

Estimation of the Salinity of Groundwater in the State of Paraíba Using Interpolation and Modeling

Paulo R. M. Francisco*, José H. S. de Sousa**, George do N. Ribeiro***,
José N. Silva****, Luciano F. Saboya*****, Franciele S. do Nascimento*****

*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 Federal de Campina Grande, UFCG, lsaboya@hotmail.com

*****Graduanda em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, simoesfranciele9@gmail.com

Received 10 February; accepted 19 October.

ABSTRACT

Knowledge of the quality of groundwater regarding saline concentration and how it is spatially distributed is necessary for planning the exploration and management of aquifer waters, in order to guarantee their sustainability and prevent the degradation of water resources. This work aimed to estimate and map the salinity of groundwater, for irrigation purposes in the State of Paraíba. Electrical Conductivity (EC) data and Calcium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}) and Sodium (Na^+) parameters were obtained from 460 wells in SIAGAS[®] and using QGIS[®] they were geospatialized using B-Spline Multilevel interpolation through the plugin SAGA[®]. In the QUALIGRAF[®] software, groundwater classification was carried out for irrigation purposes. The results demonstrated that the use of geoprocessing proved to be an efficient and fast tool along with the use of interpolation, which presented satisfactory results in the use of multilevel b-spline modeling. The geostatistics results demonstrated the variability of Electrical Conductivity, Adsorption Ratio and Salinity Risk of groundwater in the State of Paraíba. The normality tests were similar to each other and there was a low correlation between the RAS and the CE due to their distribution in the study area. In 87.35% of the territory there were high, very high and exceptionally high salinity risk classes, in which case precautionary measures should be taken regarding irrigation using groundwater. The salinity of groundwater for irrigation purposes showed variability between medium to exceptionally high-risk classes (C_2S_1 to C_5S_4).

Keywords: Wells, multilevel b-spline, geostatistics, mapping.

Estimativa da Salinidade das Águas Subterrâneas do Estado da Paraíba Utilizando Interpolação e Modelagem

RESUMO

O conhecimento da qualidade da água subterrânea relativo à concentração salina e de como ela está espacialmente distribuída, é necessário ao planejamento da exploração e ao manejo das águas do aquífero, a fim de garantir sua sustentabilidade e prevenir a degradação dos recursos hídricos. Este trabalho objetivou estimar e mapear a salinidade das águas subterrâneas, para fins de irrigação para o Estado da Paraíba. Foram obtidos dados de Condutividade Elétrica (CE) e os parâmetros de Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Sódio (Na^+) de 460 poços no SIAGAS[®] e utilizando o QGIS[®] foram geoespacializados utilizando a interpolação B-Spline Multinível através do plugin SAGA[®]. No software QUALIGRAF[®] foi realizada a classificação da água subterrânea para fins de irrigação. No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio[®]. Os resultados demonstraram que o uso do geoprocessamento se mostrou uma ferramenta eficiente e rápida juntamente com o uso da interpolação que apresentou resultados satisfatórios no uso da modelagem por b-spline multinível. Os resultados da geoestatística demonstraram a variabilidade da Condutividade Elétrica, da Razão de Adsorção e do Risco de Salinidade das águas subterrâneas do Estado da Paraíba. Os testes de normalidade apresentaram-se semelhantes entre si e houve baixa correlação entre o RAS e o CE devido sua distribuição na área de estudo. Em 87,35% do território apresentou classes de risco a salinidade alta, muito alta e excepcionalmente alta, devendo-se neste caso adotar medidas de cautela quanto a irrigação utilizando águas subterrâneas. A salinidade das águas subterrâneas para fins de irrigação, apresentaram a variabilidade entre as classes de risco médio à excepcionalmente alto (C_2S_1 a C_5S_4).

Palavras-chave: Poços, b-spline multinível, geoestatística, mapeamento.

1 Introdução

O conhecimento da qualidade da água subterrânea relativo à concentração salina e de como ela está espacialmente distribuída, é necessário ao planejamento da exploração e ao manejo das águas do aquífero, a fim de garantir sua sustentabilidade e prevenir a degradação dos recursos hídricos (Andrade et al., 2012).

Yaron (1973) afirma que, a composição de determinada água está de acordo com o tipo de rocha e do solo sobre o qual ela flui e da composição iônica da rocha matriz onde ela é armazenada. Medeiros (1992) afirma que a água subterrânea, o teor de sais dependerá da origem da água e do curso sobre a qual ela flui, e sua salinização estará de conformidade com a lei de dissolução, com base no contato entre a água e o substrato que armazena a referida água. Leprun (1983) destaca que, águas oriundas de regiões sedimentares, de baixa salinidade, são principalmente bicarbonatadas, sulfatadas ou mistas, enquanto nas fissuras das rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino, com tendência a águas mais salinas, há predominância unicamente de águas cloretadas de sódio ou magnésio.

Quando se trata de águas naturais para uso na agricultura (irrigação), não se pode adotar padrões rígidos, uma vez que, há influência de diversos fatores tais como química e porosidade do solo, condições climatológicas, entre outros (Agostinho et al., 2008). Para fins de uso na agricultura irrigada, os parâmetros físico-químicos e a salinidade são muito importantes na avaliação da qualidade da água (Holanda et al., 2016; Souza & Ribeiro, 2019).

Além de água em quantidade, a qualidade é outro aspecto muito importante a se considerar na irrigação, pois a adequação da água não depende unicamente do teor total, mas, também, de seus tipos (Ayers & Wescott, 1984;1999). Dentre os principais fatores que causam a salinização, a água utilizada na irrigação pode contribuir para elevar o teor de sais na solução do solo. Assim, a avaliação da qualidade da água utilizada na irrigação é imprescindível, principalmente em regiões áridas e semiáridas, caracterizadas por baixos índices pluviométricos, distribuição irregular das chuvas ao longo do ano e intensa evapotranspiração, que favorecem o processo de salinização e sodificação (Gheyi et al., 2004). Nunes Filho et al. (2000) relatam que, a condutividade elétrica (CE), que representa uma medida indireta da concentração total de sais solúveis, e a relação de adsorção de

sódio (RAS), constituem os principais parâmetros de classificação e qualidade das águas para irrigação.

Carneiro et al. (2012) afirmam que, a qualidade da água para fins agrícolas é um termo utilizado para indicar a conveniência ou limitação de seu uso para fins de irrigação onde, faz-se necessário à sua avaliação para posterior planejamento e manejo. Alves et al. (2009), comentam que a utilização de água de irrigação de baixa qualidade pode acarretar problemas de operacionalização em sistemas de irrigação, interferindo nas propriedades do solo bem como na qualidade da cultura irrigada.

Conforme Cichota et al. (2003), pesquisas que enfocam a variabilidade espacial de propriedades físicas, químicas e hidráulicas de solos têm grande relevância na literatura, principalmente como subsídio para o manejo racional de água e solo em perímetros irrigados. De acordo com Pessoa (2006), a utilização de ferramentas geoestatísticas, além de identificar a possível existência de dependência espacial entre as observações, pode ser aplicada em mapeamento, orientação de futuras amostragens e modelagem.

Dentre os procedimentos geoestatísticos, se destaca como a técnica do algoritmo B-spline multinível (MBS) para interpolação espacial de dados dispersos (Lee et al., 1997). O algoritmo faz uso de uma hierarquia grosseira à fina de redes de controle para gerar uma sequência de funções B-spline bicúbicas, cuja soma se aproxima da função de interpolação desejada em que, grandes ganhos de desempenho são obtidos usando o refinamento do B-spline para reduzir a soma dessas funções em uma função B-spline equivalente.

Diversos autores têm realizado estudos sobre a qualidade das águas subterrâneas na região do semiárido como por Andrade Júnior et al. (2006), no Piauí; Costa et al. (2006), no Rio Grande do Norte; em Pernambuco por Montenegro et al. (2001), Souza et al. (2006), Fernandes et al. (2009), e por Andrade et al. (2012).

Portanto, este trabalho objetiva estimar e mapear a salinidade das águas subterrâneas, para fins de irrigação para o Estado da Paraíba utilizando modelagem por interpolação b-spline multinível.

2 Material e métodos

O Estado da Paraíba localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.372 km², que corresponde a 0,662% do território nacional. 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 (Francisco, 2010).

De acordo com dados da Agência Estadual de Gestão de Águas da Paraíba (AESA, 2024), o Estado apresenta 14.521 fontes de abastecimento registrados no órgão, dos quais 5.892 são poços de abastecimento rural (2.174), para a agroindústria (155), aquicultura (73), e para irrigação (3.490) dos quais, 2.237 unidades são do tipo amazonas e tipo tubular de 1.272 poços. Das outorgas fornecidas para irrigação, estas são para os sistemas de aspersão autopropelido e convencional, pivô central, localizada por gotejamento e microaspersão, superficial por inundação e por sulco.

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) (Figura 1a). A precipitação varia de 400 a 800mm anuais, nas regiões interiores semiáridas, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar aos 1.600mm (Varejão-Silva et al., 1984). Conforme Francisco et al. (2015), apresenta classificação climática de Köppen, em quatro tipos diferentes de clima, o clima Aw, que caracteriza a região do Litoral norte como Tropical com estação seca no inverno, o clima Am no Litoral norte e Sul do Estado, o tipo climático As que dominam em sua maioria nas regiões de parte do Litoral, Brejo, Agreste e em pequena faixa da região do Sertão e em toda área do Alto Sertão. O tipo climático Bsh é

predominante na área do Cariri/Curimataú, e boa parte da área do Sertão.

A caracterização geológica do Estado de acordo com (Santos et al., 2002), apresenta subsolo formado em sua maior parte por rochas pré-cambrianas, que cobrem cerca de 80% da sua área, e os 20% restantes são de idade cretácea e ligadas à evolução Atlântica da plataforma sul-americana, e por coberturas continentais paleógena-neógenas continentais. Quanto aos sistemas hidrogeológicos, é composto pelo Sistema Cristalino que é predominante em 89,82% da área, seguido dos Sistemas Sedimentares Paraíba-Pernambuco (6,99%), Rio do Peixe (2,38%) e Serra do Martins (0,79%), e pequenas ocorrências dos Sistemas Aluvionar e Elúvio-Coluvionar.

As classes predominantes de solos área de estudo estão descritas no Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), e estas diferem pela diversidade geológica, pedológica e geomorfológica; atendendo também a uma diversidade de características de solo, relacionadas à morfologia, cor, textura, estrutura, declividade e pedregosidade e outras características (Francisco et al., 2013). De uma forma geral os solos predominantes são os Luvisolos crômicos, Neossolos Litólicos, Planossolos Solódicos, Neossolos Regolíticos Distróficos e Eutróficos distribuídos pela região do sertão e nos cariris, os Vertissolos na região de Souza, e os Argissolos Vermelho Amarelo e os Neossolos Quartzarênicos no litoral do Estado (Francisco, 2010).

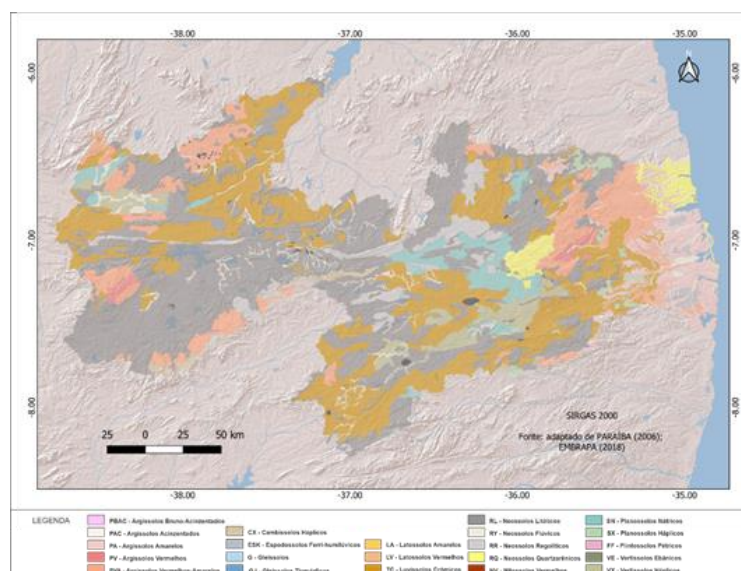


Figura 1. Solos do Estado da Paraíba. Fonte: Francisco et al. (2023).

Na metodologia deste trabalho foram utilizados dados obtidos no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS® do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM, 2024),

entre 1962 a 2004 totalizando 460 poços distribuídos por todo Estado, dados estes de Condutividade Elétrica (CE) em µmohs/cm, os

parâmetros de Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺) e Sódio (Na⁺) em meqL⁻¹.

Utilizando planilha Excel[®] foram inseridos os dados obtidos e após, utilizando o QGIS[®] 3.34, os dados foram importados e geoespacializados utilizando a interpolação B-Spline Multinível (MBS) através do plugin SAGA[®] gerando imagens no formato *raster* com células de 1 km², com limiar de erro de 0,0001 e 11 como nível máximo. Método de interpolação em que, à medida que a hierarquia avança de nível, o controle de látex aplicado por cada multinível suaviza e interpola o conjunto de pontos que compõem a superfície, gerando uma representação aproximada da realidade (Lee et al., 2005). Em seguida foram classificados de acordo com a Tabela 1, mapeados e recortados utilizando os limites do Estado (IBGE, 2021).

Utilizando a calculadora *raster* do QGIS[®], onde por modelagem foi determinado a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), de acordo com a Equação 1.

$$RAS = Na^+ / [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{0.5} \text{ (Eq.1)}$$

Em seguida, com o objetivo de verificar o comportamento dos dados foi realizada a estatística descritiva dos dados obtidos utilizando o plugin SAGA[®].

Após, utilizando o software QUALIGRAF[®] (Möbüs, 2003), desenvolvido e

disponibilizado pela FUNCEME, foi realizada a classificação da água subterrânea para fins de irrigação utilizando-se a classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (USSL), que leva em consideração a CE e a RAS, para os riscos de salinização e/ou sodificação da água (Richards, 1954) (Tabela 1). Para a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) utiliza este parâmetro numa combinação de intervalos de valores de RAS com CE da água, sendo dado o grau de restrição de uso da água para irrigação, quanto ao risco de sodificação do solo (Ayers & Westcot, 1999). Quanto ao risco de salinidade, as águas são classificadas em C₁ - águas com baixa salinidade, C₂ - águas com salinidade média, C₃ - águas com salinidade alta e C₄ - águas com salinidade muito alta. Quanto ao risco de sodicidade as águas são divididas em quatro classes segundo a RAS: S₁ - águas com baixa concentração de sódio, S₂ - águas com concentração média de sódio, S₃ - águas com alta concentração de sódio e S₄ - águas com muito alta concentração de sódio (Bernardo, 1995).

Os valores de classificação obtido para os pontos foram geoespacializados utilizando-se a interpolação B-Spline Multinível (MBS) através do plugin SAGA[®] do QGIS[®] 3.34. Em seguida as imagens *raster* foram transformados em formato vetorial, classificada e recortado em seus limites conforme Tabela 1. Após, com o objetivo de realizar o cálculo das áreas, foi utilizado o plugin *r.report* do GRASS[®].

Tabela 1. Classificação do risco de salinização das águas para irrigação

Condutividade Elétrica CE (µmohs/cm)			Razão de Adsorção de Sódio RAS			Risco de Sódio	Risco de Salinização (mg/L)	
Classe	Tipo de Água com Salinidade	Valor	Classe	Concentração de Sódio	Valor	Classe	Classe	Valor
							Nulo	0-64
C1	Baixa	100-250	S1	Baixa	0-10	Baixo	Baixo	64-160
			S2	Média	10-18	Médio		
			S3	Alta	18-26	Forte		
			S4	Muito Alta	> 26	Muito Forte		
C2	Média	250-750	S1	Baixa	0-8	Baixo	Médio	160-480
			S2	Média	8-15	Médio		
			S3	Alta	15-22	Forte		
			S4	Muito Alta	> 22	Muito Forte		
C3	Alta	750-2.250	S1	Baixa	0-7	Baixo	Alto	480-1.440
			S2	Média	7-13	Médio		
			S3	Alta	13-19	Forte		
			S4	Muito Alta	> 19	Muito Forte		
C4	Muito Alta	2.250-5.000	S1	Baixa	0-5	Baixo	Muito Alto	1.440-3.400
			S2	Média	5-10	Médio		
			S3	Alta	10-15	Forte		
			S4	Muito Alta	> 15	Muito Forte		
C5	Excepcionalme nte Alta	5.000- 20.000	S1	Baixa	0-3	Baixo	Excepcionalm ente Alto	3.400- 12.800
			S2	Média	3-8	Médio		
			S3	Alta	8-12	Forte		
			S4	Muito Alta	> 12	Muito Forte		

Fonte: adaptado de Ayers e Westcot (1999).

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio® v.2022 Para avaliação dos dados das amostras de água foi utilizado a regressão clássica, conforme o modelo de regressão (Equação 2).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \text{ (Eq.2)}$$

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, foram usados os testes de hipóteses não paramétricos Shapiro-Wilk (1965), Anderson-Darling (1954), Lilliefors (1967), Jarque-Bera (1987) e Mann-Kendall (1967; 1945). Na elaboração de correlação paramétrica foi utilizado

a metodologia de correlação de Spearman (1904). Buscou-se identificar uma correlação entre o RAS e o CE utilizando o método de Pearson (1895) (PCC).

3 Resultados e discussão

Na Figura 2a observa-se a espacialização do Na^+ de origem subterrânea, onde os menores valores apresentam-se na região do Litoral e no Sertão com pequenas áreas de influência no centro do Estado onde apresentam-se também maiores valores. Na Figura 2b referente ao Ca^{2+} pode-se verificar que os maiores valores observados estão na região central do Litoral, ocorrendo também na região do Curimataú e na drenagem do rio Paraíba, ao sul do Estado, e na região norte do Sertão. Quanto ao Mg^{2+} , este ocorre os maiores valores sob o Planalto da Borborema e na região central do Litoral.

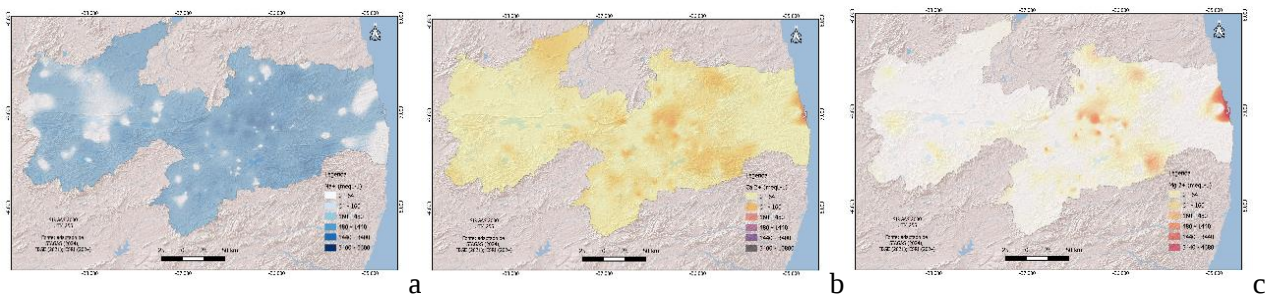


Figura 2. Distribuição espacial. a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} (meqL^{-1}). Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

Quanto ao CE (Figura 3a), os dados das amostras dos poços apresentam-se com os menores valores na região do Litoral sul do Estado e em quase todo o Sertão e os menores valores na região

central do Estado sob o Planalto da Borborema. O RAS (Figura 3b) apresenta-se maior concentração de valores médios na região central do Estado sob a Planalto da Borborema.

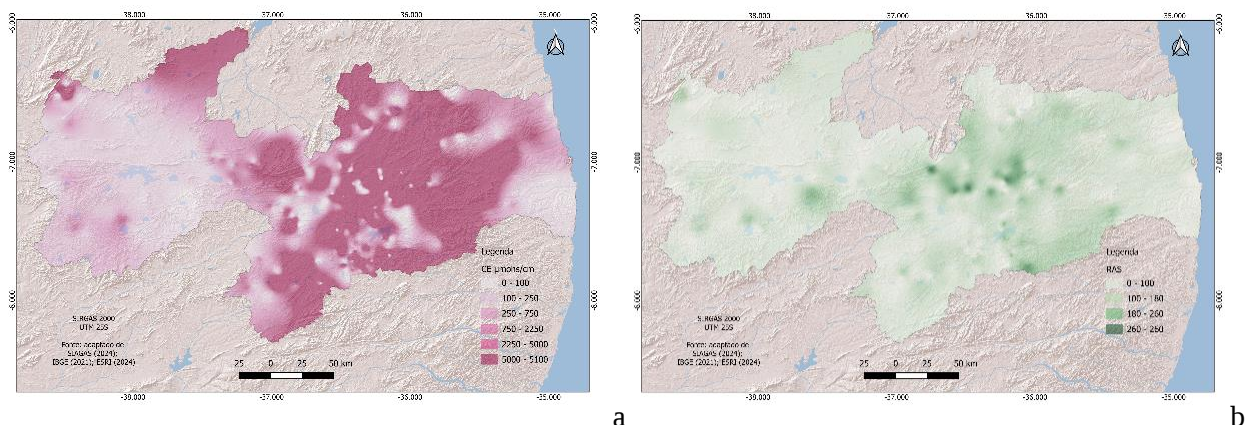


Figura 3. Distribuição espacial. a) CE ($\mu\text{mohs/cm}$), b) RAS (adimensional). Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

As águas subterrâneas apresentam valores de magnésio no intervalo de 1 a 40 mg L⁻¹/meqL⁻¹ (Obiefuna & Sheriff, 2011), compatíveis com os resultados deste trabalho. Oliveira et al. (2021), para 3 poços do município de Areia, região do Brejo, obtiveram valores entre 7,2 e 8,7 (mg/L) referentes ao magnésio (Mg) em que permaneceram abaixo do quantitativo de referência (FUNASA, 2013), de no máximo 150 mg/L. Medeiros et al. (2019) obtiveram valores pontuais de 20 poços de Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ semelhantes a este trabalho para a região do Litoral, entre os municípios de Santa Rita, João Pessoa e Cabedelo. Para o CE, os mesmos autores obtiveram valores similares. Oliveira et al. (2023) afirmam que, a CE é um dos principais parâmetros a serem analisados em água, uma vez que está diretamente ligada aos riscos de salinidade dos solos e sua quantificação para fins de uso na agricultura possibilita estimar riscos relacionados à salinização do solo.

Melo et al. (2016) para o município de Remígio e Arara, região do Agreste, obtiveram valores similares a este trabalho para o CE em 3 poços. De acordo com Libânio (2010), a condutividade elétrica de águas doces naturais é inferior a 100 µS/cm ou 10.000 µmhos/cm, no entanto, este trabalho apresenta valores médios menores, representando menor influência.

Na região do Sertão, nos municípios de Coremas, Igaracy, Piancó e Pombal, Agostinho et al. (2008), obtiveram valores de CE entre 350 a 1.300 µS/cm para 15 poços. Oliveira et al. (2005), avaliando 9 poços no município de Caturité, região do Cariri, observaram valores médios de CE de 2,46 dS m⁻¹. Valores similares a este trabalho. Azevedo et al. (2012) avaliando a água subterrânea de 11 poços no perímetro irrigado de São Gonçalo, região do Sertão, observaram uma média de CE de 0,597 dS m⁻¹, a qual ficou abaixo de 0,7 dS m⁻¹ o que, segundo a classificação proposta por Ayers e Westcot (1999) onde não apresenta restrição ao

uso da água na irrigação, porém o valor máximo da CE apresentou 0,938 dS m⁻¹, sendo caracterizada, como água de risco moderado. Com relação à RAS, o valor médio encontrado foi de 2,93.

Farias et al. (2016), avaliando 55 amostras de águas de poços de Boa Vista, região do Cariri, sob o Planalto da Borborema, observaram que, os valores de CE variaram de 1,14 a 15,52 dS m⁻¹, com média de 7,02 dS m⁻¹ e mediana de 6,49 dS m⁻¹.

Medeiros Filho e Velardez (2017) avaliando poços na região do Curimataú obtiveram para os municípios de Sossêgo e Cuité valores de CE entre 2,78 a 7,57 mS cm⁻¹. Os valores de CE mais altos, é confirmado por estudos hidroquímicos dos mananciais subterrâneos na região nordeste (IBGE, 2013) em que, a origem mineral da rocha e um regime baixo de chuvas, contribuem para permanecer valores altos.

Observa-se que o mapeamento da CE elaborado por este trabalho, apresenta-se compatível, porém mais detalhado em sua distribuição em relação com os resultados que se encontram no Mapa Hidrogeológico do Estado da Paraíba (CPRM, 2013) como parte do Projeto de Disponibilidade Hídrica do Brasil.

No mapa de distribuição espacial do risco de salinidade das águas subterrâneas para fins de irrigação (Figura 3), pode-se observar que a região do Litoral, como a do Sertão apresentam maiores áreas com risco de salinidade médio da classe C₂ variando entre C₂S₁ a C₂S₄ com média concentração de sódio. Sob todo o Planalto da Borborema ocorrem pequenas áreas desta mesma classe.

Na região do Sertão ao norte divisa com o Rio Grande do Norte, no Curimataú, localizado ao centro norte do Estado, e parte do Agreste Acaatingado ao sul, as classes de risco a salinidade variam entre C₄S₃ e C₅S₄, de muito alto a excepcionalmente alto risco de salinidade.

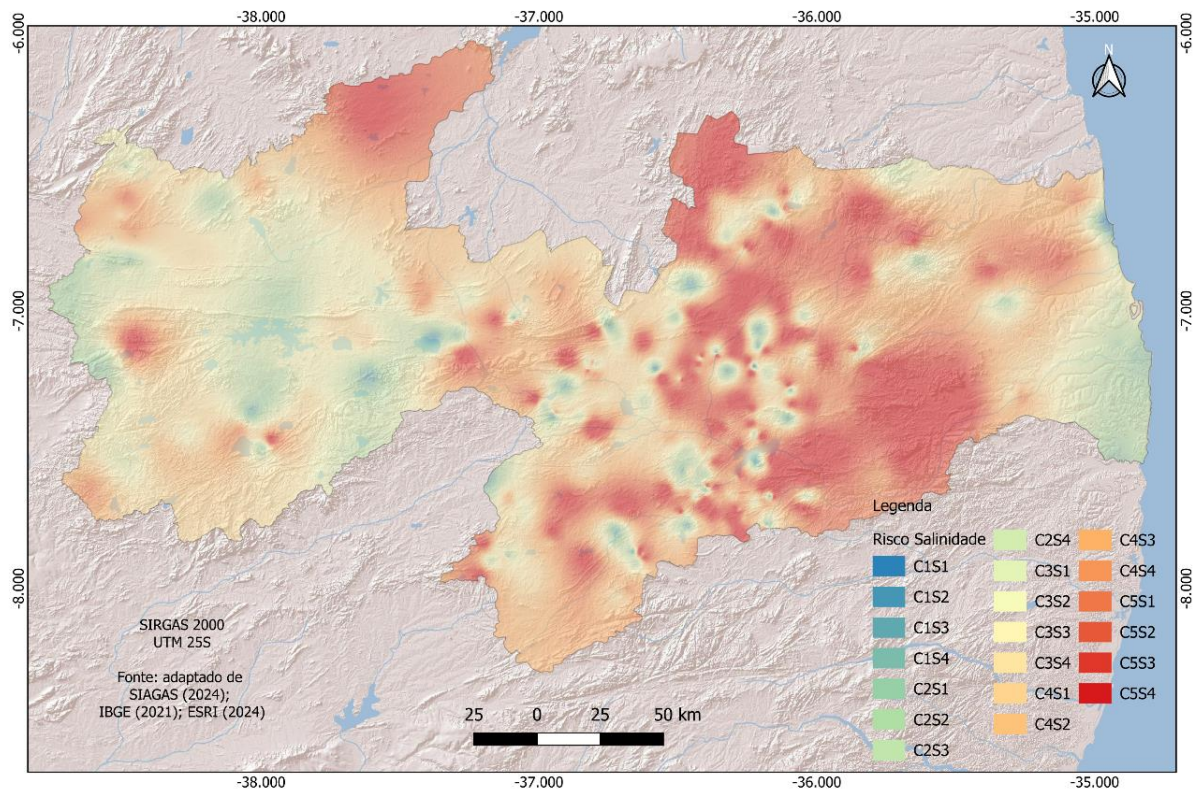


Figura 3. Distribuição espacial do risco de salinidade das águas subterrâneas para fins de irrigação. Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

Em comparação com o Mapa de hidroquímica dos mananciais subterrâneos do Estado da Paraíba elaborado pelo IBGE (2006), este trabalho apresenta-se similar, diferenciando-se pelo método de interpolação e pelas classes adotadas.

Na Figura 4a observa-se o histograma do mapa de risco de salinidade a irrigação por águas

subterrâneas em que apresenta maior frequência acima da Classe C_3S_1 com risco alto, concordando com os dados descritivos da Tabela 1. A distribuição em área das classes (Figura 4b) pode-se observar a maior influência das classes mais elevadas do risco a salinidade na área de estudo, alto, muito alto e excepcionalmente alto quanto ao risco de salinidade.

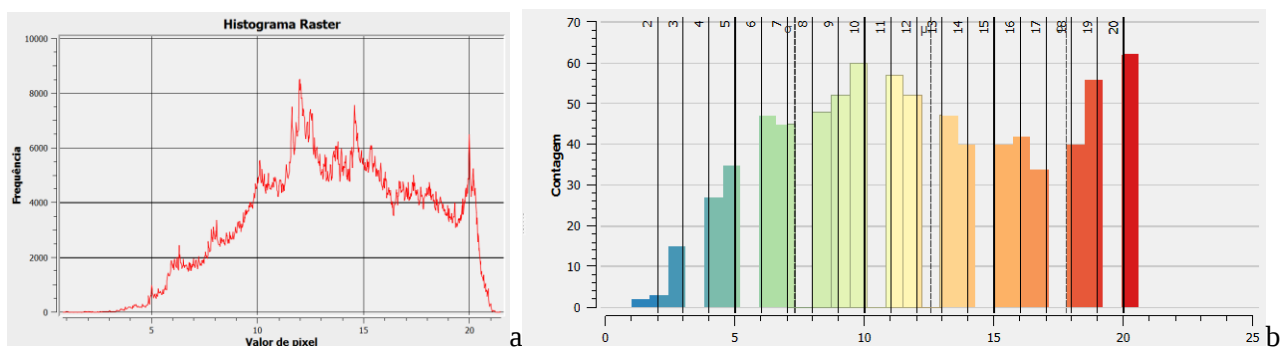


Figura 4. a) Histograma de frequência, b) Distribuição das classes de risco a salinidade.

Na Tabela 2, pode-se observar a distribuição espacial de risco de salinidade das águas subterrâneas, em que a classe baixo risco de salinidade (C_1S_1 a C_1S_4) apresenta a menor área em relação ao total ($0,63 \text{ km}^2$), seguida da classe médio risco com $12,02\%$ da área, totalizando

somente $12,65\%$ do Estado. As classes alto e muito alto de risco (C_3S_1 a C_4S_4) totalizam $64,62\%$ do total demonstrando a sua maior influência no risco de salinidade. Em $22,73\%$ da área do Estado está representado pela classe excepcionalmente alto de risco a salinidade.

Tabela 2. Distribuição espacial das classes de risco de salinidade das águas subterrâneas para fins de irrigação

Risco Salinidade											
Classe		Área (km ²)	%	Classe		Área (km ²)	%	Class e	Área (km ²)	%	
Baixo	C ₁ S ₁	9,37	0,02	Alto	C ₃ S ₁	3.313,03	5,87	Excepcionalmente Alto	C ₅ S ₁	3.755,93	6,66
	C ₁ S ₂	13,71	0,02		C ₃ S ₂	4.123,95	7,31		C ₅ S ₂	3.746,00	6,65
	C ₁ S ₃	82,79	0,15		C ₃ S ₃	4.973,44	8,82		C ₅ S ₃	3.384,45	6,00
	C ₁ S ₄	250,45	0,44		C ₃ S ₄	5.645,75	10,01		C ₅ S ₄	1.927,01	3,42
Subtotal		356,32	0,63			18.056,17	32,03	Subtotal	12.813,39	22,73	
Médio	C ₂ S ₁	842,42	1,49	Muito Alto	C ₄ S ₁	5.068,90	8,99				
	C ₂ S ₂	1.520,73	2,70		C ₄ S ₂	4.978,35	8,83				
	C ₂ S ₃	2.047,40	3,63		C ₄ S ₃	4.550,30	8,07				
	C ₂ S ₄	2.364,27	4,19		C ₄ S ₄	3.773,75	6,69				
Subtotal		6.744,82	12,02			18.371,30	32,59	Total	56.372,00	100,00	

Souza et al. (2018) observaram para poços de Catolé do Rocha, região do Sertão, valores de CE entre 0,89 e 1,16 mS cm⁻¹ e RAS entre 4,43 e 10,45 (mmolc L⁻¹)^{1/2} com classificação geral C₂S₁ de risco de salinidade. Gomes et al. (2018), avaliando 13 poços no município de Sousa, região do Sertão, obtiveram valores de C₃S₄ na sua maioria com risco alto de salinidade, valores estes similares a este estudo. Agostinho et al. (2008) obtiveram a classificação do tipo C₂S₁, C₃S₁ e C₂S₂ para os poços da região do Sertão, nos municípios de Coremas, Igaracy, Piancó e Pombal. Resultado similar a este trabalho. Ceballos et al. (2006), avaliando a qualidade das águas para irrigação na bacia sedimentar do Rio do Peixe observaram a predominância dos tipos C₂S₁ C₃S₂ e C₃S₁ com riscos médios a altos de salinidade e baixos de sodificação.

Oliveria Filho et al. (2014) avaliando a água de 12 poços da região de Nazarezinho, onde foram classificadas como C₂S₁ e C₃S₁. Melo et al. (2016), na região do Agreste, observaram valores para a classificação das águas em C₁S₁ e C₂S₁, baixo e médio, respectivamente. Oliveira et al. (2021), classificaram as águas de poços do município de Areia, região do Brejo em C₁S₂, C₁S₃ e C₂S₃.

Na Figura 5 da classificação das águas subterrâneas, verifica-se que, os valores das amostras se distribuem em todas as classes, com somente 18 amostras com risco de salinização baixo, e as demais acima de risco médio, demonstrando o maior risco a salinização dos solos pela água subterrânea dos poços amostrados.

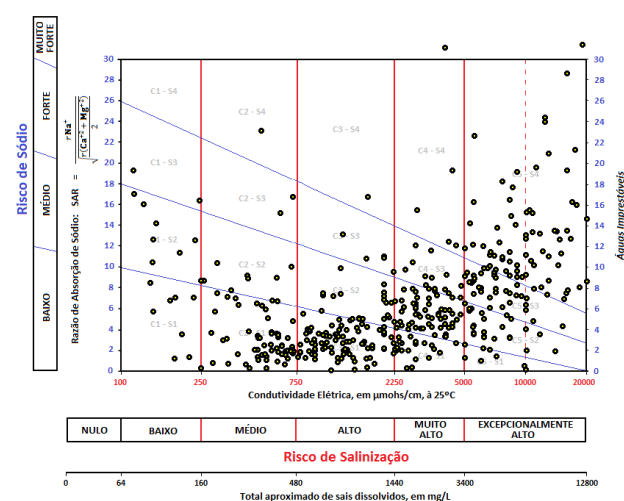


Figura 5. Classificação das águas subterrâneas para fins de irrigação.

De acordo com Almeida (2010), águas com esse tipo de classificação (C₃, C₄ e C₅) não são apropriadas para irrigação sob condições ordinárias, apenas em circunstâncias muito especiais. Nesse caso, os solos devem ser permeáveis, possuir drenagem adequada, alcançar boa lixiviação e ainda devem ser selecionadas culturas altamente tolerantes a sais. Já para o risco de sódio, o uso dessas águas na agricultura pode trazer sérios riscos ao solo, podendo torná-lo infértil em pouco tempo, sendo necessárias práticas de manejo especiais, como boa drenagem, fácil lixiviação e aporte de matéria orgânica.

Pelos dados estatísticos demonstrados na Tabela 3, verifica-se que, entre as variáveis Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , a maior média apresenta-se no Mg^{2+} , seguido pelo maior desvio padrão e maior variabilidade. A variável CE apresenta alta variabilidade e o maior desvio padrão. A variável RAS por ser adimensional apresenta um desvio padrão de 53,94 e uma média de 95,51.

Pelos dados estatísticos, observa-se pela Figura 6 que, as menores variações de amplitude se apresentam nas variáveis Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Com relação à variabilidade entre as observadas por

meio das caixas interqualíticas do gráfico boxplot para cada atributo, observa-se que na variável CE apresenta maior variabilidade.

Tabela 3. Dados estatísticos das variáveis

Atributo / Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad.	Alcance	Curtos e	1st Quart	3rd Quart
Na^+	675,96	367,00	1,50	6.562,00	873,52	6.560,52	9,11	122,50	873,52
Ca^{2+}	208,23	120,00	2,40	1.600,00	248,77	1.597,60	8,12	50,50	267,25
Mg^{2+}	226,68	116,60	1,91	2.575,00	294,99	2.573,10	2,99	41,80	295,70
CE	4525,31	2.600,00	31,12	19.999,00	5.022,49	19.967,80	1,87	880,00	6.335,00
RAS	43,36	32,69	0,07	260,00	39,03	260,03	6,08	16,75	56,31

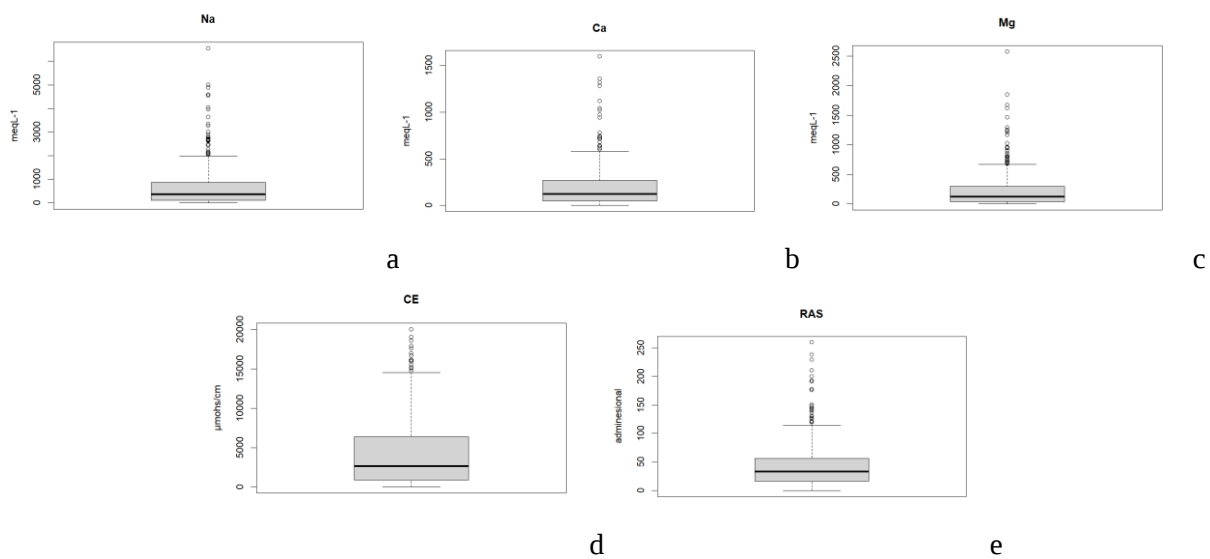


Figura 6. Boxplot das variáveis das amostras. a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} , d) CE, e) RAS.

No Teste de normalidade observa-se que a distribuição apresenta irregularidades em todas as

variáveis. Observa-se que a maior irregularidade apresenta na variável CE.

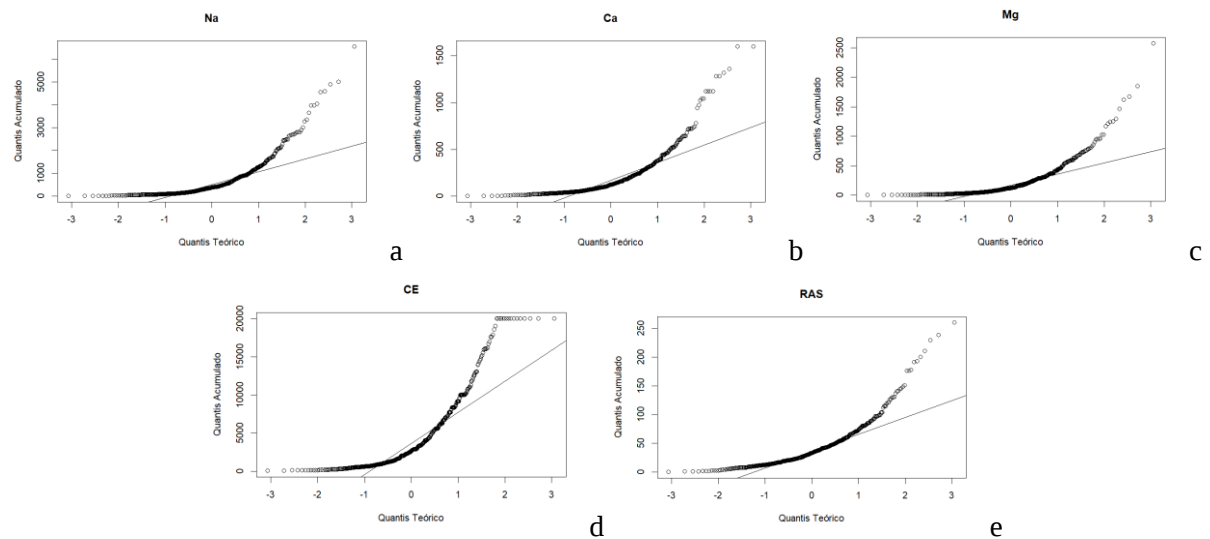


Figura 7. Quantis das variáveis das amostras. a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} , d) CE, e) RAS.

Na Tabela 3 pode-se observar que os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera

apresentam-se semelhantes entre si para todas as variáveis com p-valor $<2,2e^{-16}$, o que leva a aceitar a hipótese de normalidade nos dados.

Tabela 3. Testes de normalidade

Variável\Teste	Shapiro-Wilk		Anderson-Darling		Lilliefors		Jarque-Bera	
	W	p-valor	A	p-valor	D	p-valor	X ²	p-valor
Na ⁺	0,70223	$<2,2e^{-16}$	39,824	$<2,2e^{-16}$	0,22002	$<2,2e^{-16}$	2.144,0	$<2,2e^{-16}$
Ca ²⁺	0,71208	$<2,2e^{-16}$	37,067	$<2,2e^{-16}$	0,20401	$<2,2e^{-16}$	1.786,6	$<2,2e^{-16}$
Mg ²⁺	0,69468	$<2,2e^{-16}$	37,519	$<2,2e^{-16}$	0,22303	$<2,2e^{-16}$	4.156,7	$<2,2e^{-16}$
CE	0,79213	$<2,2e^{-16}$	30,899	$<2,2e^{-16}$	0,18545	$<2,2e^{-16}$	206,5,0	$<2,2e^{-16}$
RAS	0,80417	$<2,2e^{-16}$	21,656	$<2,2e^{-16}$	0,13893	$<2,2e^{-16}$	1.062,9	$<2,2e^{-16}$

Na Tabela 4 observa-se os resultados da correlação não paramétrica entre as variáveis deste trabalho elaborada pelo método de Sperman em

que todas apresentam-se semelhantes entre si, com p-valor $<0,001$, não sendo significativos entre elas.

Tabela 4. Correlação das variáveis das amostras elaborada pelo método Sperman

Parâmetro 1	Parâmetro 2	rho	95% CI	S	p-valor***
Na ⁺	Ca ²⁺	0,73	(0,68, 0,77)	4,41e+06	$<0,001^{***}$
Na ⁺	Mg ²⁺	0,81	(0,77, 0,84)	3,07e+06	$<0,001^{***}$
Na ⁺	CE	1,59	(0,53, 0,65)	6,54e+06	$<0,001^{***}$
Na ⁺	RAS	1,91	(0,89, 0,92)	1,47e+06	$<0,001^{***}$
Ca ²⁺	Mg ²⁺	0,87	(0,84, 0,89)	2,12e+06	$<0,001^{***}$
Ca ²⁺	CE	0,65	(0,59, 0,70)	5,70e+06	$<0,001^{***}$
Ca ²⁺	RAS	0,45	(0,37, 0,52)	8,94e+00	$<0,001^{***}$
Mg ²⁺	CE	0,69	(0,63, 0,73)	5,05e+06	$<0,001^{***}$
Mg ²⁺	RAS	0,55	(0,48, 0,61)	7,27e+06	$<0,001^{***}$
CE	RAS	0,42	(0,34, 0,50)	9,27e+06	$<0,001^{***}$

***p-valor ajustado pelo método Holm (1979) ao nível de 0,05%.

Guimarães et al. (2017), observaram para poços do município de Boa Vista que os íons cálcio, magnésio e sódio, apresentaram forte correlação positiva com a condutividade elétrica nas fontes, onde os coeficientes de determinação e correlação em todas as análises permitiu concluir que, mais de 90% da variância da concentração destes íons pode ser explicadas pela variação da CEa. Valores similares observado neste trabalho.

Pode-se verificar na Figura 8 que, a correlação de Pearson entre o CE e o RAS apresenta um coeficiente linear de $R=0,47$ e p-valor $<2,2e^{-16}$ estando de acordo com os demais testes realizados anteriormente.

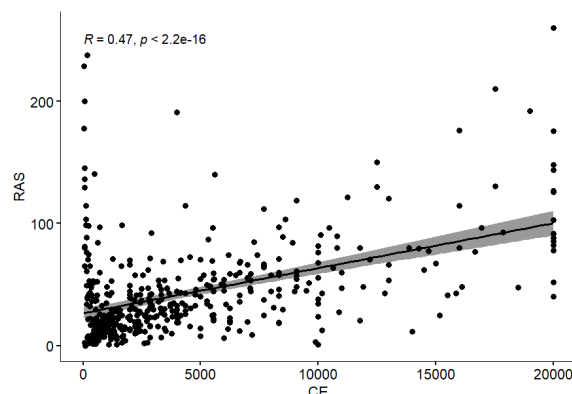


Figura 8. Correlação entre o RAS e CE.

Lira e Chaves Neto (2006) afirmam que, deve-se tomar as devidas precauções utilizar o coeficiente linear de Pearson na sua interpretação, devido ao quadrado do coeficiente de correlação não podendo ser interpretado como a proporção da variância comum às duas variáveis (R^2), quando envolvem variáveis ordinais e dicotômicas.

Conclusão

O uso do geoprocessamento demonstrou ser uma ferramenta eficiente e rápida juntamente com o uso da interpolação que apresentou resultados satisfatórios no uso da modelagem por b-spline multinível.

Os resultados da geoestatística demonstraram a variabilidade da Condutividade Elétrica, da Razão de Adsorção e do Risco de Salinidade das águas subterrâneas do Estado da Paraíba.

Os testes de normalidade apresentaram-se semelhantes entre si e houve baixa correlação entre o RAS e o CE devido sua distribuição na área de estudo.

Em 87,35% do território apresentou classes de risco a salinidade alta, muito alta e excepcionalmente alta, devendo-se neste caso adotar medidas de cautela quanto a irrigação utilizando águas subterrâneas.

A salinidade das águas subterrâneas para fins de irrigação, apresentaram variabilidade entre as classes de risco médio à excepcionalmente alto (C_2S_1 a C_5S_4).

Referências

- AESA. 2024. Agência de Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>. Acesso em: 4 de janeiro de 2024.
- AESA. 2024. Agência de Águas do Estado da Paraíba. QualiÁguas. Relatórios de dados sobre a qualidade de água de reservatórios. 2024. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br:8080/aesa-relatorio/paginas/publico/dashboard.xhtml?dashboard_id=8. Acesso em: 1 de janeiro de 2024.
- Agostinho, L.L.; Cavalcanti, B.; Nascimento, L. 2008. Qualidade das águas subterrâneas da bacia do Piancó para uso municipal e de irrigação. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, 2008, Natal. Anais...Natal.
- Almeida, O.A. 2010. Qualidade da água de irrigação. EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas. 234p.
- Alvarez, V.M.; Leyva, J.C.; Valero, J.F.; Gorriz, B.M. 2009. Economic assessment of shade cloth covers for agricultural irrigation reservoirs in a semi-arid climate. *Agric. Water Manage* 96(9) 1351-1359.
- Anderson, T.W.; Darling, D.A. 1954. A test of goodness of t. *Journal of American Statistical Association* 49 765-769.
- Andrade Júnior, A.S.; Silva, E.F.F.; Bastos, E.A.; Melo, F.B.; Leal, C.M. 2006. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semiárido piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10 873-880.
- Andrade, T.S.; Montenegro, S.M.G.L.; Montenegro, A.A.A.; Rodrigues, D.F.B. 2012. Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16(5) 496-504.
- Ayers, R.; Westcot, D.W. 1999. *Water Quality for Agriculture*. FAO. (Trad.) Gheyi, H.R.; Medeiros, J.F. de. Campina Grande: UFPB. 217p.
- Azevedo, C.A.V. de; Pordeus, R.V.; Dantas Neto, J.; Azevedo, M.R.Q. de A.; Lima, V.L.A. de. 2012. Dependência espacial da qualidade da água subterrânea no perímetro irrigado de São Gonçalo, Paraíba. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 7(2) 129-136.
- Carneiro, M.D.F.; Ingá, M.A.M.; Silva Filho, H.A.; Santos, E.V.M.; Rolim, H.O.; Chaves, J.R. 2012. Avaliação da qualidade da água para irrigação no Perímetro Irrigado Jaguaribe Apodi no município de Limoeiro do Norte-CE. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 7, 2012, Palmas. Anais...Palmas.
- Ceballos, B.S.O.; Albuquerque, J.D.P.T.; Maracajá, J.R. de A.; Pinheiro, K.M.; Galvão, M.J. da T.G.; Guimarães, A.O.; Srinivasan, V.S. 2006. Distribuição da qualidade da água subterrânea da bacia sedimentar do Rio do Peixe-PB. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 8, 2006, Gravatá. Anais...Gravatá.
- Cichota, R.; Van Lier, Q.J.; Leguizamón Rojas, C.A. 2003. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27 (5) 789-798.
- Costa, A.M.B.; Melo, J.G.E.; Silva, F.M. 2006. Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil. *Revista Águas Subterrâneas*, 20 67-82.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. 2023. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: dezembro de 2023.
- Farias, D.S.C.R.; Farias, S.A.R.; Dantas Neto, J. 2016. Avaliação de água de poços tubulares para consumo humano no município de Boa Vista, Paraíba. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 11(5) 08-14.
- Fernandes, J.G.; Freire, M.B.G.S.; Cunha, J.C.; Galvêncio, J.D.; Correia, M.M.; Santos, P.R. 2009. Qualidade físico-química das águas

- utilizadas no Perímetro Irrigado Cachoeira II, Serra Talhada, Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 4 27-34.
- 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.; Chaves, I. de B.; Lima, E.R.V. de. 2013. Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. *Revista Educação Agrícola Superior* 28(1) 30-35.
- 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.; Santos, D.; Oliveira, F.P. de; Ribeiro, G. do N.; Silva, V.F.; Silvino, G. da S. 2023. Atualização do mapa de solos do Estado da Paraíba utilizando geotecnologias. *Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology* 9(2) 20-28.
- FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Secretaria dos Recursos Hídricos. Governo do Estado do Ceará. Qualigraf. 2023. Disponível em: <https://qualigraf.funceme.br/page/6>. Acesso em: 1 de janeiro de 2024.
- Gheyi, H.R.; Luz, M.J.S.; Barreto, A.N.; Silva, A.A.G. 2004. Qualidade da água para irrigação. In: Barreto, A.N.; Silva, A.A.G.; Bolfe, E.L. *Irrigação e drenagem na empresa agrícola: impacto ambiental versus sustentabilidade*. 1.ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão.
- Gomes, M.A.; Ramos, E.V. da S.; Santos, L.C. dos; Bitu, S.G.; Gadelha, A.J.F. 2018. Avaliação hidroquímica e de parâmetros físico-químicos de qualidade das águas subterrâneas da zona urbana do município de Sousa-PB. *Águas Subterrâneas* 32(2) 162-172.
- Guimarães, R.F.B.; Farias, D.S.C.R.; Farias, S.A.R.; Dantas Neto, J.; Araújo, R.M. 2017. Proporções de sais em águas superficiais e subterrâneas do município de Boa Vista, PB. *Revista Espacios* 38(2) 8.
- Holanda, J.S.; Amorim, J.R.A.; Ferreira Neto, M.; Holanda, A.C.; Sá, F.V. S. 2016. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda, C.F.; Gomes Filho, E. (org.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, p.43-62.
- Holm, S. 1979. A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scand. J. Stat.* 6(2) 65-70.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geologia/15824-hidrogeologia.html?=&t=downloads>. Acesso em: 1 de fevereiro de 2024.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_hidrogeologico_e_hidroquimico/mapas/regionais/nordeste_hidrogeologico.pdf. Acesso em: 1 de fevereiro de 2024.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de dezembro de 2023.
- Jarque, C.M.; Bera, A.K. 1987. A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review*, 55 163-172.
- Kendall, M.A.; Stuart, A. 1967. *The advanced theory of statistics*. 2 ed. Londres: Charles Griffin.
- Lira, S.A.; Chaves Neto, A. 2006. Coeficientes de correlação para variáveis ordinais e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. *Revista Ciência & Engenharia*, 15(1/2) 45-53.
- Lee, S.; Wolberg, G.; Shin, S. 1997. Scattered data interpolation with multilevel bsplines. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 3(3) 228-244.
- Leprun, J.C. 1983. Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste. Relatório de fim de convênio de manejo e conservação de solos do Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE. p.91-141.
- Libânio, M. 2010. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3. ed. Campinas: Átomo. 494p.
- 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.
- Medeiros Filho, F.C. de; Velardez, G.F. 2017. Parâmetros físico-químicos de águas de poços localizada na região do Curimataú Paraibano. In: *Workshop Internacional sobre Água no*

- Semiárido Brasileiro, 3, 2017, Campina Grande. Anais...Campina Grande.
- Medeiros, C.M.; Barbosa, D.L.; Ceballos, B.S.O. de; Ribeiro, M.M.R.; Albuquerque, J. do P.T. 2009. Qualidade das águas subterrâneas na porção sedimentar da região do Baixo Curso do rio Paraíba. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18, 2009, Campo Grande. Anais...Campo Grande.
- Medeiros, J.F. de. 1992. Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB e CE. 173f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande.
- Melo, R.F.; Oliveira, A.R. de; Silva, M.R.B. da; Santos, J.M.R. dos. 2016. Avaliação da qualidade de água de poço em barragens subterrâneas no Semiárido Paraibano. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 10, 2016, Belém. Anais...Belém.
- Montenegro, S.M.G.L.; Montenegro, A.A.A.; Ribeiro, M.R.; Corrêa, M.M.; Almeida, T.A.; Maia, F.M.V.L. 2001. Análise da variabilidade espacial da salinidade em área irrigada e do nível d'água em aluvião sob uso agrícola na região semiárida do nordeste brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 14, 2001, Aracaju. Anais... Aracaju: ABRH.
- Nunes Filho, J.; Sousa, A.R.; Sá, V.A.L.; Lima, B.P. 2000. Relações entre a concentração de íons e a salinidade de águas subterrâneas e superficiais, visando à irrigação, no sertão de Pernambuco. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 4(2) 189-193.
- Obiefuna, G.I.; Sheriff, A. 2011. Assessment of shallow ground water quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for irrigation and domestic purposes. Research Journal of Environmental and Earth Sciences 3(2) 131-141.
- Oliveira, V. de S.; Monteiro, G.F.; Porcino, M.M.; Costa, T.S. da; Santos, M.B.H. dos. 2023. Qualidade da água subterrânea utilizada para irrigação em comunidade rural do município de Areia, Paraíba. Revista Principia 60(3) 750-762.
- Oliveira Filho; F. de S.; Silva; E.A. da; Silva; J.R.A. da; Alencar; L.V.C.; Siqueira, E. da C. 2017. Qualidade da água de poços tubulares para fins de irrigação, no município de Nazarezinho-PB. In: Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 2, 2017, Campina Grande. Anais...Campina Grande.
- Oliveira, F.M. de; Farias, S.A.R.; Ceballos, B. S.O. de; Azevedo, C.A.V. de; Baracuh, J. G. de V.; Araújo, N.L. de. 2005. Microbacia do riacho Angico, Paraíba: uso de águas de qualidade inferior para consumo humano. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 9 305-309.
- PARAÍBA. 1978. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletoConsult Ltda. 448p.
- PARAÍBA. 2006. 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. 112p.
- Pearson, K. 1895. Notes on regression and inheritance in the case of two parents. Proceedings of the Royal Society of London 58 240-242.
- Pessoa, A.L. 2006. Uma abordagem bayesiana para estudo estatístico e geoestatístico de estimativas de salinidade do solo utilizando sensor de indução eletromagnética. 103f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.
- Santos, E.J. dos; Ferreira, C.A.; Silva Jr., J.M.F. da. (org.). 2002. Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do Estado da Paraíba. Recife: CPRM. 233p.
- SGB. Serviço Geológico do Brasil. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. SIAGAS WEB. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>. Acesso em: 14 de janeiro de 2024.
- Shapiro, A.S.S.; Wilk, M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52(3/4) 591-611.
- Souza, E.R.; Montenegro, A.A.A.; Andrade, T.S.; Montenegro, S.M.G.L. 2006. Análise temporal da estrutura de dependência espacial da salinidade em aluvião no semiárido. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 35, 2006, João Pessoa. Anais...João Pessoa: SBEA.
- Souza, J.T.A.; Mesquita, E.F.; Cavalcante, L.F.; Bezerra, F.T.C.; Araújo, D.L. 2018. Monitoramento da qualidade da água subterrânea para agricultura irrigada em Catolé do Rocha, Paraíba. In: Simpósio Nacional de Estudos para Produção Vegetal no Semiárido, 3, 2018, Campina Grande. Anais...Campina Grande.
- Souza, M.; Ribeiro, A.A. 2019. Qualidade da água para fins de irrigação em regiões áridas e

- semiáridas. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering* 13(4) 355-359.
- Spearman, C. 1904. The Proof and Measurement of Association between Two Things. *The American Journal of Psychology* 15(1) 72-101.
- Varejão-Silva, M.A.; Braga, C.C.; Aguiar, M.J.N.; Nietzche, M.H.; Silva, B.B. 1984. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande.
- Yaron, B. Water suitability for irrigation. In: Yaron, E.; Danfors, E.; Vaadip, Y. (eds) 1973. *Arid zone irrigation*. Berlin: Springer-Verlag, p.71-88. *Ecological Studies*, 5.