Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

CORRELAÇÕES ENTRE A PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E O NDVI NO MANGUEZAL DO SISTEMA COSTEIRO DE CANANÉIA-IGUAPE, SP

Correlations between rainfall and NDVI in the mangroves of the Cananéia-Iguape Coastal System, SP

Correlaciones entre lluvias y NDVI en los manglares del Sistema Costero Cananéia-Iguape, SP

Jakeline Baratto
Universidade de São Paulo
jakelinebarattogeo@gmail.com

Nádia Gilma Beserra de Lima
Universidade de São Paulo
nadiagilma@gmail.com

Paulo Miguel de Bodas Terassi
Universidade de São Paulo
pmbterassi@gmail.com

Emerson Galvani
Universidade de São Paulo
egalvani@usp

Resumo: Este trabalho buscou correlacionar os valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com a precipitação pluvial, no manguezal do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape (SCCI), no Estado de São Paulo. Para a realização desta pesquisa, utilizaram-se dados de precipitação pluvial, do obtidos do sensor Climate *Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS), e os do NDVI, pelo Moderate-*Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS/Aqua) referentes ao período de 01.01. 2003 a 31.12.2022. O processamento dos dados e aquisição das imagens foram realizados na plataforma Google Earth Engine (GEE). Os dados mensais e anuais da chuva foram obtidos pela soma dos diários e mensais e os de NDVI, pelas respectivas médias. O recorte temporal desses dados refere-se ao limite do SCCI. Os principais resultados indicaram que o NDVI do manguezal variou entre 0,5 e 0,8, que equivale a uma vegetação densa e com alta atividade fotossintética. Os

coeficientes de correlação de Pearson (r) e os de correlação cruzada entre as variáveis considerando tempo zero e defasagens, mostraram que a influência da precipitação pluvial versus NDVI não é imediato e, portanto, ocorre quatro meses após a sua ocorrência, com r = 0,44. Além disso, o NDVI do manguezal não varia somente em função da precipitação pluvial, haja vista a existência de outros fatores que influenciam na variação do NDVI, mas precisam ser investigados.
Palavras-chave: produtos orbitais. CHIRPS. MODIS. Floresta de mangue.

Abstract: This study aimed to correlate the values of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) with rainfall in the mangrove of the Cananéia-Iguape Coastal System (CICS), in the state of São Paulo. For the development of this research, rainfall data were used, obtained from the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) sensor, and NDVI data, from the Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS/Aqua) for the period from January 1, 2003 to December 31, 2022. Data processing and image acquisition were carried out on the Google Earth Engine (GEE) platform. Monthly and yearly rainfall data were obtained by summing daily a monthly value, and NDVI data were obtained by calculating respective averages. The temporal delimitation of these data corresponds to the boundary of the CICS. The main results indicated that the mangrove NDVI varied between 0.5 and 0.8, indicating dense vegetation and high photosynthetic activity. Pearson correlation coefficients (r) and cross-correlation coefficients between variables considering zero time and lags showed that the influence of rainfall versus NDVI is not immediate and therefore occurs four months after its occurrence, with r = 0.44. Furthermore, mangrove NDVI does not vary is not solely due to rainfall, as there are other factors influencing NDVI variation that need further investigation.
Keywords: orbital products. CHIRPS. MODIS. Mangrove florest.

Resumen: Este estudio turvo como objetivo correlacionar los valores del Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI) con la precipitación pluvial en el manglar del Sistema Costero Cananéia-Iguape (SCCI), en el Estado de São Paulo. Para llevar a cabo esta investigación, se utilizaron datos de precipitación pluvial obtenidos del sensor Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), y datos de NDVI obtenidos mediante del Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS/Aqua) correspondientes al período 01.01.2003 a 31.12.2022. El procesamiento de los datos y la adquisición de imágenes se realizaron en la plataforma Google Earth Engine (GEE). Los datos mensuales y anuales de lluvia se obtuvieron mediante la suma de los datos diarios y mensuales, y los datos de NDVI se calcularon mediante sus respectivos promedios. La delimitación temporal de estos datos corresponde al límite del SCCI. Los resultados principales indicaron que el NDVI del manglar varió entre 0,5 y 0,8, lo que sugiere una vegetación densa con alta actividad fotosintética. Los coeficientes de correlación de Pearson (r) y los coeficientes de correlación cruzada entre las variables, considerando el tiempo cero y los rezagos, mostraran que la influencia de la precipitación pluvial versus el NDVI no es inmediata y, por lo tanto, ocurre cuatro meses después de su ocurrencia, con un valor de r = 0,44. Este resultado indica que el tiempo de respuesta del NDVI a la precipitación no es inmediato. Además, se observó que el NDVI del manglar no varía únicamente en función de la precipitación pluvial, ya que existen otros factores que influyen en la variación del NDVI, los cuales necesitan ser investigados.
Palabras clave: Productos orbitales. CHIRPS. MODIS. Floresta de mangue.

Submetido em: 04/12/2023
Aceito para publicação em: 14/02/2024
Publicado em: 14/07/2024

1. INTRODUÇÃO

Os manguezais são considerados ecossistemas biologicamente importantes para a humanidade e para os sistemas marinhos costeiros, pois são produtivos e fornecem bens e serviços ecossistêmicos (CUNHA-LINGON et al., 2011; GIRI et al., 2010). Nesse sentido, os manguezais são ecossistemas valiosos tanto para a Ecologia quanto para a Economia (ALONGI, 2002; 2022), uma vez que exercem um impacto direto na economia das comunidades, sendo fonte de alimentos, remédios, combustível e materiais de construção para as comunidades locais (GIRI et al., 2011).

De acordo com Field (1995), os manguezais são considerados ecossistemas dinâmicos, com respostas às mudanças regionais topográficas e climáticas, podendo contrair ou expandir-se. Além da atividade humana, os atributos meteorológicos também afetam de forma direta os manguezais. Dessa forma, as condições meteorológicas têm papel fundamental nas áreas florestais de mangue, podendo limitar a colonização, o crescimento e o desenvolvimento da flora (LIMA et al., 2013).

Os manguezais são influenciados por elementos meteorológicos, como irradiância solar, vento, chuva, evapotranspiração, temperatura e umidade do ar (BLASCO,1984; WOODROFFE; GRINDROD, 1991; MAZDA; WOLANSKI; RIDD 2007). No entanto, esses elementos são frequentemente negligenciados em estudos sobre os manguezais, por serem considerados de menor importância em comparação com a influência dos parâmetros biológicos e hidrodinâmicos (MAZDA; WOLANSKI; RIDD, 2007).

A temperatura do ar e a precipitação pluvial são dois elementos ambientais, que, em partes, explicam a distribuição regional dos manguezais na escala zonal. As reduzidas temperaturas do ar e da água do mês mais frio, próximo de 20,0 °C, restringem a extensão latitudinal do manguezal entre aproximadamente ± 32° N e ± 38° S (QUISTHOUDT et al., 2012). As áreas com maior volume de precipitação pluvial, acima de 2000 mm ano (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000), apresentam um maior número de espécies vegetais. Essa influência ocorre não apenas como resultado da precipitação pluvial direta sobre o manguezal, mas também devido ao escoamento das bacias fluviais (DUKE; BALL; ELLISON, 1998).

As prováveis alterações climáticas têm um impacto substancial nos manguezais por meio de processos que incluem aumento do nível do mar, mudanças nas correntes oceânicas,

eventos extremos de seca e chuva com maior frequência e intensidade, aumento da temperatura do ar e do mar e aumento de dióxido de carbono. Esses fatores se inter-relacionam e são espacialmente variáveis em escalas regionais, considerando as características climáticas, a geomorfologia, a biodiversidade, a estrutura florestal, a amplitude das marés e os impactos das alterações climáticas (MCKEE; ROGERS; SAINTILAN, 2012; ELLISON, 2015; OSLAND et al., 2016; WARD et al., 2016, CAVANAUGH et al., 2017).

Na escala global, o aumento da temperatura do ar, principalmente no inverno, permite a expansão do manguezal em direção aos polos (OSLAND, 2017). A diminuição ou elevação da temperatura do ar e da precipitação pluvial, por exemplo, podem impactar a distribuição do manguezal em todo o mundo (ALONGI, 2015; OSLAND et al., 2016).

Os manguezais se adaptam melhor a ambientes úmidos, pois as espécies não sofrem com o estresse devido à baixa salinidade. Em áreas com a diminuição da precipitação pluvial, a floresta de mangue propende a diminuir (ALONGI, 2015). A redução da precipitação pluvial e do abastecimento de água doce pode aumentar a salinidade (> 0,5psu[1]) (ALONGI, 2015) nas áreas dos manguezais, afetando espécies de mangue menos tolerantes à salinidade. Os manguezais possuem um mecanismo de adaptação único à alta salinidade e à submersão das marés, mas podem ser muito sensíveis às mudanças ambientais (RUAN et al., 2022). No entanto, o aumento temperatura do ar em 3,3°C e a diminuição da precipitação pluvial (inferior a 780 mm/ano) levam a eventos de aquecimento extremo, favorecendo o aumento da mortalidade dos manguezais e, desta forma, a retração da cobertura deste tipo de ambiente (ALONGI, 2022).

Nas últimas décadas, o uso do sensoriamento remoto e os dados dos produtos satelitais tem sido amplamente empregado para evidenciar correlações entre os índices de vegetação com as variáveis climáticas. Nesse contexto, Prihantono et al., (2022) utilizaram dados satelitais para analisar o impacto das chuvas, da temperatura da superfície terrestre (LST) e da inundação das marés dos manguezais no Parque Nacional Karimunjawa (KNP), na Indonésia. O uso de imagens de satélite também foi parte do estudo de Karsch et al., (2023), realizado no Parque Nacional Sundarbans (Índia). Os autores monitoraram a variação temporal (2004-2020) do NDVI por meio de imagens Landsat 8, utilizando o Google Earth

[1] practical salinity unit

Engine.

Os dados de precipitação pluvial do C*limate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS) (CHC, 2022) são amplamente difundidos e avaliados (Gebremicael et al., 2019; BARATTO et al., 2024) para pesquisas climatológicas e correlações com os índices de vegetação, demonstrado em um estudo na Arábia Saudita por Mallick et al., (2021).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), amplamente empregado em estudos com a abordagem climática (PONZONI et al., 2012; ALATORRE et al., 2016; KHAN; JAVED, 2022; HAN et al., 2022), consiste em um indicador robusto da produtividade da vegetação terrestre (WANG et al., 2003). Em nível global, o NDVI foi utilizado para o monitoramento do manguezal por Ruan et al., (2022), Alatorre et al., (2016) analisaram o NDVI para o Golfo da Califórnia, Alan et al., (2021) em Bangladesh, na Índia por Karsch et al., (2022), e por Pamungkas (2023) na Baía de Lembar, na Indonésia.

Em específico ao litoral do sul de São Paulo, a interação entre os atributos climáticos e os manguezais foi pesquisado por Galvani e Lima (2010; 2011; 2016), Lima e Galvani (2010; 2012; 2013; 2018), Lima et al., (2013), Galvani et al., (2017) e Lima et al., (2021). Esses autores buscaram estudar o manguezal na perspectiva de temperatura do ar (LIMA; GALVANI; CUNHA-LIGNON, 2013) e da precipitação pluvial (LIMA; GALVANI, 2010; GALVANI; LIMA, 2016), avaliando o papel da vegetação da interação entre os atributos do microclima. Além disso, estudo recente aponta que o manguezal da região sudeste do Brasil está sendo impactado negativamente pela ocorrência de eventos extremos do Tempo, principalmente em seu setor norte (LIMA et al., 2023).

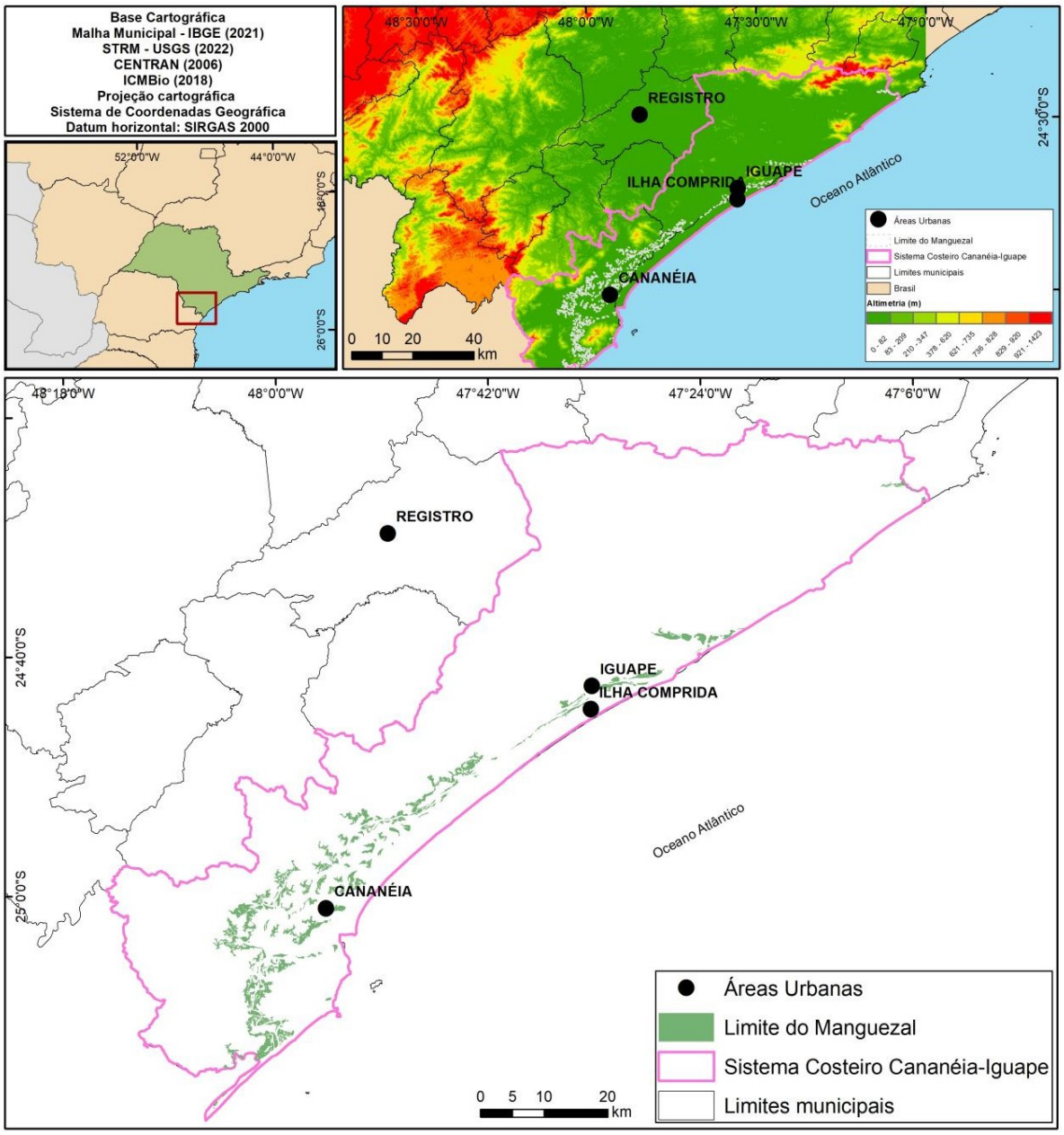
Essas pesquisas buscaram estabelecer a relação dos elementos climáticos e a interação com a estrutura do manguezal. Com isso, o objetivo deste estudo consiste em avaliar, na escala regional, a correlação existente entre os valores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a precipitação pluvial na área de manguezal do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, SP.

1.1. Área de estudo

O manguezal de estudo se localiza no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape (SCCI), situado na costa sudeste brasileira entre as coordenadas geográficas 47°30” W e 47°22” W e 24°38” S

e 24°40” S (Figura 1). O SCCI é formado por um complexo de canais lagunares (CUNHA-LIGNON et al., 2011). Além disso, composto por quatro ilhas, sendo elas: Cardoso, Comprida, Cananéia e Iguape. Elas são separadas entre si por sistemas de canais e rios que se comunicam com o oceano por meio de desembocaduras (TESSLER et al., 2006).

Figura 1 - Localização do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape (SCCI) e o limite do manguezal.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Pela classificação climática de Köppen, refeita por Álvares et al. (2013) e Beck et al. (2018), o clima é do tipo clima subtropical (Cfa) com verão quente. Segundo a proposta de

classificação climática de Novais, na área de estudo, o tipo climático é Tropical Úmido Litorâneo Sul do Brasil, com temperatura do mês mais frio entre 18,0 °C e 21,4 °C, precipitação pluvial média anual entre 1157 mm e 2960 mm (NOVAIS; GALVANI, 2022; NOVAIS, 2023).

As temperaturas médias variam de 13,9 °C a 22,7 °C (GALVANI et al., 2023). Assim, as maiores médias estão próximas ao litoral e as menores médias estão mais distantes da área litorânea. As médias mensais do período de menores temperaturas variam de 20,2 °C em maio e 17,8 °C em julho (GUTJAHR, 1993). Em junho, as mínimas absolutas podem chegar até 10,0 °C, quando ocorre a passagem de ciclones extratropicais (TARIFA, 2004) e em função das passagens frontais (MONTEIRO, 1973). Para o ambiente de manguezal, a temperatura do ar pode chegar até 6,5 °C, como registrado no ano de 2011 por Lima (2014).

A precipitação anual varia entre 2000 mm e 3000 mm (SANT'ANNA NETO, 1999; GALVANI et al., 2012). Os totais pluviais são máximos no verão e mínimos no inverno. Durante o inverno, os menores valores pluviais estão associados à atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico (REBOITA et al., 2010), com valores variando entre 70 mm e 150 mm mensais (GALVANI et al., 2012).

No verão, as chuvas são resultantes da incidência dos raios solares que é maior nessa época do ano. O maior aquecimento favorece a convecção do ar que resulta na formação de nuvens e na precipitação. Além disso, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) pode se desenvolver e causar elevados totais de precipitação. As passagens frontais, os ciclones, linhas de instabilidade tropicais e pré-frontais, bem como a circulação de brisa, também resultam em precipitações (REBOITA et al., 2012). No litoral de São Paulo, a brisa marítima ocasiona a instabilidade do ar e propicia a formação de chuviscos (REBOITA et al., 2010). Os maiores volumes de precipitação pluvial concentram-se entre os meses de dezembro até março, com valores variando entre 250 mm até 380 mm (GALVANI et al., 2012). Destaca-se também a influência direta do oceano no clima da região (GALVANI et al., 2023), contribuindo para o aumento da precipitação pluvial em função das chuvas orográficas decorrente do ar úmido do oceano.

2. METODOLOGIA

2.1. Dados de precipitação pluvial e NDVI

Para este estudo, foram utilizados dados de produtos orbitais do C*limate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS) e do *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS/Aqua). Os dados de precipitação pluvial e do NDVI foram extraídos por meio da plataforma GEE. Os dados foram processados utilizando a linguagem computacional *JavaScript* para o período de 01 de janeiro de 2003 até 31 de dezembro de 2022.

O sensor MODIS/Aqua (MYD13Q1.06)1, com resolução espacial de 250 m e temporal de 16 dias, foi escolhido devido à sua capacidade de coletar imagens às 13h de dia e à noite (dia/noite), e sua escala espacial mais detalhada, de 250 metros, em comparação com outros produtos, o que é mais adequado para o tamanho da área de estudo (NASA, 2022). Inicialmente, foi necessário fazer um processamento nas imagens aplicando o fator de escala, e posteriormente, as médias mensais e anuais do NDVI foram calculadas. O NDVI é calculado utilizando as bandas do Infravermelho Próximo (NIR) e a banda do Vermelho (RED) (Equação 1) (PONZONI et al., 2012).

(1) $NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$

Os valores de NDVI podem variar entre −1 e 1. Os valores inferiores a 0,1 normalmente correspondem a áreas com pouca ou nenhuma vegetação como rochas, gelo e deserto. Os valores mais elevados

Os dados do CHIRPS são disponibilizados na resolução temporal de 1 dias com resolução espacial de 0,05º (5 km) e dados de 1981 até o presente. Os dados diários foram somados em totais mensais e anuais. Utilizou-se os dados do CHIRPS, pois eles já foram testados e comprovados como o melhor dado de produto orbital para a região sul do estado de São Paulo, conforme Baratto et al., (2024). O limite utilizado para extrair os dados de precipitação pluvial e NDVI foi o limite do manguezal que está dentro do SCCI. Esses dados mensais e anuais da precipitação pluvial, assim como as médias mensais e anuais do NDVI foram baixados em formato .csv para posterior análise estatística.

2.2. Análises Estatísticas

Para compreender a correlação entre NDVI e a precipitação pluvial, foi utilizado a correlação cruzada para averiguar a defasagem temporal entre precipitação pluvial e do NDVI nos dados mensais. Após identificar o tempo de atrasado, o coeficiente de *Pearson* (r) foi calculado. A escolha da correlação cruzada foi motivada por estudos anteriores apontarem uma correlação tardia entre precipitação e NDVI na escala mensal.

A análise estatística, incluindo a correlação de *Pearson* (r), a correlação cruzada e a análise descritiva com medidas de dispersão e tendência central foi realizada utilizando o RStudio (2023) e o software Microsoft Excel (2016). Os resultados foram representados graficamente para a visualização e interpretação dos dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Relação entre os dados mensais da precipitação pluvial e do NDVI

Nos dados analisados, os valores mensais mais baixos de NDVI foram observados em setembro de 2005 (0,32) e em outubro de 2015 (0,25). Para esses dois meses, a precipitação pluvial foi elevada, totalizando 308,2 mm e 232,6 mm, respectivamente. O maior volume pluvial foi registrado em janeiro de 2010 (607,9 mm) e o menor em agosto de 2004 (20,3 mm). Nesses dois meses, o valor do NDVI foi de 0,65 e 0,73, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1- Estatística descritiva para os dados mensais de NDVI e precipitação pluvial mensal (mm) para toda a área de manguezal período de 2003 até 2022.

Parâmetros Estatísticos	NDVI	P (mm)
Mínimo	0,25	20,4
Máximo	0,80	607,3
Média	0,69	182,4
Mediana	0,71	166,8
Desvio Padrão	0,07	109,5
Cv (%)	8,03	63,3

Fonte: CHIRPS e MODIS/Aqua (2022).

A precipitação pluvial apresentou um Desvio-Padrão (PD) e o Coeficiente de Variação

(CV) elevados, sendo de 109,5 mm e 63,3 %, nesta ordem. Isso indica uma alta variabilidade temporal, em consonância com as características pluviais da região, conforme discorrem Reboita et al., (2010; 2012) e Galvani et al., (2012).

O maior valor de NDVI foi registrado no mês de abril de 2018 (0,80), acompanhado por uma precipitação pluvial de 105,6 mm. Observou-se que DP desse índice de vegetação não é elevado (0,07) e o CV mostrou uma variação de 8,0%. Essas medidas revelam que, temporalmente, o NDVI não apresentou grandes oscilações. Este resultado condiz com o estudo de Pamungkas (2023) realizado no manguezal da baía de Lembar (Indonésia), que identificou PD do NDVI de 0,12.

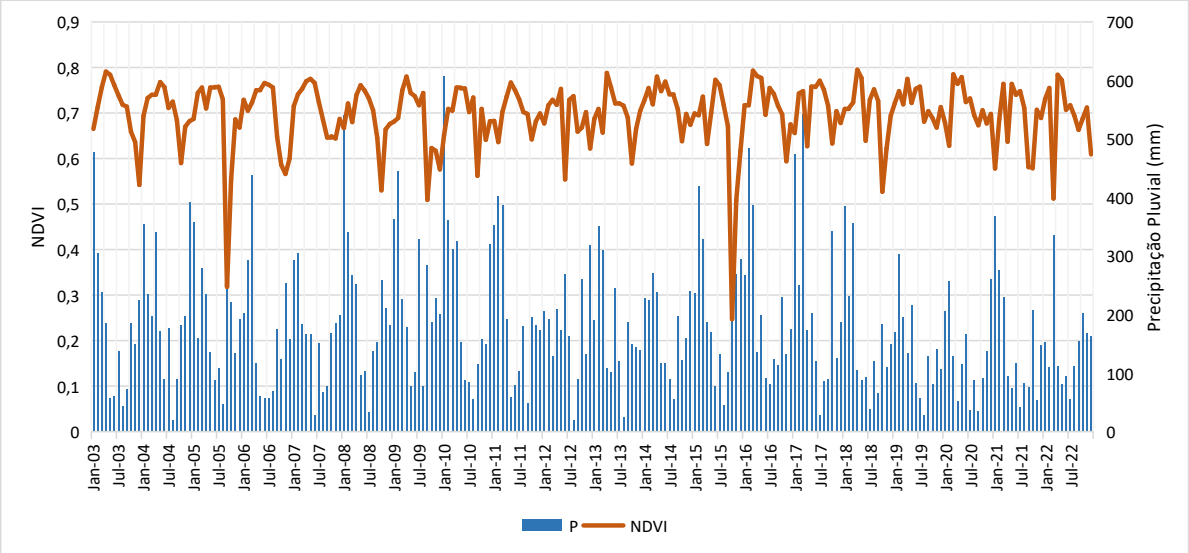
Concordando com os resultados encontrados, Conti et al., (2016) estudaram a variação do manguezal por meio do NDVI e outros índices de vegetação no período de 1985 a 2014 na região de estudo desta pesquisa. Os autores identificaram que para a região de Cananéia, o manguezal não apresentou variação significativa nas características espectrais da vegetação.

Para a mesma área, porém no seu setor norte, na ilha dos Papagaios, o estudo de Lima et al., (2023) identificou a redução no NDVI e no Índice de Área Foliar (LAI) em decorrência de um evento climático extremo que ocorreu em junho de 2019. Os autores observaram que o NDVI variou de 0,72 para 0,35 e o LAI de 4,25 para 0,63 após esse evento. Apesar de ser um evento isolado, provocou a elevada mortalidade dos manguezais (LIMA e tal., 2023). Por outro lado, os valores de NDVI para junho de 2019 (0,7) de todo o manguezal não apresentou redução nesse período, isso pode ser em função do tamanho área analisada e pela resolução espacial sensor escolhido (250 m).

De maneira geral, o NDVI do manguezal do SCCI varia entre 0,5 e 0,8, indicando que a vegetação está saudável e densa, com a copa do manguezal verde e fechada (ALATORRE et al., 2016; PONZONI et al., 2012; NDUNGU et al., 2019), corroborando com os resultados de PRIHANTONO et al., (2022) para o manguezal da Indonésia.

Os valores mais elevados de NDVI, sendo de 0,7 até 0,8, se distribuem nos meses de fevereiro a outubro (56 % dos dados). Este período é considerado outono, inverno e início da primavera (Figura 2). Assim, os meses com maiores NDVI ocorrem após a estação chuvosa (janeiro, fevereiro e março), em concordância com os resultados de Prihantono et al., (2022).

Figura 2 - Variação mensal do NDVI e da precipitação pluvial (mm) para toda a área de manguezal no período de 2003 até 2022.



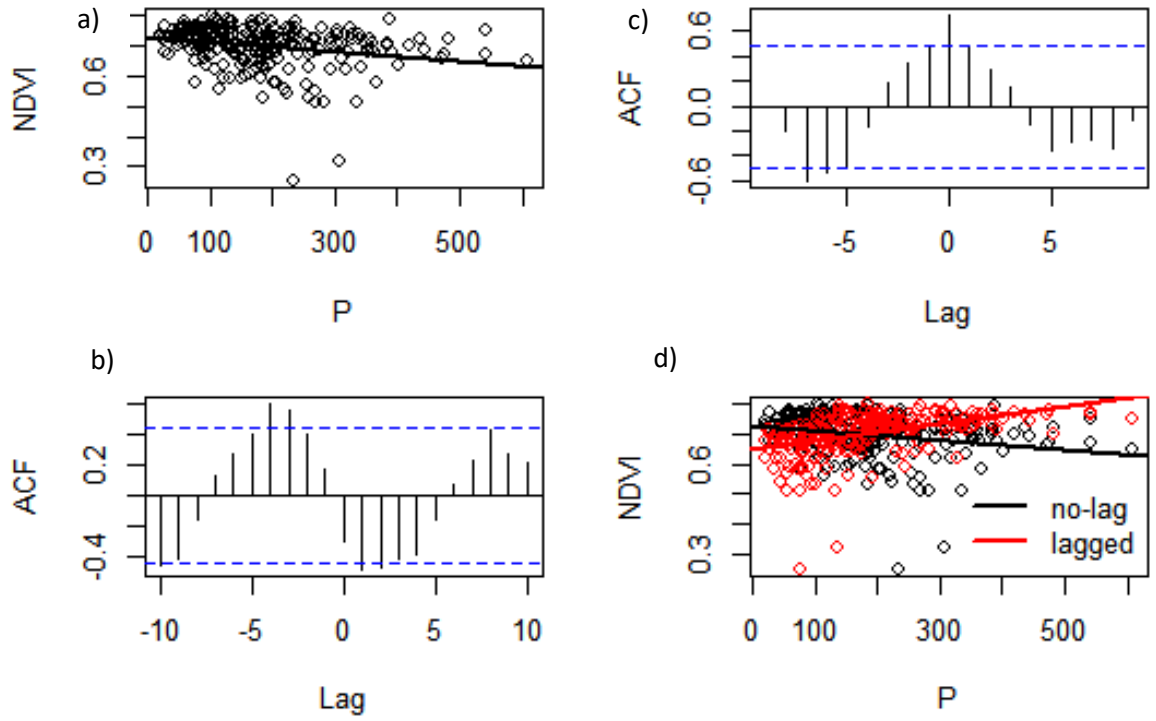
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os meses com os menores valores de NDVI (0,51 até 0,55), com exceção dos dois valores mais extremos (0,25 e 0,32), foram variados, ocorreram nos meses de março, junho, setembro, outubro, novembro e dezembro. Esses valores mais baixos de NDVI indicam que a copa do manguezal é menos verde e com folhas mais secas (PRIHANTONO et al., 2022).

Os valores da precipitação pluvial variaram de 184,5 mm em outubro de 2018 (NDVI de 0,53) até 335,11 em março de 2022 (NDVI de 0,51). Diante desses resultados, observa-se que a cobertura de nuvens, associada aos maiores volumes pluviométricos, pode ser um fator determinante na coleta de dados de NDVI pelo sensor óptico.

A correlação cruzada identificou um Lag de 4 meses de atraso entre a precipitação pluvial e o NDVI. Assim, os valores de precipitação pluvial influenciam os valores de NDVI do manguezal 4 meses. Com esse atraso, a correlação de *Pearson* (r) foi de 0,44 (Figura 3). A correlação positiva corrobora com a maioria dos estudos que buscam entender a variação do NDVI em resposta à precipitação pluvial (YUE et al., 2007; GUHA et al., 2020; KHAN; JAVED, 2022; HAN et al., 2022).

Figura 3 - Resultados da correlação cruzada entre os dados de precipitação pluvial e NDVI. Gráfico de dispersão para valores mensais não ajustados (em a), lag com a correlação máxima entre os dados (em b), o lag ajustado (em c) e dispersão dos dados com o lag (-4) (em d).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

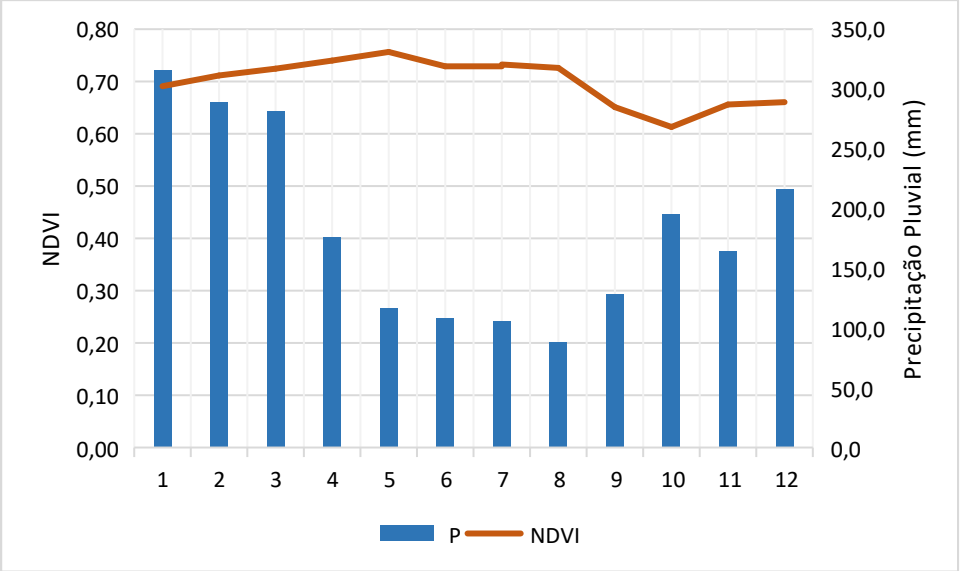
Esse atraso na influência da precipitação pluvial no NDVI já foi comprovado por algumas pesquisas. Gessner et al., (2012), por exemplo, identificaram na Ásia Central que os padrões temporais de resposta da precipitação para o NDVI mostram um atraso temporal entre anomalias de precipitação e atividade da vegetação de 1 a 3 meses. No planalto da Mongólia, Chen et al. (2020) estudaram a resposta da vegetação frente às anomalias da precipitação pluvial. Os resultados mostraram que a vegetação tem uma resposta de atraso de 1 a 2 meses às anomalias de precipitação e está significativamente correlacionada com anomalias de precipitação acumulativas de 2 a 6 meses.

Para área de manguezal, Prihantono et al., (2022) identificaram a defasagem de 3 meses no NDVI em relação às chuvas no manguezal do Parque Nacional de Karimunjawa (Indonésia). A alta pluviosidade ocorre de janeiro a abril, enquanto o NDVI máximo dos manguezais ocorre de maio a julho naquela região.

Os valores médios mensais de NDVI (2003-2022) não tiveram elevada variação (0,61 até 0,76), sendo que outubro foi o mês com menor NDVI e maio o mês com maior. Os períodos

de outono e inverno registraram o NDVI mais elevado (0,72 até 0,76) em comparação aos demais meses. Nesses períodos ocorrem os menores volumes pluviais (74,4 mm até 177,1 mm), conforme apresenta a figura 4. Após esse período de menor precipitação pluvial, observou-se uma queda no valor do NDVI. Isso pode ser uma resposta tardia da vegetação (COLDITZ et al., 2017) em relação ao menor volume de chuva no inverno, corroborando também com os resultados apresentados por Prihantono et al. (2022).

Figura 4 - Variação mensal do NDVI médio e da média da precipitação pluvial o manguezal no período de 2003 até 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

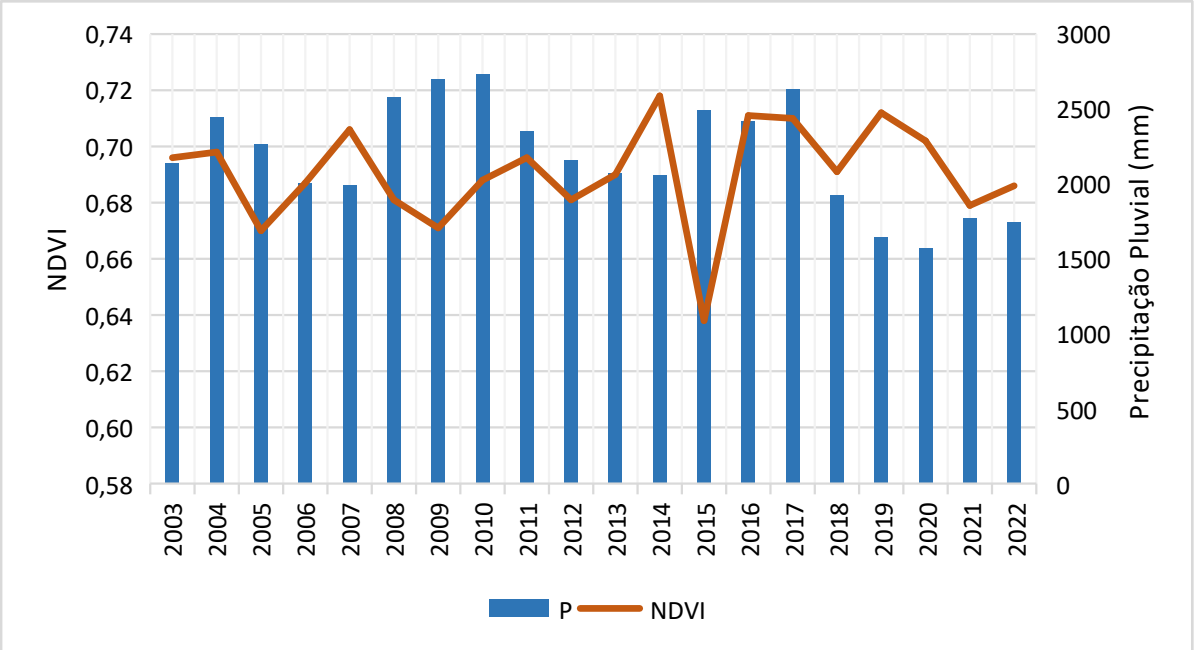
A diminuição no NDVI do manguezal pode estar relacionada a diminuição das chuvas que aumenta a salinidade e limita o crescimento do manguezal (PRIHANTONO et al., 2022). A água da chuva pode diluir o sal e diminuir a salinidade da água aumentando a absorção de água e a absorção de nutrientes do solo pelos manguezais (PRIHANTONO et al., 2022). Todo esse processo leva um tempo para ocorrer, o que faz com que a resposta da vegetação à precipitação pluvial ocorra em um período posterior.

Para o mesmo manguezal, no litoral sul de São Paulo, Lima e Galvani (2018) estudaram a relação dos atributos climáticos com o manguezal. Os autores encontraram que o IAF não tem resposta imediata com os totais pluviométricos mensais, mas sim a uma variabilidade de longa duração. Isso também confirma os resultados encontrados nesta pesquisa.

3.1 Relação entre os dados anuais da precipitação pluvial e do NDVI

Os valores anuais do NDVI variaram 0,75 em 2014 a de 0,64 em 2015. Nesses anos, a precipitação pluvial foi de 2492,5 e 2058,9 mm, respectivamente. Esses valores pluviais não correspondem aos anos mais e menos chuvoso, sendo o ano mais chuvoso 2010 (2729,9 mm) e o menos chuvoso 2020 (1574,8 mm). O estudo de Karsch et al., (2023), no Parque Nacional Sundarbans (Índia), também não apontou mudanças significativas no NDVI do manguezal no período de 2014 até 2020. No entanto, observa-se que os anos de 2015, 2005 e 2009 (Figura 5) tiveram os menores valores de NDVI, respectivamente, indicando uma redução na vegetação de mangue, e consequentemente, uma diminuição em sua densidade.

Figura 5 - Valores anuais do NDVI e da precipitação pluvial para a área de manguezal do SCCI no período de 2003 até 2022.

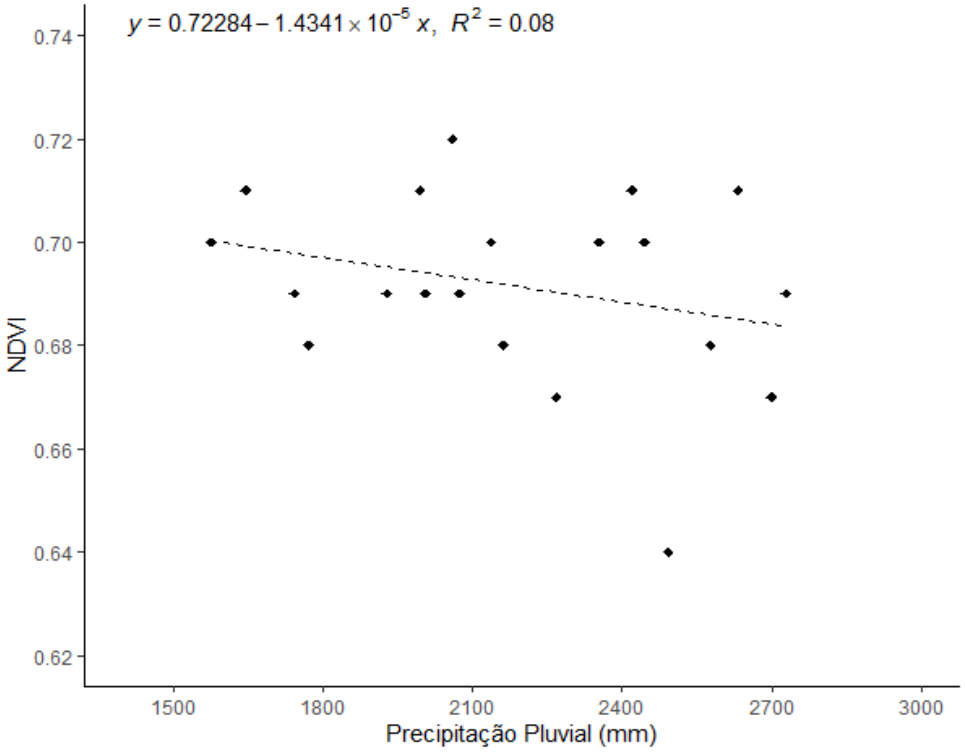


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os dados de precipitação pluvial anual e NDVI anual não apresentaram correlação significativa (-0,28) (Figura 6). Ruan et al. (2022), por exemplo, estudaram a relação do manguezal com a precipitação pluvial e a temperatura de superfície. Os autores encontraram que a nível global, o NDVI dos manguezais mostrou uma forte correlação positiva com a precipitação pluvial (R= 0,788), enquanto apresentou fraca correlação com a temperatura (R= 0,365). No entanto, em algumas áreas estudadas, nenhuma relação significativa foi

encontrada. O estudo de Xuefei et al., (2021), para a região árida do noroeste da China, indicou uma correlação fraca entre a precipitação pluvial e o NDVI, na escala anual, apontando que a precipitação pluvial tem uma influência limitada na variabilidade anual dos valores de NDVI.

Figura 6 - Modelo de regressão linear entre os valores anuais do NDVI e da precipitação pluvial para a área de manguezal do SCCI, no período de 2003-2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

As correlações entre o NDVI e a precipitação pluvial anual não foram expressivas. Assim, a relação entre o NDVI e a precipitação pluvial se dá em função da diferença de resposta entre as variáveis. Por exemplo, um ano seco (chuvoso) pode não necessariamente significar a diminuição (aumento) do NDVI em função da distribuição mensal da precipitação pluvial e ao tempo de resposta (Lag) entre as duas variáveis.

Essa correlação fraca também foi observada por diferentes autores (XUEFEI et al., 2021; QASIMI et al., 2022). Alatorre et al. (2016) analisaram a variação temporal do manguezal no Golfo da Califórnia (México) entre 1990-2010 e não encontraram controle significativo de variável meteorológica sobre os padrões de NDVI observados.

Além da precipitação pluvial, outros estudos buscam investigar a relação do NDVI com temperatura de superfície e a salinidade. Como por exemplo, a pesquisa de Raihan et al. (2023)

no ecossistema de mangue dos Emirados Árabes Unidos. Os autores encontraram que não existe relação significativa entre os manguezais, a temperatura de superfície e a salinidade.

Diante dessas discussões, entende-se que estudos mais detalhados precisam ser realizados para estabelecer as relações entre os índices de vegetação, em especial o NDVI, e a precipitação pluvial. Além disso, abordar índices de vegetação como EVI e o IAF associados a outras variáveis climáticas, como temperatura do ar e temperatura de superfície, por exemplo, pode explicar melhor essas correlações. Cabe destacar que a resolução espacial dos produtos utilizados pode interferir nessa análise, mas isso não inviabiliza a realização de análises de mais detalhes que possam identificar alterações do NDVI em outras escalas temporais e espaciais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou estabelecer relações entre o NDVI e a precipitação pluvial para o manguezal do SCCI. Assim, as relações encontradas mostraram um atraso de 4 meses na influência da precipitação pluvial no NDVI, com um coeficiente de correlação de 0,44.

Para os dados anuais, foram encontradas respostas menos evidentes, que podem estar vinculadas em função da distribuição mensal e sazonal da precipitação pluvial. Dessa forma, estudos sobre a variação do NDVI em função da sazonalidade da precipitação pluvial podem ser investigados. Além disso, existem outros fatores que influenciam na relação entre o NDVI e a precipitação pluvial, como a temperatura de superfície, podendo ser explorados em pesquisas futuras.

Limites dos sensores e a escala de análises sempre vão ser fatores que interferem nos resultados. Neste estudo, procurou entender as relações da precipitação com o NDVI com os recursos disponíveis atualmente e uma série temporal relevante. Entretanto, ainda é necessário estudos mais aprofundados para melhor entender a relação entre o NDVI e a precipitação pluvial no SCCI. Projeta-se no desenvolvimento mais profícuo desta pesquisa, a verificação da correlação estatística dos dados de NDVI com outros produtos orbitais que ofereçam dados de temperatura do ar, temperatura de superfície e evapotranspiração, além da aplicação de outros índices que possibilitam padronizar e equiparar as magnitudes das variáveis analisadas.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece à FAPESP por intermédio da bolsa de Pós-Doutorado (Processo: 2022/02383-3). O terceiro autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Pós-Doutorado Júnior. O quarto autor agradece ao CNPq pela concessão da Bolsa de Produtividade de Pesquisa (nível 1D).

REFERÊNCIAS

ALATORRE, Luis Carlos; SÁNCHEZ-CARRILLO, Salvador; MIRAMONTES-BELTRÁN, Sonia; MEDINA, Ramiro J; TORRES-OLAVE, Maíra Elena; BRAVO, Luis Carlos.; WIEBE, Lara Cecilia.; GRANADOS, Alfredo.; ADAMS, Davi Kenton; SÁNCHEZ, Erick. Temporal changes of NDVI for qualitative environmental assessment of mangroves: shrimp farming impact on the health decline of the arid mangroves in the gulf of California (1990-2010). **Journal Of Arid Environments**, v.125, p.98-109, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.10.010

ALONGI, Daniel Michael. Climate Change and Mangroves. **Mangroves**: Biodiversity, Livelihoods and Conservation, p.175-198, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-981-19-0519-3_8

ALONGI, Daniel Michael. Present state and future of the world's mangrove forests. **Environmental Conservation**, v.29, n.3, p.331-349, 2002. DOI: http://dx.doi.org/10.1017/S0376892902000231

ALONGI, Daniel Michael. The impact of climate change on mangrove forests. **Current Climate Change Reports**, v.1, p.30-39, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s40641-015-0002-x

ÁLVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; DE MORAES GONÇALVES, Jose´ Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, Berlim, v.22, n.6, p.711-728, 2013. DOI: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507

BARATTO, Jakeline; DE BODAS TERASSI, Paulo Miguel; DE BESERRA DE LIMA, Nádia Gilma; GALVANI, Emerson. Precipitation Anomalies and Trends Estimated via Satellite Rainfall Products in the Cananeia–Iguape Coastal System, Southeast Region of Brazil. Climate 2024, 12, 22. DOI: https://doi.org/ 10.3390/cli12020022

BECK, Hylke E; ZIMMERMANN, Niklaus E; MCVICAR, Tim R; VERGOPOLAN, Noemi; BERG, Alexis; WOOD, Eric F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific data,** v.5, n.1, article number 180214, 2018. DOI: https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214

CAVANAUGH, Kyle C.; OSLAND, Michael J.; BARDOU, Rémi; HINOJOSA-ARANGO, Gustavo; LÓPEZ-VIVAS, Juan M.; PARKER, Jonh D.; ROVAI, Adrés. Sensitivity of mangrove range limits to

climate variability. **Global Ecology And Biogeography**, v.27, n.8, p.925-935, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.1111/geb.12751

CHEN, Zefeng; WANG, Weiguang.; FU, Jianyu. Vegetation response to precipitation anomalies under different climatic and biogeographical conditions in China. **Scientific Reports**, v.10, n.1, p. 1-16, 2020.DOI: http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-57910-1

CLIMATE HAZARDS CENTER. **InfraRed Precipitation with station data (CHIRPS)**. Disponível em: <https://www.chc.ucsb.edu/data>. Acesso em: 17 jan. 2022.

COLDITZ, René R.; VILLANUEVA, Violeta L. Arriola; TECUAPETLA-GOMEZ, Inder; MENDOZA, Leticia Gómez. **Temporal relationships between daily precipitation and NDVI time series in Mexico**. 9th International Workshop on the analysis of multitemporal Remote Sensing images (Multitemp)**,** p.1-5, 2017.DOI: http://dx.doi.org/10.1109/multi-temp.2017.8035202

CUNHA-LIGNON, Marília; KAMPEL, M. ; MENGHINI, R.P. ; CINTRON, G.; SCHAFFER-NOVELLI, Yara; DAHDOUH-GUEBAS, F. Mangrove forests submitted to depositional processes and salinity variation investigated using satellite images and vegetation structure surveys. **Journal of Coastal Research,** v.64, p.344-348, 2011.

FIELD, C.D. Impact of expected climate change on mangrover. **Hydrobiologia**, n.295, p.75-81, 1995. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00029113

GALVANI, Emerson.; Nádia Gilma Beserra; CUNHA-LIGNON, Marília. **Análise microclimática de manguezais em Unidades de Conservação de Proteção Integral e de Uso Sustentável**. In: PEREZ FILHO, Archimedes; REIS, Raul Reis (org.). Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. 1ª Edição. Campinas: Instituto de Geociências - UNICAMP, p.1457-1468, 2017.

GALVANI, Emerson; EMILIANO, Valéria Machado.; BARATTO, Jakeline. Comparação dos principais sistemas de classificação climática aplicado à bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape. *In*: NOVAIS, Giuliano Tostes (org.). **Climas do Brasil**: classificação climática e aplicações. Porto Alegre: Totalbooks, 2023. p. 266-273.

GALVANI, Emerson; LIMA, Nádia Gilma Beserra. Estudo Climáticos nas escalas inferiores do clima: manguezais da Barra do Ribeira, Iguape, SP. **Mercator**, v.9, n.1, p.25-38, 2010.

GEBREMICAEL, Tesfay Gebretsadkan; MOHAMED, Yasir A.; ZAAG, Pieter van Der; GEBREMEDHIN, Amdom; GEBREMESKEL, Gebremedhin; YAZEW, Eyasu; KIFLE, Mulubrhan. Evaluation of multiple satellite rainfall products over the rugged topography of the Tekeze-Atbara basin in Ethiopia. **International Journal Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 40, n. 11, p. 4326-4345, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2018.1562585

GESSNER, Ursula; NAEIMI, Vahid; KLEIN, Igor; KUENZER, Claudia; KLEIN, Doris; DECH, Stefan. The relationship between precipitation anomalies and satellite-derived vegetation activity in Central Asia. **Global and Planetary Change**, v.110, part A, p.74–87, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.09.007

GIRI, Chandra.; OCHIENG, E.; TIESZEN, Larry L.; ZHU, Zhiliang; SINGH, Ashbindu; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology And Biogeography**, v.20, n.1, p.154-159, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x

GUHA, Subhanil; GOVIL, Himanshu. Land surface temperature and normalized difference vegetation index relationship: a seasonal study on a tropical city. **SN Applied Sciences**, v.2, n.10, p. 1-14, 2020.DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s42452-020-03458-8

GUTJAHR, Mirian Ramos. Critérios relacionados à compartimentação climática de bacias hidrográficas: A bacia do Rio Ribeira de Iguape. 148p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HAN, Weijie; CHEN, Donghua; LI, Hu; CHANG, Zhu; CHEN, Jian; YE, Lizao; LIU, Saisan; WANG, Zuo. Spatiotemporal Variation of NDVI in Anhui Province from 2001 to 2019 and Its Response to Climatic Factors. **Forests**, v.13, n.10, e-1643, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/f13101643

KARSCH, Gwendolyn; MUKUL, Sharif A.; SRIVASTAVA, Sanjeev Kumar. Annual Mangrove Vegetation Cover Changes (2014–2020) in Indian Sundarbans National Park Using Landsat 8 and Google Earth Engine. **Sustainability**, v.15, n.6, e-5592, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/su15065592

KHAN, Zadan; JAVED, Akram. Correlation between land surface temperature (LST) and normalized difference vegetation index (NDVI) in Wardha Valley Coalfield, Maharashtra, Central India. **Nova Geodesia**, v.2, n.3, e-53, 2022. DOI: https://doi.org/10.55779/ng2353

LIMA, Nádia Gilma Beserra; CUNHA-LIGNON, Marília.; MARTINS, Alécio.; ARMANI, Gustavo.; GALVANI, Emerson. Impacts of Extreme Weather Event in Southeast Brazilian Mangrove Forest. **Atmosphere**, v.4, n.8, e-1195, 2023.DOI: http://dx.doi.org/10.3390/atmos14081195

LIMA, Nádia Gilma Beserra; GALVANI, Emerson. Interaction of climatic attributes in the mangroves of the south coast of São Paulo and their relation with climatic controls. **Confins**, v.35, p.1-23, 2018. DOI: https://doi.org/10.4000/confins.14724

LIMA, Nádia Gilma Beserra; GALVANI, Emerson.; FALCÃO, Rita Monteiro.; CUNHA-LIGNON, Marília. Air temperature and canopy cover of impacted and conserved mangrove ecosystems: a study of a subtropical estuary in brazil. **Journal Of Coastal Research**, v.165, p.1152-1157, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.2112/si65-195.1

LIMA, Nádia Gilma Beserra; CUNHA-LIGNON, Marília.; GALVANI, Emerson. Microclimatic analysis of mangroves in two distinct categories of Protected Areas and conserved status. **Sociedade & Natureza**, v.33, p.e57483, 2021. DOI: https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-57483

MALLICK, Javed; ALMESFER, Mohammed K.; SINGH, Vijay P.; FALQI, Ibrahim I.; SINGH, Chander Kumar; ALSUBIH, Majed; KAHLA, Nabil Ben. Evaluating the NDVI–Rainfall Relationship in Bisha

Watershed, Saudi Arabia Using Non-Stationary Modeling Technique. **Atmosphere**, v. 12, n. 5, p. 593, 2 maio 2021. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/atmos12050593

MONTEIRO, Carlos Augusto Figueiredo. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de Atlas**. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1973. 130 p.

MUTANGA, Onisimo; KUMAR, Lalit. Google Earth Engine Applications. **Remote Sensing**, v.11, n.5, e-591, 2019.DOI: http://dx.doi.org/10.3390/rs11050591

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center: Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM)**. 2016. Disponível em: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/SSW/#keywords=TRMM_3B42_daily%207>. Acesso em: 10 jan. 2021.

NDUNGU, Lilian; OWARE, Maungu; OMONDI, Steve; WAHOME, Anastasia; MUGO, Robinson; ADAMS, Emily. Application of MODIS NDVI for Monitoring Kenyan Rangelands Through a Web Based Decision Support Tool. **Frontiers In Environmental Science**, v.7, p.1-12, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2019.00187

NOVAIS, Gustavo Tostes. Distribuição média dos Climas Zonais no Globo: estudos preliminares de uma nova classificação climática (average distribution of zonal climates on the globe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.5, p.1614, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v.10.5.p1614-1623

NOVAIS, Gustavo Tostes. Tipologia da classificação climática brasileira. In: NOVAIS, Giuliano Tostes. **Climas do Brasil:** classificação climática e aplicações. Porto Alegre: Totalbooks, 2023. p. 96-192.

NOVAIS, Gustavo Tostes; GALVANI, Emerson. Uma tipologia de classificação climática aplicada ao estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v.42, p.2-21, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.11606/eissn.2236-2878.rdg.2022.184630

OSLAND, Michael Johannes; DAY, Richard H.; HALL, Courtney T.; BRUMFIELD, Marisa D.; DUGAS, Jason L.; JONES, William R. Mangrove expansion and contraction at a poleward range limit: climate extremes and land: ocean temperature gradients. **Ecology**, v.98, n.1, p.125-137, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1002/ecy.1625

OSLAND, Michael Johannes; FEHER, Laura C.; GRIFFITH, Kereen T.; CAVANAUGH, Kyle C.; ENWRIGHT, Nicholas M.; DAY, Richard H.; STAGG, Camille L.; KRAUSS, Ken W.; HOWARD, Rebecca J.; GRACE, James Benjamin; ROGERS, Kerrylee. Climatic controls on the global distribution, abundance, and species richness of mangrove forests. **Ecological Monographs**, v.87, n.2, p.341-359, 2017.DOI: http://dx.doi.org/10.1002/ecm.1248

PAMUNGKAS, Srirahadita. Analysis of Vegetation Index For Ndvi, Evi-2, and Savi For Mangrove Forest Density using Google Earth Engine In Lembar Bay, Lombok Island. **Iop Conference Series**: Earth and Environmental Science, v.1127, n.1, e-012034, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1127/1/012034

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABULURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2.Edição. São Paulo: Oficina de Texto, 2012. 176p.

PRIHANTONO, Joko; NAKAMURA, Takashi; NADAOKA, Kazuo; WIRASATRIYA, Anindya; ADI, Novi Susetyo. Rainfall Variability and Tidal Inundation Influences on Mangrove Greenness in Karimunjawa National Park, Indonesia. **Sustainability**, v.14, n.14, e-8948, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/su14148948

RAIHAN, Asif; ALI, Tarig; MORTULA, Md; GAWAI, Rahul. Spatiotemporal Analysis of the Impacts of Climate Change on UAE Mangroves. **Journal Of Sustainable Development Of Energy, Water And Environment Systems**, v.11, n.3, p.1-19, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.13044/j.sdewes.d11.0460.

REBOITA, Michelle Simões.; KRUSCHE, Nisia.; AMBRIZZI, Tércio; ROCHA, Rosmeri Poirfírio da. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v.8, n.1, p.34-50, 2012. DOI: https://doi.org/10.20396/td.v8i1.8637425

REBOITA, Michelle Simões; GAN, Manoel Alonso; ROCHA, Rosmeri Porfírio da; AMBRIZZI, Tércio. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p.185-204, 2010.DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004

SANT'ANNA NETO, João Lima. Avaliação das mudanças no regime das chuvas no Estado de São Paulo durante um século (1888 - 1993). **Acta Scientiarum (UEM)**, Maringá, v.21, n.4, p.915-921, 1999. DOI: http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v21i0.3163

SCHAEFFER-NOVELLI, Yara; CINTRÓN-MOLERO, Gilberto; SOARES, Mário Luiz Gomes; DE-ROSA, T. Brazilan Magroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, n. 3, p. 561-570. 2000.

TARIFA, José Roberto. Unidades climáticas dos maciços litorâneos da Juréia-Itatins. *In*: **Estação Ecológica Juréia-Itatins: Ambiente Físico, Flora e Fauna**. MARQUES, Otaviano A.V.; DULEBA, Wânia (Org.) São Paulo: Holos, p.42- 50, 2004.

TESSLER, Moysés Gonsalez; GOYA, Samara Cazzoli Y; YOSHIKAWA, Pablo Sierra; HURTADO, Shanty Navarro. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro/São Paulo**. *In*: Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. MUEHE, Dieter (Org.). Ministério do Meio Ambiente, p.297-346, 2006.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Imagens Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)**. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/myd13q1v061/ >. Acesso em: 10 ago. 2022.

WANG, Jue; RICH, Paul M.; PRICE, Kevin P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 24, n.11, p.2345-2364, 2003. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/01431160210154812

XUEFEI; LIUJIE; GUOTAO, Dong. HUAZHU, Xue. Spatial-temporal variation of NDVI and its responses to precipitation in the upper of Heihe from 2000 to 2019. **Iop Conference Series**:

Earth and Environmental Science, v. 783, n. 1, p. 012148, 2021.DOI: http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/783/1/012148

YUE, W; XU, Jianhua; TAN, W; XU, L. The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: application to shanghai landsat 7 etm+ data. **International Journal Of Remote Sensing**, v.28, n.15, p.3205-3226, 2007. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/01431160500306906