



Índices biofísicos da bacia hidrográfica do rio Sucuru-PB utilizando o Google Earth Engine

Biophysical indices of the Sucuru-PB river basin using Google Earth Engine

José Hugo Simplicio de Sousa¹, George do Nascimento Ribeiro¹, Paulo Roberto Megna Francisco¹, Osmar Antônio da Silva Júnior¹, Luiz Heitor Gonçalves Teodomiro Silva¹, Jarlean Lopes Nóbrega¹

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil

Contato: hugosimplicio123@gmail.com

Palavras-Chave

multi-temporal
semiárido
geotecnologias

Key-word

multi-temporal
semiarid
geotechnologies

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do rio Sucuru-PB abrange uma área de 1.652,5 km², e requer monitoramento eficiente de seus recursos naturais. O Sensoriamento Remoto (SR) emerge como uma ferramenta crucial para essa finalidade. Este estudo teve como objetivo a análise da dinâmica do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e da Temperatura da Superfície Terrestre (LST) em relação às variações na precipitação pluviométrica durante o período de 2001 a 2019. Para realizar essa análise, a plataforma Google Earth Engine (GEE) foi empregada, juntamente com dados dos sensores Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) e TerraClimate, utilizando programação em JavaScript. O coeficiente de correlação de Pearson (r) no software R[®] foi aplicado para avaliar as relações entre os dados da série temporal do NDVI e da precipitação pluviométrica, bem como entre os dados da LST e a precipitação pluviométrica. Este estudo destacou a eficácia da plataforma GEE no processamento das imagens, permitindo uma análise abrangente da dinâmica da bacia do rio Sucuru e sua relação com fatores climáticos fundamentais, fornecendo informações cruciais para a gestão dos recursos hídricos na região, destacando a importância do SR como uma ferramenta eficaz para monitorar os recursos naturais das bacias hidrográficas. Os coeficientes de correlação de Pearson revelaram uma correlação moderada entre o NDVI e a precipitação pluviométrica, bem como entre a LST e a precipitação pluviométrica, indicando uma forte associação entre a dinâmica da vegetação e a LST com os padrões de precipitação pluviométrica.

ABSTRACT

The Sucuru River Basin covers an area of 1,652.5 km² and requires efficient monitoring of its natural resources. Remote Sensing (RS) has emerged as a crucial tool for this purpose. This study aimed to analyze the dynamics of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) in relation to variations in rainfall during the period from 2001 to 2019. To carry out this analysis, the Google Earth Engine (GEE) platform was used, along with data from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and TerraClimate sensors, using JavaScript programming. Pearson's correlation coefficient (r) in the R[®] software was applied to assess the relationships between NDVI time series data and rainfall, as well as between LST data and rainfall. This study highlighted the effectiveness of the GEE platform in processing the images, allowing for a comprehensive analysis of the dynamics of the Sucuru River basin and its relationship with key climatic factors, providing crucial information for managing water resources in the region, highlighting the importance of RS as an effective tool for monitoring the natural resources of river basins. Pearson's correlation coefficients revealed a moderate correlation between NDVI and rainfall, as well as between LST and rainfall, indicating a strong association between vegetation dynamics and LST with rainfall patterns.

Informações do artigo

Recebido: 18 de abril, 2023
Aceito: 24 de novembro, 2023
Publicado: 01 de dezembro, 2023

Introdução

No semiárido, a vegetação é composta prioritariamente por arbustos que perdem as folhas nos meses mais secos ou por pastagens que secam na época de estiagem, essas são características da Caatinga presente na região Nordeste do Brasil. A vegetação da Caatinga é muito sensível às variações climáticas, principalmente com relação às alterações de disponibilidade hídrica, o que dificulta as análises de padrões, por necessitar de um período longo de dados, o qual possa representar fielmente o comportamento da Caatinga às mudanças climáticas e às ações antrópicas (ALVES, 2012).

Com o avanço tecnológico dos instrumentos de aquisição e processamento de dados espaciais, é possível representar e quantificar objetos e fenômenos da superfície terrestre auxiliando no seu mapeamento. Essas tecnologias voltadas ao meio ambiente representam uma importante ferramenta para pesquisadores de diversas áreas fornecendo informações para subsidiar processos de planejamento e tomada de decisões (AZEVEDO e BARBOSA, 2020).

Deste modo, os dados de Sensoriamento Remoto (SR) obtidos por satélites têm a capacidade de fornecer informações sobre propriedades da superfície da terra. Esta característica permite aprofundar a extração de informações sobre os diferentes alvos da superfície terrestre, como é o caso de estudos que envolvem a cobertura de vegetação, temperatura e precipitação pluviométrica (AZEVEDO e BARBOSA, 2020). De acordo com Ferreira Júnior e Dantas (2018), devido aos avanços tecnológicos, a utilização de satélites tornou-se uma ferramenta de extrema importância para estudos relacionados à configuração da superfície terrestre. Dentre os diversos estudos que o SR proporciona, podemos destacar análises espaço-temporais da vegetação detectando mudanças da cobertura do solo, sejam elas provenientes de ações antrópicas ou de alterações climáticas, por exemplo. Ponzoni e Shimabukuro (2010), afirmam que por meio da detecção remota é possível analisar a vegetação sobre áreas extensas utilizando Índices de Vegetação.

A vegetação pode servir como um bom indicador correspondente às mudanças nos fatores ambientais, climáticos e hidrológicos, como precipitação, temperatura, evapotranspiração (Et) e umidade do solo, por meio de vários índices de monitoramento. Vários estudos têm relacionado as variações espaciais e temporais da vegetação com diferentes fatores hidroclimáticos (WAGENER et al., 2007; SHARMA et al., 2018; YAO et al., 2019; KUMAR et al., 2020; DING et al., 2020; SRIVASTAVA et al., 2020). Nos últimos anos, as interações vegetação-clima ganharam muita atenção devido à rápida mudança climática global (SCHEFFER et al., 2005; QUILLET et al., 2010; HAMID et al., 2020).

O desenvolvimento do SR possibilita o monitoramento das mudanças da vegetação em larga escala nos últimos anos devido ao baixo custo e alta eficiência (PETTORELLI et al., 2005). Barbosa et al. (2019), afirmam que o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é um parâmetro, fornecido por SR, importante para o monitoramento da vegetação.

O NDVI é um indicador fundamental para monitorar o crescimento da vegetação de superfície e medir as alterações espaço-temporais do ecoambiente (WEN et al., 2017).

Além da cobertura vegetal, as tecnologias voltadas ao processamento de imagens de satélite têm sido úteis para monitorar a Temperatura da Superfície Terrestre - LST (Land Surface Temperature) (PIRES, 2015). O LST diz respeito ao fluxo de calor dado em função da energia que chega e sai do alvo, sendo uma variável importante para a compreensão das interações entre a atmosfera e a superfície terrestre (FERREIRA et al., 2017). Através do uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento é possível detectar mudanças nas respostas espectrais de alvos de superfície, assim como avaliar a temperatura nos mais diversos recursos naturais (água, solo, vegetação) a fim de executar um planejamento regional adequado (PEREIRA et al., 2015).

Além do NDVI e a LST, também é importante caracterizar a região de estudos mediante dados de precipitação pluviométrica, pois este é um dos fatores que causam modificações significativas tanto na cobertura vegetal quanto na temperatura da região (BECERRA et al., 2009).

A precipitação pluviométrica é uma variável que também pode ser estudada por detecção remota. As estimativas de precipitação baseadas em satélite são fontes alternativas de informações para regiões extensas em que os dados de precipitação convencional são escassos ou até mesmo ausentes (RAO et al., 2014; FUNK et al., 2015; PAREDES-TREJO et al., 2017).

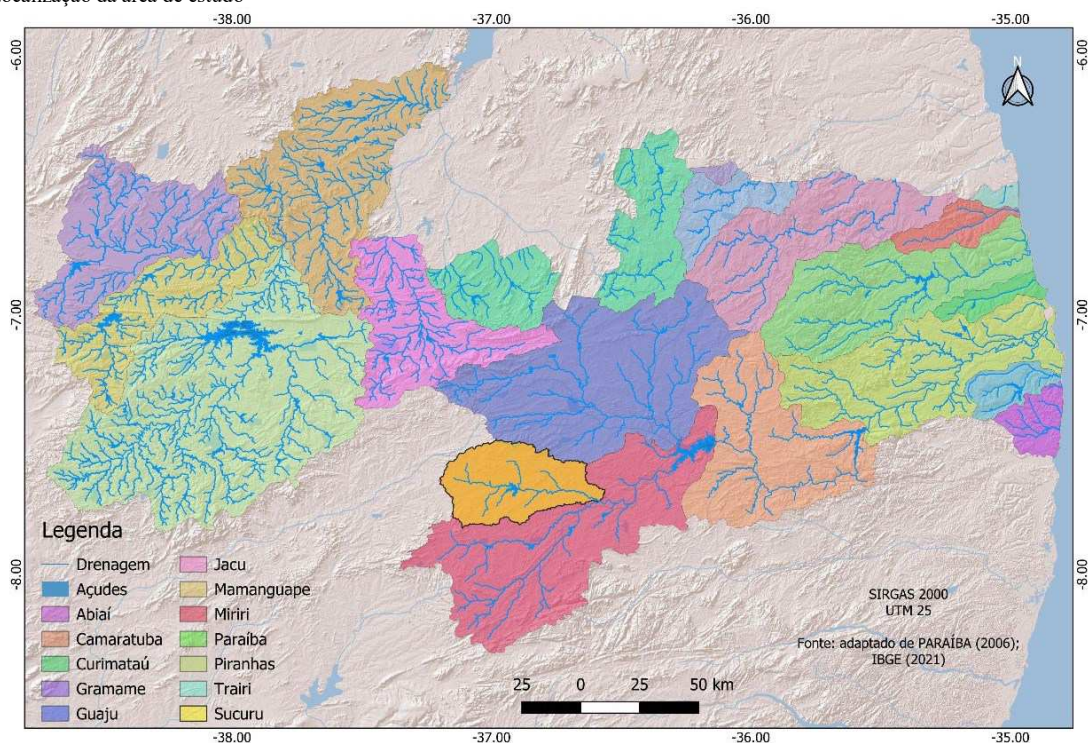
Para processar os dados utilizados nesta pesquisa foi utilizada a plataforma do Google Earth Engine (GEE) que é uma ferramenta inovadora de processamento digital de imagens, desenvolvida pela empresa Google (HOROWITZ, 2015). Esta ferramenta permite análises multitemporais e espaciais de uma forma rápida e eficiente por meio de linguagens de programação *JavaScript* e *Python* (GORELICK et al., 2017).

Sendo assim, este trabalho objetivou analisar a dinâmica do NDVI e da temperatura de superfície a partir das variações pluviométrica na Bacia Hidrográfica do rio Sucuru-PB, entre os anos de 2001 à 2019.

Material e Métodos

A Bacia Hidrográfica do rio Sucuru compreende uma parcela significativa da Bacia Hidrográfica do Alto rio Paraíba, na Mesorregião da Borborema e Microrregião Homogênea do Cariri Ocidental. A área da bacia é de 1.652,5 km², compreendendo total ou parcialmente os municípios de Amparo, Monteiro, Ouro Velho, Prata, Sumé, Serra Branca e Coxixola (Figura 1). Localiza-se entre as coordenadas geográficas de 7°28'00" e 7°50'00" Sul e 37°14'00" e 36°49'00" Oeste (SANTOS et al., 2020). A Bacia Hidrográfica do rio Sucuru está situada na região semiárida do Brasil, no ecossistema da Caatinga com inúmeras variações paisagísticas (SILVA, 2017).

Figura 1. Localização da área de estudo



Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006); IBGE (2009)

Conforme Diniz et al. (2020), a climatologia temporal da precipitação pluviométrica na região, compreende como o período chuvoso entre os meses de janeiro a maio, em contrapartida o período seco ocorre entre os meses de junho a dezembro, sendo setembro tido como o mês mais seco.

Para análise do NDVI foram utilizadas imagens do sensor MODIS (MODIS/061/MOD13Q1), de 16 dias com resolução espacial de 250 m e para a análise da LST foram utilizadas imagens do sensor MODIS (MODIS/006/MOD11A2), de 8 dias com resolução espacial de 1.000 m para os anos de 2001 à 2019, respectivamente, como base por ser uma fonte gratuita cujos produtos já constam na plataforma do GEE (MOREIRA, 2022).

Os dados meteorológicos foram obtidos da TerraClimate, um conjunto de dados importante desenvolvido por Abatzoglou et al. (2018), o TerraClimate é um conjunto de dados, com sua resolução de 4 km, que emerge como uma alternativa valiosa às medições de precipitação pluviométrica obtidas por meio de medidores tradicionais. Uma vez que, fornece a distribuição espacial de fatores climáticos pelo método de interpolação assistida pelo clima e água modelo de equilíbrio (PATEL et al., 2015; RAVANELLI et al., 2018).

O uso potencial de conjuntos de dados de alta resolução distribuídos espacialmente permitiu uma melhor análise da segurança hídrica na agricultura, água potável, serviços de ecossistema, enchentes e secas (CHAWLA et al., 2020). Visto que, atualmente, há poucos conjuntos de dados de precipitação pluviométrica de alta resolução espacial para o norte da América do Sul. Muitos desses conjuntos, como o Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), o Climate Prediction Center (CPC), o Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM-3B43), o

Merged Analysis of Precipitation (CMAP), o Climate Prediction Center morphing technique (CMORPH) e o CPC, oferecem resoluções espaciais que não ultrapassam 0,1° ou 8 km (URREA et al., 2016; SUN et al., 2018). Além disso, essas bases de dados podem contribuir significativamente para a análise de questões relacionadas à segurança hídrica em escalas que abrangem bacias hidrográficas, áreas rurais e urbanas (CEPEDA ARIAS e CAÑÓN BARRIGA, 2022).

O processamento na plataforma do GEE possibilitou a elaboração do código para obtenção dos valores de NDVI, LST e precipitação pluviométrica na área de estudo. Na análise do NDVI, LST e precipitação utilizou-se como referência o código adaptado por Moreira (2022), que para o NDVI, foram utilizados, primeiramente, os *layers* de indicadores de qualidade para mascarar os pixels de NDVI, mantendo apenas aqueles cujo índices de vegetação foram considerados gerados com boa qualidade. Então, foram filtrados os *rasters* para os dois períodos selecionados, os valores dos pixels foram divididos por 10.000 para corresponderem ao intervalo padrão de -1 a 1. Para a visualização da imagem, optou-se por utilizar a média dos pixels em cada ano, e, para complementar a investigação, foi calculada a média total de NDVI na área de estudo em cada período. Além disso, como foram mascarados os pixels de baixa qualidade, estes não interferiram no cálculo. A presença de nuvens, dessa forma, não afetaria o resultado. O índice NDVI (Equação 1) é sensível à clorofila e possui a seguinte formulação (ROUSE et al., 1973).

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad (Eq.1)$$

Em que: ρ_{IVP} é o valor da reflectância no infravermelho próximo (800-1100 nm) e ρ_V é a reflectância na faixa do vermelho (600-700 nm).

Semelhante ao procedimento realizado para a obtenção do NDVI, foram mascarados os pixels não considerados de boa qualidade, filtrados os períodos desejados e convertidos os valores de Kelvin para Grau Celsius (°C) levando em consideração o fator de escala informado. Para a visualização da imagem, foi calculada a média de cada pixel em cada período e, junto disso, a média de toda a região, bem como o valor máximo e mínimo observados em cada período (MOREIRA, 2022).

Similar ao realizado nos outros dois procedimentos, elaborou-se um código no qual foram determinados os períodos para a filtragem, calculada a média dos pixels e as estatísticas (desvio Padrão, média, valor máximo e mínimo anual) da área de estudo (MOREIRA, 2022). Para a obtenção dos valores de NDVI, LST e precipitação pluviométrica em cada ano utilizou média aritmética. Os *rasters* (dados matriciais) gerados (NDVI, LST e precipitação pluviométrica) na plataforma do GEE foram posteriormente exportados para o Microsoft Office Excel® 2013, para fins de elaboração dos gráficos (CAVALCANTE et al., 2020).

Para avaliar o procedimento, foi aplicado a correlação entre a média anual do NDVI e da precipitação pluviométrica e entre os dados do LST e da precipitação pluviométrica para o período 2001-2019, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson, o software R®, foi utilizado para essa etapa. O coeficiente de correlação de Pearson está em um intervalo de valores entre 0 e 0,3 ou 0 e -0,3 que indicam uma correlação positiva fraca ou negativa fraca. Os valores entre 0,3 e 0,7 ou -0,3 e -0,7 indicam uma dependência linear difusa moderadamente positiva ou negativa, enquanto os valores entre 0,7 e 1 ou -0,7 e -1 mostram uma forte dependência linear positiva ou negativa entre as variáveis (RATNER, 2009).

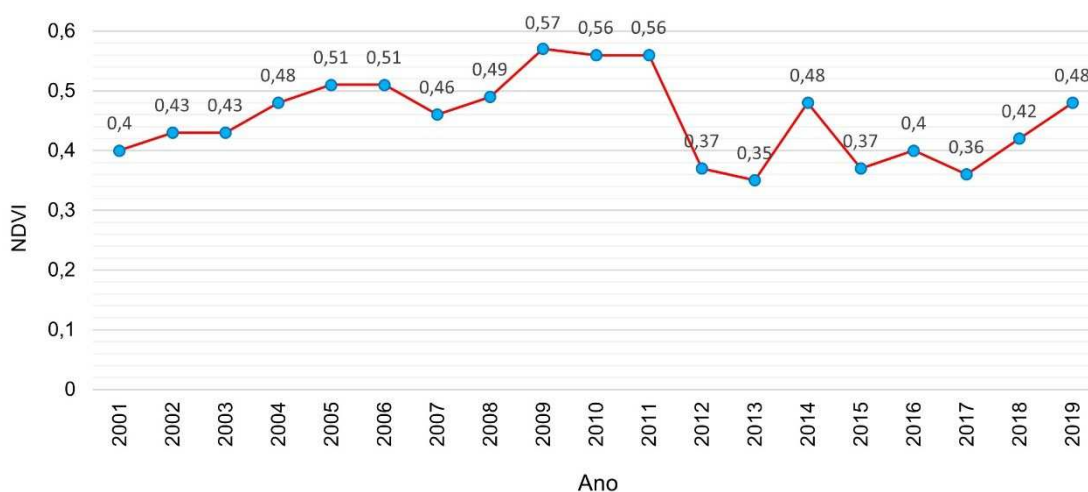
Resultados e Discussão

Na Figura 3 pode-se verificar a média anual dos valores de NDVI entre 2001 à 2019. Observa-se que a variação do NDVI durante o período oscila conforme a atividade vegetativa entre 2012 e 2017. O menor valor de NDVI apresenta-se em 2013, com 0,35, entretanto o maior valor é observado em 2009 de 0,57. Resultados similares foram encontrados por Bezerra (2018), onde ressalta um longo período de crescimento vegetativo em 2009, que coincidiu com eventos de forte La Niña nos anos de 2007-2008. Por outro lado, a quebra abrupta no crescimento da vegetação em 2012 não se mostra associada, de início, ao fenômeno de El Niño. Condição essa explanada nos estudos de Brito et al. (2021), no qual os autores utilizando dados do CHIRPS, apontaram que a intensificação da seca em 2012 estava relacionada ao Oceano Atlântico Norte anormalmente quente, o que favoreceu uma posição anormal ao norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), causando assim uma diminuição em chuvas.

Os valores de NDVI coincidem com o aumento da precipitação pluviométrica média anual da área de estudo, evidenciando uma rápida resposta do NDVI às chuvas. Bezerra (2018) salienta que, os altos valores de NDVI encontrados a partir dos períodos chuvosos indicam que as atuações de sistemas climáticos no Nordeste Brasileiro estão associadas ao aumento da variabilidade da vegetação, que é compreendida pela rápida resposta da vegetação de caatinga.

Cavalcante et al. (2020) relatam que, as diferenças de NDVI entre os períodos menos e mais chuvosos manifesta a relevância da disponibilidade de água como fator limitante da atividade fotossintética. Aquino et al. (2012) e Santos e Negri (1997), relatam a correlação do NDVI com variáveis climáticas tais como a precipitação pluviométrica e a temperatura da superfície terrestre. As oscilações entre as estações seca e úmida durante o ano e entre os diferentes anos, com condições de maior ou menor secura, influenciam de forma direta o comportamento fenológico das plantas. Confirmado pelos resultados obtidos no NDVI.

Figura 3. Série temporal da média anual de NDVI



Fonte: Adaptado de Google Earth Engine (2021)

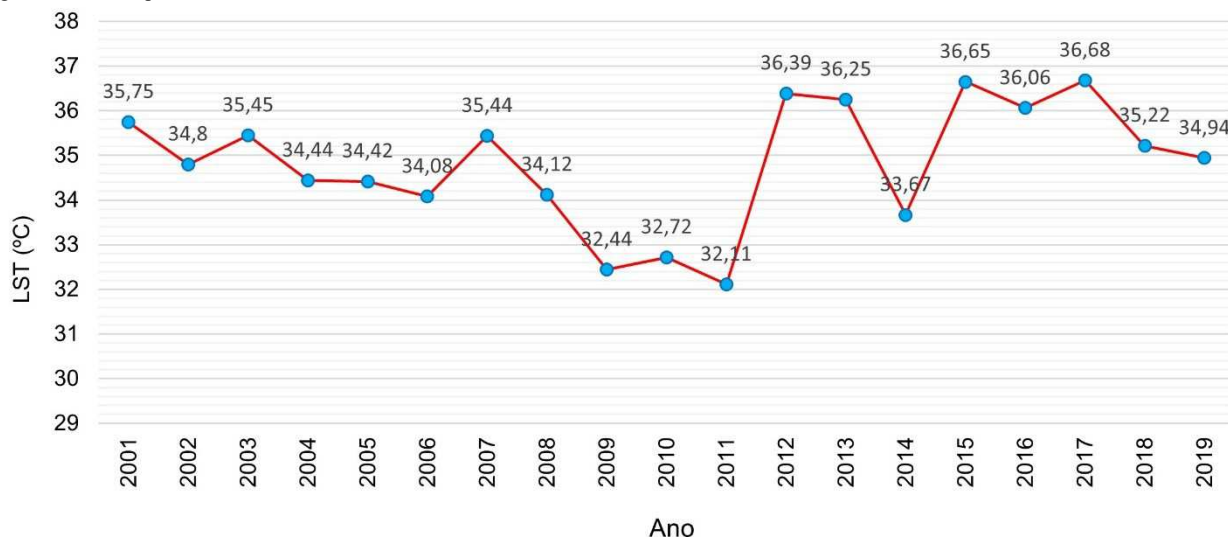
Os valores médios de LST ao longo dos anos (Figura 4), possuem valor mínimo e máximo de 32,11 e 36,68°C, respectivamente. O LST comporta-se de maneira semelhante aos outros parâmetros analisados neste trabalho. Esse comportamento é relacionado ao regime

pluviométrico, solo exposto, baixa vegetação e ação antrópica. Tais condições podem contribuir com o aumento de temperatura na região. Resultados esses enfatizados por Sousa et al. (2022), ao relatarem o crescimento das atividades florestais e pecuárias, na Bacia

Hidrográfica do rio Sucuru-PB. Aires et al. (2019), relatam que as alterações na camada vegetal da superfície terrestre na cidade de Pau dos Ferros-RN, são decorrentes dos impactos das ações antrópica, contribuindo para os baixos valores de NDVI, bem como para a elevação de LST. Ideião (2009), analisando parâmetros biofísicos na Bacia

Hidrográfica do rio Taperoá-PB, explana que a LST se destacou, pois possui uma ação determinante sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas, influenciando muitos processos físicos, químicos e biológicos, apresentando uma grande relevância no gerenciamento dos recursos naturais.

Figura 4. Série temporal da média anual de LST



Fonte: Adaptado de Google Earth Engine (2021)

Silva et al. (2023), avaliaram os padrões de mudança na temperatura de superfície terrestre (LST) nos principais domínios de vegetação do Brasil entre um período de 13 anos, observaram decréscimos de temperatura, para a âmbito Semiárido, entre os anos de 2004 à 2011. Os mesmos autores relatam que as variáveis biofísicas como LST e NDVI sofreram influência de padrões externos, como precipitação pluviométrica e déficit hídrico. Fernandes et al. (2015), relatam que desde o século XVII com os avanços da pecuária as Caatingas, vêm passando por processos de exploração quanto ao uso da terra. Estudos recentes mostraram que em áreas do semiárido do Brasil, há aumento na LST quando esses ambientes são convertidos em domínios antrópicos com baixa (ou nula) densidade de biomassa (MARONEZE et al., 2014; PEREIRA et al., 2016).

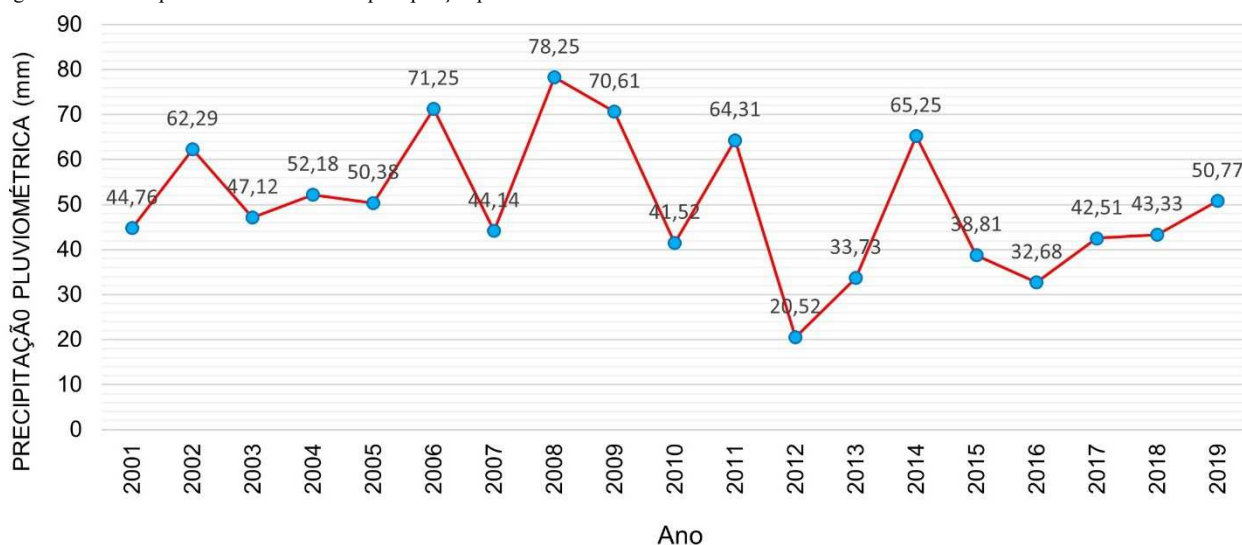
O período de 2009 à 2011 apresentam valores de LST mais baixos, evidenciando uma maior densidade vegetativa (Figura 3), como também altos valores de precipitação pluviométrica média anual (Figura 5). Em contrapartida, entre os anos de 2012 à 2017, nota-se uma oscilação na LST da região, onde encontra-se os valores

mais altos das séries temporais do LST. Souto et al. (2018) e Pires e Bueno (2015), relatam que, tanto a saúde da vegetação como a temperatura da superfície terrestre são altamente relacionadas com variabilidade da água para a região, ou seja, com a precipitação pluviométrica. Segundo Souto et al. (2018), fatores locais que podem influenciar no aumento na temperatura é a falta de cobertura vegetal, que influencia nas condições de tempo vigente através da absorção direta e reflexão da radiação solar incidente.

Na Figura 5 observa-se o gráfico das médias anuais de precipitação pluviométrica na bacia em estudo, demonstrando valores mínimos e máximos de 41,52 e 78,25 mm, respectivamente. Esse resultado confirma o entendimento do comportamento da vegetação e da temperatura na região.

Entre 2012 e 2017, as médias de NDVI são menores e os valores de LST maiores, vale ressaltar que, este apresenta-se um período de menores valores de precipitação pluviométrica em comparação aos outros períodos. O ano de 2009 proporciona as maiores reduções médias de NDVI e LST e os maiores valores médios anuais de precipitação nos 19 anos analisados.

Figura 5. Série temporal da média anual de precipitação pluviométrica



Fonte: Adaptado de Google Earth Engine (2021)

De acordo com Sampaio (2003) e Costa (2014), o fator de maior influência no comportamento da vegetação, principalmente em regiões semiáridas, é representado pela precipitação pluviométrica, uma vez que, exerce importante papel na distribuição das espécies, produção de biomassa, configuração do relevo e condições edáficas. Santos et al. (2019), ao estudarem a precipitação pluviométrica média anual no Estado da Paraíba de 1998 à 2015 usando dados da Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e aplicando o teste de Mann-Kendall, observaram que o ano de 2012 foi o mais seco, com um valor médio de aproximadamente 400mm em toda a área de estudo. Os autores salientam ainda que, a seca ocorre com frequência no Estado da Paraíba, ocasionando em grandes perdas agrícolas e socioeconômicas (SANTOS et al., 2019).

Segundo Bezerra (2018), a variação de anos chuvosos e secos no Nordeste Brasileiro são influenciados por sistemas atmosféricos dos oceanos Pacífico e Atlântico. Dentre os mecanismos responsáveis pela seca

nessa região, destacam-se o El Niño e o fenômeno tropical anormalmente quente do Atlântico Norte, isoladamente ou em combinação (MARENGO et al., 2014; RODRIGUES e McPHADEN, 2014; NOBRE et al., 2016; CUNHA et al., 2019).

Na Tabela 1, têm-se os parâmetros estatísticos dos índices biofísicos onde observa-se os valores mínimos e máximos encontrados para o NDVI onde variam entre 0,23832 e 0,27482; 0,58148 e 0,64039; respectivamente, e com médias 0,39981 e 0,48763, para os anos de 2001 e 2019, respectivamente. Santos (2015) frisa que, esta flutuação pode ser decorrente do baixo índice pluviométrico anual da região, aliado ao regime irregular de chuvas e evaporação elevada, agravado pela falta de vegetação ciliar.

Na Tabela 2 pode-se observar os resultados da análise de correlação linear de Pearson, entre a média anual do NDVI x precipitação pluviométrica e LST x precipitação pluviométrica para o período 2001-2019.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos

Ano	NDVI			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
2001	0,23832	0,58148	0,39981	0,06177
2019	0,27482	0,64039	0,48763	0,06415
LST (°C)				
2001	32,02312	39,8225	35,79324	1,45359
2019	31,00411	38,4184	34,70850	1,30030
Precipitação pluviométrica (mm)				
2001	30	55,25	44,73949	5,86721
2019	35	59	50,76034	5,93949

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson para série temporal da média anual entre o período 2001-2019

Correlação	r
NDVI x precipitação pluviométrica	0,67
LST x precipitação pluviométrica	-0,69

Analisando a Tabela 2, é possível observar uma correlação positiva entre o NDVI e a precipitação pluviométrica ($r = 0,67$), o que é próximo de 1 e sugere uma correlação moderada. Esses resultados estão em consonância com as descobertas de Lou et al. (2021), que também identificaram uma correlação moderada e positiva (coeficiente de correlação de 0,56) entre o NDVI e a precipitação pluviométrica enquanto investigavam as variações espaço-temporais na dinâmica da vegetação e suas respostas à precipitação na Bacia de Qaidam, China.

Os resultados, obtidos por meio do coeficiente de correlação de Pearson, indicam uma relação inversamente significativa entre o valor da temperatura da superfície terrestre (LST) e a precipitação pluviométrica ($r = -0,69$).

Isso implica que a LST tende a ser mais alta em áreas onde a precipitação pluviométrica é mais baixa, o que está de acordo com a descoberta de Rafiei Sardooi et al. (2021), ao monitorar a ocorrência de secas em áreas semiáridas do Irã usando dados MODIS.

Conclusão

Com o uso da plataforma do Google Earth Engine (GEE), foi possível realizar os processamentos de forma rápida e satisfatória, considerando todas as etapas e procedimentos requeridos, possibilitando o processamento de imagens dos sensores MODIS e TerraClimate.

Os resultados evidenciaram a influência da precipitação pluviométrica no NDVI e LST, destacando uma correlação positiva significativa entre NDVI e precipitação pluviométrica ($r = 0,67$), o que indica um crescimento proporcional. Além disso, foi observada uma relação inversamente significativa entre o valor da LST e a precipitação pluviométrica ($r = -0,69$), ambas correlações moderadas. Isso realça a forte associação entre a dinâmica da vegetação e a temperatura da superfície terrestre com os padrões de precipitação pluviométrica.

Referências Bibliográficas

- ABATZOGLOU, J. T.; DOBROWSKI, S. Z.; PARKS, S. A.; HEGEWISCH, K. C. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Scientific Data*, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2018.
- AIRES, A. A.; BEZERRA, J. M. Mapeamento do índice de vegetação e temperatura de superfície da cidade de Pau dos Ferros-RN. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 17, n. 48, p. 113-131, 2021.
- ALVES, T. L. B. **Caracterização física e socioambiental da microbacia hidrográfica do Riacho Namorado no município de São João do Cariri-PB**. 110f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Centro de Tecnologias e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2012.
- AQUINO, C. M. S. D.; OLIVEIRA, J. G. B. D.; ALMEIDA, J. A. P. D. Análise da desertificação do núcleo de São Raimundo Nonato-Piauí. Análise da desertificação do núcleo de São Raimundo Nonato-Piauí. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 1, n. 64, p. 287-299, 2012.
- AZEVEDO, L. S.; BARBOSA, L. C. Estudo do índice de vegetação e temperatura da superfície terrestre na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu (PA) utilizando o Google Earth Engine. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 6, n. 2, p. 244-256, 2020.
- BARBOSA, L. C.; BORGES, K.; FERREIRA, W. D. S.; TORRES, M. V. E.; SILVA, A. A. T. Variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo por índices de vegetação e água no município de Santana do Araguaia – PA. In: **Congresso Araguaense de Ciências Exatas, Tecnológica e Social Aplicada**, 1, 2019, Pará. Anais... Pará, 2019.
- BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 2, p. 125-134, 2009.
- BEZERRA, D. X. **Variabilidade espaço-temporal do NDVI gerado a partir do satélite TERRA/MODIS sobre o Nordeste brasileiro**. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Ambientais). Instituto de Ciências do Mar. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.
- BRITO, C. S.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; NETO, R. M. B.; COELHO, V. H. R. Monitoring meteorological drought in a semiarid region using two long-term satellite-estimated rainfall datasets: A case study of the Piranhas River basin, northeastern Brazil. *Atmospheric Research*, v. 250, n. 1, e105380, 2021.
- CAVALCANTE, J. C.; ALMEIDA, C. A.; CASTELO, T. B. Análise de NDVI e temperatura da superfície terrestre utilizando a plataforma do Google Earth Engine em área de savana amazônica e floresta secundária, no município de Vigia-PA. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 6, n. 1, p. 64-70, 2020.
- CHAWLA, I.; KARTHIKEYAN, L.; MISHRA, A. K. A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes. *Journal of Hydrology*, v. 585, n. 1, e124826, 2020.
- CEPEDA ARIAS, E.; CAÑON BARRIGA, J. Performance of high-resolution precipitation datasets CHIRPS and TerraClimate in a Colombian high Andean Basin. *Geocarto International*, v. 37, n. 27, p. 17382-17402, 2022.
- COSTA, A. L. **Determinação de parâmetros biofísicos na região de Araripina-Pernambuco com técnicas de sensoriamento remoto**. 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2014.
- CUNHA, A. P. M.; ZERI, M.; DEUSDARÁ LEAL, K.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; CAL GARCIA, J. V.; BROEDEL, E.; ALVALÁ, R.; RIBEIRO-NETO, G. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, v. 10, n. 11, e642, 2019.
- DING, Y.; XU, J.; WANG, X.; PENG, X.; CAI, H. Spatial and temporal effects of drought on Chinese vegetation under different coverage levels. *Science of the Total Environment*, v. 716, n. 1, e137166, 2020.
- DINIZ, R. R. S.; ALENCAR, M. L. S.; MEDEIROS, S. A.; GUERRA, H. O. C.; SALES, J. C. R. Índice de anomalia de chuvas da Microrregião do Cariri Ocidental Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 6, p. 2628-2640, 2020.
- FERNANDES, M. R. D. M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q. D.; FERNANDES, M. M. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 4, p. 472-482, 2015.
- FERREIRA JÚNIOR, J. J.; DANTAS, M. J. F. Análise do albedo da superfície e de índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Pacoti/CE. *Revista Tecnologia*, v. 39, n. 2, p. 1-18, 2018.
- FERREIRA, B.; ZIMMERMANN, D. M.; CRISPIM, L. C.; FLASH, M. F.; VIEIRA, C. A. O. Análise sazonal das temperaturas superficiais do estado de Santa Catarina entre os anos de 2000 e 2010. In: **Congresso Brasileiro de Cartografia e Expositiva**, 27 e 26, 2015, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2017.

- FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAN, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, n. 1, p. 1-21, 2015.
- GOOGLE EARTH ENGINE (GEE). **A planetary-scale platform for Earth science data & analysis**. 2021. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/>>. Acesso em: 27 de janeiro de 2023.
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, n. 1, p. 18-27, 2017.
- HAMID, M.; KHUROO, A. A.; MALIK, A. H.; AHMAD, R.; SINGH, C. P.; DOLEZAL, J.; HAQ, S. M. Early evidence of shifts in alpine summit vegetation: a case study from Kashmir Himalaya. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 1, e421, 2020.
- HOROWITZ, F. G. MODIS daily land surface temperature estimates in Google Earth Engine as an aid in geothermal energy siting. In: **World Geothermal Congress**, 2015, Melbourne. Anais...Melbourne, 2015.
- IDEIÃO, S. M. A. **Imagens Multiespectrais e Aplicações em Recursos Hídricos: Temperatura da Superfície e Balanços de Radiação e Energia**. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.
- KUMAR, U.; SAHOO, B.; CHATTERJEE, C.; RAGHUWANSHI, N. S. Evaluation of simplified surface energy balance index (S-SEBI) method for estimating actual evapotranspiration in Kangsabati reservoir command using LANDSAT 8 imagery. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 48, n. 1, p. 1421-1432, 2020.
- LOU, J.; XU, G.; WANG, Z.; YANG, Z.; NI, S. Multi-year NDVI values as indicator of the relationship between spatiotemporal vegetation dynamics and environmental factors in the Qaidam Basin, China. **Remote Sensing**, v. 13, n. 7, e1240, 2021.
- MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C.; RONCHAIL, J.; ALVES, L. M. Tropical South America east of the Andes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 97, n. 8, e185, 2016.
- MARONEZE, M. M.; ZEPKA, L. Q.; VIEIRA, J. G.; QUEIROZ, M. I.; JACOB-LOPES, E. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 3, p. 445-458, 2014.
- MOREIRA, N. L. W. **A relação entre a expansão agrícola e os índices biofísicos: uma análise por meio do Google Earth Engine na Bacia Hidrográfica do Alto Parnaíba**. 93f. Trabalho Conclusão do Curso (Graduação em Geografia). Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2022.
- NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, L. A.; ALVES, L. M. Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, n. 2, p. 252-262, 2016.
- PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. L. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 139, n. 1, p. 26-40, 2017.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. **PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas**. Brasília, DF, 2006. 112p.
- PATEL, N. N.; ANGIULI, E.; GAMBA, P.; GAUGHAN, A.; LISINI, G.; STEVENS, F. R.; TATEM, A. J.; TRIANNI, G. Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 35, n. 1, p. 199-208, 2015.
- PEREIRA, C. C. C.; MARIANO, Z. F.; CABRAL, J. B. P. Avaliação da temperatura de superfície continental (TSC) e o uso da terra na bacia da usina hidrelétrica de barra dos coqueiros (GO), por meio do sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, n. 1, p. 92-107, 2016.
- PEREIRA, J. D. S.; DIAS, C.; FRANÇA, L.; LINS, T.; SANTOS, M.; GALVÍNCIO, J. Estudo da alteração da vegetação a partir do NDVI e do albedo de superfície na Bacia do Rio Garça - PE. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 17, 2015, João Pessoa. Anais... João Pessoa, 2015.
- PETTORELLI, N.; VIK, J. O.; MYSTERUD, A.; GAILLARD, J. M.; TUCKER, C. J.; STENSETH, N. C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 9, p. 503-510, 2005.
- PIRES, E. G. Análise da temperatura de superfície do estado do Tocantins a partir do uso de geotecnologias. **Revista Interface**, v. 1, n. 10, p. 133-144, 2015.
- PIRES, G. F.; BUENO, F. P. Unidades de Conservação Brasileira: Desafios da gestão. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 1, p. 146-151, 2015.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Ed. Parêntese, 2010. 135p.
- QUILLET, A.; PENG, C.; GARNEAU, M. Toward dynamic global vegetation models for simulating vegetation-climate interactions and feedbacks: recent developments, limitations, and future challenges. **Environmental Reviews**, v. 18, n. 1, p. 333-353, 2010.
- RAO, K. K.; PATWARDHAN, S. K.; KULKARNI, A.; KAMALA, K.; SABADE, S. S.; KUMAR, K. K. Projected changes in mean and extreme precipitation indices over India using PRECIS. **Global and Planetary Change**, v. 113, n. 1, p. 77-90, 2014.
- RAFIEI SARDOOI, E.; AZAREH, A.; ESKANDARI DAMANEH, H.; SKANDARI DAMANEH, H. Drought Monitoring Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index Products in Semi-Arid Areas of Iran. **Journal of Rangeland Science**, v. 11, n. 4, p. 402-418, 2021.
- RATNER, B. The correlation coefficient: Its values range between+ 1/- 1, or do they? **Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing**, v. 17, n. 2, p. 139-142, 2009.
- RAVANELLI, R.; NASCETTI, A.; CIRIGLIANO, R. V.; DI RICO, C.; LEUZZI, G.; MONTI, P.; CRESPI, M. Monitoring the impact of land cover change on surface urban heat island through Google Earth Engine: Proposal of a global methodology, first applications and problems. **Remote Sensing**, v. 10, n. 9, e1488, 2018.
- RODRIGUES, R. R.; McPHADEN, M. J. Why did the 2011-2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast? **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 3, p. 1012-1018, 2014.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: **ERTS-1 Symposium**, 1973, United States. Anais...NASA, United States, 1973.
- SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, p.129-142, 2003.
- SANTOS, E. I. **Uso de geotecnologias no estudo dos recursos naturais da bacia do rio sucuru, sub-bacia do rio Paraíba**. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia). Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido. Universidade Federal de Campina Grande. Sumé, 2015.
- SANTOS, C. A. G.; BRASIL NETO, R. M.; SILVA, R. M.; SANTOS, D. C. Innovative approach for geospatial drought severity classification: a case study of Paraíba state, Brazil. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 33, n. 2, p. 545-562, 2019.

SOUSA, J. H. S.; MOREIRA, A. R.; NASCIMENTO, A. A.; RIBEIRO, G. N.; OLIVEIRA NETO, J. N.; PRADO JÚNIOR, L. S. do. Assessment of land use and cover in the Sucuru Watershed using Google Earth Engine. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 4, p. 235–241, 2022.

SANTOS, E. I.; ALENCAR, M. L. S.; SCHRAMM, V. B.; SANTOS, J. S.; NASCIMENTO, M. T. C. C. Uso de Geotecnologias no estudo da degradação das terras da bacia do Rio Sucuru, na Paraíba. **Ciência e Natura**, v. 42, n. 57, e15, 2020.

SANTOS, P.; NEGRI, A. J. A comparison of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and Northeastern Brazil. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 36, n. 7, p. 958-965, 1997.

SCHEFFER, M.; HOLMGREN, M.; BROVKIN, V.; CLAUSSEN, M. Synergy between small-and large-scale feedbacks of vegetation on the water cycle. **Global Change Biology**, v. 11, n. 7, p. 1003-1012, 2005.

SHARMA, A.; WASKO, C.; LETTENMAIER, D. P. If precipitation extremes are increasing, why aren't floods? **Water Resources Research**, v. 54, n. 11, p. 8545-8551, 2018.

SILVA, J. N. C. **Análise temporal de índices de vegetação no apoio à classificação de imagens: cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sucuru**. 109f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2017.

SILVA, L. A. P.; ROCHA, A. M.; SOUZA, C. M. P.; LEITE, M. E. Análise da temperatura de superfície terrestre e variáveis biofísicas em domínios de vegetação do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 43, n. 1, e181068, 2023.

SOUTO, J. I. O.; TRINDADE, A. R.; TAVARES, P. A.; BELTRÃO, F. E. S.; OLIVEIRA, R. Impactos antrópicos condicionantes na variação da temperatura do ar: um estudo de caso na APA Triunfo do Xingu, Pará (2005-2015). In: **Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia**, 7, 2018, Belém. Anais... Belém, 2018.

SRIVASTAVA, A.; DEB, P.; KUMARI, N. Multi-model approach to assess the dynamics of hydrologic components in a tropical ecosystem. **Water Resources Management**, v. 34, n. 1, p. 327-341, 2020.

SUN, Q.; MIAO, C.; DUAN, Q.; ASHOURI, H.; SOROOSHIAN, S.; HSU, K. L. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. **Reviews of Geophysics**, v. 56, n. 1, p. 79-107, 2018.

URREA, V.; OCHOA, A.; MESA, O. Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS para Colombia a escala diaria, mensual y anual en el periodo 1981-2014. In: **Congreso Latinoamericano de Hidráulica**, 28-30, 2016, Lima. Anais... Lima, 2016.

WAGENER, T.; SIVAPALAN, M.; TROCH, P.; WOODS, R. Catchment classification and hydrologic similarity. **Geography Compass**, v. 1, n. 4, p. 901-931, 2007.

WEN, Z.; WU, S.; CHEN, J.; LÜ, M. NDVI indicated long-term interannual changes in vegetation activities and their responses to climatic and anthropogenic factors in the Three Gorges Reservoir Region, China. **Science of the Total Environment**, v. 574, n. 1, p. 947-959, 2017.

YAO, J.; HU, W.; CHEN, Y.; HUO, W.; ZHAO, Y.; MAO, W.; YANG, Q. Hydro-climatic changes and their impacts on vegetation in Xinjiang, Central Asia. **Science of the Total Environment**, v. 660, n. 1, p. 724-732, 2019.