

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E O ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO

Wendy Kaori Matsunaga

Universidade Federal de Campina Grande, PB, Brasil

E-mail: wendy.kaori@estudante.ufcg.edu.br

Madson Tavares Silva

Universidade Federal de Campina Grande, PB, Brasil

E-mail: madson.tavares@professor.ufcg.edu.br

José Ivaldo Barbosa de Brito

Universidade Federal de Campina Grande, PB, Brasil

E-mail: jivaldobrito@gmail.com

Resumo

Este estudo explora a relação entre os índices de vegetação e o zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) no estado da Bahia. Usaram-se dados do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e índice de vegetação melhorado (EVI) calculados a partir de imagens de satélite Landsat-5, no período de 1º de janeiro de 1993 a 31 de dezembro de 2002. Observou-se que existem áreas no estado onde ocorrem concordância entre os índices NDVI e EVI com as indicações do ZARC, enquanto que em áreas com grande alteração da vegetação original não houve plena concordância, uma vez que o NDVI e o EVI são excelentes indicadores da dinâmica e saúde da vegetação, mas não indica ou substitui a escolha do período de plantio, que é detectado pelo ZARC. Ressalta-se que o ZARC pode ser afetado diretamente pelo clima, relevo, solo e a vegetação. Portanto, os índices de vegetação obtidos por imagens de satélite são recomendáveis para o monitoramento eficiente e eficaz de rendimentos e produção de cultura agrícola no uso conjunto do ZARC.

Palavras-chaves: ZARC; NDVI; EVI; monitoramento.

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN VEGETATION INDEXES AND AGRICULTURAL ZONING OF CLIMATE RISK

Abstract

This study explores the relationship between vegetation indices and agricultural climate risk zoning (AZCR) in the state from Bahia. Data from the normalized difference vegetation index (NDVI) and enhanced vegetation index (EVI) calculated from Landsat-5 satellite images were used, in the period from January 1, 1993 to December 31, 2002. It was observed that there are areas in the state where there is agreement between the NDVI and EVI indices with the AZCR indications, while in areas with huge alterations in the original vegetation there was no full agreement, since the NDVI and EVI are excellent indicators of the vegetation dynamics and health, but do not indicate or replace the choice of planting period, which is detected by AZCR. It emphasizes that the AZCR can be directly affected by climate, terrain, soil and vegetation. Therefore, vegetation indices obtained from satellite images are recommended for efficient and effective monitoring of yields and production of agricultural crops in the joint use of AZCR.

Key words: AZCR; NDVI; EVI; monitoring.

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE RIESGO CLIMÁTICO AGRÍCOLA

Resumen

Este estudio explora la relación entre los índices de vegetación y la zonificación de riesgo climático agrícola (ZARC) en el estado de Bahía. Se utilizaron datos del índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y del índice de vegetación mejorado (EVI) calculados a partir de imágenes del satélite Landsat-5, en el período comprendido entre el 1 de enero de 1993 y el 31 de diciembre de 2002. Se observó que hay áreas en el estado donde existe concordancia entre los índices NDVI y EVI con las indicaciones ZARC, mientras que en áreas con gran alteración de la vegetación original no hubo concordancia total, ya que el NDVI y EVI son excelentes indicadores de la dinámica y la salud de la vegetación, pero no indica ni reemplaza la elección del período de siembra, que es detectada por ZARC. Destaca que la ZARC puede verse directamente afectada por el clima, el relieve, suelo y la vegetación. Por lo tanto, se recomiendan los índices de vegetación obtenidos a partir de imágenes satelitales para un monitoreo eficiente y efectivo de los rendimientos y la producción de cultivos agrícolas en el uso conjunto de ZARC.

Palabras-clave: ZARC; NDVI; EVI; supervisión.

INTRODUÇÃO

Inicialmente é salutar informar que a motivação da presente pesquisa decorre de estudos realizados por Matsunaga et al. (2023), que observaram um aprimoramento do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a cultura do milho, no estado da Bahia, ao combinar dados observados e de reanálise do ERA5-Land. Então, surgiu a ideia de realizar comparações entre as configurações espaciais do ZARC como índice de vegetação por meio de imagens de satélites.

Neste contexto, é oportuno descrever que o desenvolvimento tecnológico do uso de imagens de satélites permite o monitoramento da superfície terrestre, em que é possível verificar as modificações da superfície devido às ações antrópicas, bem como as alterações naturais do meio ambiente. A ciência de se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno por meio de dados obtidos por aparelhos distantes do alvo estudado, amplamente difundido, o sensoriamento remoto é extremamente atrativo devido ao seu custo quase nulo e rapidez na obtenção de informações (LEITE; SANTOS; SANTOS, 2017).

Ressalta-se que o entendimento das formas de uso e ocupação do solo, com fins de modelagem e representação de grandes áreas com bom nível de detalhamento, pode ser consideravelmente aprimorado com o uso de ferramentas de geoprocessamento. Além de reduzir o trabalho de campo, a extração de informações em imagens digitais de média resolução, permite que áreas maiores sejam estudadas em menor tempo. Neste contexto, Da Silva *et al.* (2019) compararam cinco índices de vegetação no sul do Brasil e consideraram que o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação

melhorado (EVI) obtiveram ajustes confiáveis para classificar o uso e ocupação da terra. Na determinação da classe de florestas nativas, o NDVI foi o melhor índice, também adequado para determinar corpos d'água, áreas em pousio e florestas plantadas.

No que diz respeito às medidas de controle dos riscos climáticos, as quais são fundamentais para reduzir a recorrência de sinistros no seguro agrícola, destaca-se que, no Brasil, o principal instrumento de política agrícola para gestão e controle de riscos climático é o ZARC, revisado anualmente e divulgado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (GUIMARÃES; IGARI, 2019). No ZARC, além das variáveis analisadas (clima, solo e planta), também se aplica funções matemáticas e estatísticas com o objetivo de quantificar o risco de perda das lavouras com base no histórico de ocorrência de eventos climáticos adversos (WOLLMANN; GALVANI, 2013). Em paralelo ao ZARC, Barbosa; Huete; Baethgen (2006) demonstraram, em seu estudo, com a variabilidade do NDVI, analisada durante 20 anos, por meio do monitoramento da dinâmica da vegetação a partir de medições de satélite leva a uma melhor compreensão da variabilidade espaço-temporal em ecossistemas semiáridos tropicais como o Nordeste do Brasil.

Caldana *et al.* (2021) e Andrade Júnior *et al.* (2020) explicam que a agricultura é uma tarefa de risco, pois todas as suas atividades estão suscetíveis a qualquer evento extremo, podendo ou não trazer prejuízo, dessa maneira, o objetivo do ZARC é dar maior segurança nas tomadas de decisões e no planejamento agrícola. Contudo, a geoespacialização dos dados climáticos e índices oriundos de balanço hídrico em escala regional por meio do uso de interpoladores aliado ao número reduzido e a distribuição espacial das estações meteorológicas e pluviométricas, podem induzir a equívocos na indicação das datas de semeadura com menor risco climático, comprometendo a confiabilidade desse importante instrumento de orientação do crédito e seguro agrícola. E como uma das formas de minimizar essas incertezas é o uso de dados meteorológicos de reanálise.

Na ausência de observações de longo prazo e em grande escala dos componentes do ciclo hidrológico, a modelagem com reanálise, pode fornecer campos consistentes de fluxos e estados da superfície da terra, ou seja, em muitos casos é bastante útil a aplicação de dados de reanálise em estudos de gestão de recursos hídricos (SHEFFIELD; GOTETI; WOOD, 2006). Contudo, é necessário analisar a consistência dos dados que estão disponíveis em plataformas online como a do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). E atualmente, um dos conjuntos de dados de reanálise muito utilizado é o ERA5-Land, que foi obtido reproduzindo o componente terrestre do ECMWF ERA5

de reanálise climática. No Brasil, um conjunto de dados que tem sido muito usado e com boa confiabilidade é o Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD) (XAVIER et al, 2022). Contudo, na presente pesquisa foram utilizados dados do ERA5-Land, pois os mesmos já tinham sido validados por Matsunaga et al. (2023), na elaboração de ZARC do milho para o estado da Bahia.

O ERA5-Land usa como entrada para controlar os campos de superfície simulados ERA5 variáveis atmosféricas, como temperatura e umidade do ar. Isso é chamado de forçamento atmosférico. Sem a restrição do forçamento atmosférico, as estimativas baseadas em modelos podem rapidamente se desviar da realidade. Entretanto, embora as observações não sejam usadas diretamente na produção do ERA5-Land, elas têm uma influência indireta por meio da forçante atmosférica usada para executar a simulação (MUÑOZ-SABATER et al., 2019). Ressalta-se, que ao usar dados de reanálise sempre deve ser considerado o que Parker (2016) escreveu: “*As diferenças entre conjuntos de dados de reanálise e observações não são tão profundas quanto se poderia pensar, mas ainda há bons motivos para cautela ao usar dados de reanálise*”.

Um conjunto de dados confiável e moderno, que deve ser utilizado no planejamento agrícola são os dados obtidos de imagens de satélites ambientais, principalmente o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o índice de vegetação melhorado (EVI). Portanto, é de suma importância comparar as configurações espaciais dos campos das variáveis ambientais obtidos com modelos meteorológicos com as configurações espaciais imagens de NDVI e EVI. Como forma de validação do Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Portanto, ao realizar essa comparação, almeja-se identificar discrepâncias entre os modelos e as condições reais, identificando discrepâncias e possibilitando melhorias na metodologia. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo investigar possíveis relações entre os índices de vegetação (NDVI e EVI) e o ZARC da cultura do milho no estado da Bahia. Destaca-se que, como já mencionado anteriormente, o ZARC utilizado foi obtido e validado por MATSUNAGA *et al.* (2023), que usaram dados de reanálise do ERA5-Land, uma vez que a distribuição espacial de estações meteorológicas no estado da Bahia, bem como dos demais estados brasileiros, é insuficiente para abranger todo estado. Ressalta-se que os dados da reanálise foram validados por MATSUNAGA *et al.* (2023) a partir de dados de estações meteorológicas. A cultura do milho foi escolhida por ser o segundo grão mais produzido no Brasil e é colhido em três safras ao longo do ano. O estado da Bahia escolhido porque é único estado do Brasil que apresenta produção relevante de milho nas três safras (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB 2022).

METODOLOGIA

Na presente pesquisa foram utilizadas as ferramentas de geoprocessamento Google Earth Engine (GEE) e o software Quantum GIS (QGIS) aplicadas as imagens de satélite no período de janeiro de 1993 a dezembro de 2002, sobre o estado da Bahia. Ressalta-se que o período estudado, foi o período de dez anos consecutivos com o menor número de ausência de dados de estações meteorológicas no estado da Bahia, no período de janeiro de 1981 a dezembro de 2020, conforme foi descrito no estudo de Matsunaga *et al.* (2023), ou seja, em um período de 40 anos de dados diários contínuos foi escolhido, um período de dez anos, que apresentou o menor número de dias com ausência de dados, do dia 1º de janeiro de 1993 até 31 de dezembro de 2002.

Ressalta-se que ao fazer uma média espacial da precipitação das 22 estações meteorológicas com dados disponíveis entre 1981 e 2020, observou-se que a precipitação do período de 1993 a 2002, foi superior ao do período 2003/2012, em 1,8% e em 2,3% ao do período 2011/2020, ou seja, diferença muito pequena. Além disso, Alves; Gonçalves; Nascimento (2022) fizeram um estudo para a bacia hidrográfica do rio Cachoeira, no sudeste da Bahia, observaram que dos sete anos mais chuvosos no período de 1970 a 2020, dois (1999 e 2002) estavam no período 1993/2002, enquanto, dos oitos anos mais secos, dois (1993 e 1996), também estava no período de 1993/2002. Portanto, o uso do período de dez anos consecutivo com o menor número de dados faltosos, em contra ponto a anos mais recentes, é plenamente justificável.

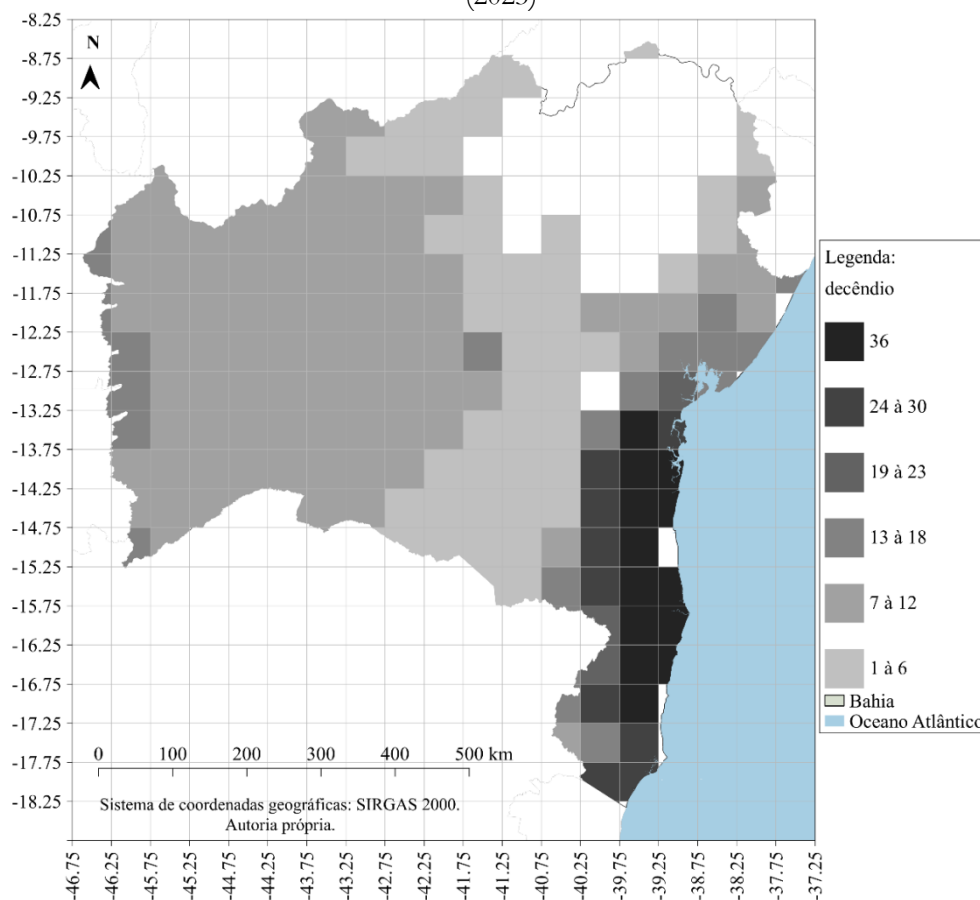
Retornando a análise das ferramentas de geoprocessamento, Amani *et al.* (2020) esclarecem que o Google desenvolveu uma plataforma de computação em nuvem, chamada Google Earth Engine (GEE), esta plataforma facilita o processamento de grandes conjuntos de dados geográficos em grandes áreas e o monitoramento do ambiente por longos períodos. Enquanto, o QGIS possui um grande repositório de plugins que melhoram a análise de dados e fornece acesso a várias ferramentas de processamento de imagem incluídas em outros programas de código aberto (CONGEDO, 2021).

Este estudo comparativo, como já informado anteriormente, mais de uma vez, utilizou-se o ZARC para o milho de sequeiro no estado da Bahia, situado na região Nordeste do Brasil, entre as latitudes de 8º 32'S e 18º 21' S e longitudes de 37º 20'O e 46º 37' O, obtido e validado por (MATSUNAGA *et al.*, 2023), apresentado na Figura 1. Observa-se que grandes áreas da Bahia são propícias ao plantio de milho de sequeiro, em períodos que se estende de um a seis decênios até os 36 decênios do ano. Esta ferramenta, o ZARC, utiliza

o balanço hídrico da cultura, que por sua vez, depende exclusivamente da precipitação como método de entrada de água no sistema.

Destaca-se, que a análise comparativa é elaborada sobre a variabilidade espacial dos índices de vegetação, obtidos por meio de imagens de satélites meteorológicos, e o ZARC para a cultura do milho no estado da Bahia. Na parte temporal foi feita uma média para temporal, do período de dez anos, para cada decêndio do ano (do 1 ao 36).

Figura 1. Mapa de áreas favoráveis ao plantio de milho na Bahia. Adaptado de Matsunaga *et al.* (2023)



Fonte: elaboração dos autores (2023).

Foram gerados os mapas para análise da variação espacial média dos índices NDVI e EVI para o estado da Bahia, utilizando as imagens de satélite LANDSAT-5, gerenciado e operado em conjunto pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) e pelo US Geological Survey (USGS). Essas imagens possuíam uma cobertura de nuvem de até 10% e uma resolução de 30 metros. Os mapas foram gerados a partir das imagens adquiridas durante o período de 1993 a 2002. Comparou-se esses mapas, dos índices de vegetação, com

o ZARC realizado por Matsunaga *et al.* (2023), para identificar correlações significativas entre as respostas de ZARC e os parâmetros de vegetação no mesmo espaço de tempo.

Evidentemente, que para construir os mapas dos índices de vegetação se faz necessário à obtenção dos índices (NDVI e EVI). Para tanto, as imagens de satélite foram submetidas a um processo de pré-processamento utilizando a plataforma GEE. Esse processo envolveu a aplicação de correções atmosféricas e o recorte da área de estudo (estado da Bahia). Para calcular NDVI, utiliza-se a Equação 1 descrita a seguir:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

na qual NIR representa a reflectância na banda do infravermelho próximo e RED representa a reflectância na banda do vermelho.

O EVI foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maior densidade de biomassa e reduzindo assim as influências atmosféricas (Anderson *et al.*, 2005). É um índice similar ao NDVI, mas leva em consideração também o espectro de refletância do azul, corrigindo algumas limitações do NDVI em relação à atmosfera e ao solo. Como pode ser verificado na equação 2:

$$EVI = 2,5x \left(\frac{NIR-RED}{NIR+6xRED-7,5xBLUE + 1} \right) \quad (2)$$

em que NIR, RED e BLUE representam as reflectâncias nas respectivas bandas do infravermelho próximo, vermelho e azul. Os índices de NDVI e EVI foram armazenados em arquivos raster GeoTIFF, mesclados e processados no QGIS 3.10.

Para compreender melhor a análise da vegetação do estado, utilizaram-se dados de hipsometria (altitude) e precipitação da região. Os dados de hipsometria foram obtidos no projeto TOPODATA (VALERIANO, 2008), um banco de dados geomorfométricos do Brasil, que oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional. Enquanto que os dados diários de precipitação (de 1º de janeiro de 1993 a 31 de dezembro de 2002) foram baixados do Projeto de Precipitação CPC/NOAA e formato shapefile, com uma resolução espacial de 0,5° x 0,5° de latitude e longitude (CHEN *et al.* 2008).

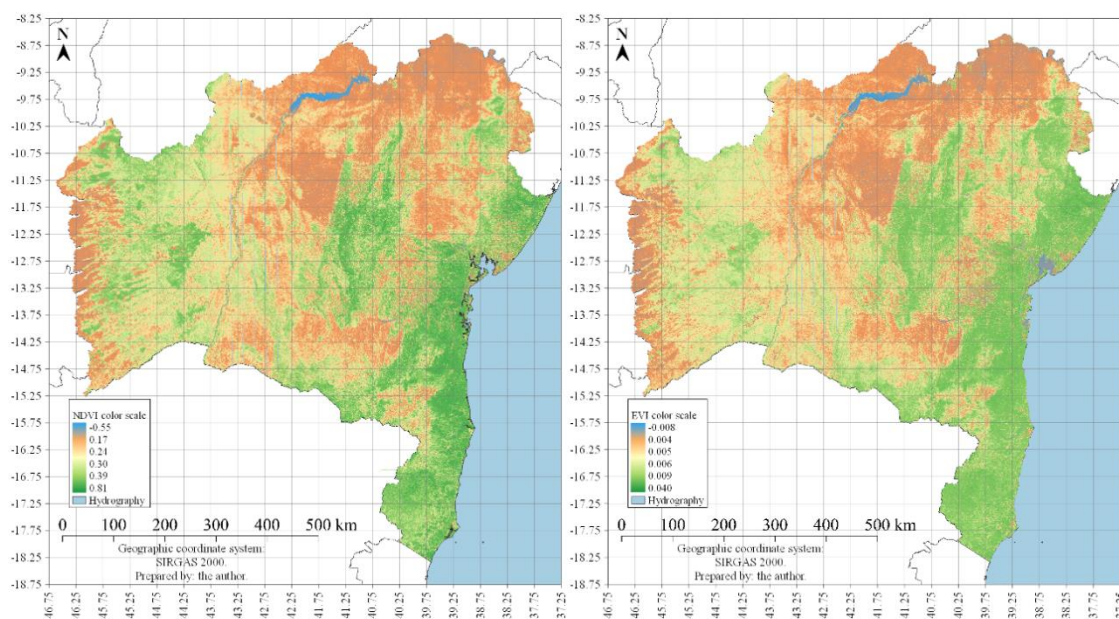
Para calcular a precipitação média do período, utilizou-se a linguagem de programação Python 3.9.17 (VAN ROSSUM; DRAKE, 1995), com as bibliotecas Pandas (REBACK *et al.*, 2020), Xarray (HOYER; HAMMAN, 2017), MetPy (MAY *et al.*, 2022) e Matplotlib (HUNTER, 2007), através do editor de texto *Visual Studio*.

RESULTADOS

Na Figura 2 são mostradas as configurações espaciais dos valores médios de 1993 a 2002 de NDVI (Figura 2a) e EVI (Figura 2b), sobre o estado da Bahia. Observam-se semelhanças entre ambas às configurações com valores máximos e mínimos em áreas geográficas coincidentes. Além disso, esses mapas também destacam a hidrografia do estado, com tons de azul representando o rio São Francisco e partes dos rios Paraguaçu, Contas, Pardo e Jequitinhonha e fornecem informações sobre a variabilidade espacial dos comportamentos médios dos índices de vegetação ao longo de um período de 10 anos.

A partir da análise das Figuras 2a e 2b é possível identificar áreas com valores mais altos de NDVI e EVI durante o período de 1993 a 2002, com vegetação mais saudável ou densa, na parte leste da Bahia. Esta região está sujeita a atuação de fenômenos meteorológicos de escala sinótica tais como sistemas frontais e de microescala tais como brisas e ainda a resultante da interação desses dois sistemas (LIMA *et al.*, 2011). Por sua vez, Reis; Gonçalves; Mendes (2021) estudaram a distribuição espacial dos Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera por um período de 37 anos e constataram que o leste do estado da Bahia e quase todo o seu litoral estão entre as regiões do Nordeste com maior ocorrência de precipitação associada a este sistema (Figura 3).

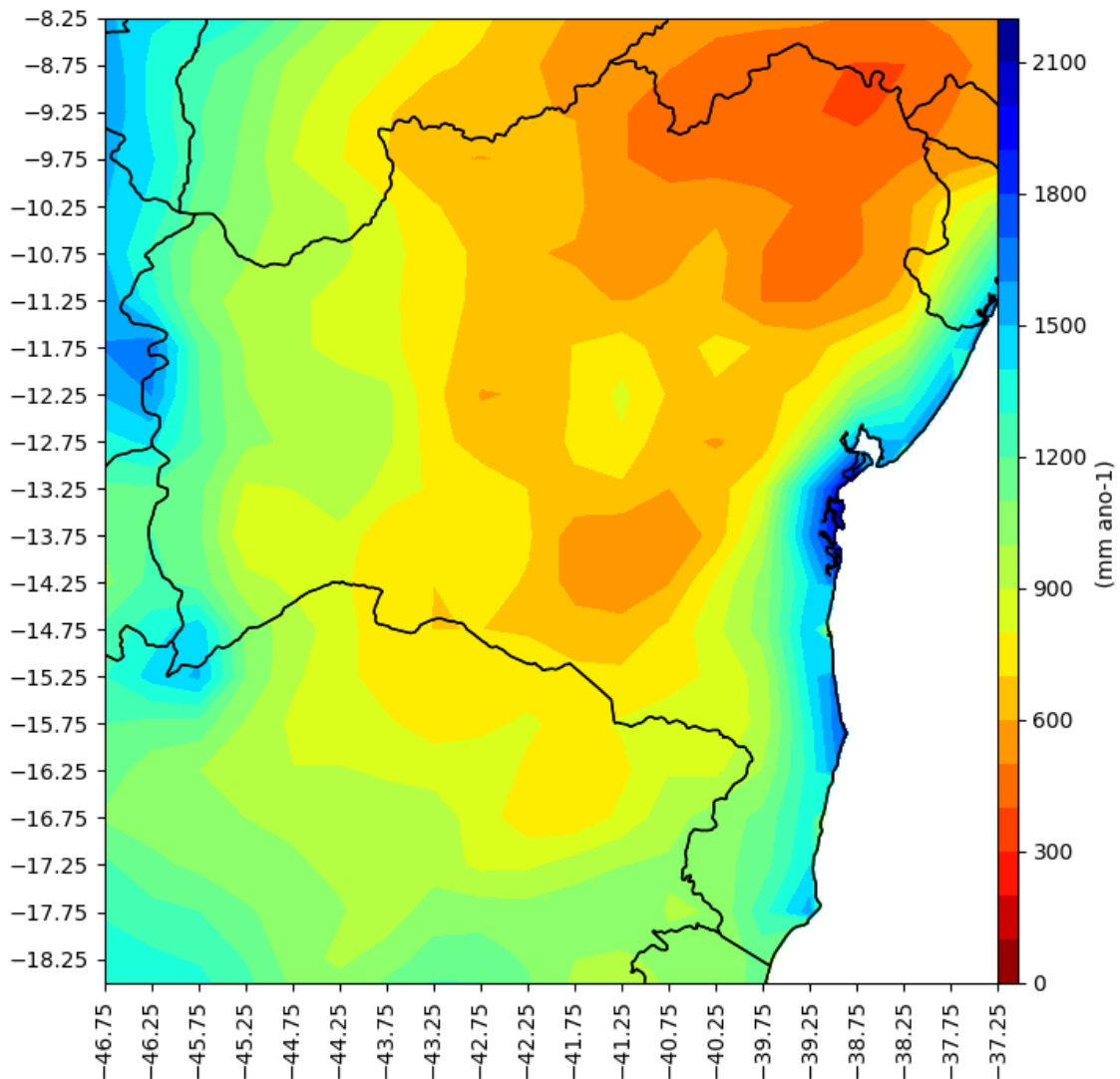
Figura 2. Mapas do (a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e (b) Índice de Vegetação Ajustado por Emissão (EVI) para o estado da Bahia



Fonte: elaboração dos autores (2023).

Enquanto áreas com valores mais baixos estão concentrados na região extremo norte do Estado e podem indicar estresse hídrico, degradação ambiental ou ausência de vegetação, Lopes; Dantas; Ferreira (2019) identificaram essa região com os menores valores de precipitação de todo o semiárido atinge valores mínimos anuais inferiores a 500 mm (Figura 3).

Figura 3. Mapa da precipitação para o estado da Bahia



Fonte: elaboração dos autores (2023).

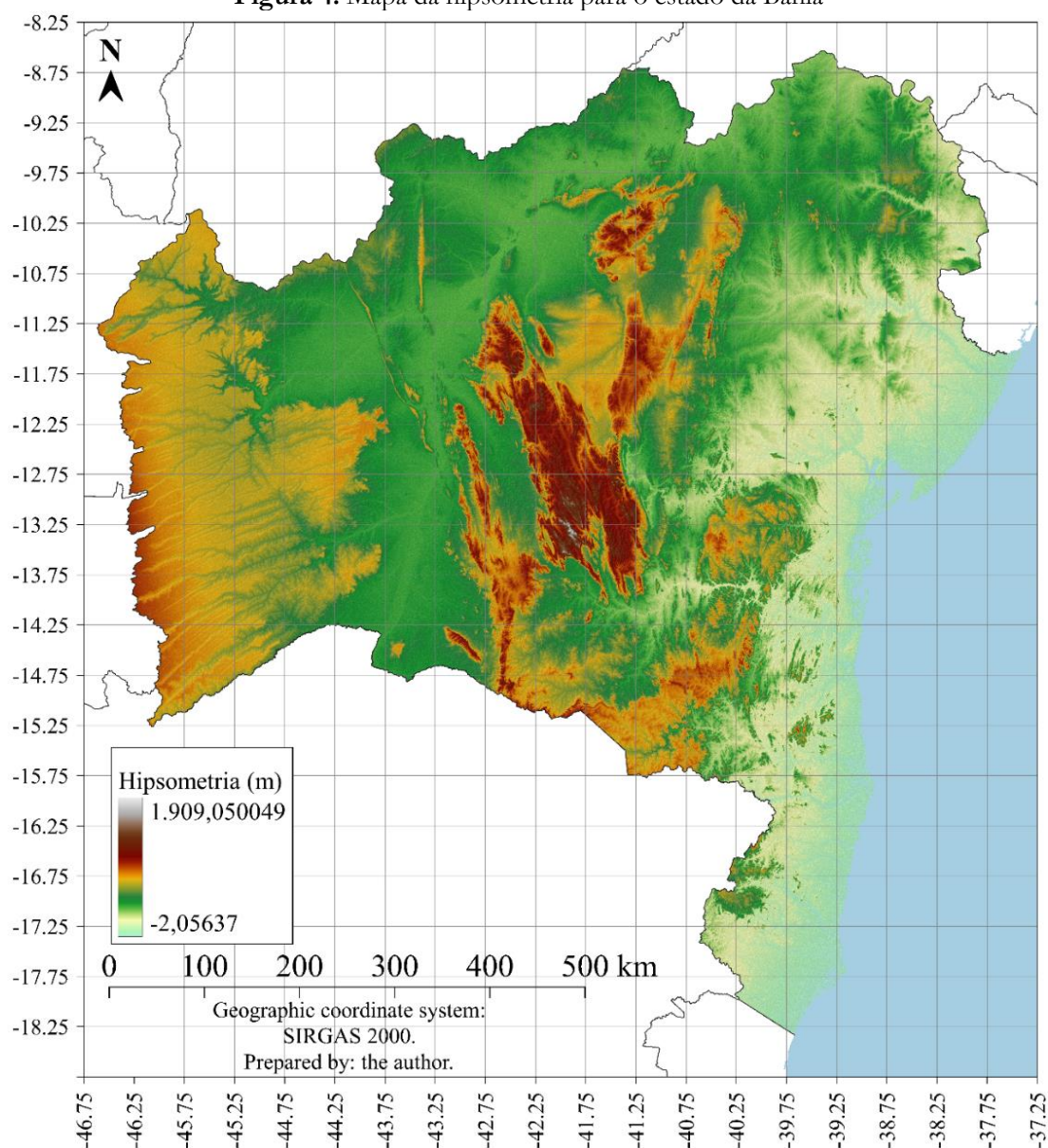
Na região central do estado encontra-se a Chapada Diamantina que tem aproximadamente 31.381 km² (RIBEIRO *et al.*, 2021) e altitudes que podem chegar até 1900m (Figura 4). E por constituir-se de um relevo com altitude influência nas variáveis climatológicas locais e na vegetação, com valores mais altos de NDVI e EVI na porção leste

quando comparada com porção oeste (Figuras 2a e 2b). Para Santos Neto *et al.* (2022) esta circunstância explica ainda a incompatibilidade dos parâmetros de umidade e vegetação em sua abrangência na região da Chapada, onde na porção oriental a tendência é a retenção de umidade e a vertente ocidental apresentando as características comuns do semiárido. Nestas áreas isoladas do semiárido encontram-se valores de precipitação anual acima de 1000 mm associados com a formação rochosa (TANAJURA; GENZ; ARAÚJO, 2010).

A região oeste do estado da Bahia possui aptidão para agricultura de larga escala e, por esta razão, faz parte do MATOPIBA. Uma área de expansão agrícola que abrange parte dos estados do Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA). Cabe ressaltar ainda que a territorialização do agronegócio não ocorre de modo homogêneo diferentes regiões do MATOPIBA; no caso do Oeste da Bahia, por exemplo, a expansão é mais antiga, o que justifica em parte o agronegócio já consolidado (DA SILVA *et al.*, 2019). Em um estudo de Teles; Souza; Farias (2022), em que foram analisadas a dinâmica espacial e temporal da vegetação da Bacia do Rio Branco – BA ao longo de 26 anos e quantificar o índice vegetativo da bacia nos anos de 1994, 2007 e 2020. Os resultados apontam que houve uma diminuição de vegetação nativa e aumento de área de cultivo e de pastagem, observados pela redução das classes Moderadamente Alta e Alta e o crescimento das classes Muito Baixa, Baixa e Moderadamente Baixa. Portanto, com a perda da vegetação nativa o solo tem ficado mais exposto e suscetível a degradação.

Outro motivo para que esta região seja ocupada desta forma é o seu relevo uniforme (Figura 4). Oliveira e Cruz (2022) afirmam que a agricultura é uma das atividades que mais se destaca no Oeste da Bahia, sendo responsável também pela alta concentração de terras. E ocorre principalmente nas áreas conhecidas como os Chapadões, a maioria dos campos está distribuída na cota de 800m. Sendo assim, uma área propícia as atividades agrícolas mecanizadas.

Figura 4. Mapa da hipsometria para o estado da Bahia



Fonte: elaboração dos autores (2023).

Após a apresentação das configurações espaciais dos índices de vegetação NDVI e EVI (Figuras 2a e 2b) e comparações destas configurações com as da precipitação (Figura 3) e relevo por meio da hipsometria (Figura 4). Torna-se possível buscar respostas para atender o objetivo desta pesquisa que é um comparativo entre as configurações espaciais do ZARC da cultura do milho (Figura 1) e dos índices de vegetação (Figuras 2a e 2b). Observa-se na Figura 1, que as recomendações para o plantio de milho de ciclo precoce de sequeiro na Bahia vão desde regiões que não possuem nenhum decêndio recomendado para o cultivo do milho (extremo norte do estado) até regiões onde o plantio é recomendado o ano todo (faixa

litorânea ao sul de Salvador). A região do extremo norte do estado, abrangendo toda área do Raso da Catarina, é a maior área onde não há recomendações para o plantio do milho em nenhum decêndio do ano (Figura 1) e é justamente nesta região que se observa os menores valores do NDVI e EVI (Figuras 2a e 2b), ou seja, nesta área há uma concordância entre o ZARC e os índices de vegetação.

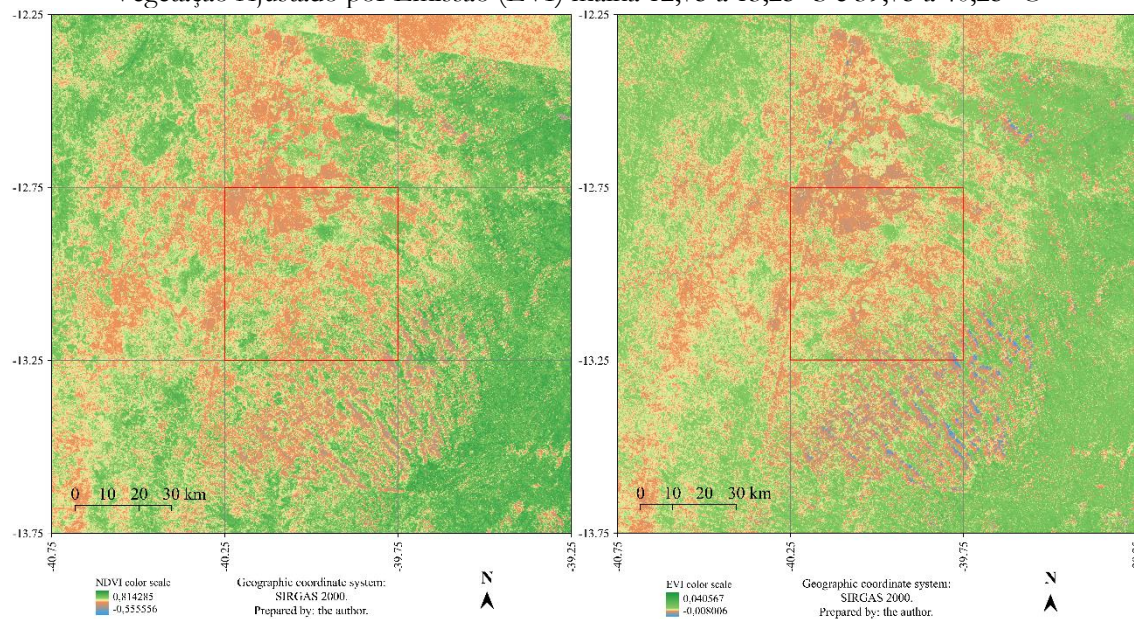
Conforme pode ser verificado na Figura 1, o plantio na faixa litorânea sul é recomendado ao longo dos 36 decêndios do ano. Enquanto, nas Figuras 2a e 2b, nessa área observa-se elevados valores de NDVI e EVI, mostrando uma concordância entre o ZARC e os índices de vegetação. Ressalta-se que dentro da mesorregião sul da Bahia, há menor quantidade de chuvas no noroeste e sudoeste, com valores mínimos de 878,8 mm ano⁻¹, e maior no nordeste, com valores máximos de 1.619 mm ano⁻¹ (APARECIDO *et al.*, 2022). O comportamento da precipitação nessa região, pode estar associado ao desempenho dos índices vegetação e do ZARC.

Na região oeste da Bahia, a medida que se adentra ao extremo oeste do estado, possui recomendações de plantio do milho que variam de 7 a 18 decêndios por ano. Apesar disso, existem valores muito baixos do NDVI e EVI, que provavelmente estão atribuídos utilização das terras pela agricultura irrigada. Para Bittencourt *et al.* (2018) o cultivo de sequeiro do algodão e soja é predominante na região oeste da Bahia principalmente nos municípios São Desidério e Correntina, que ficam na fronteira do estado. Desse modo, a intensa degradação do oeste da Bahia observada através dos índices de vegetação se relaciona com o fato das atividades agrícolas favorecerem-se dos Chapadões e condições favoráveis para plantio de sequeiro.

Adicionalmente, Ferreira *et al.* (2021) esclarecem sobre a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) que foi a responsável pela execução do primeiro projeto de colonização e irrigação na Mesoregião Oeste da Bahia, em 1976, recebendo o nome de “Perímetro Irrigado Barreiras –São Desiderio”, afirmando que a sua instalação e o desenvolvimento dos projetos de irrigação foram peças-chave para a expansão agrícola no oeste baiano. Foi possível perceber que o oeste da Bahia, reúne características ambientais capazes de facilitar a expansão das atividades agrícolas, assim como também permite intensificar processos de degradação ambiental, como as perdas de vegetação nativa e esgotamento hídrico. Dentre as características ambientais, as quais são consideradas “chaves” para expansão dos empreendimentos agropecuários (Oliveira e Pacheco, 2020).

Além da mesorregião do extremo norte da Bahia, o plantio de milho também não é recomendado, do ponto de vista climatológico, na área encontrada na malha 12,75 a 13,25° S e 39,75 a 40,25° W (Figura 1). Essa região, que abrange parte dos municípios de Iaçú e Milagres, está localizada na Depressão Sertaneja Meridional, uma área semiárida situada entre os planaltos Diamantina e Conquista-Jequitinhonha. Historicamente, essa região experimenta volumes de chuva irregulares e eventos de secas extremas, conforme evidenciado por estudos anteriores (JELINEK *et al.*, 2014; SANTOS; DATILO; PRESLEY, 2014; SANTOS NETO *et al.*, 2022). Outrossim, os dados de NDVI e EVI (Figuras 5a e 5b) revelam que essa região possui os menores valores desses índices de vegetação em comparação com as regiões circundantes. Essa constatação reforça ainda mais a inviabilidade do plantio de milho, em regime de sequeiro, nessa área, uma vez que indica condições desfavoráveis para o desenvolvimento saudável e produtivo das plantas, exceto com o uso de sistema irrigado.

Figura 5. Mapas do (a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e (b) Índice de Vegetação Ajustado por Emissão (EVI) malha 12,75 a 13,25° S e 39,75 a 40,25° O



Fonte: elaboração dos autores (2023).

CONCLUSÕES

Ao analisar as variações dos índices de vegetação, obtiveram-se informações de que a região leste da Bahia possui uma vegetação mais saudável e densa. Por outro lado, a região do extremo norte da Bahia apresentou valores baixos de NDVI e EVI, sugerindo estresse

hídrico ou ausência de vegetação na maior parte do tempo, já que esta região é caracterizada por ter baixos índices de precipitação anual. E a região central da Bahia, possui um relevo acentuado o que influencia na distribuição da vegetação.

Em geral, para avaliar o desempenho do ZARC para a cultura do milho em regime de sequeiro em relação aos índices de vegetação, obteve uma associação coerente, em muitas áreas, exceto naquelas nas quais ocorreram alterações da vegetação original. Indicando que o uso de índices de vegetação para informações de início de período de plantio em substituição ao ZARC não é recomendável. Contudo, a utilização conjunta de ambos é viável.

O ZARC é utilizado para orientar produtores para diminuir riscos e reduzir perdas, com base nas informações do clima, cultura e solo, com informações do período de plantio até a colheita. Enquanto, o NDVI e o EVI são indicadores do vigor e saúde da vegetação, ou seja, só conseguem detectar a robustez de uma cultura agrícola após o seu desenvolvimento e não durante o plantio. Portanto, para um monitoramento eficiente e eficaz de culturas agrícolas é salutar e recomendável agregar o uso do ZARC e de NDVI e EVI.

Apesar da quantidade de imagens de satélite disponíveis, encontrou-se como limitação deste trabalho a incompletude de imagens que abrangessem todo o estado da Bahia mensalmente e/ou sazonalmente para um estudo que detalhasse o NDVI e EVI nos anos estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. E., GONÇALVES, T. S., NASCIMENTO, S. A. M. Precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Nordeste do Brasil: tendências e variabilidade (1970-2020). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 17, n. 2, p. 527-542, 2022. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v17i2.841>.

AMANI, M., GHORBANIAN, A., AHMADI, S. A., KAKOOEI, M., MOGHIMI, S. H. A., MIRMAZLOUMI, S. M., MOGHADDAM, S. H. A.; MAHDAVI, S.; GHAHREMANLOO, M.; PARSIAN, S.; WU, Q.; BRISCO, B. Google earth engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 13, p. 5326-5350, 2020. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>

ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O.; LIMA, A. D.; SHIMABUKURO, Y. E. Burn scar detection based on linear mixture model and vegetation indices using multitemporal data from MODIS/TERRA sensor in Mato Grosso State, Brazilian Amazon. **Acta Amazonica**, v. 35, p. 445-456, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000400009>

DE ANDRADE JÚNIOR, A. S.; GOMES, J. V. dos S.; VIEIRA, P. F. de M. J. Validação do zoneamento agrícola de risco climático para soja no município de Regeneração, PI. *Agrometeoros*, v. 28, 2020. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v28.e026703>

APARECIDO, L. Z. O.; LORENÇONE, P. A.; LORENÇONE, J.A.; DE MENESES, K.C.; DE MORAES J.R.S.C.; DE FARIAS, M. F. Soil water seasonal and spatial variability in Northeast Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, n. 5, p. 6136-6152, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01695-4>

BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of arid environments**, v. 67, n. 2, p. 288-307, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.022>

BITTENCOURT, F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; SANTOS, N. T. Determinação de funções de produtividade de algodão e soja em cultivo sequeiro no extremo oeste da Bahia. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 1, p. 67-82, 2018. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n120181089>

CALDANA, N. F. DA S.; FERREIRA, L. G. B.; ZACCHEO, P. V. C.; AGUIAR, M. A.; MARTINS, J. A. Zoneamento agrícola de risco climático da bananeira (musa sp) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná 3. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 407-419, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p407-419>

CHEN, M.; SHI, W.; XIE, P.; SILVA, V. B.; KOUSKY, V. E.; WAYNE HIGGINS, R.; JANOWIAK, J. E. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 113, n. D4, p. 1-13, 2008. <https://doi.org/10.1029/2007JD009132>

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2022. Boletim da Safra de Grãos. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acessado em 24 setembro 2022.

CONGEDO, Luca. 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, p. 3172, 2021. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

DA SILVA, A. L.; DE SOUZA, C.; ELOY, L.; PASSOS, C. J. S. Políticas ambientais seletivas e expansão da fronteira agrícola no cerrado: impactos sobre as comunidades locais numa unidade de conservação no oeste da Bahia/Selective environmental policies and expansion of the agricultural frontier in the Cerrado: impacts on local communities in a Conservation Unit in western Bahia/Politiques environnementales sélectives et expansion de la frontière agricole dans le Cerrado: impacts sur les communautés locales dans une unité de conservation dans l'ouest de Bahia. **Revista Nera**, n. 47, p. 321-347, 2019. <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i47.6274>

FERREIRA, A. B. R.; PEREIRA, G.; FONSECA, B. M.; CARDOZO, F. DA S. As mudanças no uso e cobertura da terra na região oeste da Bahia a partir da expansão agrícola. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, p. 389-412, 2021. <https://doi.org/10.33081/formacao.v28i53.7871>

GUIMARÃES, T.C.; IGARI, A. T. Mudança do clima e seus impactos no seguro agrícola no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, p. 1583-1604, 2019. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1583-1604>

HOYER, S.; HAMMAN, J. Xarray: N-D labeled Arrays and Datasets in Python. **Journal of Open Research Software**, v. 5, n. 1, p. 10, 2017. <https://doi.org/10.5334/jors.148>

HUNTER, J. D. Matplotlib: A 2D graphics environment. **Computing in science & engineering**, v. 9, n. 03, p. 90-95, 2007. <https://doi.org/10.5281/zenodo.592536>

JELINEK, A. R.; CHEMALE JR, F.; VAN DER BEEK, P. A.; GUADAGNIN, F.; CUPERTINO, J. A.; VIANA, A. Denudation history and landscape evolution of the northern East-Brazilian continental margin from apatite fission-track thermochronology. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 54, p. 158-181, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.06.001>

LEITE, A. P.; SANTOS, G. R.; SANTOS, J. E. O. Análise temporal dos índices de vegetação NDVI e SAVI na Estação Experimental de Itatinga utilizando imagens Landsat 8. **Revista brasileira de energias renováveis**, v. 6, n. 4, p. 606-623, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v6i4.45830>

LIMA, J. R. A.; NEVES, D. J. D.; ARAÚJO, L. D.; AZEVEDO, P. D. Identificação de tendências climáticas no Estado da Bahia. **Revista de Geografia**, v. 28, n. 3, p.172-187, 2011.

LOPES, J. R. F.; DANTAS, M. P.; FERREIRA, F. E. P. Variabilidade da precipitação pluvial e produtividade do milho no semiárido brasileiro através da análise multivariada. **Nativa**, v. 7, n. 1, p. 77-83, 2019. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i1.6243>

MATSUNAGA, W. K.; SALES, E. S. G.; JÚNIOR, G. C. A.; SILVA, M. T.; LACERDA, F. F.; LIMA, E. DE P., DOS SANTOS, A. C.; DE BRITO, J. I. B. Application of ERA5-Land reanalysis data in zoning of climate risk for corn in the state of Bahia—Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 945–963, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04670-3>

MAY, R. M.; GOEBBERT, K. H.; THIELEN, J. E.; LEEMAN, J. R.; CAMRON, M. D.; BRUICK, Z.; BRUNING, E. C.; MANSER, R. P.; ARMS, S. C.; MARSH, P. T. MetPy: A meteorological Python library for data analysis and visualization. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 103, n. 10, p. E2273 E2284, 2022. <http://doi.org/10.5285/836f016a-33be-6ddc-e053-6c86abc0788e>

MUÑOZ-SABATER, J.; DUTRA, E.; AGUSTÍ-PANAREDA, A.; ALBERGEL, C.; ARDUINI, G.; BALSAMO, G.; Boussetta, S.; Choulga, M.; Harrigan, S.; Hersbach, H.; Martens, B.; Miralles, D. G.; Piles, P. M.; Rodríguez-Fernández, N. J.; Zsoter, E.; Buontempo, C.; THÉPAUT, J. N. ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. **Earth system science data**, v. 13, n. 9, p. 4349-4383, 2021. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>

OLIVEIRA, L. P.; PACHECO, M. G. Análise geográfica: relações do uso e cobertura com a morfologia das terras a partir do sensor moderate resolution imaging spectroradiometer (modis) e shuttle radar topography mission (SRTM) para o oeste baiano, Bahia, Brasil. **Diálogo andino**, n. 63, p. 285-297, 2020. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-26812020000300285>

OLIVEIRA, L. P.; CRUZ, U. R. X. Análise da relação do índice de GINI e da configuração ambiental nos municípios do oeste baiano a partir de dados do sensor orbital modis para o ano de 2019. **Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 4, n. 02, p. 256-274, 2022.

PARKER, W. S. REANALYSES AND OBSERVATIONS What's the Difference? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 97, n. 9, p. 1565-1572, 2016. DOI:10.1175/BAMS-D-14-00226.1

REBACK, J.; MCKINNEY, W.; JBROCKMENDEL; VAN DEN BOSSCHE, J.; AUGSPURGER, T.; CLOUD, P.; KLEIN, A.; HAWKINS, S.; ROESCHKE, M.; TRATNER, J.; SHE, C.; AYD, W.; PETERSEN, T.; GARCIA, M.; SCHENDEL, J.; HAYDEN, A.; JANCAUSKAS, V.; BATTISTON, P.; SEXTON, D.; SEABOLD, S. pandas-dev/pandas: Pandas 1.0. 5. **Zenodo**, 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3898987>

REIS, J. S.; GONÇALVES, W. A.; MENDES, D. Climatology of the dynamic and thermodynamic features of upper tropospheric cyclonic vortices in Northeast Brazil. **Climate Dynamics**, v. 57, n. 11-12, p. 3413-3431, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05873-y>

RIBEIRO, R. R. R.; SULAIMAN, S. N.; SIEBER, S.; TREJO-RANGEL, M.A.; CAMPOS, J. F. Integrated Assessment of Drought Impacts on Rural Areas: The Case of the Chapada Diamantina Region in Brazil. **GeoHazards**, v. 2, n. 04, p. 442-453, 2021. <https://doi.org/10.3390/geohazards2040025>

SANTOS NETO, J. C.; GAMA, D. C.; DA SILVA, L. F.; DE JESUS, J. B. Caracterização da precipitação e da vazão no trecho sudoeste da Bacia Hidrográfica do rio Paraguaçu, Bahia, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e32911931659-e32911931659, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31659>

SANTOS, G. M.; DATTILO, W.; PRESLEY, S. J. The seasonal dynamic of ant-flower networks in a semi-arid tropical environment. **Ecological entomology**, v. 39, n. 6, p. 674-683, 2014. <https://doi.org/10.1111/een.12138>

SHEFFIELD, J.; GOTETI, G.; WOOD, E. F. Development of a 50-year high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling. **Journal of climate**, v. 19, n. 13, p. 3088-3111; 2006. <https://doi.org/10.1175/JCLI3790.1>

TANAJURA, C. A. S.; GENZ, F.; ARAÚJO, H. A. DE. Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do HadRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 345-358, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000300006>

TELES, J. DE D. A.; SOUZA, K.S.; FARIAS, R. G. Análise temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na bacia hidrográfica do Rio Branco–Ba. **Geosciences= Geociências**, v. 41, n. 02, p. 497-502, 2022. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i02.15796>

VALERIANO, M. DE M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, v. 72, 2008. <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em 31 de maio de 2023.

VAN ROSSUM, G.; DRAKE J. F. L. **Python reference manual**. Amsterdam: Centrum voor Wiskunde en Informatica, 1995.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390–8404, 2022. <https://doi.org/10.1002/joc.7731>

WOLLMANN, C. A.; GALVANI, E. Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. **Sociedade & natureza**, v. 25, p. 179-190, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000100014>

Recebido em: março de 2024
Aceito em: julho de 2025