores de NDVI nas assinaturas espectro temporais estão relacionadas aos ciclos fenológicos da cobertura vegetal. Por se tratar de uma região agrária de pequenas propriedades rurais, as séries temporais de agricultura sugerem ciclos anuais e semestrais de produção, com cultivos de culturas diversas. Em regiões de pequenos produtores, como na BHRMP, a produção de alimentos tende a ser diversificada como também identificado nos resultados dos trabalhos de Lima *et al.* (2020) e Baldisera *et al.* (2018). Ademais, ao longo da série de 16 anos analisada, os manejos e os tipos de cultura podem ter sido alterados e alternados, visto que o pequeno produtor se adequa e adapta a sua produção às condições meteorológicas, consumo e comércio (BASTOS, 2012; CALMON; FELTRAN-BARBIERI, 2019; CESANO, 2012; CUNHA, 2013).

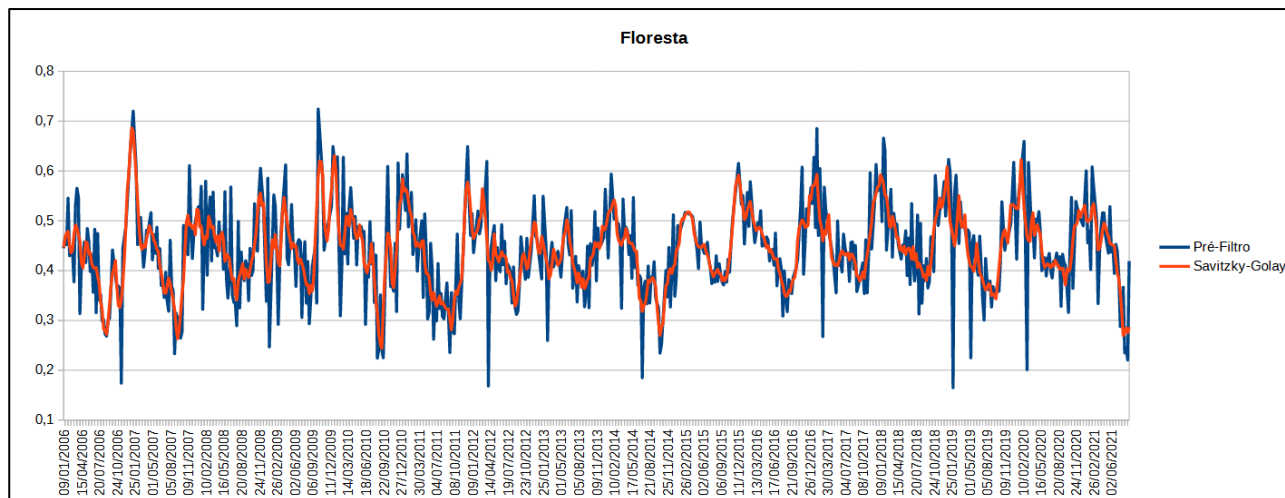


Figura 2 - Série temporal de índices de vegetação (NDVI) para floresta.
pastagem, agricultura e floresta plantada.

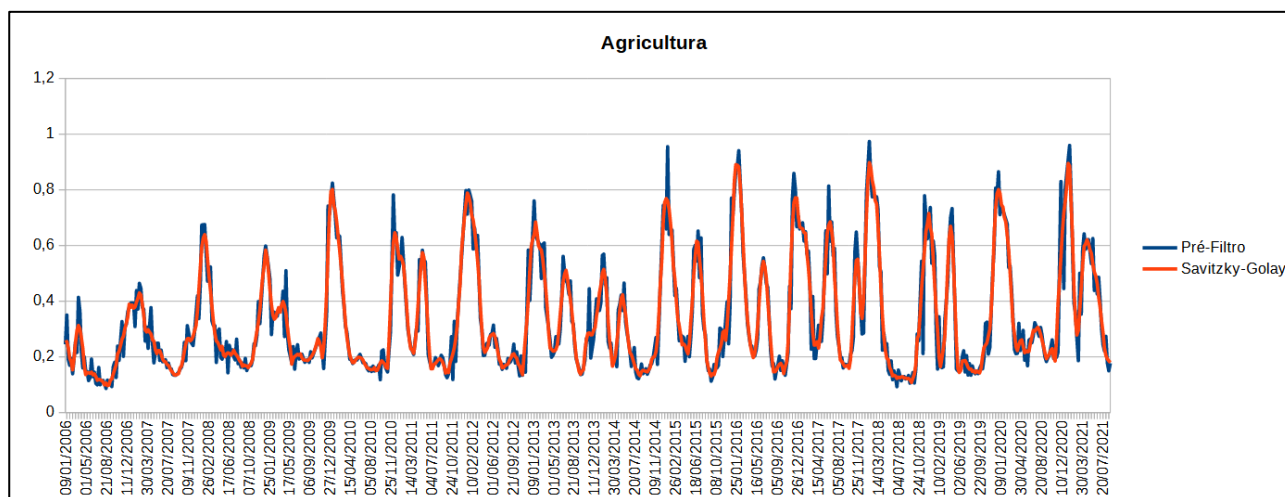


Figura 3 - Série temporal de índices de vegetação (NDVI) para agricultura.

As séries temporais das florestas (Figura 4) e as pastagens (Figura 5) apresentam variação de NDVI menos intensa (análise visual) ao longo da série, mas com valores distintos com perfil de onda senoidal. A série de floresta apresenta altos valores de NDVI, visto que várias das áreas identificadas são matas ciliares e áreas de preservação permanente, no qual são áreas com vegetação densa e com boa saúde (SINGH *et al.*, 2020). A série de pastagem também possui um comportamento padrão senoidal, porém, apresenta uma amplitude de variação menor, visto que, em áreas de pastagem, não apresentam áreas sem vegetação, em períodos de colheita, como é o caso da classe de agricultura e de floresta plantada.

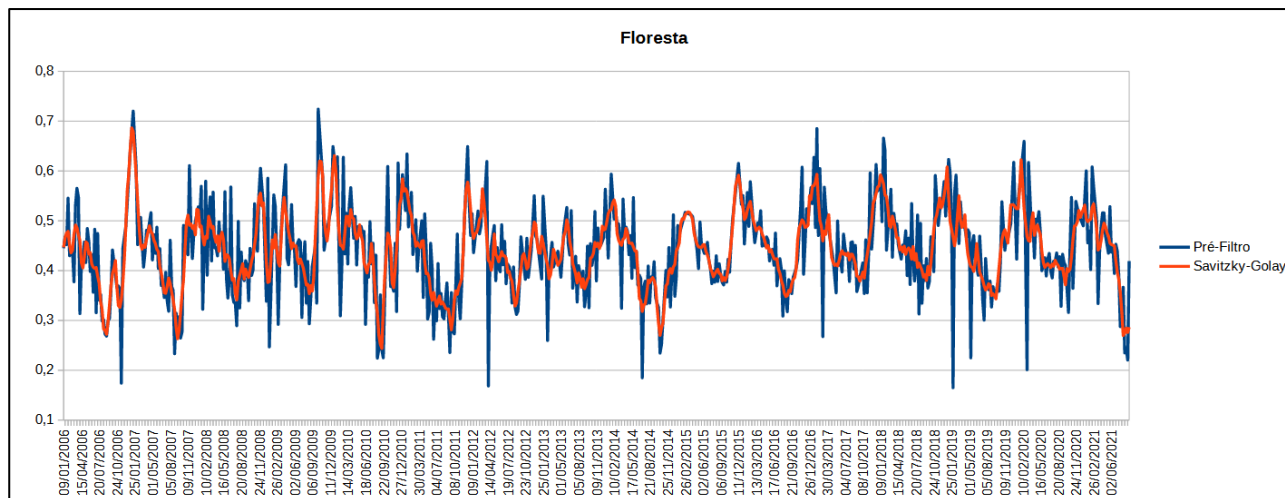


Figura 4 - Série temporal de índices de vegetação (NDVI) para floresta.

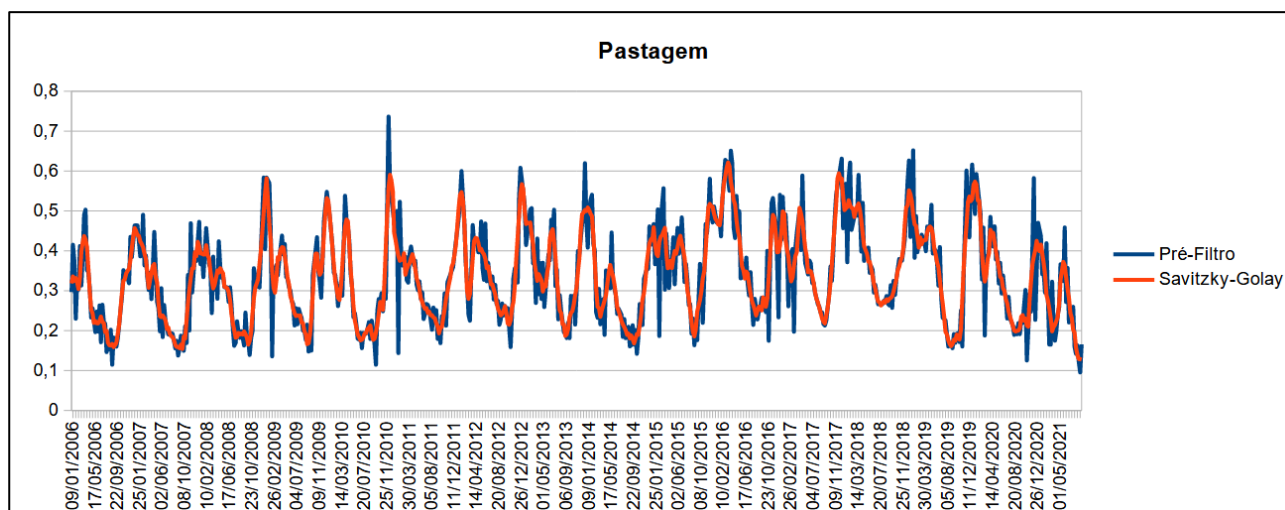


Figura 5 - Série temporal de índices de vegetação (NDVI) para pastagem.

A classe de floresta plantada (Figura 6), por se tratar de uma atividade econômica comum na BHRMP, apresenta um comportamento heterogêneo ao longo da série em decorrência da retirada da vegetação em determinados períodos. Nas fases de crescimento da planta e ao atingir a idade adulta, o NDVI desta classe possui um padrão de valores altos, o que indica plantas com boa saúde e com dossel denso. Entretanto, nas situações de pós-corte, os valores de NDVI diminuem rapidamente, possivelmente devido ao corte da madeira (TRENTIN *et al*, 2018) que, na maioria dos casos é eucalipto. No gráfico da classe de floresta plantada, pode-se observar que os valores mais baixos de NDVI são nos registros de pós corte, visto que a área fica sem qualquer vegetação, acarretando em solos expostos.

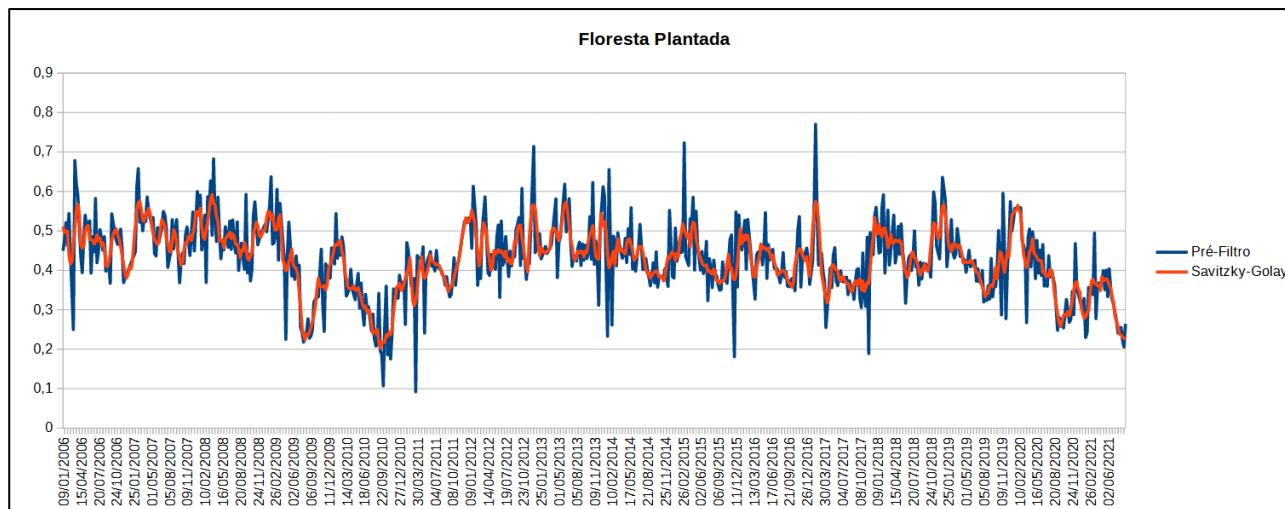


Figura 6 - Série temporal de índices de vegetação (NDVI) para floresta plantada.

Outro aspecto observado é a presença de ruídos nos valores originais de NDVI, mesmo após a aplicação de pré-filtro, o que indica a necessidade de suavizar as séries temporais. O resultado da suavização pelo filtro aplicado Savitzky-Golay reduz a ocorrência de valores irregulares das séries temporais.

Além da análise das séries temporais do NDVI, a falta de água é um fator que prejudica todo o desenvolvimento das plantas em todas as suas fases, além de outros processos que afetam a saúde e crescimento (AVILA *et al.*, 2009), o que justifica analisar os registros de precipitação na BHRMP, que foram obtidos e compilados a partir dos dados do satélite CHIRPS, no período de 2006 a 2021 (Figura 7).

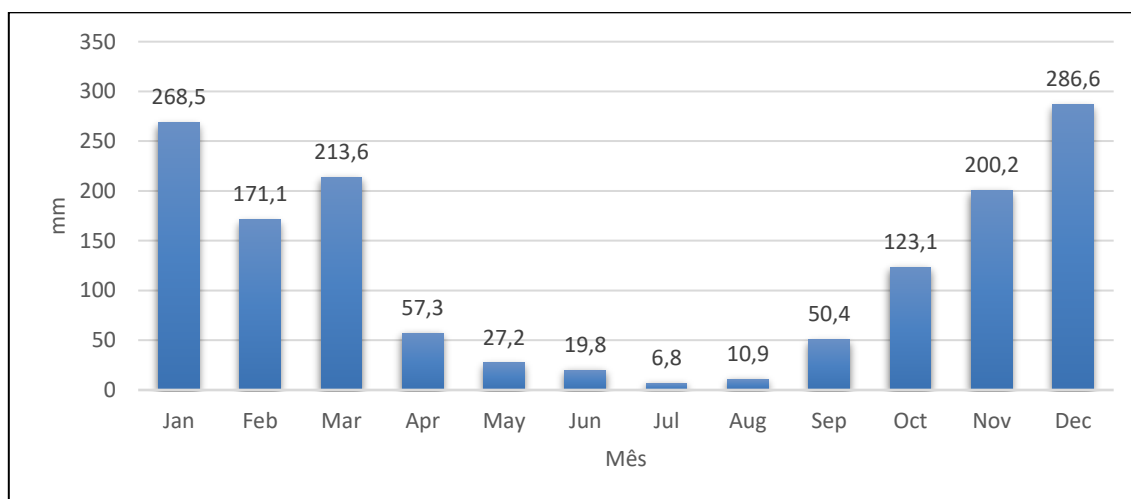


Figura 7 - Média da precipitação mensal na BHRMP para a série temporal a partir de dados do satélite CHIRPS (2021).

Analisados os valores do NDVI e relacionado com as precipitações registradas, os menores valores encontrados coincidem com os menores índices de precipitação na área de estudo. A série temporal com os valores de precipitação registrada na BHRMP (Figura 8), nos meses de abril a

setembro (outono e inverno) são os meses que representam os menores índices de chuva, enquanto os meses de outubro a março (primavera e verão) representam as maiores quantidades de chuvas para a região (Figura 9).

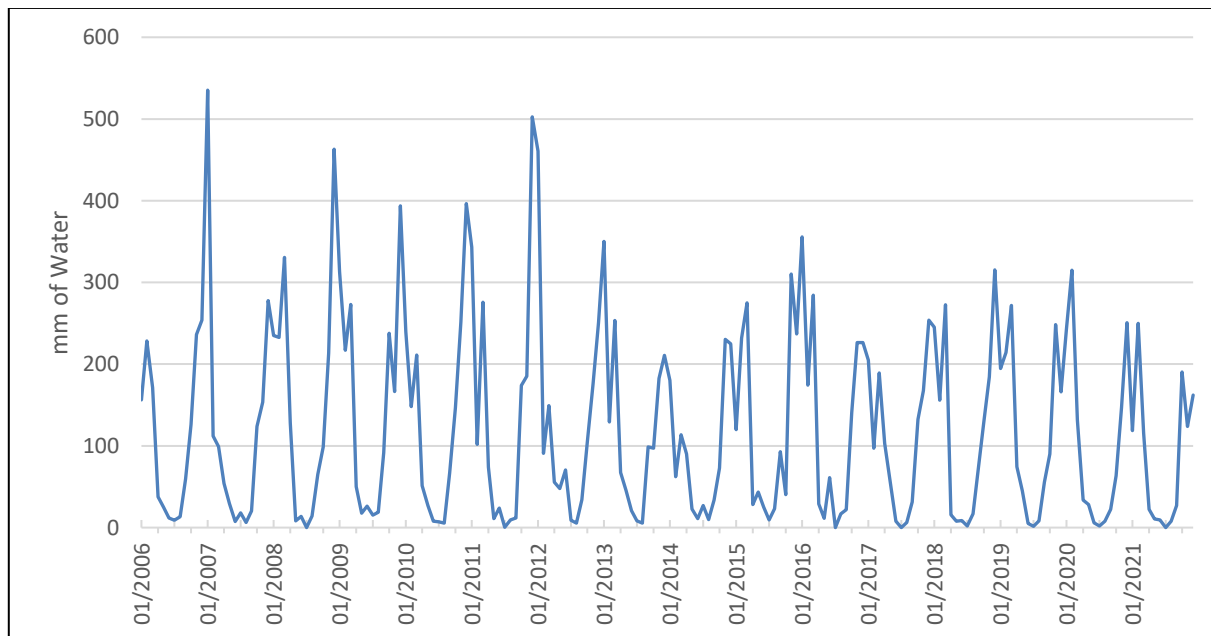


Figura 8 - Série temporal da precipitação na BHRMP de 2006 a 2021 dos dados validados por meio das imagens do satélite CHIRPS (2022).

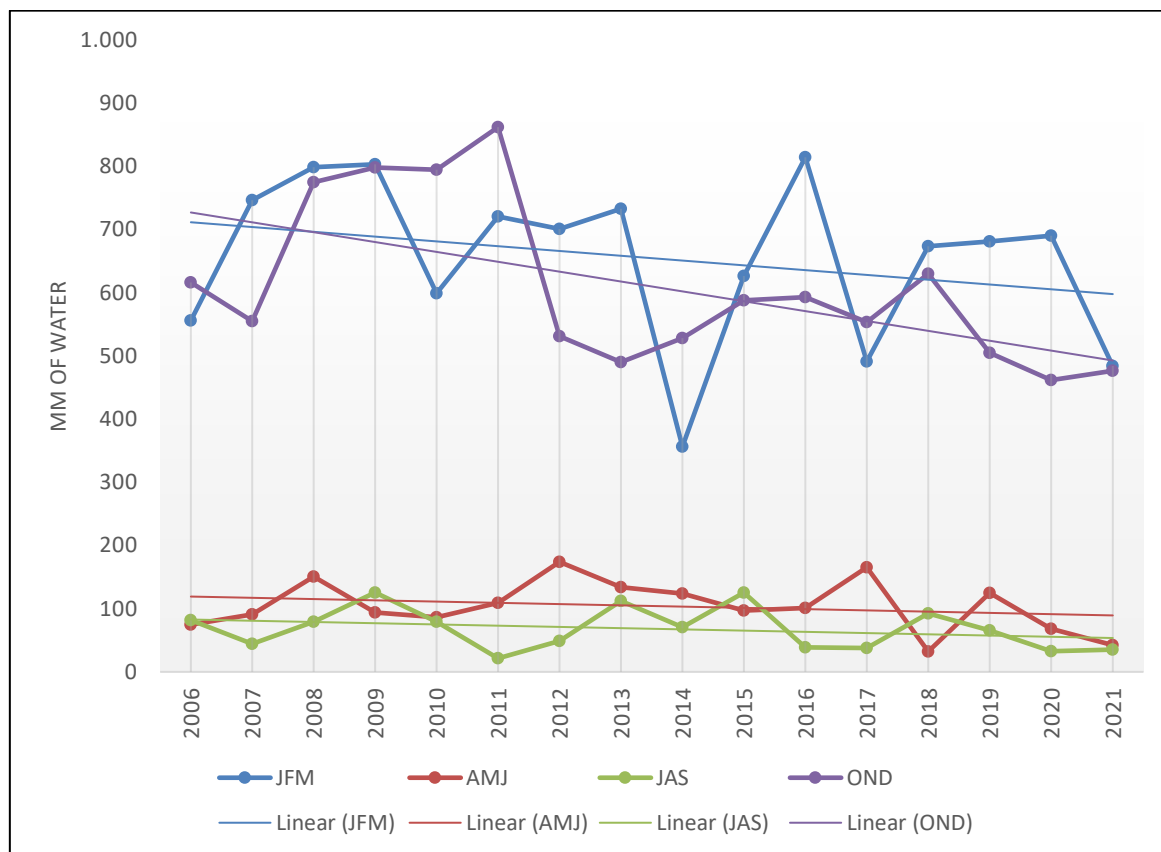


Figura 9 - Série temporal da média anual das estações climáticas da BHRMP (primavera, verão, outono e inverno).

Verificando a relação dos dados de NDVI com os dados de precipitação, a série temporal de agricultura (Figura 10), apresenta a relação direta da precipitação com o NDVI. Exibindo um vetor senoidal, a correlação entre a precipitação mensal e o NDVI, evidência um padrão que pode ser observada na maioria dos meses, no qual entre outubro a março, a correlação de NDVI/precipitação foram positivas, enquanto abril a setembro a correlação foi negativa. O menor valor do NDVI encontrado para a classe de agricultura foi de 0,2554, em 28 de julho de 2006, que coincidiu com uma queda de precipitação para o mesmo período, que registrou apenas um dia de chuva em todo o mês de julho com apenas 9mm. O maior valor encontrado de NDVI foi de 0,8689 para o dia 17 de janeiro de 2013, que coincide com um mês de alta concentração de chuva, mesmo não sendo o maior registro de precipitação para os anos analisados.

Para a classe de agricultura há períodos de alta concentração de chuva, que possuem queda nos valores de NDVI, que podem ser observados, por exemplo, no período de dezembro de 2006 a fevereiro de 2007, no qual a queda dos valores de NDVI, relacionam aos períodos de colheita. Entre janeiro a abril de 2013, e janeiro a março de 2014 as quedas de valores de NDVI acompanham a redução de chuvas para as estações mais chuvosas.

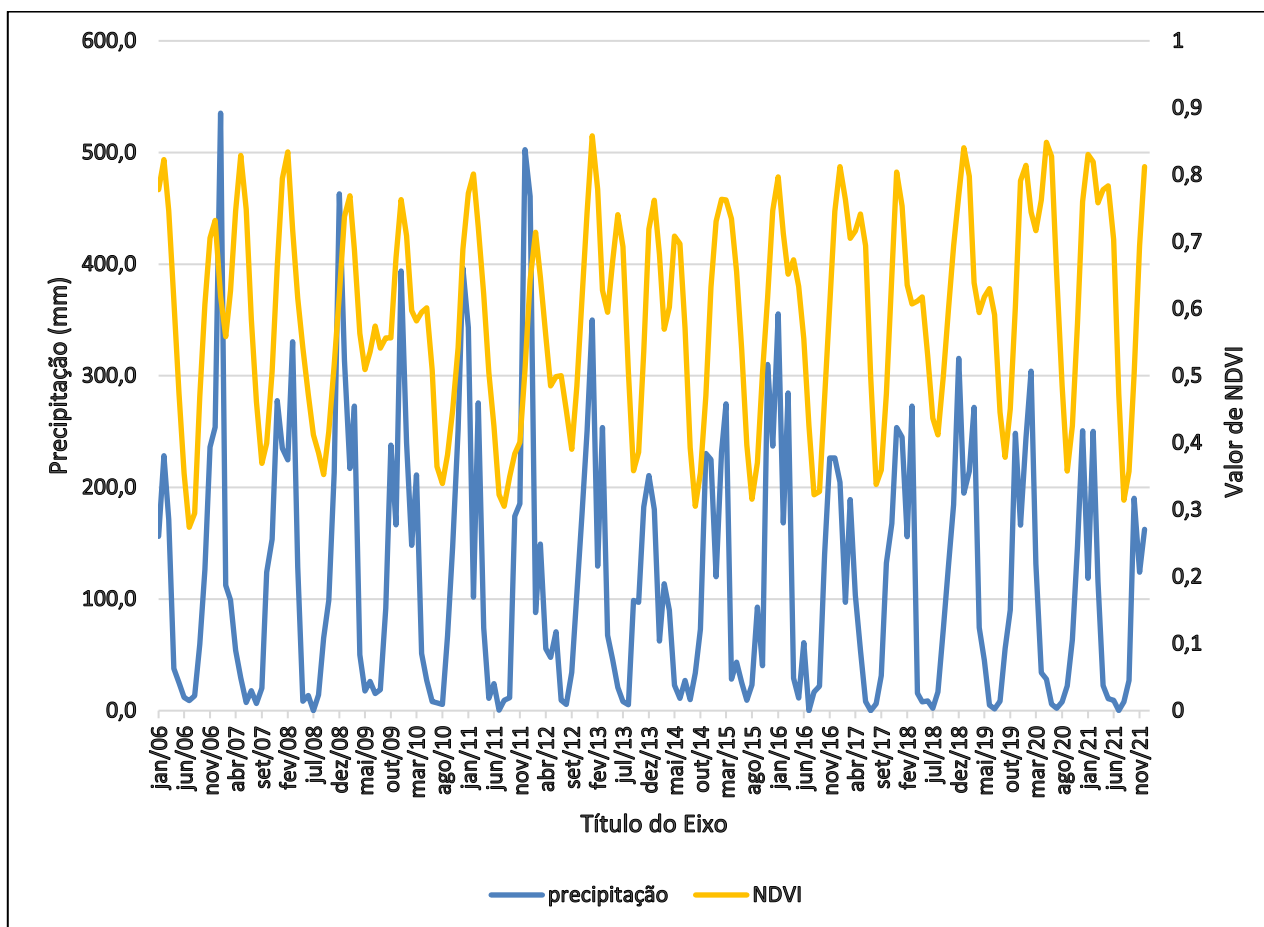


Figura 10 - Dados de precipitação e NDVI na BHRMP entre 2006 a 2021 para classe de agricultura.
Fonte: SATVeg (2022), CHIRPS (2022).

A análise da relação do NDVI/precipitação para a série temporal da classe de floresta, podendo ser verificado visualmente na figura 2, apresentou padrão sazonal delimitado, relacionado às características do tipo de vegetação próprias do cerrado. A principal característica do cerrado é possuir estações climáticas específicas (NASCIMENTO; NOVAIS, 2020), que no período de frio (ou seco), resulta na queda das folhas das florestas, alterando a resposta espectral do dossel, e conseqüentemente diminuindo os valores do NDVI na estação climática com menor registro de precipitação.

Para a classe de pastagem, o comportamento da série temporal seguiu os períodos climáticos, no qual os maiores valores são no período de chuva e os menores valores de NDVI são encontrados nos períodos de seca.

Outro fator a ser observado, a partir do gráfico da validação do CHIRPS foi verificar ao longo dos anos uma diminuição no volume de precipitação por meio da linha de tendência linear para o período analisado (Figura 11). Entre 2006 a 2021 a queda de precipitação foi de 289,9 (mm), equivalente a uma redução de 22%, embora a maior diferença é encontrada quando comparado de 2009 a 2021. A queda no quantitativo de chuvas entre o ano de 2009 para o ano de 2021 foi de 43%. A redução de chuvas é um fator global e existem vários estudos que analisam fatores e parâmetros como na pesquisa de Adler *et al.* (2008) que analisa a redução de chuvas relacionado ao aumento da temperatura, relacionado pelo aumento de CO₂ (MYHRE *et al.*, 2018), condições fisiológicas de plantas (SUN *et al.*, 2021), análise no bioma Cerrado (CAMPOS; CHAVES, 2020), e por Duarte (2005), que identificou a queda no volume das chuvas, tanto em nível local quanto em outras regiões, devido a supressão de floresta.

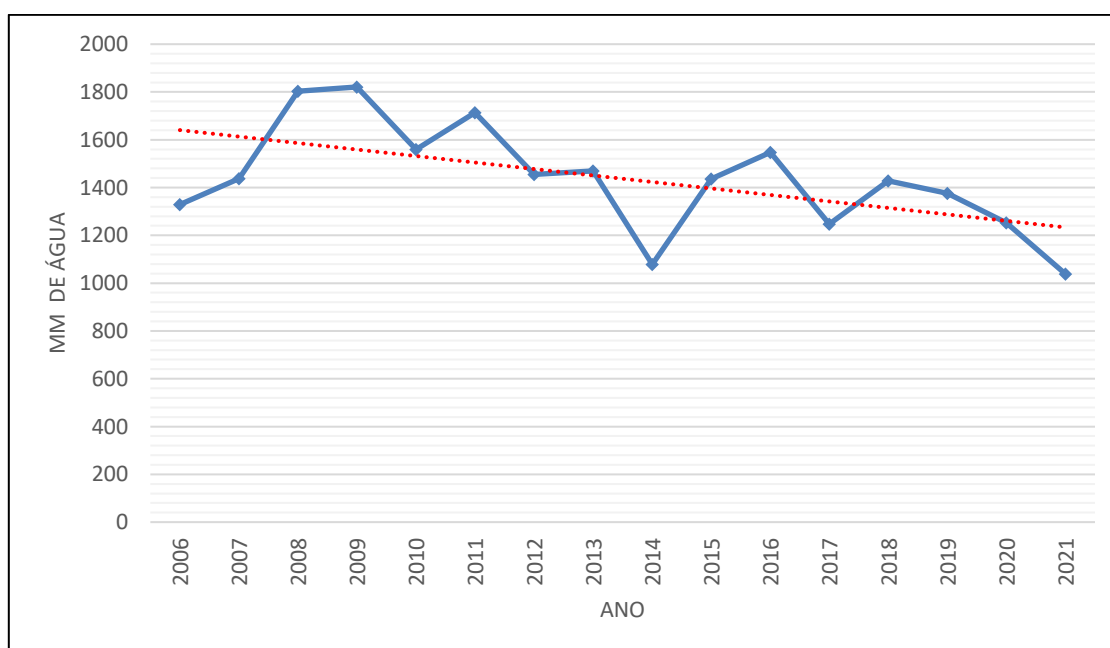


Figura 11 - Tendência geral do volume de precipitação média anual calculada em dados do satélite CHIRPS na BHRMP.
ISSN 2317-5419

Apesar da tendência linear da diminuição da precipitação sobre a BHRMP, a propensão dos valores de NDVI foram diferentes para determinadas classes selecionadas. É possível identificar duas regressões lineares e duas progressões ao longo dos anos (Figura 12). Para as classes de Floresta e Floresta plantada há uma redução do valor médio de NDVI. Devido a supressão de floresta, queimadas e substituição dessas áreas por alguma atividade econômica dentro da BHRMP é possível identificar uma pequena redução dos valores de NDVI para a classe de floresta. Para a classe de Floresta plantada podemos identificar pela linha de tendência, uma regressão maior do valor médio de NDVI, que pode ser resultado de diferentes áreas terem idades de culturas diferentes do plantio.

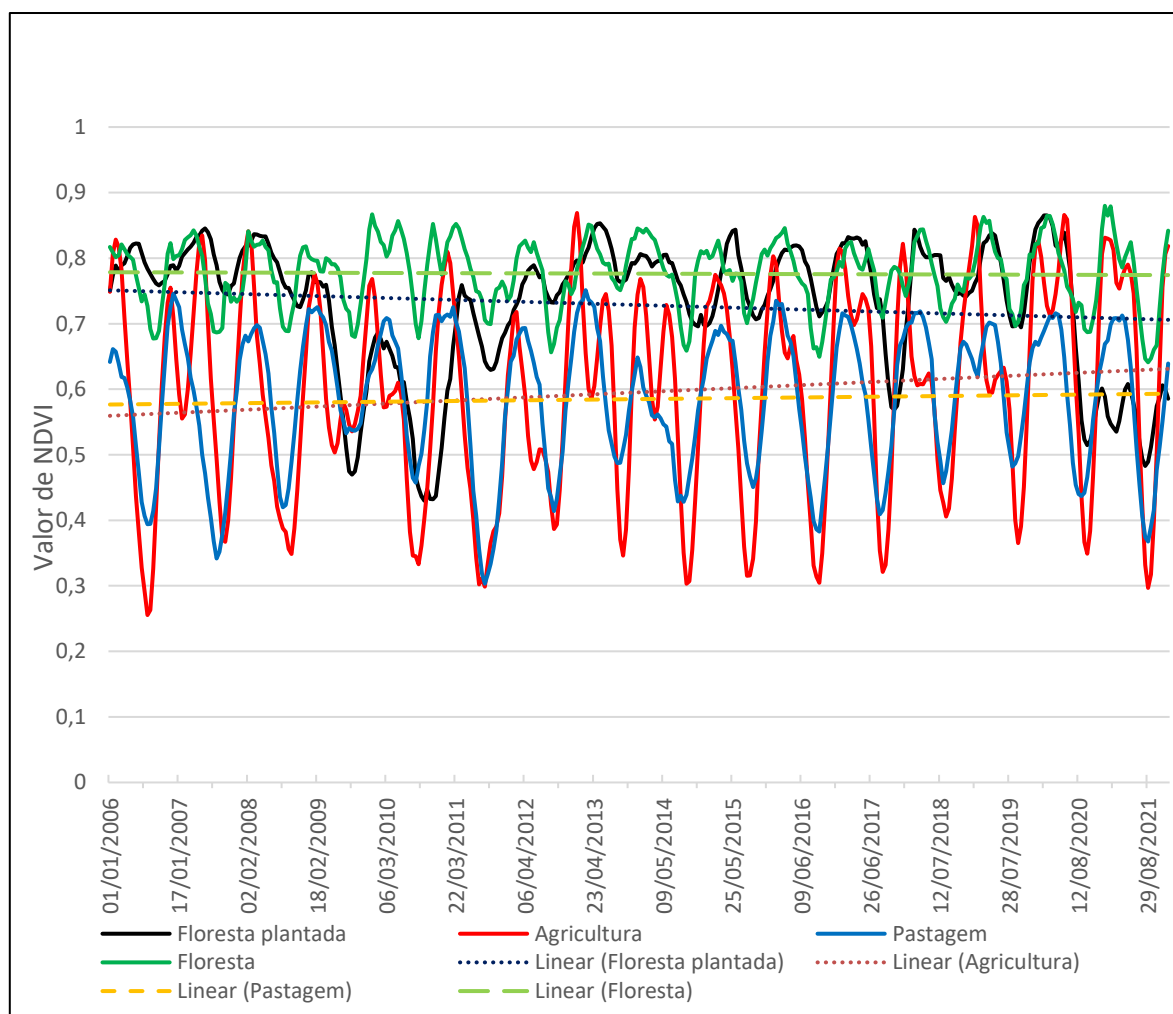


Figura 12 - Séries temporais de NDVI para as classes de uso e cobertura da terra floresta X agricultura X pastagem X floresta plantada na BHRMP, analisadas a partir da inserção do filtro de suavização *Savitzky-Golay*, disponível pelo SATVeg.

Para as classes de uso da terra de agricultura e de pastagem, são identificados no desenvolvimento vegetacional o que indica uma progressão linear e aumento do valor médio de NDVI. A classe de agricultura é a que possui o valor médio com maior avanço ao longo dos anos o que pode estar vinculado ao maior controle da produção visto que os agricultores têm acesso a água

durante todo o ano, maior conhecimento sobre o processo de plantação e colheita, além de melhores técnicas para aumentar suas produções. Para a classe de pastagem há um aumento dos valores médios de NDVI, que pode estar intrinsecamente ligado a maior propensão destas áreas possuírem outros tipos de cobertura que podem elevar o valor de NDVI.

Um problema encontrado durante a análise de imagens com tamanho de 250x250m disponibilizadas pelo SATVeg, é que apesar das áreas de cultivo apresentem fenologia da cultura na série temporal, a safra de verão tem um estágio de crescimento sincronizado com outras vegetações, tornando difícil distinguir as áreas de transição. Em uma determinada imagem, que possui uma área de crescimento de colheita ou uma área de manejo, podem ser encontradas outras áreas de cultivos, que estão em estágio de crescimento diferentes, que eventualmente influenciam o valor de NDVI. Esse problema também ocorre para as áreas de pastagens, que podem ter na mesma imagem, espaços com algumas áreas que não são predominantes, mas que influenciam no valor total. Esse distúrbio também é encontrado por Li e Fox (2012) no monitoramento do crescimento das seringueiras no sul da Ásia e na pesquisa de Wardlow *et al.* (2006) na análise de crescimento de colheita de milho, sorgo e soja no EUA que utilizaram o satélite MODIS com resolução de 250m.

5. CONCLUSÕES

Ao viabilizar o estudo das características estruturais e biofísicas de diferentes biomas em diferentes escalas temporais e espaciais, o sensoriamento remoto contribui para compreender e observar as alterações no índice de vegetação na BHRMP e avaliar os valores de precipitação fornecidos pelos satélites MODIS e CHIRPS.

Os dados de NDVI disponibilizados no SATVeg apresentaram boa eficiência no mapeamento da vegetação. A partir dos dados da série temporal foi possível identificar a alteração nos usos de cobertura da terra, no período de 16 anos.

As precipitações afetaram as mudanças na vegetação na BHRMP e a relação entre NDVI e precipitação foram altas, visto que a vegetação foi mais sensível nos meses de menor precipitação. Os resultados da precipitação possibilitaram identificar que a cobertura vegetal tem correlação direta no comportamento do NDVI das plantas visto que nos meses de seca os valores de NDVI foram menores e nos meses úmidos apresentou consequentemente os maiores valores de NDVI, para as quatro classes analisadas.

A regressão linear da pluviosidade (Figuras 9, 10 e 12) demonstrou uma redução da precipitação ao longo dos anos, nos meses entre outubro a março, sendo que nos meses de janeiro a março foram as ocorrências de maior redução da precipitação. Com os dados apresentados, é possível também inferir que as chuvas nos meses de maior temperatura reduziram ao longo do período analisado, com

menores registros de chuva e menores registros de extremos pluviométricos. A redução do regime de chuvas indica uma possível alteração na pluviosidade na BHRMP que impacta diretamente em vários produtores rurais da região que dependem da disponibilidade de água durante todo o ano.

REREFÊNCIAS

ADLER, R. F. *et al.* Relationships between global precipitation and surface temperature on interannual and longer timescales (1979–2006). **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 113, n. 22, 2008.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ÁVILA, A. D. *et al.* Relação entre a precipitação e o NDVI em imagens AVHRR/NOAA para a cana-de-açúcar, no estado de São Paulo. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, v. 14, p. 553-560, 2009.

BARBOSA, A. H. D. S.; CARVALHO, R. G. D.; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de Martins e Portalegre—Estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, p. 128, 2017.

BASTOS, T. L. A coexistência entre produção rural e matas nativas: alternativas de permanência no espaço rural sob as bases da agroecologia e do cooperativismo. **Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE/UEM)**, v. 4, n. 2, p. 60-76, 2012.

BRASIL NETO, R. M.; SANTOS, C. A. G.; MENESES, I. A. Análise da correlação entre precipitação e o NDVI sobre o Estado da Paraíba utilizando dados TRMM e de pluviômetros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 23., 2019. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABRH, 2019.

BURKE, M.; LOBELL, D. B. Satellite-based assessment of yield variation and its determinants in smallholder African systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 9, p. 2189-2194, 2017.

CALMON, M; FELTRAN-BARBIERI, R. **Quatro modelos para agricultores se adaptarem às mudanças climáticas com geração de renda**. WRI BRASIL, 2019. Disponível em: encurtador.com.br/kzMW1. Acesso em: 31 jan. 2023.

CESANO, D. *et al.* Mudanças climáticas no semiárido da Bahia e estratégias de adaptação da coalizão Adapta Sertão para a agricultura familiar. **Inclusão Social**, v. 6, n. 1, 2012.

CHAKROUN, H. Drought Assessment in Tunisia by Time-Series Satellite Images: An Ecohydrologic Approach. In: **Environmental Remote Sensing and GIS in Tunisia**. Cham: Springer. 2021. p. 233-250.

CUNHA, D. A. *et al.* Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, p. 369-386, 2013.

DIAS, R. L.; DE OLIVEIRA, R. C. Uso de imagens orbitais multitemporais e técnicas de processamento digital de imagens para caracterização do uso e ocupação da terra do Litoral Sul do Estado de São Paulo: municípios de Iguape, Ilha Comprida e Cananéia no período de 1970 a 2010. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 15., 2011. Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 5053

DUARTE, A. F. Variabilidade e tendência das chuvas em Rio Branco, Acre, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 1, p. 37-42, 2005.

ESPÍRITO-SANTO, F. D. B. *et al.* Análise da composição florística e fitossociológica da floresta nacional do Tapajós com o apoio geográfico de imagens de satélites. **Acta Amazônica**, v. 35, p. 155-173, 2005.

ECKERT, S. *et al.* Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. **Journal of Arid Environments**, v. 113, p. 16-28, 2015.

FERREIRA NETO, A. *et al.* Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de uso e ocupação do solo, no município de Jardim de Piranhas/RN. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. UFC, Fortaleza/CE. 2019.

GOMES, L. C; AGUIAR, L. M. B. Notas sobre a formação territorial do município de São João del Rei e o reordenamento espacial a partir do processo de modernização agrícola. **Revista Territorium Terram**, v. 1, n. 2, p. 37-51, 2012.

LI, Z.; FOX, J. M. Mapping rubber in main land Southeast Asia using time-series MODIS 250 m NDVI and statistical data. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 420-432, 2012.

LUO, H. *et al.* NDVI, temperature and precipitation variables and their relationships in Hainan Island from 2001 to 2014 based on MODIS NDVI. **Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2015. p. 336-344.

MANCINO, G. *et al.* Landsat TM imagery and NDVI differencing to detect vegetation change: assessing natural forest expansion in Basilicata, southern Italy. **Forest-Biogeosciences and Forestry**, v. 7, n. 2, p. 75, 2014.

MYHRE, G. *et al.* Quantifying the importance of rapid adjustments for global precipitation changes. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 11, p. 399–405, 2018.

NASCIMENTO, T. V. D.; FERNANDES, L. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, p. 169-177, 2017.

NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Eliséé**, v. 9, n. 2, p. e922021, 2020.

OLIVEIRA, F. P. D. *et al.* Mapeamento de Florestas Monodominadas por *Myracrodruon urundeuva* com Imagens TM-Landsat 5 e *Rapideye*. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 322-333, 2015.

PANEK, E.; GOZDOWSKI, D. Analysis of relationship between cereal yield and NDVI for selected regions of Central Europe based on MODIS satellite data. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 17, p. 100286, 2020.

PEÑA, M. A.; ULLOA, J. **Mapping the post-fire vegetation recovery by NDVI time series**. In: 2017 First IEEE International Symposium of Geoscience and Remote Sensing (GRSS-CHILE). IEEE, 2017. p. 1-8.

ROSA, L. *et al.* Uso de composições de bandas do satélite Landsat 5 TM para caracterizar a dinâmica da variação de áreas alagadas no Pantanal mato-grossense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 15., 2011. Curitiba. Anais... Curitiba: SBSR, 2011. p. 5292.

RUDORFF, C. M. *et al.* Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 37, p. 269-280, 2007.

SAMPAIO, C. S. **Abordagem metodológica baseada nos dados multitemporais MODIS EVI/NDVI para classificação da cobertura vegetal na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros/GO**. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SHIHUA, L. *et al.* Monitoring paddy rice phenology using time series MODIS data over Jiangxi Province, China. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 7, n. 6, p. 28-36, 2014.

SILVA, B. B. D.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. D. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM. **Rev. Bras. Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 11-21, 2005.

SINGH, D. Evaluation of long-term NDVI time series derived from Landsat data through blending with MODIS data. **Atmosfera**, v. 25, n. 1, p. 43-63, 2012.

SINGH, B. M.; KOMAL, C.; VICTOROVICH, K. A. Crop growth monitoring through Sentinel and Landsat data based NDVI time-series. **Компьютернаяоптика**, v. 44, n. 3, p. 409-419, 2020.

SUN, L. *et al.* Reconstructingdaily 30 m NDVI over complex agricultural landscapes using a crop reference curve approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 253, p. 112156, 2021.

SUN, C. *et al.* Tree rings reveal the impacts of the Northern Hemisphere temperature on precipitation reduction in the low latitudes of East Asia since 1259 CE. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 126, n. 7, p. 2020JD033603, 2021.

TANG, L. *et al.* SURE based optimum-length SG filter to reconstruct NDVI time series iteratively with outliers removal. **International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing**, v. 18, n. 02, p. 2050001, 2020.

TRENTIN, A. B. *et al.* Análise de séries temporais MODIS em plantios de eucalipto. **Mercator**, v. 17, e. 17022, 2018.

WARDLOW, B. D.; KASTENS, J. H.; EGBERT, S. L. Using USDA crop.progress data for the evaluation of green upon set date calculated from MODIS 250-meter data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 72, n. 11, p. 1225-1234, 2006.

ZHU, W. *et al.* Reconstruction of vegetation index time series based on self-weighting function fitting from curve features. **Remote Sensing**, v. 14, n. 9, p. 2247, 2022.