

Water Security Index and Water Demand from the State of Paraíba Using QGIS®

Paulo R. M. Francisco*, José H. S. de Sousa**, George do N. Ribeiro***,
José N. Silva****, Raimundo C. M. Rodrigues*****

*Dr. em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com

**Mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, hugosimplicio123@gmail.com

***Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

****Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, nilton@eq.ufcg.edu.br

*****Dr. Prof. Associado, Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, calixto@cca.uema.br

Received 10 November; accepted 19 December.

ABSTRACT

This work aims to map and evaluate the 2017 water security index and its projection for 2035 and its dimensions and water demands in the State of Paraíba using a geographic information system. Digital files were used in shape format of the Water Security Index and its dimensions obtained from the National Water Agency and the Executive Water Management Agency water demand files. Using QGIS® 3.6.2, the files were imported and cut using the limits of the study area and after preparing the respective ISH maps for 2017 and 2035, the dimensions and water demands. Using the GRASS® 8.3.2 plugin, area statistics were performed. The use of QGIS provided precision in data mapping along with geostatistics. The maximum class of the 2017 ISH was not represented in the mapping, and the high and medium classes were mapped around the main water bodies and water supply system; the low and minimum classes occurred in 77.77% of the mapped area, demonstrating the need for greater investments. The projection for 2035 showed minimal difference compared to 2017, but with refinement of information; the resilience dimension had the greatest influence on mapping in 56% of the area in the minimum class followed by the economic dimension in 25.52% of the area in the high and medium class; the human dimension was represented in only 8.23% located in urban areas. The total water demand occurred mostly in coastal municipalities, in the Brejo region and Agreste in Campina Grande, in Cariri in Monteiro and in Sertão in Sousa and Patos; the greatest water demand in agriculture was also present on the coast due to greater agricultural production and greater rainfall availability; the greatest industrial demand also occurred on the coast; The demand for animal watering presented the highest values in the Sertão, decreasing towards the coast. The highest average and maximum consumption (L/s) was found in agricultural water demand with $R=0.97$, the highest median in human demand, the lowest kurtosis in animal watering with a value of $p=0.91$ and the values highest levels of demand in Brejo, Agreste and Litoral. Greater investments in water availability are recommended in the Cariri/Curimataú region under the Borborema Plateau in improving agricultural production and animal watering in livestock, poultry and aquaculture production, increasing the resilience of the population in economic aspects.

Keywords: Geospatialization, water use, projection, resilience, irrigation.

Índice de Segurança e Demanda Hídrica do Estado da Paraíba Utilizando o QGIS®

RESUMO

Este trabalho objetiva mapear e avaliar o índice de segurança hídrica de 2017 e sua projeção para 2035 e suas dimensões e demandas hídricas do Estado da Paraíba utilizando sistema de informação geográfica. Foram utilizados arquivos digitais em formato shape do Índice de Segurança Hídrica e suas dimensões obtidos na Agência Nacional de Águas e na Agência Executiva de Gestão das Águas arquivos da demanda hídrica. Utilizando o QGIS® 3.6.2 os arquivos foram importados e recortados utilizando os limites da área de estudo e após elaborados os respectivos mapas do ISH de 2017 e 2035, as dimensões e as demandas hídricas. Utilizando o plugin do GRASS® 8.3.2 foi realizada a estatística de área. O uso do QGIS proporcionou precisão no mapeamento dos dados juntamente com a geoestatística. A classe máximo do ISH de 2017 não houve representação no mapeamento, e as classes alto e médio teve seu mapeamento ao entorno dos principais corpos d'água e sistema de abastecimento hídrico; as classes baixo e mínimo ocorreu em 77,77% da área mapeada demonstrando a necessidade de maiores investimentos. A projeção para 2035 apresentou diferença mínima em relação a 2017, mas com refinamento das informações; a dimensão resiliência apresentou a maior influência no mapeamento em 56% da área na classe mínimo seguida da dimensão econômica em 25,52% da área na classe alto e

médio; a dimensão humana foi representada em somente 8,23% localizadas em áreas urbanas. A demanda hídrica total ocorreu em sua maioria nos municípios litorâneos, na região do Brejo e no Agreste em Campina Grande, no Cariri em Monteiro e no Sertão em Sousa e Patos; a maior demanda hídrica na agricultura se apresentou também no litoral devido a maior produção agrícola e a maior disponibilidade pluviométrica; a maior demanda industrial também ocorreu no litoral; já a demanda para a dessedentação animal apresentou os maiores valores no Sertão diminuindo em direção ao litoral. A maior média e máximo de consumo (L/s) se apresentou na demanda hídrica da agricultura com $R=0,97$, a maior mediana na demanda humana, a menor curtose na dessedentação animal com valor de $p=0,91$ e os valores mais altos de demanda no Brejo, Agreste e Litoral. Recomenda-se maiores investimentos quanto a disponibilidade hídrica, na região do Cariri/Curimataú sob o Planalto da Borborema na melhoria para fins de produção agrícola e dessedentação animal na produção da pecuária, avicultura e aquicultura, aumentando a resiliência da população em aspectos econômicos.

Palavras-chave: Geoespacialização, uso da água, projeção, resiliência, irrigação.

1 Introdução

A água é amplamente considerada o mais essencial dos recursos naturais, mas os sistemas de água doce são diretamente ameaçados pelas atividades humanas e poderão ser ainda mais afetados pelas alterações climáticas antropogênicas. Os sistemas hídricos são transformados através de mudanças generalizadas na cobertura do solo, urbanização, industrialização e pela engenharia como reservatórios, irrigação e transferências entre bacias que maximizam o acesso humano a água (Meybeck, 2003; UNESCO, 2009; Vörösmarty et al., 2005; Vörösmarty, 2004).

O conceito de Segurança Hídrica vem se popularizando desde sua introdução no cenário mundial, no final da década de 80 do século passado. Embora não seja uma unanimidade, suas premissas convergem para a garantia dos usos múltiplos da água; a proteção do ambiente e a manutenção dos serviços ecossistêmicos; e a prevenção de desastres naturais relacionados à água como dimensões principais. A partir da notoriedade dada ao tema por diversas instituições, surgiu a necessidade de avaliar o estado da segurança hídrica dos territórios, questão que vem sendo abordada nos trabalhos por meio de indicadores que compreendem as dimensões supracitadas, compondo assim o índice de segurança hídrica (Barros Jr et al., 2022).

Gray e Sadoff (2007), afirmam que a segurança hídrica se refere em particular à disponibilidade de uma solução aceitável quantidade e qualidade da água para a saúde, meios de subsistência, ecossistemas e produção, juntamente com um nível aceitável de riscos relacionados com a água para as pessoas, ambientes e economias. Internacionalmente, o conceito de segurança hídrica surgiu com o intuito de designar um modelo de gestão focado no resultado e na efetividade da política de água (Melo, 2016). De acordo com Naitzel (2023), surgiram diferentes formas de mensurar o grau de segurança hídrica de determinada localidade. Tais

equações surgiram para calcular indicadores capazes de suprir uma necessidade de entender o quanto uma região está preparada para atender às demandas de água, seja para usos consuntivos ou não consuntivos (Kisakye & Van Der Bruggen, 2018; Haque et al., 2016),

A segurança hídrica tem sido um conceito emergente cada vez mais importante para a gestão adequada dos recursos hídricos disponíveis (Naitzel, 2023). As interações entre os seres humanos e a água foram recentemente vistos de forma abrangente em termos de segurança hídrica (Gunda et al., 2015). A segurança hídrica é definida através de um nível aceitável de riscos relacionados a água para seres humanos e ecossistemas, junto à disponibilidade de água em qualidade e quantidade para os meios de subsistência (Bakker, 2012). Melo e Johnsson (2017) afirmam que, o intuito é garantir à sociedade disponibilidade hídrica aos variados usos, atendendo suas expectativas, e protegendo-a quanto aos possíveis impactos negativos causados pelos eventos hidrológicos extremos.

O Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), criado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) e pela Agência Nacional de Águas (ANA) no ano de 2019, apresenta um plano de investimentos em projetos no setor até 2035 para redução do risco de escassez de água. Dessa forma, a ANA realizou o mapeamento do índice de segurança hídrica para todo o Brasil considerando as quatro dimensões propostas pela Organização das Nações Unidas (UNESCO, 2019): humana, ecossistêmica, econômica e de resiliência.

O sucesso das estratégias integradas de gestão da água depende encontrar um equilíbrio entre a utilização de recursos humanos e a proteção dos ecossistemas. Para testar até que ponto este objetivo avançou globalmente; e para avaliar o seu valor potencial no futuro, requer uma contabilidade sistemática (Dudgeon et al., 2010). A elaboração de intervenções, que incluam convenções e avaliações científicas para proteger a

biodiversidade aquática e garantir a sustentabilidade dos sistemas de distribuição de água, requer estruturas para diagnosticar as principais ameaças à segurança hídrica em uma variedade de escalas espaciais (Vörösmarty et al., 2010).

Uma ferramenta para auxílio ao processo decisório em políticas de gestão de recursos hídricos são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os SIGs constituem-se em um conjunto harmônico composto por uma base de dados, um ou mais softwares que permitam a manipulação de informações e uma interface gráfica para acesso do usuário (Câmara & Queiroz, 2008). De acordo com Berveglieri et al. (2011) a geoestatística, de modo geral, desenvolve e aplica modelos em representações de fenômenos naturais cujas propriedades variam conforme a posição espacial dos pontos observados.

A nível global, diversos autores mediram a segurança hídrica, como Vörösmarty et al. (2010), Burgess et al. (2010), Otto et al. (2015), Gain et al. (2016), Veettil e Mishra (2016), Ward et al. (2017), Jensen e Wu (2018), Farinosi et al. (2018), Aly Júnior (2019), Babel et al. (2020), Caretta et al. (2022), no Brasil várias pesquisas com diversos índices foram elaboradas como por Pozzebon (2021), Bastos (2023) e Sugahara et al. (2023), e utilizando o índice de segurança hídrica foram elaborados por Paungarten (2022), Brito et al. (2022), Rocha (2022), e Alves et al. (2024).

Neste sentido, este trabalho objetiva mapear e avaliar o índice de segurança hídrica de 2017 e sua projeção para 2035 e suas dimensões e demandas hídricas do Estado da Paraíba utilizando sistema de informação geográfica.

2 Material e Métodos

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km² (IBGE, 2021). Seu posicionamento

encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W. Ao Norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; ao Leste, com o Oceano Atlântico; a Oeste, com o Estado do Ceará; e ao Sul, com o Estado de Pernambuco (Francisco, 2010). De acordo com o Censo Demográfico, a população do Estado da Paraíba é de 3.974.687 habitantes com densidade demográfica de 70,39 hab/km² (IBGE, 2023) apresentando área urbanizada de 680,32 km² representando 1,52% do Brasil (IBGE, 2019). Com tendência similar à observada na maioria dos Estados brasileiros, a população da Paraíba está fortemente concentrada em áreas urbanas, em que, 46,1% residem nos 10 municípios com mais de 50.000 habitantes (PARAÍBA, 2014).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30°C) e uma amplitude térmica anual muito pequena, em função da baixa latitude e elevações (<700m) (Varejão-Silva et al., 1984) (Figura 1a).

Conforme Francisco et al. (2023) a pluviosidade média anual (Figura 1b), os maiores valores se apresentam na região do Litoral (1900–1300mm.ano) diminuindo sua ocorrência conforme adentra o território até os contrafortes do Planalto da Borborema (600mm.ano), com exceção da região do Brejo, na região do Cariri/Curimataú, entre 600 a 300mm.ano e no Sertão entre 600 a 900mm.ano.

Quanto a evapotranspiração de referência anual (Figura 1c), Francisco e Santos (2017) afirmam que, no Litoral ocorre uma média 1.500 mm.ano⁻¹; na região do Brejo, 1.450 mm.ano⁻¹, no Agreste em torno de 1.150 mm.ano⁻¹, sendo as menores taxas advindas no Cariri/Curimataú e parte do Alto Sertão, entre 1.000 e 1.100 mm.ano⁻¹, e tornando a crescer no Sertão e parte do Alto Sertão, intensificando no sentido do Estado do Rio Grande do Norte.

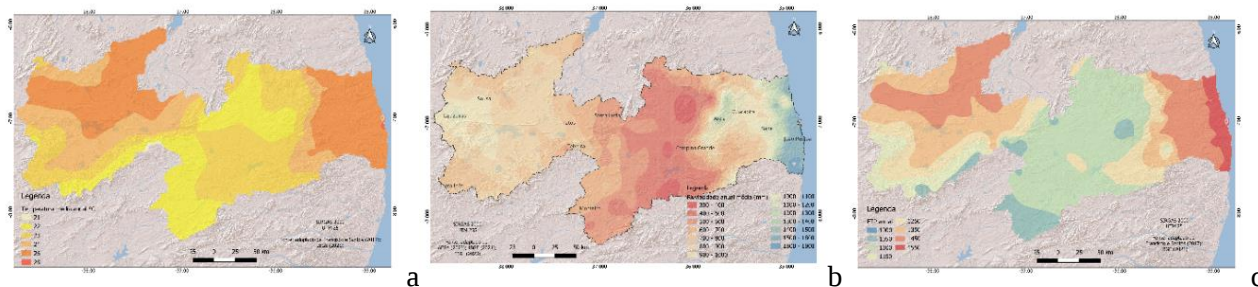


Figura 1. Temperatura média (a); Precipitação média (b); Evapotranspiração (c).

Fonte: Francisco e Santos (2017); Francisco et al. (2023).

O relevo apresenta-se de forma geral bastante diversificado, atuando sob climas distintos

e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas (Figura 2a) (PARAÍBA, 2006). Em função da

baixa pluviosidade característica do Estado, predominam, na hidrografia, os rios intermitentes (Figura 2b). Entre os rios perenes, destacam-se os rios Piancó e Piranhas, no semiárido, e os rios Paraíba e Mamanguape, que correm do Planalto da Borborema para o litoral do Estado. De forma a mitigar os efeitos das estações de seca, muitos açudes e barragens foram construídos ao longo do território (PARAÍBA, 2014).

Quanto ao tipo de manancial utilizado para o abastecimento urbano, predominam sistemas com mananciais exclusivamente superficiais para abastecimento de 61% da população urbana distribuída em 181 municípios (Figura 2c). Apenas 17 municípios possuem abastecimento através de mananciais exclusivamente subterrâneos; 25, por ambos os tipos de manancial. Dentre os principais rios que abastecem o Estado, destacam-se os rios Gramame, Paraíba e Piranhas, que atendem os principais sistemas integrados do Estado. No que

tange ao tipo de sistema produtor, a Paraíba conta com 121 sedes atendidas por sistemas integrados, ou com reforço de sistemas isolados, o que corresponde a 2,3 milhões de habitantes abastecidos. O Estado possui seis sistemas integrados abastecidos por mananciais beneficiados pelo PISF, sendo eles e suas respectivas captações definidos o Sistema Integrado Campina Grande, Sistema Integrado Cariri e Adutora Boqueirão, com captações no Açude Eptácio Pessoa (Boqueirão); Sistema Integrado Acauã-Gado Bravo e Sistema Integrado Acauã Leste, com captações no Açude Acauã; Sistema Integrado Coremas-Sabugi, abastecido pelo Açude Coremas e a Adutora do Congo, que tem como manancial o Açude Cordeiro. As demais 102 sedes municipais são abastecidas por sistemas isolados (ANA, 2021).

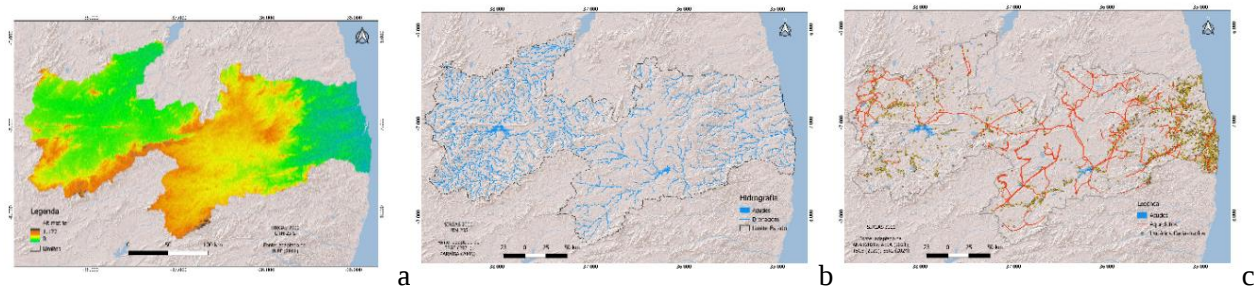


Figura 2. Altimetria (a); Hidrografia (b); Aquedutos e usuários (c).

Fonte: adaptado de Francisco et al. (2023); ANA (2021); AESA (2021); IBGE (2021); ESRI (2024).

Para a realização deste trabalho foram utilizados arquivos digitais em formato *shape* do Índice de Segurança Hídrica (ISH) e suas dimensões obtidos na Agência Nacional de Águas (ANA, 2022) e na Agência Executiva de Gestão das Águas (AESA, 2023) arquivos da demanda hídrica.

Utilizando o QGIS® 3.6.2 os arquivos foram importados e recortados utilizando os limites da área de estudo (IBGE, 2021) e após elaborados os respectivos mapas do ISH de 2017 e 2035, as dimensões e as demandas hídricas. A classificação se deu em máximo, alto, médio, baixo, mínimo e não se aplica. Utilizando o *plugin* do GRASS® 8.3.2 foi realizada a estatística de área.

No tratamento estatístico quanto aos dados das demandas hídricas, foi realizada a análise descritiva e o teste de normalidade utilizando o software RStudio®. Para avaliação dos dados das amostras foi utilizado a regressão clássica, conforme o modelo de regressão (Equação 1).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \text{ (Eq.1)}$$

Onde: Y_i é uma observação da variável dependente; $X_1, X_2, \dots, X_n$ são as variáveis independentes; $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ são referidos como coeficientes de regressão correspondentes, e ε_i é o erro associado às observações da variável dependente.

Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foi realizado o teste de hipóteses não paramétricos de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 95% adaptado por Lilliefors (1967), teste de normalidade de Shapiro-Wilk (1965), o teste de aderência de Anderson-Darling (1954) e o teste não paramétrico de Mann-Kendall (1967; 1945), e o coeficiente de correlação de Pearson (1892).

2 Resultados e discussão

Na Figura 3, pode-se observar a distribuição espacial do índice de segurança hídrica de 2017 onde se verifica que a classe máximo não está representada no Estado pelo mapeamento. A classe alto está representada espacialmente em

áreas onde estão localizados os açudes e maiores corpos d'água como o de Coremas-Mãe d'água no Sertão localizada em região semiárida, no Açude Epitácio Pessoa em Boqueirão, sob o Planalto da

Borborema, de Acauã no rio Paraíba e em diversas áreas próximos a região litorânea em que tem maior influência da pluviosidade. Estas áreas totalizam somente 3,74% do total (Tabela 1).

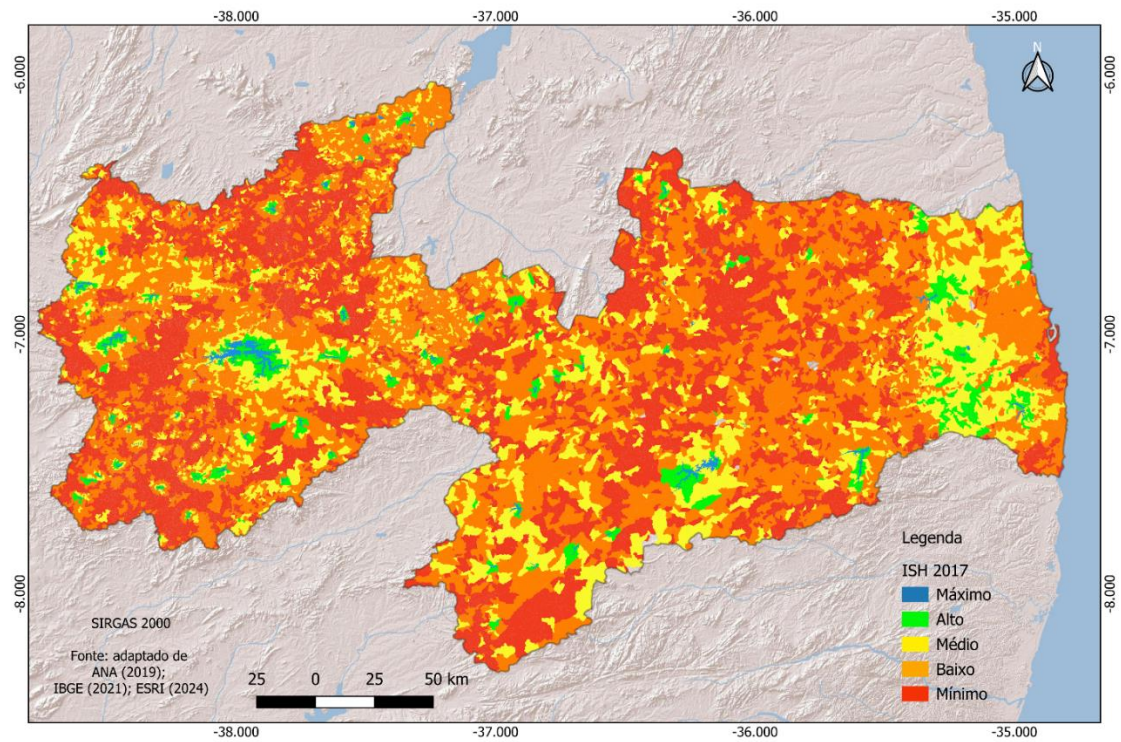


Figura 3. Índice de segurança hídrica de 2017. Fonte: adaptado de ANA (2019); IBGE (2021); ESRI (2024).

Tabela 1. Distribuição do índice de segurança hídrica

Classe	2017		2035	
	Área km ²	%	Área km ²	%
Máximo	0	0	0	0
Alto	2.109,73	3,74	1.948,61	3,45
Médio	10.768,90	19,07	10.603,21	18,78
Baixo	24.194,35	42,85	24.890,05	44,08
Mínimo	19.394,26	34,35	19.025,37	33,69
Total	56.467,24	100,00	56.467,24	100,00

As áreas da classe médio em sua maioria se localizam ao entorno da classe alta e dispersas em toda a área em localidades com reserva superficial e com abastecimento por sistemas hídricos totalizando 19,7% do Estado. Já a classe baixo, com maior predominância em 42,85% da área, apresenta seu limite ao leste, próximo a região semiárida delimitada pela Superintendência

do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2021). A classe mínimo se distribui em 34,35% do Estado na região central sob a região do Cariri e Curimataú e no Sertão em áreas com menor disponibilidade hídrica.

Quanto a distribuição do índice de segurança hídrica relativo à projeção para 2035, verifica-se a mesma representação espacial proporcional a 2017 (Tabela 1). Ocorrem pequenas alterações positivas em áreas da classe mínima com aumento da classe baixo, e diminuição de pequena proporção de área das classes médio e alto. Esta projeção leva em consideração quatro dimensões, a de nível econômico, quanto a resiliência, quanto ao fator humano, e o ambiental, em que estes podem ter ocasionado essa variação, isto devido ao refinamento das informações. Esta alteração não reflete negativamente, e sim ocorre uma melhoria no resultado de seu mapeamento.

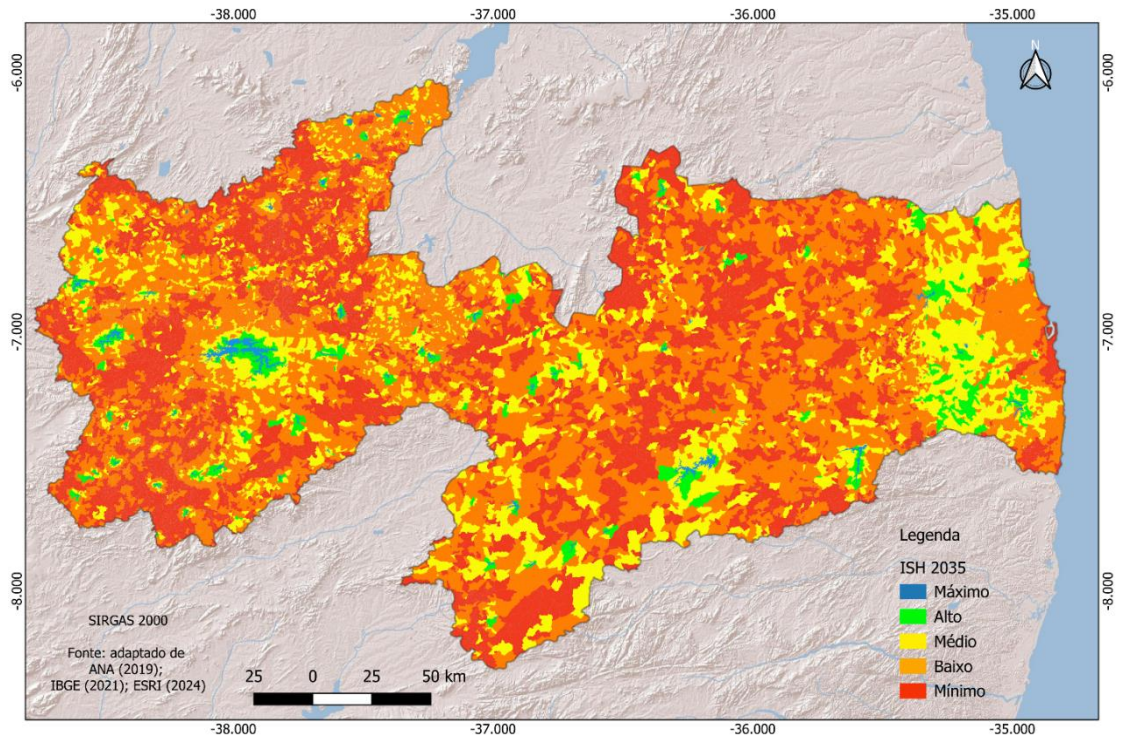


Figura 4. Índice de segurança hídrica de 2035. Fonte: adaptado de ANA (2019); IBGE (2021); ESRI (2024).

De acordo com Francisco et al. (2023), a necessidade hídrica pode ser suprida com a captação de água de chuvas através de telhados para consumo humano e por sistemas calçadão para uso na irrigação agrícola e/ou dessedentação animal.

Pela Figura 5, respectivo as dimensões, pode-se observar que, a econômico (Figura 5a), que leva em consideração o risco a irrigação, dessedentação animal e o uso na indústria, em que a classe alto corresponde a 19,35% do total em que estas áreas se distribuem em sua maioria sob o Planalto da Borborema e em menor proporção no

Sertão. A classe médio distribui-se em 14,04% do Estado com maior representação na região do Agreste e Brejo, e próximo a região litorânea produtora da cana de açúcar. A classe mínimo estão distribuídas em sua maioria no litoral onde apresenta maior número de indústrias, isto ocorre devido ao maior consumo hídrico na produção agrícola e industrial. Esta dimensão de risco é superada pela alta pluviosidade da região em comparação com as demais áreas adentrando o Estado.

Tabela 2. Distribuição das dimensões

Classe	Dimensão							
	Ambiental		Humano		Econômico		Resiliência	
	Área km ²	%	Área km ²	%	Área km ²	%	Área km ²	%
Máximo	2.494,41	4,42	1.370,82	2,43	206,83	0,37	0	0
Alto	463,97	0,82	500,81	0,89	10.925,02	19,35	159,63	0,28
Médio	1.139,67	2,02	1.130,78	2,00	7.926,06	14,04	5.593,76	9,91
Baixo	3.133,27	5,55	473,45	0,84	6.709,14	11,88	19.086,31	33,80
Mínimo	13.897,89	24,61	1.227,44	2,17	1.436,25	2,54	31.627,54	56,01
Não se aplica	35.338,03	62,58	51.763,94	91,67	29.263,94	51,82	0	0,00
Total	56.467,24	100,00	56.467,24	100,00	56.467,24	100,00	56.467,24	100,00

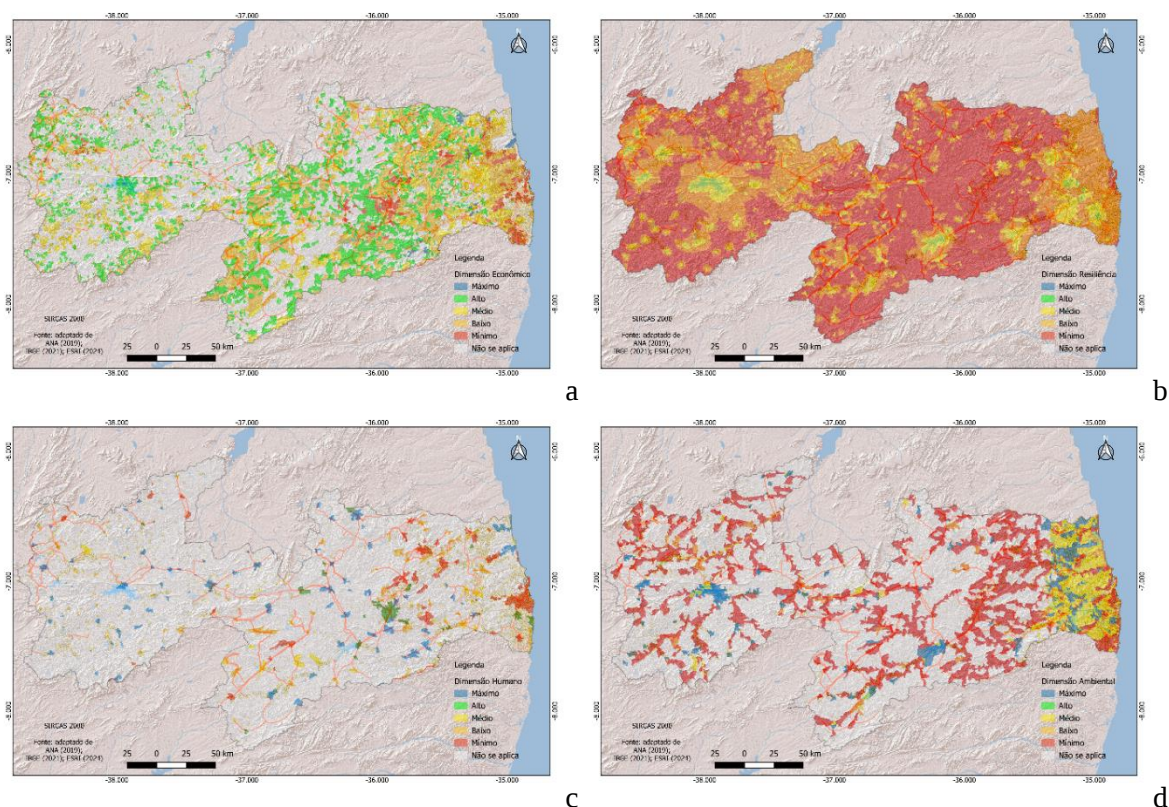


Figura 5. Dimensão, a) econômico, b) resiliência, c) humano, d) ambiental. Fonte: adaptado de ANA (2019); IBGE (2021); ESRI (2024).

Quanto a dimensão resiliência que leva em consideração as reservas artificiais e naturais, e também a variação pluviométrica que a população pode resistir, a classe mínimo (56,01%) (Tabela 2) têm o maior predomínio principalmente no semiárido, seguida da classe baixo (33,8%) com destaque a região do Litoral, e em torno dos maiores reservatórios as classes médio (9,91%) e alto (0,28%). Este resultado demonstra a baixa resiliência da região quanto ao suprimento hídrico, isto devido ao clima com baixa pluviosidade no semiárido para suprir a produção agropecuária, industrial e a necessidade humana. Na região litorânea, mesmo com a ocorrência de maior pluviosidade anual, a resiliência se apresenta na classe baixo em sua maioria, talvez devido ao menor número de reservatórios naturais e artificiais. No entanto, observa-se que a região litorânea é a que mais apresenta sistema de captação de água natural de rios, não havendo problemas quanto ao abastecimento urbano.

Alves et al. (2024) observaram que, a dimensão resiliência apresentou os menores valores, sendo classificada como mínima a baixa para os 20 municípios da mesorregião de Borborema e Espinharas, onde possuem mínimos e baixos graus de aporte e disponibilidade hídrica. Resultado similar a este trabalho. Os autores observaram ainda que a dimensão humana obteve os maiores resultados, classificados como alto,

indicando que os municípios possuem boa cobertura de abastecimento de água, mas população rural não são contempladas pelo abastecimento, sendo de maior número.

Verifica-se a necessidade de maiores investimentos quanto a obras de infraestrutura hídrica como açudes, reservatórios e canais para o desenvolvimento da produção agrícola na região do Planalto da Borborema, conforme a Figura 5a da demanda econômica, em que se observa a não demanda nesta área. Região com menor índice pluviométrico médio anual (600mm) e maior índice de evapotranspiração, com clima BSh (Francisco et al., 2015).

Brito et al. (2022), aprimorando o ISH com a inclusão da antropização na metodologia em área da bacia do Alto Paraíba, concluíram que os resultados apontaram para a possibilidade de um maior refinamento no conceito de risco adotado na elaboração do ISH, principalmente para regiões de maior vulnerabilidade climática e social, como é o caso do Semiárido Brasileiro. Nesses locais, o risco transcende quantificações de oferta e demanda de água e afeta diretamente o desenvolvimento humano, político e econômico da população, impactando todas as ações humanas que ocorrem na região e, consequentemente, sua segurança hídrica. Os autores ressaltam ainda a necessidade de novos levantamentos socioeconômicos no território brasileiro, a fim de

se obter dados mais precisos para os indicadores presentes nas dimensões humana, econômica e ecossistêmica. A ausência de dados dificulta a mensuração da segurança hídrica em diversas áreas e, conforme apresentado, resulta em graus de segurança hídrica que não representam a realidade do local.

O ISH tem se mostrado eficiente no mapeamento da segurança hídrica de todo o Brasil (Rocha, 2022). Estudos de Rosa (2019) e Rodriguez e Rodriguez (2021) demonstraram a necessidade de melhorias no índice. Rocha (2022) avaliando o ISH no município de Currais Novos-RN, constatou que as dimensões apresentaram de baixo a mínimo grau de segurança, classificando assim o município com o grau de segurança hídrica de nível mínimo.

Pela Figura 6, representando a geospacialização da demanda hídrica total, pode-se verificar que as maiores demandas se localizam em

municípios do litoral com maior população, indústrias e com maiores áreas agrícolas produtivas. Adentrando o território, no Agreste, as demandas são menores como no município de Campina Grande, com destaque a Remígio, Areia e Bananeiras no Brejo. No Cariri o município de Monteiro se destaca dos demais no consumo. No Sertão e Alto Sertão, Patos e Sousa apresentam-se um consumo maior que os demais na região devido a população e maior produção agropecuária e algumas indústrias. Francisco (2010) afirma que, o Alto Sertão apresenta áreas de cultivo de milho, feijão (algodão) associadas à criação de gado, sendo frequente nas várzeas, o cultivo do arroz. Na região de Patos predomina a pecuária e agricultura. Observa-se também que a região litorânea apresenta o maior número de pontos de usuários cadastrados em outorgas de uso, isso devido a maior disponibilidade hídricas em rios e poços para o abastecimento e uso na agricultura.

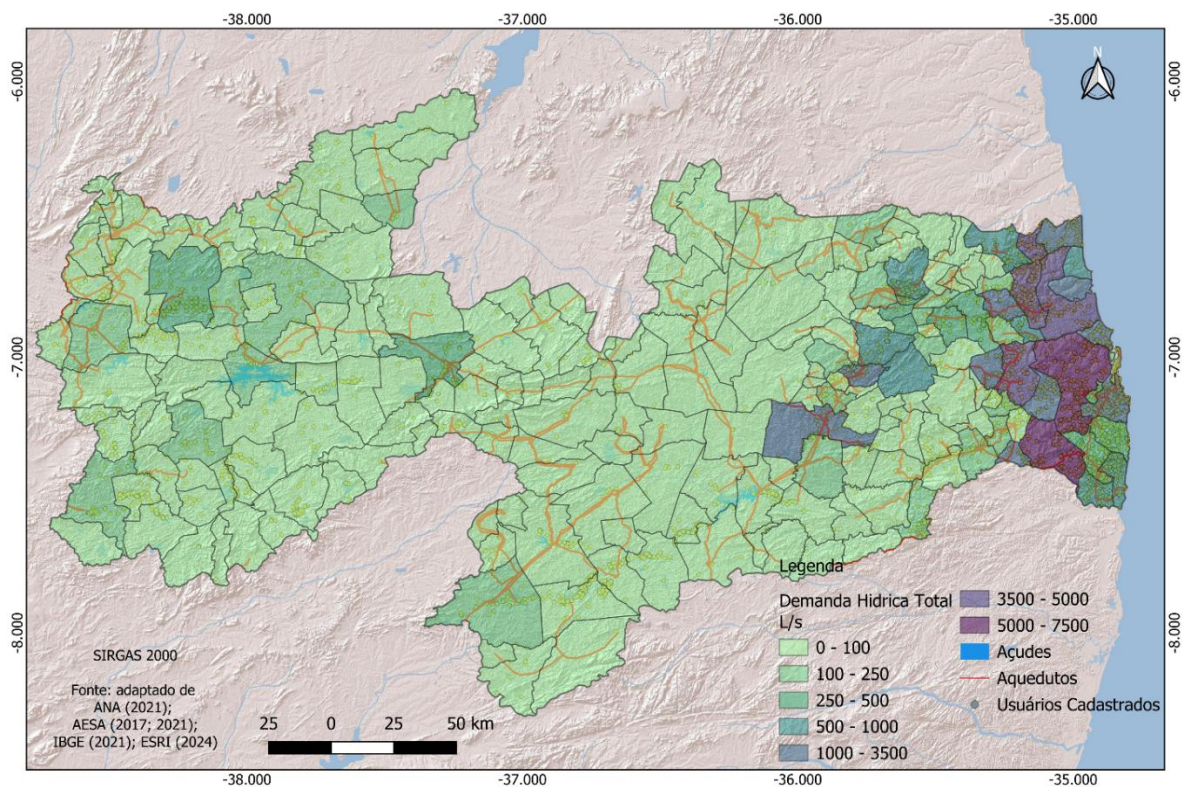


Figura 6. Demanda hídrica total (L/s). Fonte: adaptado de AESA (2017, 2021); ANA (2021); IBGE (2021); ESRI (2024).

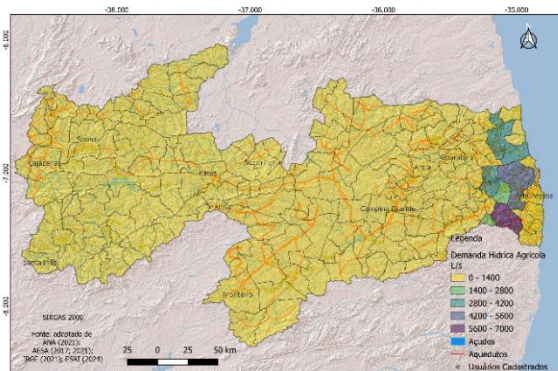
Pela Figura 7a verifica-se que as maiores demandas agrícola estão localizadas nos municípios da região litorânea, como afirma Francisco (2010) em que nesta região a terra é intensivamente ocupada pela cana-de-açúcar, coqueiros, fruteiras diversas e culturas de subsistência. Nos tabuleiros costeiros estas áreas são hoje, amplamente ocupadas pela cultura da cana-de-açúcar, além de abacaxi, inhame e

mandioca. Observa-se áreas quanto a demanda hídrica para a irrigação estarem localizadas na região litorânea e que neste caso, geralmente é suprida pela pluviosidade que ocorre, de acordo com Francisco et al. (2016), esta ocorre em média entre 1.200 a 1.600 mm ano, neste caso podendo suprir a necessidade da cultura agrícola. Observa-se que pela metodologia adotada pela AESA para a classificação da demanda hídrica ocorrem algumas

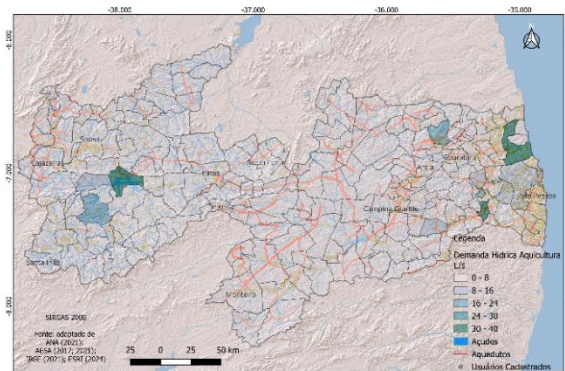
falhas conceitual dos dados em que tradicionalmente todo o Estado apresenta alguma produção agrícola tanto de subsistência como comercial.

Na Figura 7b representando a demanda hídrica da aquicultura, observa-se o município de Rio Tinto se destaca ente os demais. Bananeiras localizada no Brejo também apresenta produção, e no Sertão os municípios de Coremas, Aguiar e Itaporanga por estarem localizados próximos ao açude Coremas-Mãe d'água com maior

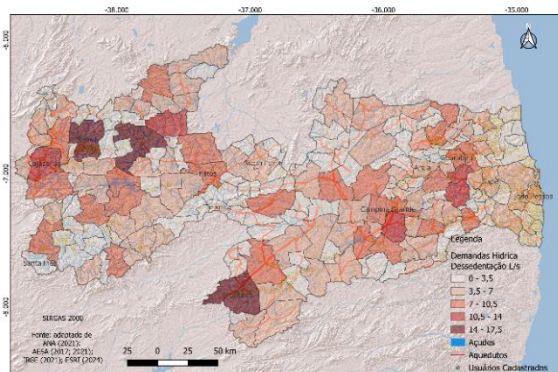
disponibilidade hídrica promovida pelo reservatório. Quanto a demanda hídrica para dessedentação animal (Figura 7c) pode-se observar que o litoral apresenta os menores valores aumentando conforme adentra-se ao território destacando os municípios de Mulungu, Gurinhém e Queimadas, no Cariri o município de Monteiro se destaca na agropecuária, seguido de Pombal e Sousa no Sertão.



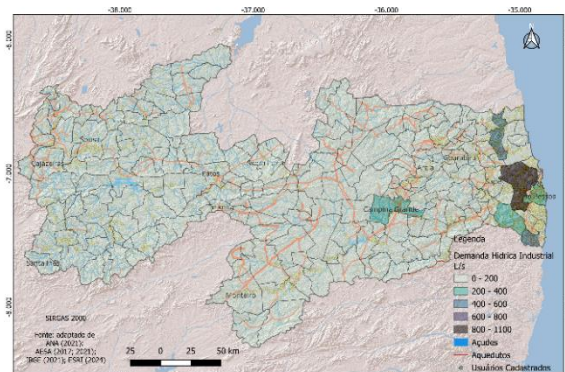
a



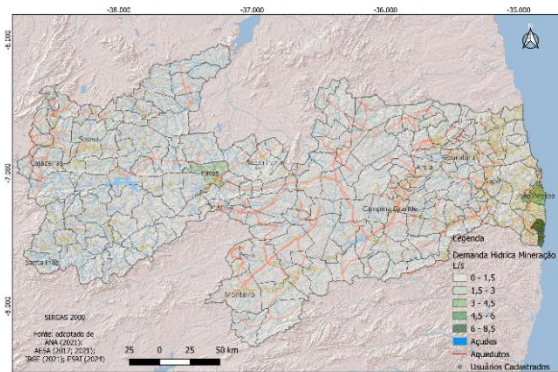
b



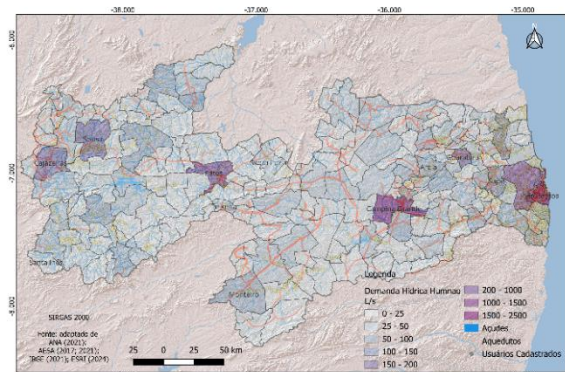
c



d



e



f

Figura 7. Demanda hídrica (L/s), a) irrigação, b) aquicultura, c) dessedentação animal, d) industrial, e) mineração, f) humana. Fonte: adaptado de AESA (2017, 2021); ANA (2021); IBGE (2021); ESRI (2024).

De acordo com o mapa geoespacializado da demanda industrial (Figura 7d) verifica-se que Campina Grande que apresenta uma boa quantidade de indústrias tem o menor consumo em relação aos municípios da região do litoral com

maior consumo e maior número de indústrias, com destaque para Santa Rita, vizinha a capital João Pessoa. Estas áreas estão próximas a rodovia BR-101 e ao aeroporto Castro Pinto em Bayeux e ao porto de Cabelo que proporciona o melhor

recebimento de insumos e também melhor escoamento da produção. Ao longo da margem da rodovia, em Conde por exemplo, localizam-se diversas fábricas. Historicamente as maiores indústrias com necessidade maior na demanda hídrica se instalaram no litoral devido a maior disponibilidade da água nesta região. Quanto a demanda para mineração (Figura 7e) pode-se observar que, localiza-se em João Pessoa e ao sul em Pitimbu como por exemplo calcário e dolomita, concordando com Seidel et al. (2022).

No mapa da demanda hídrica humana (Figura 7f), verifica-se a maior necessidade para abastecimento na capital João Pessoa, seguido de Santa Rita, Campina Grande, Patos, Sousa e Cajazeiras devido ao maior número populacional concordando com IBGE (2021). Gomide (2012), ressalta a importância da construção de reservatórios para garantia da segurança hídrica e afirma ainda que os reservatórios são capazes de arcar com a dupla responsabilidade de atenuar os dois extremos do ciclo hidrológico, as secas ou estiagens, e as cheias ou enchentes e defende a importância dos reservatórios para a conexão entre segurança hídrica, segurança alimentar e segurança física das pessoas.

Todavia, de acordo com Barreto et al. (2021), na regionalização da Paraíba há um

questionamento acerca da segurança hídrica, apontando uma insustentabilidade de três microrregiões, a do Alto Piranhas, Borborema e Espinharas. No estudo os autores constataram que o Litoral apresentou características mais propícias em detrimento das condições climáticas e de questões econômicas. Resultado similar ao observado por este trabalho.

De acordo com Barros Júnior (2022), postula-se que no Brasil é necessário o desenvolvimento de estudos a nível regional por possuir dimensões continentais e considerando que os estudos a nível global têm a tendência a generalizar os indicadores, neste sentido, foi constatado que o Estado do Rio de Janeiro vem adotando esse procedimento, associado ao Programa Estadual de Segurança Hídrica.

Pela Tabela 3 dos resultados estatísticos da análise descritiva das demandas hídricas verifica-se que a maior média e máximo de consumo (L/s) se apresenta na demanda hídrica da agricultura, a maior mediana na demanda humana, a menor curtose na dessedentação animal e o maior intervalo entre quartis na demanda agricultura. Este resultado demonstra o maior consumo para a produção agrícola e ao mesmo tempo a necessidade de maiores investimentos nesta área.

Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis da demanda hídrica

Demanda Hídrica	Médi a	Median a	Desv. P.	Mínim o	Máxim o	Alcance	Curtos e	Q1	Q3	IQR
Agricultura	197,20	10,04	740,43	0,00	6.980,01	6.980,01	44,90	2,80	45,33	42,53
Aquicultura	1,39	0,00	5,31	0,00	38,92	38,92	28,65	0,00	0,00	0,00
Des. Animal	3,95	3,13	3,00	0,15	17,21	17,05	3,02	1,72	4,91	3,19
Humana	44,98	14,36	184,62	2,64	2.443,60	2.440,00	130,42	8,43	34,00	25,56
Industrial	13,98	0,05	84,40	0,00	1.018,62	1.018,62	92,15	0,00	0,30	0,30
Mineração	0,07	0,00	0,65	0,00	8,33	8,33	121,52	0,00	0,00	0,00
Total	261,58	38,59	840,02	6,01	7.352,48	7.346,47	40,77	17,01	100,68	83,66

Quanto aos testes estatísticos (Tabela 4), pode-se observar que, os *p-valor* estão de acordo, excluindo o teste de Mann-Kendall que apresenta maior variação. A correlação de Pearson somente

na variável demanda hídrica animal apresenta pequena variação, mas com concordância com as demais demandas.

Tabela 4. Testes estatísticos da demanda hídrica de normalidade, aderência, probabilidade e correlação

Variável/Teste	Shapiro-Wilk		Lilliefors		Anderson-Darling		Mann-Kendall		Pearson	
Demanda Hídrica	W	p-valor	D	p-valor	A	p-valor	tau	p-valor	P	p-valor
Agricultura	0,277 5	< 2,2e ⁻¹⁶	0,395 2	< 2,2e ⁻¹⁶	59,68 5	< 2,2e ⁻¹⁶	0,234	< 2,3842e ⁻⁰⁷	2614, 9	< 2,2e ⁻¹⁶
Aquicultura	0,284 6	< 2,2e ⁻¹⁶	0,398 8	< 2,2e ⁻¹⁶	63,69 1	< 2,2e ⁻¹⁶	0,128	< 0,014033	2619, 3	< 2,2e ⁻¹⁶
Dess. Animal	0,859 7	< 2,2e ⁻¹⁶	0,132 7	< 2,2e ⁻¹⁶	8,320	< 2,2e ⁻¹⁶	-	< 0,058633	87,4	< 3,076e ⁻¹²
Humana	0,163 5	< 2,2e ⁻¹⁶	0,409 5	< 2,2e ⁻¹⁶	62,03 1	< 2,2e ⁻¹⁶	0,207	< 4,0531e ⁻⁰⁶	1558, 5	< 2,2e ⁻¹⁶
Industrial	0,155 9	< 2,2e ⁻¹⁶	0,452 6	< 2,2e ⁻¹⁶	74,89 6	< 2,2e ⁻¹⁶	0,182	< 7,9751e ⁻⁰⁵	2809, 9	< 2,2e ⁻¹⁶
Mineração	0,090 3	< 2,2e ⁻¹⁶	0,522 0	< 2,2e ⁻¹⁶	82,57 0	< 2,2e ⁻¹⁶	0,046	< 0,40221	3615, 5	< 2,2e ⁻¹⁶
Total	0,308 2	< 2,2e ⁻¹⁶	0,380 7	< 2,2e ⁻¹⁶	55,32 4	< 2,2e ⁻¹⁶	0,285	< 2,2e ⁻¹⁶	1127, 1	< 2,2e ⁻¹⁶

Nas boxplots das variáveis da demanda hídrica verifica-se que demanda hídrica animal tem seus quartis entre 2 e 5 L/s de consumo (Figura 8c) com a maioria dos valores na mediana. As demais

demandas apresentam valores discrepantes em relação a mediana.

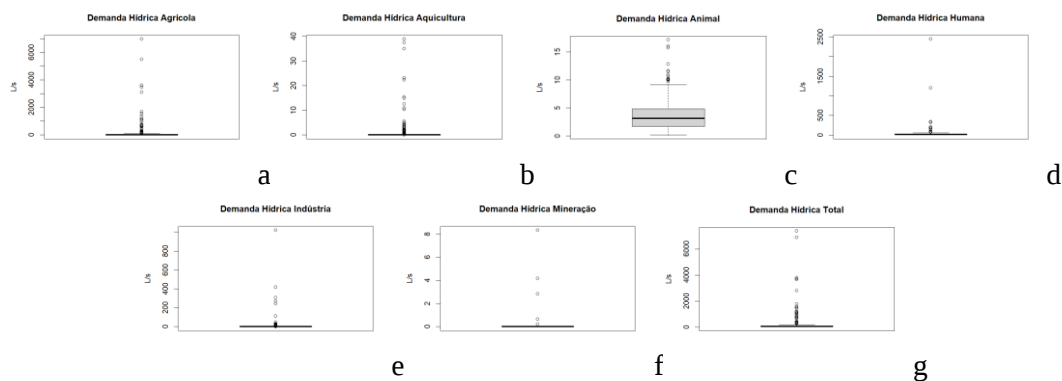


Figura 8. Boxplots das variáveis da demanda hídrica a) irrigação, b) aquicultura, c) dessedentação animal, d) humana, e) industrial, f) mineração, g) total.

Nas caixas interquais, apresentam-se distribuídas por região geográfica do Estado, em que se pode verificar na demanda hídrica animal (Figura 9c) onde apresenta-se uma distribuição por

toda a área e com maiores valores em relação as demais demandas. Nas demais verifica-se que, os valores mais altos de demanda localizam no Brejo, Agreste e Litoral.

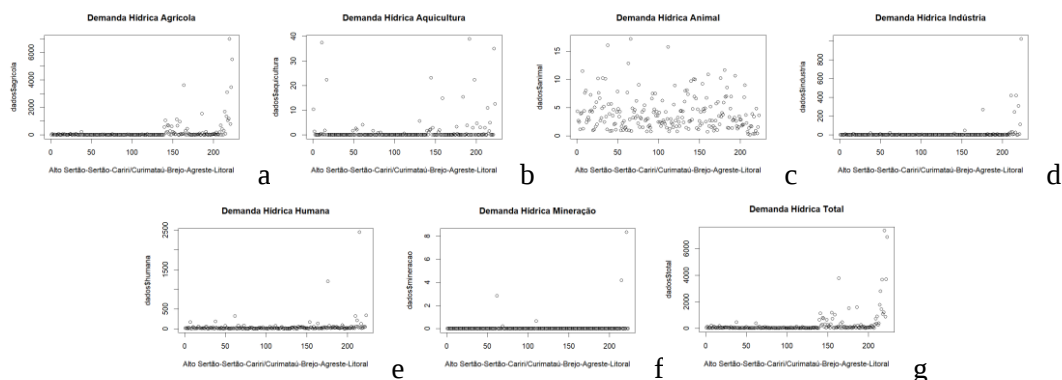


Figura 9. Caixas interquais das variáveis da demanda hídrica a) irrigação, b) aquicultura, c) dessedentação animal, d) humana, e) industrial, f) mineração, g) total.

Quanto a correlação entre a demanda hídrica total e as demais demandas, verifica-se que a demanda agrícola apresenta o maior valor de

$R=0,97$ e a demanda animal o maior valor de $p=0,91$.

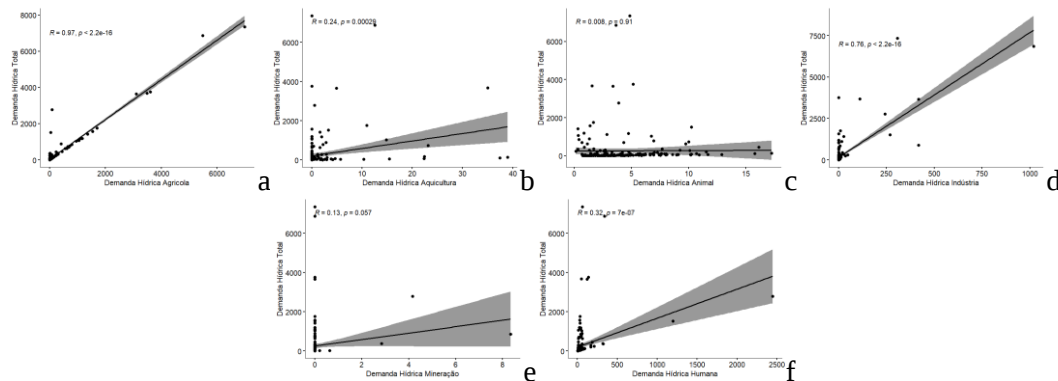


Figura 10. Correlação entre as variáveis da demanda hídrica total e a) irrigação, b) aquicultura, c) dessedentação animal, d) humana, e) industrial, f) mineração.

Brito et al. (2022), recomenda o planejamento de infraestruturas hídricas resilientes para atingir os objetivos sociais, econômicos e ambientais em um futuro altamente incerto em que apresenta inúmeros desafios. Fato este, que evidencia a necessidade de efetivar uma gestão mais sustentável da água nas cidades por meio de incentivos ao reuso de águas, por exemplo, e em reservatórios localizados no semiárido, para combinar os princípios de projeto de engenharia com os requisitos do ecossistema, no contexto de eventos não estacionários como mudanças climáticas, uso da água, crescimento populacional e mudança no uso da terra.

Bakker e Cook (2012) defendem um enquadramento conceitual integrador da segurança hídrica, reconhecendo a importância de inserir ao conceito a questão da boa governança da água. Conforme Babel et al. (2016) e Babel e Shinde (2018) a inclusão da dimensão de governança, no cômputo da avaliação de segurança hídrica seria recomendável. Van Beek e Arriens (2014) colocam que, a governança pode ser melhor vista como um meio para um fim e não como um fim em si mesmo. Apesar do número crescente de indicadores na avaliação das múltiplas faces da segurança hídrica, há, por outro lado, grandes desafios na seleção e validação dessas métricas por políticas públicas (Hezri & Dovers, 2006; Howlett & Cuenca, 2017). Staddon e Scott (2018) ressaltam que, a segurança da água continuará a evoluir, assumindo novas dimensões de justiça ambiental, acesso e resultados, governança e que já iniciou a se transformar em concepções mais amplas de segurança humana e planetária.

Conclusão

O uso do QGIS proporcionou precisão no mapeamento dos dados juntamente com a geoestatística.

A classe máximo do ISH de 2017 não houve representação no mapeamento, e as classes alto e médio teve seu mapeamento ao entorno dos principais corpos d'água e sistema de abastecimento hídrico; as classes baixo e mínimo ocorreu em 77,77% da área mapeada demonstrando a necessidade de maiores investimentos.

A projeção para 2035 apresentou diferença mínima em relação a 2017, mas com refinamento das informações; a dimensão resiliência apresentou a maior influência no mapeamento em 56% da área na classe mínimo seguida da dimensão econômica em 25,52% da área na classe alto e médio; a dimensão humana foi representada em somente 8,23% localizadas em áreas urbanas.

A demanda hídrica total ocorreu em sua maioria nos municípios litorâneos, na região do Brejo e no Agreste em Campina Grande, no Cariri em Monteiro e no Sertão em Sousa e Patos; a maior demanda hídrica na agricultura se apresentou também no litoral devido a maior produção agrícola e a maior disponibilidade pluviométrica; a maior demanda industrial também ocorreu no litoral; já a demanda para a dessedentação animal apresentou os maiores valores no Sertão diminuindo em direção ao litoral.

A maior média e máximo de consumo (L/s) se apresentou na demanda hídrica da agricultura com $R=0,97$, a maior mediana na demanda humana, a menor curtose na dessedentação animal com valor de $p=0,91$ e os

valores mais altos de demanda no Brejo, Agreste e Litoral.

Recomenda-se maiores investimentos quanto a disponibilidade hídrica, na região do Cariri/Curimataú sob o Planalto da Borborema na melhoria para fins de produção agrícola e dessedentação animal na produção da pecuária, avicultura e aquicultura, aumentando a resiliência da população em aspectos econômicos.

Referências

- Alves, A.P. de A.; Félix, A.C.T.; Barbosa, D. L.; Brandão, I.A. de P.; Paz, M.A. de F. 2024. Análise da relação do Índice de Segurança Hídrica com indicadores socioeconômicos em microrregiões de água e esgoto, no Estado da Paraíba, Brasil. *Revista Caderno Pedagógico* 21(1) 840-861.
- Aly Junior, O. 2019. Segurança hídrica no meio rural, recursos hídricos na agropecuária e adaptação às mudanças do clima: serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas e aquíferos no Brasil. 197f. Tese (Doutorado em Ciências). Programa de Geociências de Recursos Minerais e Hidrogeologia. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- ANA. Agência Nacional de Águas. 2019. Índice de Segurança Hídrica - ISH. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66#:~:text=O%20%C3%8Dndice%20de%20Seguran%C3%A7a%20H%C3%ADrica%20%2D%20ISH%20%C3%A9%20o%20resultado%20da,consideradas%20em%20igualdade%20de%20condi%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 1 de maio de 2024.
- ANA. Agência Nacional de Águas. 2019. Plano Nacional de Segurança Hídrica. Brasília: ANA. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso em: 1 de maio 2024.
- ANA. Agência Nacional de Águas. 2021. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Atlas Águas. Brasília: ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d77a2d01-0578-4c71-a57e-87f5c565aacf>. Acesso em: 11 de maio 2024.
- Anderson, T.W.; Darling, D.A. 1954. A test of goodness of t. *Journal of American Statistical Association* 49 765-769.
- Babel, M.S.; Shinde, V.R.; Sharma, D.; Dang, N.M. 2020. Measuring water security: A vital step for climate change adaptation. *Environmental Research* 185 109400.
- Babel, M.; Onsomkri, A.; Shinde, V. 2016. Framework for water security assessment at city scale. In: *International Conference on Water Resources and Environment Research*, 7, 2016, Kyoto. *Anais...Kyoto*.
- Babel, M.; Shinde, V. 2018. A framework for water security assessment at basin scale. *Asia Pacific Network Science Bulletin* 8(1) 27-32.
- Bakker, K. 2012. Water security: research challenges and opportunities. *Science* 337(6097) 914-915.
- Bakker, K.; Cook, C. 2011. Water Governance in Canada: Innovation and Fragmentation. *International Journal of Water Resources Development* 27(2) 275-289.
- Barreto, J.; Feitosa, P.; Anjos, K.; Velez, W. 2021. Análise da regionalização do saneamento: Cenários hídricos e (in)sustentabilidade econômico-financeira das microrregiões de água e esgoto da Paraíba. *Research, Society and Development* 10(10) e117101018513.
- Barros Junior, W.W. de; Silva, S.V.; Ferreira, M.I.P.; Oliveira, D.B. de; Silva Neto, A.J. da. 2022. Indicadores de sustentabilidade ambiental aplicados a avaliação de segurança hídrica: abordagens internacionais. In: *Congresso Fluminense de Iniciação Científica e Tecnológica*, 14, 2022, Rio de Janeiro. *Anais...Rio de Janeiro*.
- Bastos, M.M.A. 2023. Mapeamento de vulnerabilidades e oportunidades para ampliação da segurança hídrica nas bacias hidrográficas de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos). Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Universidade Federal de Itabubá. Itabira.
- Berveglieri, A.; Meneguette Junior, M.; Piteri, M.A. 2011. Aplicação do interpolador krigagem em modelos digitais de terrenos comparando-se os casos de isotropia e anisotropia. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 15, 2011, Curitiba. *Anais...Curitiba: INPE*.
- Brito, H.C.; Brito, Y.M.A. de; Rufino, I.A.A. 2022. O Índice de Segurança Hídrica do Brasil e o Semiárido Brasileiro: Desafios e Riscos Futuros. *Revista Brasileira de Cartografia* 74(1) 1-15.
- Burgess, W.G.; Hoque, M.A.; Michael, H.A.; Voss, C.I.; Breit, G.N.; Ahmed, K.M. 2010. Vulnerability of deep groundwater in the Bengal Aquifer System to contamination by arsenic. *Nature Geoscience* 3(2) 83-87.
- Câmara, G.; Queiroz, G.R. 2001. Arquitetura de sistemas de informações geográficas. In:

- Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.V. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos, 345p. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.2.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2024.
- Caretta, et al. 2022. Water. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK and New York, NY, USA. p.551–712.
- Dudgeon, D.; Arthington, A.H.; Gessner, M.O.; Kawabata, Z.; Knowler, D.J.; Lévêque, C.; Naiman, R.J.; Prieur-Richard, A.; Soto, D.; Stiassny, M.L.J.; Sullivan, C.A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 81(2) 163–182.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>.
- Farinosi, F.; Giupponi, C.; Reynaud, A.; Ceccherini, G.; Carmona-Moreno, C. de; Roo, A.; Gonzalez-Sanchez, D.; Bidoglio, G. 2018. An innovative approach to the assessment of hydro-political risk: A spatially explicit, data driven indicator of hydro-political issues. *Global Environmental Change* 52 286-313.
- Francisco, P.R.M. 2010. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Santos, D., Matos, R.M. de. 2015. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(4) 1006-1016.
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Tavares, A.L.; Santos, D. 2016. Variability space-temporal of annual precipitation of wet and dry period in the Paraíba state. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 6(1) 1-9.
- Francisco, P.R.M.; Santos, D. 2017. Climatologia do Estado da Paraíba. 1ª ed. Campina Grande: EDUFPG. 75p.
- Francisco, P.R.M.; Sousa, J.H.S. de; Ribeiro, G. do N.; Rodrigues, R.C.M. 2023. Rainwater Capture Potential and Storage in Residences of the Paraíba State using Multi-Level B-Spline Interpolation Modeling. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 13(7) 822-833.
- Gain, A.K.; Giupponi, C.; Wada, Y. 2016. Measuring global water security towards sustainable development goals. *Environmental Research Letters* 11(12) 124015.
- Gomide, F.L.S. 2012. Sobre Reservatórios e Segurança Hídrica. Brasília: ANA.
- GRASS-GIS. 2024. Geographic Resource Analysis Support System. <http://grass.osgeo.org>.
- Grey, D.; Sadoff, C.W. 2007. Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy* 9 545–571.
- Gunda, T.; Benneyworth, L.; Burchfield, E. 2015. Exploring water indices and associated parameters: a case study approach. *Water Policy* 17(1) 98–111.
- Haque, Md. M.; Rahman, A.; Samali, B. 2016. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. *Journal of Cleaner Production* 137 60-69.
- Hezri, A.A.; Dovers, S.R. 2006. Sustainability indicators, policy and governance. *Ecological Economics* 60(1) 86-99.
- Howlett, M.P.; Cuenca, J.S. 2017. The use of indicators in environmental policy appraisal: lessons from the design and evolution of water security policy measures. *Journal of Environmental Policy & Planning* 19(2) 229-243.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. Diretoria de Geociências. Coordenação de Meio Ambiente. Áreas Urbanizadas do Brasil 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Malhas territoriais. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.
- Jensen, O.; Wu, H. 2018. Urban water security indicators: Development and pilot. *Environmental Science & Policy* 83 33-45.
- Kendall, M.A.; Stuart, A. 1967. The advanced theory of statistics. 2.a ed. Londres: Charles Griffin.
- Kisakye, V.; Van Der Bruggen, B. 2018. Effects of climate change on water savings and water security from rainwater harvesting systems.

- Resources, Conservation and Recycling 138 49-63.
- Lilliefors, H.W. 1967. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association* 62(318) 399-402.
- Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3) 245-259.
- Melo, M.C. de. 2016. Segurança Hídrica para Abastecimento Urbano: Proposta de modelo analítico e aplicação na Bacia do Rio das Velhas, Minas Gerais. 525f. Tese (Doutorado). Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Melo, M.C.; Johnsson, R.M.F. 2017. O Conceito Emergente de Segurança Hídrica. *Sustentare* 1(1) 72-92.
- Meybeck, M. 2003. Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B*. 358 1935-1955.
- Naitzel, L.T. 2023. Projeção de indicadores de segurança hídrica em escala nacional para diferentes cenários de mudanças climáticas e consumo de água utilizando geoprocessamento. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Otto, F.E.L.; Coelho, C.A.S.; King, A.; Perez, E.C. de; Wada, Y.; Oldenborgh, G.J.V.; Haarsma, R.; Haustein, K.; Uhe, P.; Aalst, M.V.; Aravequia, J.A.; Almeida, W.; Cullen, H. 2015. Factors other than climate change, main drivers of 2014/15 water shortage in southeast Brazil. *Bulletin of the American Meteorological Society* 96(12) S35-S40.
- PARAÍBA. Secretaria de Infraestrutura, Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Camargo Schubert Engenheiros Associados. Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior, ATECEL. 2014. Atlas eólico: Paraíba. Campina Grande: ATECEL/UFCG. 104p.
- Paungartten, S.P.L. 2022. Segurança hídrica e vulnerabilidade socioambiental na cidade de Oiapoque, AP/ Amazônia Setentrional-Brasil. 208f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- Pearson, K. 1892. *The grammar of science*. London, J. M. Dent and Company.
- Pozzebon, G.R. 2021. Definição e avaliação de indicadores de segurança hídrica para o município de Caxias do Sul. 11f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Engenharia Ambiental). Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul.
- QGIS. Development Team. 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2024. <https://www.R-project.org>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2024.
- Rocha, E.I.S. 2022. Avaliação da segurança hídrica: estudo de caso, Currais Novos. 34f. Monografia (Graduação). Centro de Tecnologia, Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.
- Rodriguez, F.A.; Rodriguez, R. Del G. 2021. Segurança Hídrica & Municipalidade – Governança e Cidadania pela Água. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2021, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- Rosa, L.A. da S. 2019. Segurança Hídrica: Um olhar sobre a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável). Universidade de Brasília. Brasília.
- Seidel, M.A.; Lima, G.F.C.; Silva, E. 2022. Panorama da mineração na Paraíba: a industrialização como promessa de desenvolvimento. *Geopauta* 6 e10953.
- Shapiro, A.S.S.; Wilk, M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3/4) 591-611.
- SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. 2021. Delimitação do Semiárido – 2021. Relatório Final. Recife. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acesso em: 16 de maio de 2024.
- Sugahara, C.R.; Ferreira, D.H.L.; Mendes, J.P. 2023. Análise dos indicadores de sustentabilidade para a gestão da segurança hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. *Rev. Gestão & Sustentabilidade Ambiental* 12 1-22.
- UNESCO & UNESCO i-WSSM. 2019. Water Security and the Sustainable Development Goals (Series I). Global Water Security Issues (GWSI) Series. UNESCO Publishing: Paris, France.
- UNESCO. 2009. World Water Assessment Programme. Water in a Changing World. The United Nations World Water Development Report 3.

- Van Beek, E.; Arriens, W.L. 2014. Water Security: putting the concept into practice. TEC Background Paper n.20. Stockholm, Global Water Partnership. 55p.
- Varejão-Silva, M.A.; Braga, C.C.; Aguiar, M.J.N.; Nietzsche, M.H.; Silva, B.B. 1984. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande.
- Veettil, A.V.; Mishra, A.K. 2016. Water security assessment using blue and green water footprint concepts. *Journal of Hydrology* 542 589-602.
- Vörösmarty, C.J.; McIntyre, P.B.; Gessner, M.O.; Dudgeon, D.; Prusevich, A.; Green, P.; Glidden, S.; Bunn, S.E.; Sullivan, C.A.; Liermann, C.R.; Davies, P.M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467(7315) 555-561.
- Vörösmarty, C.; Lettenmaier, D.; Leveque, C.; Meybeck, M.; Pahl-Wostl, C.; Alcamo, J.; Cosgrove, W.; Grassl, H.; Hoff, H.; Kabat, P.; Lansigan, F.; Lawford, R.; Naiman, R. 2004. Humans transforming the global water system. *EOS, Transactions, American Geophysical Union* 85(48) 513-514.
- Ward, P.J.; Jongman, B.; Aerts, J.C.J.H.; Bates, P.D.; Botzen, W.; Loaiza, A.D.; Hallegatte, S.; Kind, J.M.; Kwadijk, J.; Scussolini, P.; Winsemius, H.C. 2017. A global framework for future costs and benefits of river-flood protection in urban areas. *Nature Climate Change* 7(9) 642-646.