

XVI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
15º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES
DE LÍNGUA PORTUGUESA

**ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE OS
PROCESSOS HIDROLÓGICOS NA BACIA DO RIO TAPEROÁ – PB**

*Antônio Edmilson de Alcântara Dantas¹ ; Felipe Daniel de Oliveira Santos² & Carolyne Wanessa
Lins de Andrade Farias³*

RESUMO – As mudanças climáticas afetam diretamente a segurança hídrica global. O presente trabalho objetiva avaliar os impactos das mudanças climáticas futuras sobre os processos hidrológicos na bacia hidrográfica do Rio Taperoá, a partir de cenários hipotéticos considerando as projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), utilizando o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), e realizar a classificação climática da região. Para a simulação hidrológica, foram utilizados o modelo SWAT acoplado ao software QGIS, e para a classificação climática região, foi utilizado Índice de Aridez proposto pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA/UNEP). Foram observados um comportamento de decréscimo da vazão ao longo dos anos, intensificando desde a condição atual até os cenários RCPs (4.5 e 8.5). Sob cenários de mudanças climáticas, o tipo de clima da região passou de semiárido para árido, segundo o índice de aridez. Ferramentas como o modelo SWAT, associadas com softwares SIG (Sistemas de Informações Geográficas) são essenciais para a compreensão da dinâmica hídrica de uma bacia, e podem auxiliar o planejamento de gestores, e diminuir os impactos das alterações do clima a longo prazo, garantindo a segurança hídrica e qualidade de vida das populações da região.

Palavras-Chave – Modelagem hidrológica, SWAT, cenários RCPs

ABSTRACT– Climate change directly affects global water security. The present work aims to evaluate the impacts of future climate change on hydrological processes in the Taperoá River basin, based on hypothetical scenarios considering the projections of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), using the *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) model, and perform the climate classification of the region. For the hydrological simulation, the SWAT model coupled to the

¹) Graduando em Engenharia Ambiental, UFPB, Campus – João Pessoa, (83)99629-9674, antonio.alcantara@academico.ufpb.br

²) Graduando em Engenharia Ambiental, UFPB, Campus – João Pessoa, (84)9 9865-7567, felipedanielos99@gmail.com

³) Prof.^a. Dra. do Departamento de Geociências, UFPB, Campus – João pessoa, (81)99503-5242, carolynelins.ufpb@gmail.com

QGIS software was used, and for the climatic classification of the region, the Aridity Index proposed by the United Nations Environment Program (PNUMA/UNEP) was used. A decrease in streamflow behavior was observed over the years, intensifying from the current condition to the RCPs scenarios (4.5 and 8.5). Under climate change scenarios, the type of climate in the region changed from semiarid to arid, according to the aridity index. Tools such as the SWAT model, associated with GIS software (Geographic Information Systems) are essential for understanding the water dynamics of a basin, and can assist managers in planning, and reduce the impacts of climate change in the long term, ensuring the water security and quality of life for the region's populations.

Keywords – Hydrological modeling, SWAT, RCPs scenarios

1 – INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, as mudanças climáticas e seus impactos vêm sendo discutidos e documentados, não apenas no ramo científico, mas também nos variados âmbitos que compõe a sociedade, devido ao alto grau de alterações que estas mudanças poderão ocasionar no meio físico e biológico, atingindo os recursos hídricos, a produção agrícola, a biodiversidade, as zonas costeiras, a saúde humana, impactando diretamente o desenvolvimento da sociedade (Macana e Comim, 2014). As mudanças climáticas, afetam diretamente a segurança hídrica global; projeta-se que até 2050, de 0,5 a 3,9 bilhões de pessoas estarão expostas a escassez de água devido às mudanças climáticas, seja em ambiente rural ou urbano (Singh et al., 2020).

O principal órgão internacional avaliador das mudanças climáticas e detentor de pesquisas em escala global, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), atenta desde os seus primeiros relatórios para as alterações futuras na temperatura e precipitação (IPCC, 2007), e dos seus impactos diretos, como o aumento de eventos extremos, como secas prolongadas, tempestades e intensificação dos alagamentos (Garcia, 2021). O sexto relatório de avaliação do IPCC (AR6), aponta mudanças drásticas em diferentes graus ligadas as alterações dos dados de temperatura e precipitação nas regiões continentais, como Ásia, América, África e outras (IPCC, 2022), além de mudanças observadas na evapotranspiração e umidade do solo. O mesmo documento ainda afirma que regiões como a América do Sul vivenciarão um forte decréscimo da precipitação.

A região do Nordeste da América do Sul apontou iminência de perigos associados a aumentos significativos na intensidade e frequência de eventos extremos quentes, diminuição significativa na intensidade e frequência de eventos extremos frios (Donat et al., 2013); aumento da severidade da seca devido à combinação de temperaturas mais altas, menos chuvas e umidade atmosférica mais baixa, criando assim maiores déficits hídricos, projetados para toda a região após

2041 (com redução de 3–4 mm por dia), particularmente no semiárido brasileiro (Marengo e Bernasconi, 2015; Marengo et al., 2017).

O semiárido no Brasil, correspondente a região Nordeste, possui um déficit hídrico característico, devido as próprias irregularidades e má distribuições pluviométricas, altas taxas de evapotranspiração, que geram dificuldades no gerenciamento dos recursos hídricos para os mais diversos fins, assim, consequentemente, afetando diretamente a vida e o bem estar social das populações ali inseridas (Montenegro e Ragab, 2010; Lins et al., 2021). As previsões de mudanças climáticas para essa região não são otimistas, com projeções de aumento de temperatura de 0.6 a 2 °C e redução na precipitação em média de 15% (cenário intermediário - RCP4.5); e aumento de temperatura em 2.2°C a 7 °C e redução na precipitação de até 30% (cenário pessimista - RCP8.5) (IPCC, 2014).

A utilização de modelos que encontrem resultados-base importantes para os tomadores de decisão, é imprescindível diante das alarmantes constatações e perspectivas futuras, frente as mudanças climáticas. Dentro os diversos modelos disponíveis atualmente para analisar os impactos das mudanças do clima sobre os recursos hídricos tem-se o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) um modelo de análise espaço-temporal contínua, a nível de bacia hidrográfica, que foi desenvolvido para avaliar os impactos das mudanças do uso do solo sobre a quantidade de água, qualidade e produção de sedimentos (Arnold et al., 2012), e dispõe de uma gama de ferramentas permitindo análises sobre as mudanças climáticas, considerando alterações nos dados de precipitação e temperatura.

Dentro deste contexto, o presente trabalho objetiva avaliar os impactos das mudanças climáticas futuras sobre os processos hidrológicos na bacia hidrográfica do Rio Taperoá, região semiárida do Nordeste brasileiro, a partir de cenários hipotéticos extremos, considerando as projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), utilizando o modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), e além disso, realizar a classificação climática da região pelo Índice de Aridez proposto pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA/UNEP, 1997).

2 – MATERIAL E MÉTODOS

O Semiárido do Nordeste refere-se a uma região que ocupa cerca 12% do território nacional (1,03 milhão de km²) e abrange 1.262 municípios brasileiros, considerando a delimitação atual divulgada em 2017 (Resolução 115, de 23 de novembro de 2017, da Sudene). A área escolhida para a análise está inserida no Semiárido, a bacia do Rio Taperoá – PB, pertencente ao alto e médio curso

da Bacia do Rio Paraíba, sendo está a maior bacia do estado, com mais de 32% da área territorial (Xavier et al., 2012).

A bacia do Rio Taperoá possui 26 municípios, segundo dados do IBGE. A bacia possui precipitação média anual que varia de 400 a 600 mm, com estação seca de 8 a 10 meses, e segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo semiárido quente (Francilaine, et al. 2017) (Figura 1).

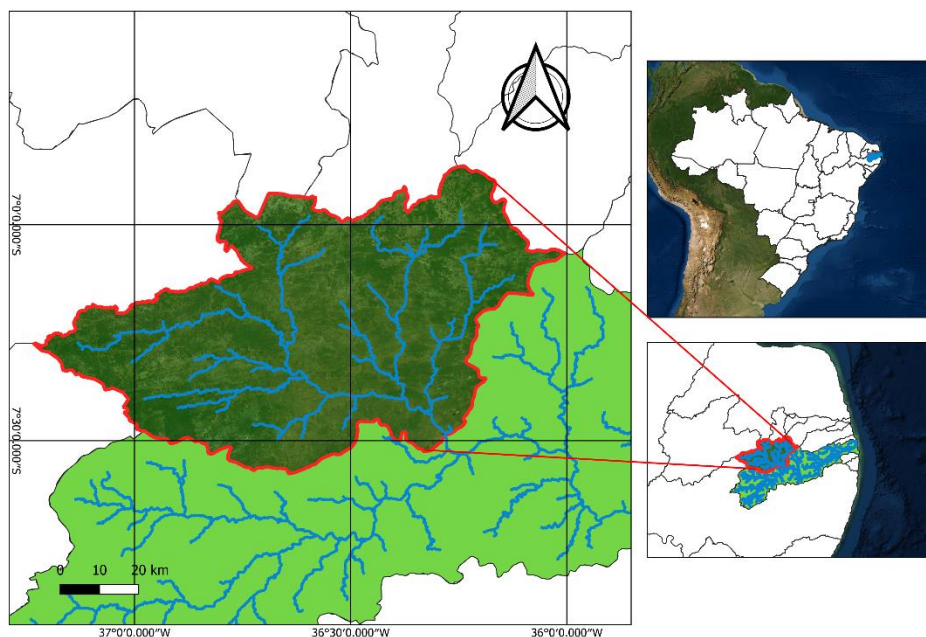


Figura 1 – Localização da área de estudo

Para a simulação hidrológica, foram utilizados o modelo SWAT acoplado ao software QSWAT3 v. 1.5.2, sendo a metodologia iniciada com a delimitação da sub bacia hidrográfica, usando o Modelo Digital de Elevação (DEM), obtidos pela plataforma de dados do SRTM (30 metros), providos da Empresa Brasileira de Pesquisas e Agropecuária (EMBRAPA).

Em seguida foram inseridos os dados de uso do solo da bacia do Rio Taperoá, referente ao ano de 2020, obtidos pela plataforma do MAPBIOMAS, e dados de tipos do solo obtidos pela EMBRAPA, para o desenvolvimento das Unidades de Resposta Hidrológica (Hydrological Response Unit – HRU), que representa a menor unidade espacial do modelo, agrupa todos os usos de terra, solos e declives semelhantes dentro de uma sub-bacia, conectados por meio da rede de drenagem (Chagas et al., 2022; Kalcic et al., 2015; Arnold, et al., 2012). Foi escolhido para a região um limite alvo de 300 HRUs, a fim de otimizar o tempo de processamento do modelo.

Foram utilizadas informações climáticas diárias da bacia, as quais são representadas pela precipitação, temperaturas máxima e mínima, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento, sendo tomados como referência os dados da estação climática presente na cidade de Campina Grande

– PB, nas proximidades da área de estudo, os quais são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados de precipitação incluíram, além da cidade de Campina Grande, pluviômetros presentes nas cidades de Coxixola, Gurjão, Santo André, São Jose dos Cordeiros e Taperoá, obtidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA).

Os dados em total, somaram um período de 18 anos, iniciando em 1 de janeiro de 2000, e finalizando em 31 de dezembro de 2018, sendo o resultado do processamento obtido em passo de tempo anual; a versão do executável do SWAT, foi para o sistema de 64bits, e o número de anos utilizados para o NYSKIP foi seguido a recomendação de 3 anos (Mueller-Warrant et al., 2019).

Para a análise dos impactos das mudanças climáticas sobre os processos hidrológicos da bacia, foram considerados a condição atual na região (*baseline*); e dois cenários de mudanças do clima, sendo o último, a condição extrema para a região, considerando as vias de concentração representativas postuladas pelo IPCC (RCP 4.5 e RCP8.5). No cenário RCP4.5, a temperatura foi aumentada em 2°C, e a precipitação foi reduzida em 15%, e para o cenário RCP8.5, foram atribuídos um aumento de 7°C na temperatura, e uma redução de 30% na precipitação (condição extrema). Após isso, utilizando os dados de precipitação (PREC) e evapotranspiração potencial (PET), foi possível calcular e classificar o Índice de Aridez (AI) por meio da Equação 1. A classificação climática segundo o índice de aridez é apresentada na Tabela 1 (PNUMA/UNEP, 1997).

$$AI = \frac{PREC}{PET} \quad (1)$$

Tabela 1 – Classificação climática de acordo com o índice de aridez (PNUMA/UNEP, 1997)

Tipo de clima	Índice de Aridez (AI)
Hiper árido	AI < 0,03
Árido	0,03 < AI < 0,2
Semiárido	0,2 < AI < 0,5
Sub-úmido seco	0,5 < AI < 0,65
Sub-úmido	0,65 < AI < 1,0
Úmido	AI > 1,0

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo SWAT gerou a partir da rede de drenagem, 33 sub bacias, sendo o exultório correspondente a sub bacia número 1. A Figura 2 apresenta os dados médios de precipitação anual, evapotranspiração potencial, e a vazão, considerando a condição atual da bacia do Rio Taperoá (*baseline*).

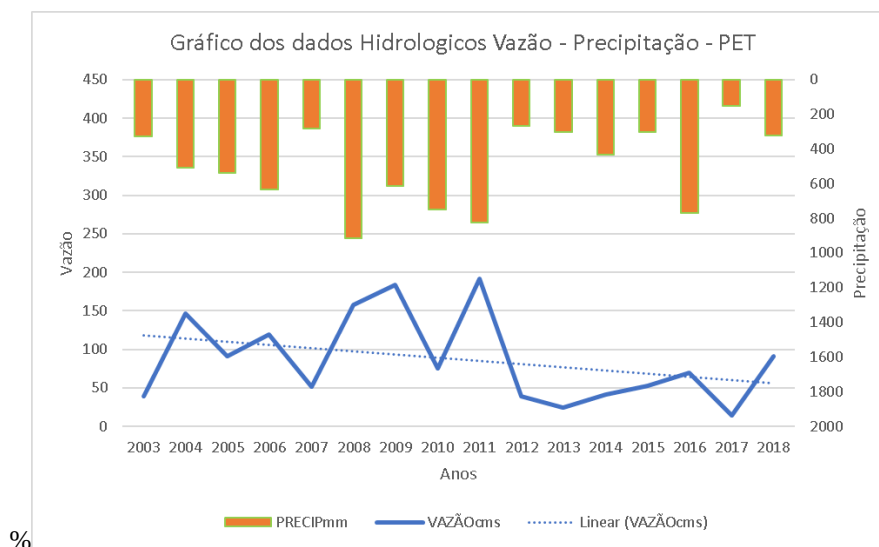


Figura 2 - Gráfico de vazão, precipitação e evapotranspiração

É possível verificar que o gráfico apresentou resultados satisfatórios para a bacia, mostrando o comportamento natural destes dados essenciais, com um aumento da vazão nos mesmos picos de aumento das precipitações. Também é possível observar um comportamento de decrescimento da vazão ao longo dos anos, por meio da linha de tendência, muito provavelmente ligado aos problemas de escassez hídrica da região (Marengo et al., 2017; Chagas et al., 2022).

Com os dados anuais de precipitação e evapotranspiração potencial, foi obtido para a bacia do Rio Taperoá um índice de aridez (AI) de 0,44, ao qual de acordo com PNUMA/UNEP (1997) corresponde ao clima semiárido, corroborando com estudos na literatura (Marengo et al., 2020; SUDENE, 2017).

A Figura 3 apresenta os processos hidrológicos sob condições climáticas atuais (*baseline*) da bacia do Rio Taperoá, simulados pelo modelo SWAT.

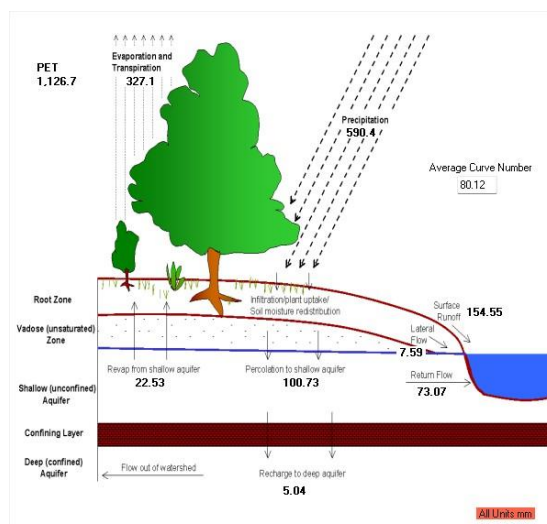


Figura 3 – Processos hidrológicos simulados pelo modelo SWAT sob condições climáticas atuais (*baseline*)

Após a modelagem com as condições climáticas atuais da bacia, foram gerados os resultados para os cenários RCP4.5 e RCP8.5. A Figura 4 apresenta os gráficos chuva-vazão, em ambos os cenários. É possível verificar a expressiva diminuição na vazão desta região, do primeiro cenário RCP4.5 para o RCP8.5, estando quase os menores valores de vazão do RCP4.5, se aproximando dos maiores valores do RCP8.5, entre os anos de 2004 e 2007. A linha de tendência de ambos os cenários apresenta decréscimos, estando agora os fatores de escassez hídrica sendo intensificados pelas alterações de aumento de temperatura e diminuição da precipitação.

Também foi possível obter o IA para cada um dos cenários; para o cenário do RCP4.5, o IA obtido foi 0.36, e para RCP8.5, foi de 0.25. Em ambos os cenários, a classificação climática da bacia do Rio Taperoá é alterada de semiárida (condição da *baseline*) para árida.

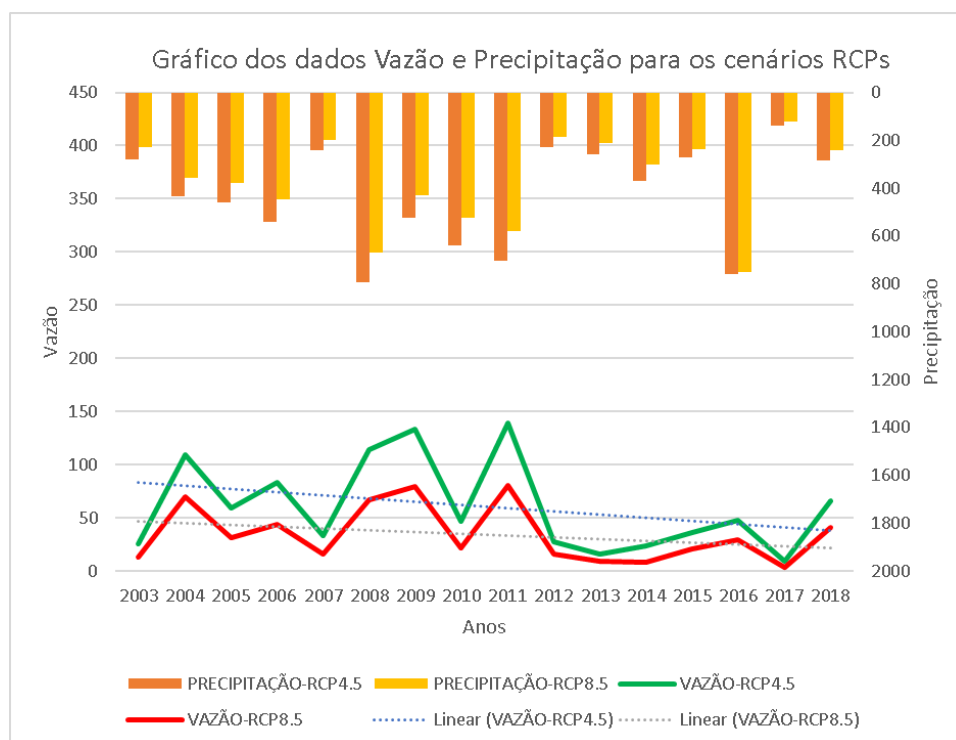


Figura 4 – Gráficos chuva-vazão sob cenários RCPs (4.5 e 8.5)

4 – CONCLUSÕES

As mudanças climáticas futuras previstas para o Nordeste brasileiro, com diminuição da precipitação e aumento na temperatura afetam os processos hidrológicos da bacia do Rio Taperoá, especificamente acarretam a diminuição da vazão na bacia.

Sob as condições dos cenários climáticos futuros, a classificação do clima da bacia do Rio Taperoá representado pelo índice de aridez (AI), passou de semiárido (*baseline*) para árido (RCPs 4.5 e 8.5).

Ferramentas como o modelo SWAT, associadas com softwares SIG (Sistemas de Informações Geográficas) são essenciais para a compreensão da dinâmica hídrica de uma bacia, e podem auxiliar o planejamento de gestores, e diminuir os impactos das alterações do clima a longo prazo, garantindo a segurança hídrica e qualidade de vida das populações da região.

5 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

6 – REFERÊNCIAS

ARNOLD, J.; DANIEL, M. PHILIP, G.; KARIN, A.; MICHAEL, W.; RAGHAVAN, S.; CHINNASAMY, S.; HARMEL, R.; ANN, V. G.; MICHAEL, V. L.; NARAYANAN, K. MANOJ, J. (2012). “SWAT: Model use, calibration, and validation”. 55(10), pp.13031.

CHAGAS, A. M. S. das.; MONTENEGRO, A. A. de.; FARIAS, C. W. L. de A.; Lins, F. A. C., SILVA, J. R. I. (2022).; “Use of geotechnologies for morphometric analysis of experimental basin in the semiarid region to support hydrological simulation”. Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG, 30, pp.19–35.

DONAT, M. G.; YANG, A. H.; DURRE, I.; VOSE, R.; DUNN, R. J. H.; WILLETT, K. M.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; CAESAR, J.; HEWITSON, B.; JACK, C.; KLEIN TANK, A. M. G.; KRUGER, A. C.; MARENGO, J.; PETERSON, T. C.; RENOM, M.; ORIA ROJAS, C.; RUSTICUCCI, M.; SALINGER, J.; ELRAYAH, A. S.; SEKELE, S. S.; SRIVASTAVA, A. K.; TREWIN, B.; VILLARROEL, C.; VINCENT, L. A.; ZHAI, P.; ZHANG, X.; KITCHING, S. (2013). “Updated Analyses of Temperature and Precipitation Extreme Indices since the Beginning of the Twentieth Century: The HadEX2 Dataset.” Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118, pp, 2098-2118.

LATUF, M. O.; DEUS, F. O. (2019) “Política Nacional de Recursos Hídricos e a Gestão dos Recursos Hídricos”, in Anais Conference: V Simpósio Nacional de Geografia Política, Território e PoderAt: Alfenas, Junho, 2019.

GARCIA, M.; YU, D. PARK, S. BAHAMBARI, P. Y.; IRAVANLOO, B. M.; SIVAPALAN, M.; (2022). “Weathering water extremes and cognitive biases in a changing climate”. Water Security, 15, pp. 100110.

IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report Summary for Policymakers, The Physical Science Basis. Working Group I.

IPCC. Climate Change 2014: Fully Report, Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II.

IPCC. Climate Change 2022: Fully Report, Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II.

KALCIC, M. M.; CHAUBEY, I.; FRANKENBERGER, J. (2015) “Defining Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrologic response units (HRUs) by field boundaries.” Int J Agric & Biol Eng, 8(3), pp.69–80.

LIMA, F. N. L.; SILVA, J. B.; DUARTE, S. M. A.; (2017) “Caracterização ambiental da sub-bacia do rio Taperoá – Paraíba”. Ambiência, 13(2), pp. 284-300

LINS, F. A. C.; MONTENEGRO, A. A. D. A.; FARIAS, C. W. L. D. A.; CHAGAS, A. M. S. D.; MIRANDA, R. D. Q.; GALVÍNCIO, J. D. (2021). “Análise da dinâmica temporal da evapotranspiração real em uma bacia hidrográfica do semiárido através de modelagem hidrológica e sensoriamento remoto. IRRIGA, 26(3) pp. 543–564,

MACANA, M.; COMIM, F. (2014). “Impactos Potenciais da Mudança Climática no Desenvolvimento Humano”, Tese (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 241pp.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. (2015). “Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: 11 present state and future projections”. Climatic Change, 129(1-2), pp.103-115.

MARENGO, J.A.; CUNHA, A.P.M.A.; NOBRE, C.A.; NETO, G. G. R.; MAGALHAES, A. R.; TORRES, R. R.; SAMPAIA, G.; ALEXANDRE, F.; ALVES, L. M.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARA, K. L. R.; ALVALA, R. C. S. (2020). “Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C”. Natural Hazards, 103, pp. 2589–2611.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M.; (2017). “MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M.; (2017). “Drought in Northeast Brazil-past, present, and future”. Theoretical and Applied Climatology, 129(3), pp.1189-1200.

MONTENGRO, A. A. A.; RAGAB, R. (2010). “Hydrological response of a Brazilian semi-arid catchment to different land use and climate change scenarios: A modelling study.” Hydrological Processes. 24. pp.2705 – 2723.

MUELLER-WARRANT, G.; PHILLIPS, C.; TRIPPE, K. (2019) “Use of SWAT to Model Impact of Climate Change on Sediment Yield and Agricultural Productivity in Western Oregon, USA.” Open Journal of Modern Hydrology, 9, pp.54-88.

SINGH, C.; BAZAZ, A.; LEY, D. FORD, J.; REVI, A. (2020) “Assessing the feasibility of climate change adaptation options in the water sector: Examples from rural and urban landscapes.”, Water Security. 11, pp. 100071.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. (2017). Delimitação do Semiárido.

UNEP - United Nations Environment Programme (1997) World Atlas of Desertification. 464 Londres

XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C.; MACIEL, J. S.; BÚ, J. C. (2012). “Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do rio Paraíba – PB”. Revista Tamoios, São Gonçalo, 2, pp.15-288.