

Salinity of Surface Water in the State of Paraíba Geospatialized by Multi-Level B-Spline Modeling

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

*****Prof. Dra., Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, lhgarofalo@hotmail.com

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

Received 12 February; accepted 19 March.

ABSTRACT

This work aimed to estimate and map the salinity of surface waters in the State of Paraíba for irrigation purposes. Electrical Conductivity (EC) data and Calcium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}) and Sodium (Na^+) parameters were obtained from 83 water analysis samples from dams and rivers from various sources and using QGIS® they were geospatialized using B-Spline Multilevel interpolation through the plugin SAGA®. In the QUALIGRAF® software, surface waters classification was carried out for irrigation purposes. In the statistical treatment, descriptive analysis of the data and normality test were carried out using the RStudio® software. The statistical results demonstrated greater variability in Na^+ and Electrical Conductivity of surface waters. The normality tests were similar to each other and the correlation between the RAS and the CE was $R=0.25$. In 81.69% of the territory there were low to medium salinity risk classes. The salinity of surface waters for irrigation purposes presented very high to exceptionally high-risk classes (C_4S_1 to C_5S_4) in the region of the sub-basins and hydrographic basins of the Seridó Oriental and in the middle course of the Piranhas river, followed by the region of the middle course of the Paraíba River.

Keywords: Electrical conductivity, sodium adsorption ratio, geoprocessing, spatial distribution.

Salinidade da Água Superficial do Estado da Paraíba Geoespacializada por Modelagem B-Spline Multinível

RESUMO

Este trabalho objetivou estimar e mapear a salinidade das águas superficiais do Estado da Paraíba para fins de irrigação. Foram obtidos dados de Condutividade Elétrica (CE) e os parâmetros de Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Sódio (Na^+) de 83 amostras de análises de água de açudes e rios de diversas fontes 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 superficial para fins de irrigação. No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio®. A interpolação apresentou resultados satisfatórios na modelagem por b-spline multinível. Os resultados estatísticos demonstraram maior variabilidade do Na^+ e da Condutividade Elétrica das águas superficiais. Os testes de normalidade apresentaram-se semelhantes entre si e a correlação entre o RAS e o CE foi de $R=0,25$. Em 81,69% do território apresentou classes de risco a salinidade baixa a média. A salinidade das águas superficiais para fins de irrigação apresentou classes de risco muito alto a excepcionalmente alto (C_4S_1 a C_5S_4) na região das sub-bacias e bacias hidrográficas do Seridó Oriental e no médio curso do rio Piranhas, seguida da região do médio curso do rio Paraíba.

Palavras-chave: Condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio, geoprocessamento, distribuição espacial.

1 Introdução

A produção de alimentos, principalmente devido a irrigação, é a atividade que mais utiliza água no mundo (TUNDISI, 2003). Embora seja a atividade econômica que mais consome água, a suficiência mundial de produção de alimentos, depende da agricultura irrigada, porque embora ocupe somente 16% da área produtiva, é responsável por 40% da produção total de alimentos (Setti et al., 2001).

Além de água em quantidade, a qualidade é outro aspecto muito importante a se considerar na irrigação (Ayers & Westcot, 1984), pois a adequação da água não depende unicamente do teor total, mas, também, de seus tipos (Ayers & Westcott, 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).

A classificação proposta pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos é baseada na condutividade elétrica (CE) como indicadora do risco de salinização do solo e na RAS como indicadora do perigo de sodicidade do solo (Bernardo, 1995). 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. Ribeiro et al. (2005) afirmam que, a condutividade elétrica é a variável mais empregada para se avaliar o nível de salinidade, ou a concentração de sais solúveis na água de irrigação e no solo.

De acordo com Kelton et al. (2007), a simulação é uma ampla coleção de métodos e aplicações que pode ser utilizada para imitar o comportamento de sistemas reais. É utilizada em diversas áreas para analisar sistemas que são complicados de serem estudados via métodos analíticos, tais como cálculo, probabilidade e estatística, ou teoria das filas (Goldsman, 2007).

Dentre os procedimentos geoestatísticos se destaca como a técnica do algoritmo B-spline multinível 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.

A estatística descritiva compreende técnicas que se usam para resumir e descrever dados que conforme Silvestre (2007), é constituída pelo conjunto de métodos destinados à organização e descrição dos dados através de indicadores sintéticos ou sumários. Testes de aderência como o Kolmogorov-Smirnov, amplamente utilizado para análise de aderências de distribuições em estudos climáticos (Cargnelutti Filho et al., 2004; Assis et al., 1996; Catalunha et al., 2002), e por ser um dos mais eficientes e utilizados em estudos sobre interpolação de dados espaciais (Mello et al., 2003; Remacre et al., 2008; Araújo et al., 2008).

Trabalhos em diversas áreas utilizaram técnicas de modelagem como Lee et al. (2005a; 2005b), por Polizelli Júnior (2008), Osorio et al. (2011), Jiang e Zhang (2013), Fanti (2016), Moon e Ko (2018); Lyche et al. (2018), Sabino e Macedo (2019), Noël et al. (2020), Cano (2022), Kaya et al. (2021) e Francisco et al. (2023), em que obtiveram excelentes resultados.

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

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 PARAÍBA (2016), O Estado da Paraíba contempla 11 bacias e sub-bacias hidrográficas as dos Rio Paraíba; Abiaí; Gramame; Miriri; Mamanguape; Camaratuba; Guaju; Piranhas; Curimataú; Jacu; e Trairi. A bacia do Rio Piranhas apresenta quatro sub-bacias, a do Rio do Peixe, Piancó, Espinharas e Seridó, e duas regiões hidrográficas, o Alto Piranhas e Médio Piranhas. Similarmente, a bacia do Rio Paraíba apresenta a sub-bacia do Rio Taperoá e três regiões Alto Paraíba, Médio Paraíba e Baixo Paraíba.

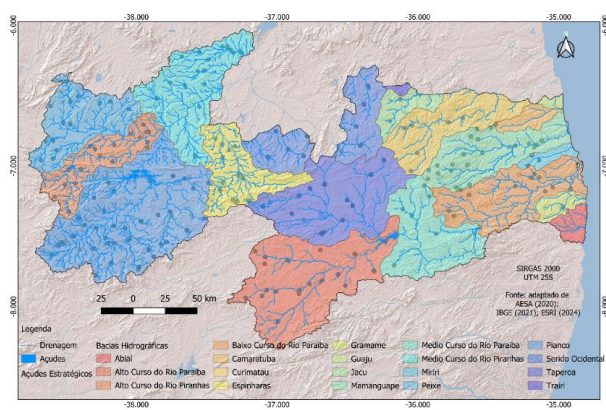


Figura 1. Bacias hidrográficas, açudes estratégicos e drenagem principal do Estado da Paraíba. Fonte: adaptado de AESA (2020); IBGE (2021); ESRI (2024).

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). 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.

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).

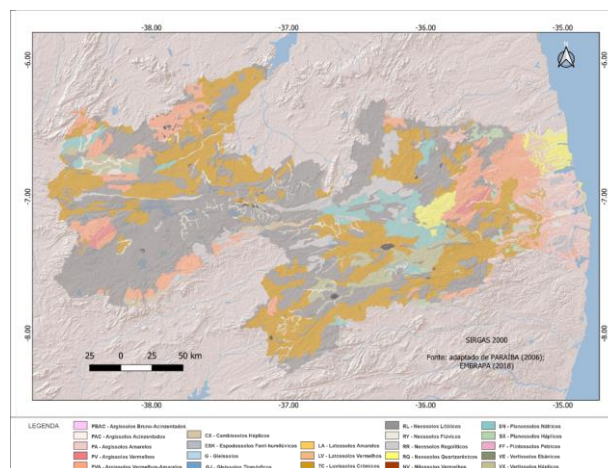


Figura 2. Solos do Estado da Paraíba. Fonte: Francisco et al. (2023).

Na metodologia deste trabalho foram utilizados dados obtidos em diversas pesquisas entre 1984 a 2019 totalizando 83 amostras de análises de águas superficiais de açudes e rios distribuídos por todo Estado, dados estes de Condutividade Elétrica (CE) em $\mu\text{mohs/cm}$, os parâmetros de Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) 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 geoespecializados 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., 2005a). 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.

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

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 superficial 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	Excepcionalmente Alta	5.000-20.000	S1	Baixa	0-3	Baixo	Excepcionalmente 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 Tabela 2 pode-se observar alguns dados das análises de águas superficiais de rios, riachos e açudes obtidas em diversas fontes e utilizadas neste trabalho e sua respectiva classificação quanto ao risco de salinidade.

Tabela 2. Dados das amostras de água superficial

Amostra	Na	Ca	Mg	CE	RAS	Classificação	Risco de Salinidade
Açude São Gonçalo	0,70	0,60	1,00	210	0,78	C1S1	Baixo
Água Branca	9,09	3,51	4,11	1.951	4,66	C3S1	Alto
Areia	0,78	1,25	1,23	350	0,70	C2S1	Médio
Baixo Rio Bodocongó	456	79,00	74,00	2.450	52,14	C4S4	Muito Alto
Bananeiras	2,24	0,10	0,11	500	6,91	C2S1	Médio
Belém do Brejo do Cruz	19,00	1,84	2,62	2.100	12,72	C3S2	Alto
Boa Vista	0,09	1,35	1,71	288	0,07	C2S1	Médio
Bom Sucesso	2,38	2,54	1,38	745	1,70	C2S1	Médio
Bonfim	2,28	0,46	0,28	214	3,75	C1S1	Baixo
Bonfim	2,10	0,42	0,62	298	2,91	C2S1	Médio
Boqueirão	7,48	5,40	5,07	2.600	3,27	C4S1	Muito Alto
Brejo do Cruz	5,00	2,10	1,64	810	3,66	C3S1	Alto
Brejo dos Santos	17,40	12,59	7,48	3.150	5,49	C4S2	Muito Alto
Cabaceiras	9,31	2,45	2,63	1.300	5,84	C3S1	Alto
Cacimba da Várzea	0	43,26	64,89	966	0	C3S1	Alto
Cajazeirinhas	1,20	47,50	57,50	359	0,17	C2S1	Médio
Campina Grande	12,86	3,23	2,98	1.164	7,30	C3S2	Alto
Casa de Pedra	9,31	2,67	3,14	1.600	5,46	C3S1	Alto
Catolé do Rocha	42,6	2,58	5,09	5.000	21,75	C5S4	Excepcionalmente Alto
Congo	47,4	24,6	14,4	540	10,73	C2S2	Médio
Coremas	1,20	47,5	55,50	337	0,17	C2S1	Médio
Curtume	7,63	2,69	2,81	1400	4,60	C3S1	Alto
Epitácio Pessoa	1,55	1,00	0,30	390	1,92	C2S1	Médio
Evaldo Gonçalves	263,58	25,09	44,29	1.530	44,75	C3S4	Alto
Forquilha	7,48	2,45	2,63	1.300	4,69	C3S1	Alto
Ipeúbas	0,94	0,50	0,36	220	1,43	C1S1	Baixo
Jacaré	94,00	16,3	95,2	240	12,59	C1S2	Baixo
Jerico	22,00	7,70	9,16	3.050	7,58	C4S2	Muito Alto
Jurema	5,04	2,25	4,23	1.290	2,80	C3S1	Alto
Lagoa Escondida	1,88	0,88	0,70	390	2,12	C2S1	Médio
Lagoa Seca	6,42	2,15	2,87	12	4,05	C1S1	Baixo
Lagoa Seca	8,81	2,25	3,05	1.721	5,41	C3S1	Alto
Monteiro	1,94	2,02	1,36	861	1,49	C3S1	Alto
Nova Floresta	16,50	1,10	2,80	2.200	11,91	C3S2	Alto
Nova Palmeira	10,76	6,65	27,76	13.000	2,59	C5S1	Excepcionalmente Alto
Paulista	0,18	3,43	3,10	9.000	0,10	C5S1	Excepcionalmente Alto
Picuí	82,54	2,69	3,14	5.600	48,34	C5S4	Excepcionalmente Alto
Poço José de Moura	0,90	1,50	1,63	300	0,72	C2S1	Médio
Pombal	1,40	0,20	0,60	300	2,21	C2S1	Médio
Porteiras	80,54	6,65	27,76	130	19,42	C1S3	Baixo
Puxinanã	345,00	36,30	59,20	2.200	49,94	C3S4	Alto
Queimadas	9,18	4,50	11,48	2.620	3,25	C4S1	Muito Alto
Rch. do Angico	23,82	7,15	23,07	4.449	6,13	C4S2	Muito Alto
Rch. São Pedro	132,91	71,61	57,48	1.791	16,54	C3S4	Alto
Riacho Bodocongó	11,38	3,41	5,74	2.210	5,32	C3S1	Alto
Riacho dos Cavalos	10,00	3,10	6,84	2.160	4,49	C3S1	Alto
Rio Paraíba	6,00	1,80	2,38	840	4,15	C3S1	Alto
Rio Piancó	0,96	32,5	43,75	290	0,16	C2S1	Médio
Rio Piranhas	1,10	17,01	27,31	287	0,23	C2S1	Médio
Rio Serraria	16,63	5,40	5,07	2.600	7,27	C4S2	Muito Alto
Rio Sucuru	8,50	2,03	3,25	1.230	5,23	C3S1	Alto
Santa Luzia - Rio Chafariz	2,20	0,90	1,20	470	2,18	C2S1	Médio
São Bento	10,00	2,38	3,22	1.680	5,98	C3S1	Alto
São Gonçalo	49,97	0,90	1,04	500	50,74	C2S4	Médio
São Mamede	0,35	1,36	1,37	220	0,30	C1S1	Baixo
São Sebastião de Lagoa de Roça	3,38	1,15	1,54	520	2,91	C2S1	Médio
Sapé	3,30	0,34	0,63	296	4,74	C2S1	Médio
Saulo Maia	0,02	0,45	1,25	310	0,02	C2S1	Médio
Serra do Pituassú	8,05	3,57	4,11	1.500	4,11	C3S1	Alto
Serraria	0	21,63	48,41	447	0	C2S1	Médio
Vaca Brava	0,09	0,40	0,45	250	0,14	C2S1	Médio

Fonte: adaptado de Costa e Gheyi (1984); Medeiros (1992); Macedo e Santos (1992); Souza (1995); Barros (1997); Macêdo e Menino (1998); Feitosa Filho et al. (2001); Magalhães (2002); Oliveira (2005); Oliveira et al. (2007); Mendes et al. (2008); Soares et al. (2008); Sousa et al. (2008); Ângelo (2009); Lima (2009); Nunes et al. (2009); Amorim et al. (2012); Magalhães (2012); Silva Neto (2013); Freire et al. (2013); Queiroz et al. (2013); Ferreira et al. (2014); Barros (2015); Costa et al. (2015); Pereira et al. (2015); Bezerra et al. (2016); Lima Júnior et al. (2017); Sousa (2017); Ribeiro et al. (2018); Souza et al. (2018); Gondim Júnior (2019).

Na espacialização do Na⁺ de origem superficial (Figura 3a) pode-se observar que

valores maiores acima de 64 meqL⁻¹ se localizam na sub-bacia da região do médio curso do rio

Paraíba. Na Figura 3b referente ao Ca^{2+} pode-se verificar que sua distribuição ocorre na classe baixa por todo o Estado. Quanto ao Mg^{2+} (Figura

3c), este ocorre abaixo de 64 meqL^{-1} por todo o Estado.

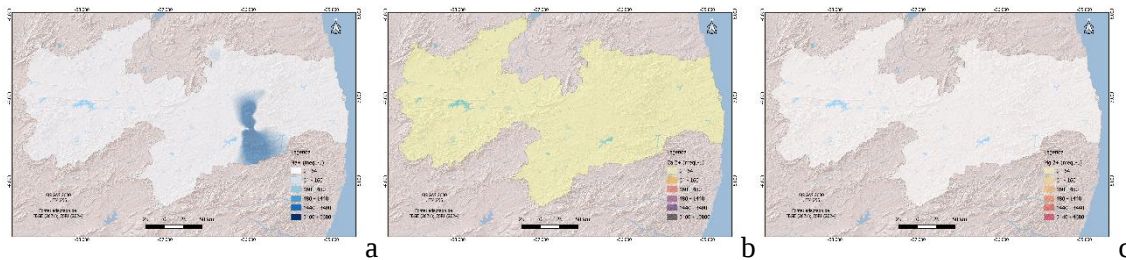


Figura 3. Distribuição espacial. a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} (meqL^{-1}).
Fonte: adaptado de IBGE (2021); ESRI (2024).

Costa e Gheyi (1984), estudando as águas de irrigação da microrregião homogênea de Catolé do Rocha e utilizando amostras de água de diferentes fontes coletadas concluíram que o sódio (Na^+) predomina em relação ao cálcio (Ca^{2+}) e ao magnésio (Mg^{2+}).

Na Figura 4a observa-se a CE e sua distribuição, onde os dados das amostras apresentam-se com os menores valores até $750 \mu\text{mhos/cm}$ na região do Sertão, Cariri e Litoral do Estado, valores mais altos até $3.000 \mu\text{mhos/cm}$

estão localizados na sub-bacia hidrográfica da região do médio curso do rio Paraíba, seguida da bacia do Seridó Oriental com valores de CE de $6.000 \mu\text{mhos/cm}$ seguida da sub-bacia do médio curso do rio Piranhas de $7.000 \mu\text{mhos/cm}$. Os valores de RAS (Figura 4b) apresentam-se valores até 100 distribuídos por todo o Estado com pequena variação na região do médio curso do rio Paraíba, Seridó Oriental, Rio do Peixe e alto curso do rio Piranhas.

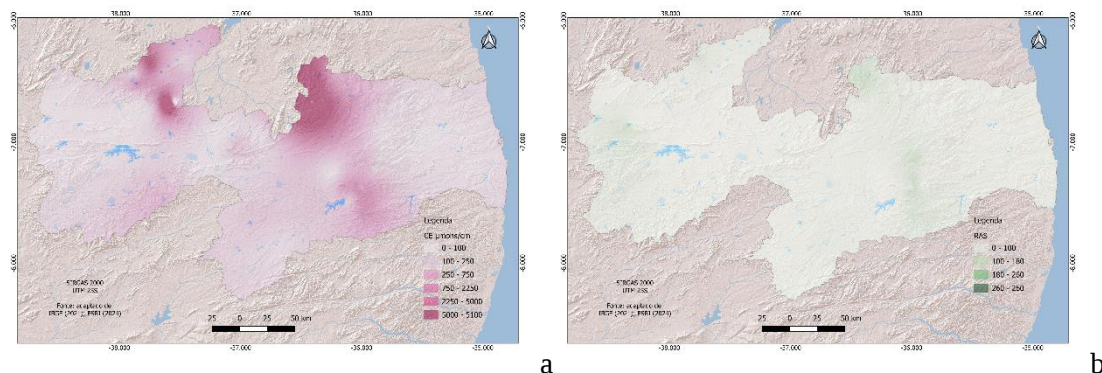


Figura 4. Distribuição espacial. a) CE ($\mu\text{mhos/cm}$), b) RAS (adimensional).
Fonte: adaptado de IBGE (2021); ESRI (2024).

A condutividade elétrica da água é a sua capacidade de transmitir a corrente elétrica, devido a presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions (Porto et al., 1991), sendo por isso, um parâmetro químico indicativo da quantidade de sais dissolvidos na água. Lucas et al. (2010) corroboram afirmando que a condutividade elétrica é importante para fins de irrigação e avaliação indireta da salinidade.

Águas de rios, barragens e poços contêm normalmente de 150 a mais de 1.500 mg/L de sal ($0,234$ a $2,34 \text{ mmhos/cm}$) e valores de Relação de Adsorção de Sódio (RAS) até mais de 30, variando assim de C_1 a C_4 e de S_1 a S_4 , em todas as combinações possíveis, abrangendo desde águas que podem ser usadas para a maioria das culturas e

solos a águas que não são apropriadas para irrigação, em condições normais (Richards, 1954).

Morais e Melo (2016), obtiveram valores de CE para o município de Puxinanã de $1.082 \mu\text{mhos/cm}$, no entanto por este trabalho os valores apresentam-se mais elevados. Mendes et al. (2008) obtiveram valores de $4.220 \mu\text{mhos/cm}$ para o CE no município de Congo, localizado na região do Cariri, vizinho ao Estado de Pernambuco, porém, Silva et al. (2014), observaram valores de $0,26 \text{ dS.m}^{-1}$. Em Pombal, no rio Piranhas-Açú, Chaves et al. (2015) observaram valores de CE de $0,220 \text{ dS.m}^{-1}$, no entanto, Dantas (2012) observou valores de CE de $1.210 \mu\text{mhos/cm}$ e RAS de $0,025$ classificando as águas em C_2S_1 . Ferreira et al. (2014), observaram para o CE $373,1 \text{ dS/m}$ e RAS

0,111. Silva Júnior et al. (1999) observaram para o município de Boqueirão, exutório da sub-bacia do rio Taperoá, valores de CE de 1.210 $\mu\text{mhos/cm}$. Para o município de Santa Luzia localizada na bacia do Seridó Ocidental, Lima (2009) observou valores de CE de 0,56 ds/m e a água foi classificada em C_2S_1 . Estes equivalentes e similares a este trabalho

Para o município de Sapé, no baixo curso do rio Paraíba, Fernandes (1997) obteve valores de CE de 373,1 e RAS de 0,111, compatíveis com este trabalho. Já Barros et al. (1999) obtiveram valores menores em comparação a este trabalho.

Para o RAS, Lima Júnior et al. (2016) observaram para o riacho de Bodocongó valores máximos de 7,88, no entanto, por este trabalho observa-se valores similares na classe de risco de

salinidade em C_3S_2 , podendo aumentar para C_4S_2 nas épocas mais secas. Silva Neto (2003) observou para o rio Piranhas e para o Açude de São Gonçalo localizados na região do alto curso do rio Piranhas, valores de RAS de 0,84 e 0,78, respectivamente, sendo classificadas as águas em C_1S_1 , resultado similar a este estudo.

No mapa de distribuição espacial do risco de salinidade das águas superficiais para fins de irrigação (Figura 5), pode-se observar que maiores valores estão localizados na bacia do Seridó Oriental e no médio curso do rio Piranhas entre C_4S_1 a C_5S_4 (muito alto a excepcionalmente alto), seguida da classe C_3S_1 a C_3S_4 (alto) na região do médio curso do rio Paraíba. Este resultado está diretamente ligado aos observados nas Figuras 2 e 3.

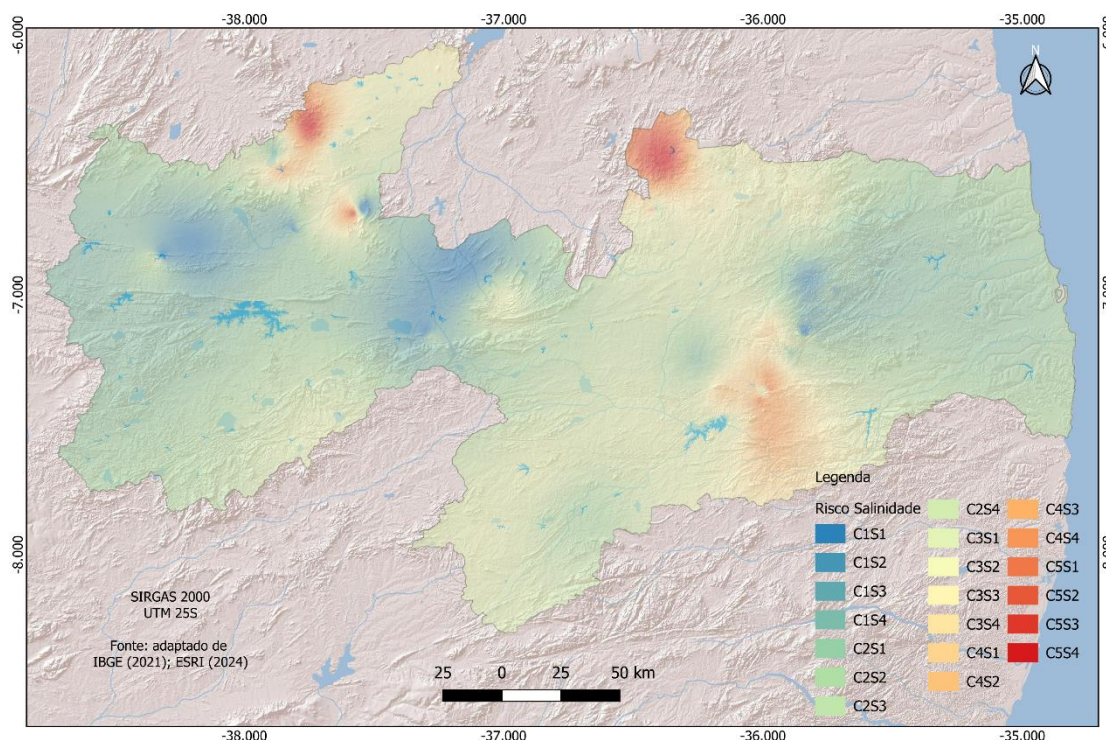


Figura 5. Distribuição espacial do risco de salinidade das águas superficiais para fins de irrigação. Fonte: adaptado de IBGE (2021); ESRI (2024).

Costa e Gheyi (1984), identificaram valores similares a este trabalho na classificação das águas para fins de irrigação em 160 amostras para a região de Catolé do Rocha, inserida na bacia hidrográfica do médio curso do rio Piranhas, divisa com o Rio Grande do Norte. Valores similares a este trabalho onde os autores recomendam adotar-se práticas especiais de manejo de solo e água.

A classe de risco médio (C_2S_1 a C_2S_4) apresenta-se na região do Litoral nas bacias de Guaju, Camaratuba, Mamanguape, Miriri, Baixo curso do rio Paraíba, Gramame e Abiaí, como

também sob o Planalto da Borborema no Alto curso do rio Paraíba e na região do Sertão na bacia do rio Piancó. O risco baixo de salinidade (C_1S_1 a C_1S_4), ocorre na região do Brejo, a oeste da bacia do rio Mamanguape, no Sertão, esta classe ocorre nas bacias do rio do Peixe, alto curso do rio Piranhas, Espinharas e no Seridó Ocidental.

Os resultados encontrados por Dantas Neto et al. (2009) com as análises de água da sub-bacia do Rio Taperoá, apresentaram 40,7% pertencente a classe C_1 ; 20,6% pertencente a classe C_2 ; 23,61% pertencente a classe C_3 ; e 15,58% pertencente a

categoria C₄. Para o município de Lagoa Seca, localizada no extremo oriental da bacia do Mamanguape, Pereira et al. (2015) observaram valores de RAS de 2,44 para as águas superficiais com risco de salinidade C₂. Bezerra et al. (2016) observaram valores na classe C₃ para Lagoa Seca. Medeiros (2010) observou para os municípios da bacia da região do alto curso do rio Paraíba a classificação quanto a CE em C₁ a C₃ para 168 fontes e para somente 3 fontes localizadas em Monteiro, Barra de São Miguel e Amparo a classe C₄. Para os açudes Saulo Maia, Vaca Brava e em Mulungu, Costa et al. (2015) observaram a classe C₁S₁, no entanto, este trabalho apresenta a classe C₁S₁ a C₁S₄ na região da bacia do Mamanguape em seu extremo oeste, devido a influência da espacialização na interpolação.

No açude Epitácio Pessoa, localizado em Boqueirão, Silva Filho et al. (2009) obtiveram a classificação das águas superficiais para irrigação a

classe C₃S₁. Valores observados também por Macêdo e Menino (1998), valores similares a este trabalho para a região. Na mesma região, na microbacia do rio São Pedro, Oliveira et al. (2005) observaram valores de RAS e da classificação das águas similares a este trabalho de C₃S₁. Barros (2015), avaliando a qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Piancó, obteve valores similares a este trabalho quanto ao CE e aos íons de Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, onde pode ser classificada quanto ao risco de salinidade em C₂S₂ para os municípios de Coremas, Cajazeiras e Pombal.

No histograma do mapa de risco de salinidade a irrigação (Figura 6a) pode-se verificar maior frequência acima da Classe C₂S₁ a C₃S₄ com risco médio a alto, concordando com os dados descritivos da Tabela 2. Na Figura 6b da distribuição em área das classes verifica-se a maior influência das classes média a alta de risco a salinidade.

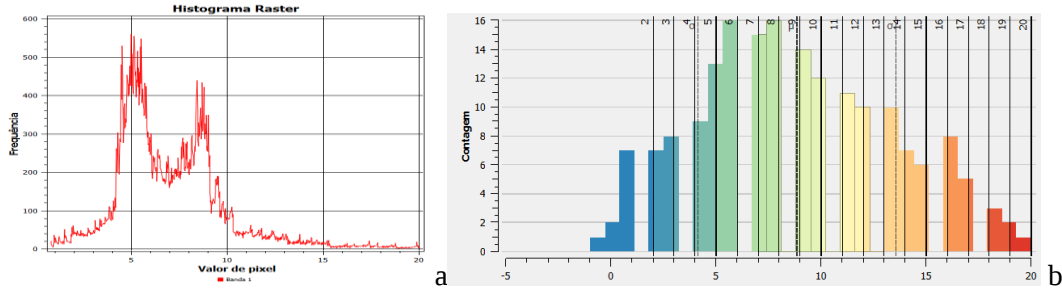


Figura 6. a) Histograma de frequência, b) Distribuição das classes de risco a salinidade.

Pela Tabela 3, pode-se observar que a distribuição espacial de risco de salinidade das águas superficiais, onde a classe baixo risco de salinidade (C₁S₁ a C₁S₄) apresenta área equivalente a 22,09% do total do Estado. A classe de médio risco (C₂S₁ a C₂S₄) ocorre em 59,87% da área,

totalizando 33.748,86 km². A classe alto de risco a salinidade (C₃S₁ a C₃S₄) se distribui em 13,32% da área. A classe muito alto de risco (C₄S₁ a C₄S₄) e a excepcionalmente alto (C₅S₁ a C₅S₄) totalizam somente 4,7% do total.

Tabela 3. Distribuição espacial das classes de risco de salinidade das águas superficiais para fins de irrigação

Risco Salinidade								
Baixo			Alto			Excepcionalmente Alto		
Classe	Área (km ²)	%	Classe	Área (km ²)	%	Classe	Área (km ²)	%
C ₁ S ₁	134,50	0,24	C ₃ S ₁	3.749,08	6,65	C ₅ S ₁	350,628	0,62
C ₁ S ₂	1.109,86	1,97	C ₃ S ₂	1.643,29	2,92	C ₅ S ₂	261,530	0,46
C ₁ S ₃	2.018,15	3,58	C ₃ S ₃	1.177,73	2,09	C ₅ S ₃	212,564	0,38
C ₁ S ₄	9.188,25	16,30	C ₃ S ₄	940,63	1,67	C ₅ S ₄	15,866	0,03
Subtotal	12.450,77	22,09		7.510,73	13,32	Subtotal	840,59	1,49
Médio			Muito Alto					
C ₂ S ₁	12.625,21	22,40	C ₄ S ₁	696,92	1,24			
C ₂ S ₂	6.022,52	10,68	C ₄ S ₂	494,51	0,88			
C ₂ S ₃	6.334,07	11,24	C ₄ S ₃	350,44	0,62			
C ₂ S ₄	8.767,06	15,55	C ₄ S ₄	279,18	0,50			
Subtotal	33.748,86	59,87		1.821,06	3,23	Total	56.372,00	100,00

Na classificação das águas superficiais (Figura 7), verifica-se que, os valores das amostras estão concentrados na sua maioria nas classes baixo a muito alto risco (C_1S_1 , C_2S_1 , C_3S_1 , C_4S_1 e C_5S_1) predominantemente no risco de sódio S_1 , demonstrando menor risco de salinização pelas águas.

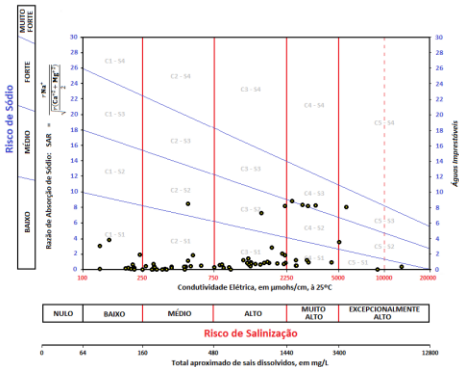


Figura 7. Classificação das águas superficiais para fins de irrigação.

Na Tabela 4, dos dados estatísticos, pode-se observar que o atributo Na^+ apresenta os maiores valores das variáveis seguida do Ca^{2+} e Mg^{2+} . O CE apresenta o maior valor mínimo e máximo, denotando a sua maior influência no risco de salinidade. O RAS por ser adimensional, apresenta um desvio padrão de 12,6 e uma curtose de 3,72.

Pela Figura 8, dos dados estatísticos, pode-se observar que, as caixas interquartílicas do gráfico boxplot de todas as variáveis apresentam menores amplitudes e pouca variabilidade entre si.

Nos resultados do teste de normalidade (Figura 9), pode-se observar que a distribuição apresenta irregularidades em todas as variáveis.

Tabela 4. Dados estatísticos das variáveis

Atributo/Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad.	Alcance	Curtose	1st Quart	3rd Quart
Na^+	43,55	6,42	0	549,00	115,18	549,00	9,78	1,20	13,78
Ca^{2+}	11,70	2,36	0,10	90,00	23,09	89,90	4,23	1,01	6,90
Mg^{2+}	16,31	2,87	0,11	151,00	28,55	150,89	5,85	1,21	12,94
CE	1.427,16	840,00	12,66	13.000,00	14,24	52,14	12.987,34	299,00	1.756,00
RAS	8,69	3,75	0	52,14	12,60	52,14	3,72	1,22	6,52

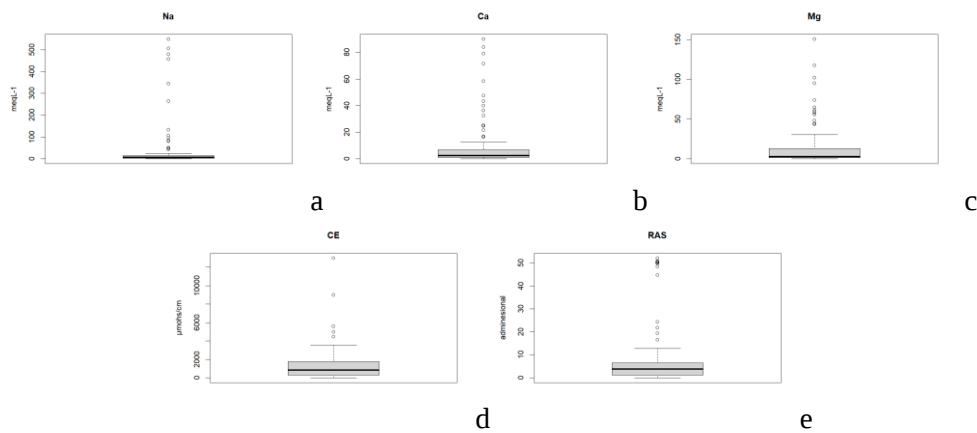


Figura 8. Boxplot das variáveis das amostras. a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} , d) CE, e) RAS.

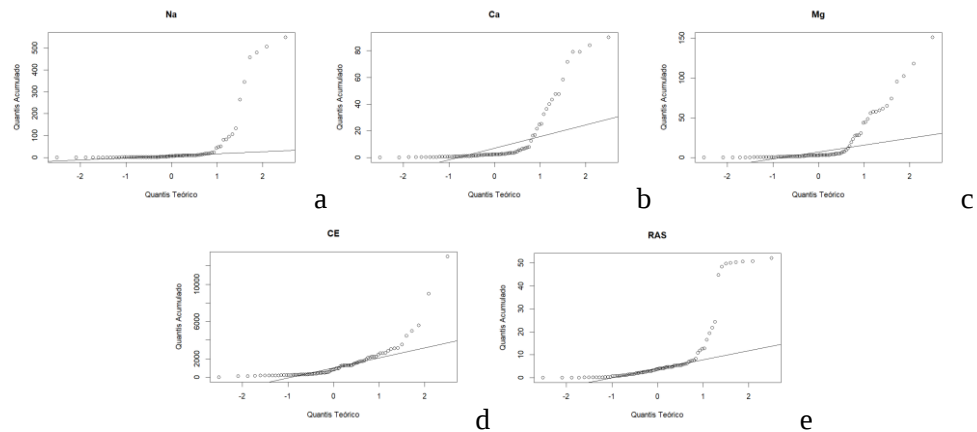


Figura 9. Quantis das variáveis das amostras. a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} , d) CE, e) RAS.

Pela Tabela 5 pode-se verificar que os resultados dos testes de normalidade de Anderson-Darling, Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) 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. Quanto ao teste de Shapiro-Wilk, este diferencia-se entre suas variáveis, no entanto são aceitas a hipótese de normalidade.

Tabela 5. 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 ⁺	0,40913	$<2,2e^{-16}$	20,581	$<2,2e^{-16}$	0,39935	$<2,2e^{-16}$	506,90	$<2,2e^{-16}$
Ca ²⁺	0,569454	$<3,16e^{-14}$	15,110	$<2,2e^{-16}$	0,35584	$<2,2e^{-16}$	141,68	$<2,2e^{-16}$
Mg ²⁺	0,596	$<9,096e^{-14}$	13,525	$<2,2e^{-16}$	0,34012	$<2,2e^{-16}$	210,44	$<2,2e^{-16}$
CE	0,6208	$<2,55e^{-13}$	7,8882	$<2,2e^{-16}$	0,23879	$<9,615e^{-13}$	1.114,40	$<2,2e^{-16}$
RAS	0,57957	$<4,74e^{-14}$	14,0410	$<2,2e^{-16}$	0,32638	$<2,2e^{-16}$	125,05	$<2,2e^{-16}$

Na Tabela 6 verifica-se os resultados da correlação não paramétrica entre as variáveis deste trabalho elaborada pelo método Sperman em

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

Tabela 6. Correlação das variáveis das amostras elaborada pelo método Sperman

Parâmetro 1	Parâmetro 2	rho	95% CI	S	p-valor***
Na ⁺	Ca ²⁺	0,56	(0,38, 0,69)	4,22e ⁺⁰⁴	$<0,001^{***}$
Na ⁺	Mg ²⁺	0,57	(0,40, 0,71)	4,07e ⁺⁰⁴	$<0,001^{***}$
Na ⁺	CE	0,62	(0,47, 0,74)	3,59e ⁺⁰⁴	$<0,001^{***}$
Na ⁺	RAS	0,94	(0,91, 0,96)	5,38e ⁺⁰³	$<0,001^{***}$
Ca ²⁺	Mg ²⁺	0,95	(0,93, 0,97)	4,54e ⁺⁰³	$<0,001^{***}$
Ca ²⁺	CE	0,52	(0,33, 0,66)	4,60e ⁺⁰⁴	$<0,001^{***}$
Ca ²⁺	RAS	0,35	(0,14, 0,53)	6,21e ⁺⁰⁴	$<0,001^{***}$
Mg ²⁺	CE	0,51	(0,33, 0,66)	4,63e ⁺⁰⁴	$<0,001^{***}$
Mg ²⁺	RAS	0,37	(0,16, 0,55)	6,00e ⁺⁰⁴	$<0,001^{***}$
CE	RAS	0,54	(0,36, 0,68)	4,40e ⁺⁰⁴	$<0,001^{***}$

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

Observa-se na Figura 10 que, a correlação de Pearson entre o RAS e o CE apresenta um coeficiente linear de $R=0,25$ e p-valor 0,028 estando de acordo com os demais testes realizados anteriormente.

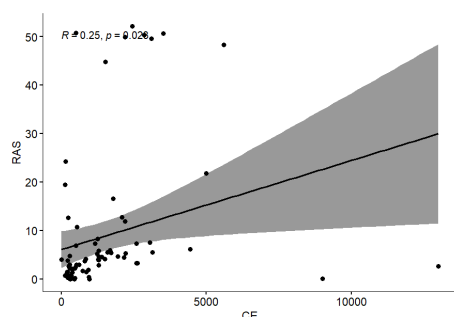


Figura 10. Correlação entre o RAS e CE.

Morais et al. (1998), analisando a salinidade de 1.077 amostras de água da região semiárida do Estado do Rio Grande do Norte, observaram que 56,22% das mesmas estavam fora dos padrões normais para uso em agricultura

irrigada devido a concentração de carbonatos. Resultado inverso a este trabalho, demonstrando maior possibilidade de uso da água superficial na área de estudo, sendo necessário maior atenção em relação ao tipo de solo da área a ser utilizada.

Chaves et al. (2005) afirma que, em muitos lugares a irrigação vem sendo trabalhada sem maiores cuidados, culminando em vários problemas para o solo que tem refletido diretamente na queda de sua fertilidade e causando o consequente declínio da produtividade das culturas e até mesmo o abandono da terra.

Richards (1954), afirma que é possível utilizar as águas que apresentam risco de salinização variando de alto a muito alto, desde que sejam adotadas práticas especiais de manejo de solo e água, culturas resistentes aos sais e sob condições de boa drenagem.

De acordo com Ayers e Westcot (1999), em vários lugares do mundo têm sido utilizadas, com êxito para irrigação, águas salinas de até pelo menos 8,0 dS m⁻¹ (Rhoades et al., 2000); conforme Mendes et al. (2008), este dado evidencia o fato de

que, a adequabilidade de determinada água para irrigação depende muito da necessidade relativa e dos benefícios econômicos que podem ser originados da irrigação, contudo, embora se corra riscos, cuidados especiais devam ser tomados no manejo da água para que não ocorra a salinização dos solos.

Conclusão

A interpolação apresentou resultados satisfatórios na modelagem por b-spline multinível.

Os resultados estatísticos demonstraram maior variabilidade do Na^+ e da Condutividade Elétrica das águas superficiais.

Os testes de normalidade apresentaram-se semelhantes entre si e a correlação entre o RAS e o CE foi $R=0,25$.

Em 81,69% do território apresentou classes de risco a salinidade baixa a média.

A salinidade das águas superficiais para fins de irrigação apresentou classes de risco muito alto a excepcionalmente alto (C_4S_1 a C_5S_4) na região das sub-bacias e bacias hidrográficas do Seridó Oriental e no médio curso do rio Piranhas, seguida da região do médio curso do rio Paraíba.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da UFCG pela disponibilização de dados complementares para esta pesquisa.

Referências

- AESA. 2020. 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.
- Amorim, J.R.D.A.; Fernandes, P.D.; Gheyi, H.R.; Azevedo, N.C.D. 2002. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37(2)167-176.
- Anderson, T.W.; Darling, D.A. 1954. A test of goodness of t. *Journal of American Statistical Association* 49 765-769.
- Ângelo, F.A. 2009. Qualidade da água para irrigação no desempenho de gramíneas forrageiras no semiárido. 55f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande. Patos.
- Araújo, L.E. de; Sousa, F. de A.S. de; Ribeiro, M.A. de F.M.; Santos, A.S. dos; Medeiros, P. da C. 2008. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia* 23(2)162-169.
- Assis, F.N. de; Arruda, H.V. de; Pereira, A.R. 1996. Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática. Pelotas: UFPEL. 161p.
- Ayers, R.; Westcot, D.W. 1999. Water Quality for Agriculture. FAO. (Trad.) Gheyi, H. R.; Medeiros, J.F. de. Campina Grande: UFPB. 217p.
- Barros, A.J.M. 1997. Caracterização físico-química e sanitária das águas superficiais usadas na irrigação de hortaliças (*Alfices*, *Lactuca sativa* L.) e dos solos irrigados nos municípios de Lagoa Seca e Sapé (PB). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande.
- Barros, A.J.M.; Ceballos, B.S.O. de; König, A.; Gheyi, H.R. 1999. Avaliação sanitária e físico-química das águas para irrigação de hortaliças no Agreste e Brejo paraibanos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 3(3) 355-360.
- Barros, A.T. 2015. Caracterização físico-química e biológica da água e dos solos das margens do Rio Piancó, PB. 198f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- Bernardo, S. 1995. Manual de Irrigação. 6.a ed. Viçosa: UFV.
- Bezerra, C.V.C.; Nascimento, E.C.S.; Silva, V.F.; Andrade, L.O.; Lima, V.L.A. 2016. Análise da água do açude de Lagoa Seca-PB para fins de irrigação. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 7, 2016, Campina Grande. Anais...Campina Grande.
- Cano, É.V. 2022. Métodos de interpolação da batimetria adquirida por veículo de superfície não tripulado. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais, Geoprocessamento Aplicado). Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande.
- Cargnelutti Filho, A.; Matzenauer, R.; Trindade, J.K. da. 2004. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39 (12) 1157-1166.
- Catalunha, J.M.; Sediya, G.C.; Ribeiro, A.; Leal, B.G.; Soares, C.P.B. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a série de precipitação pluvial do estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.10, n.1, p.153-162, 2002.

- Chaves, L.H.G. 2005. Avaliação de potássio, matéria orgânica e fósforo em Neossolos dos perímetros irrigados Engenheiro Arcoverde e São Gonçalo-PB. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 5(2) 48-56.
- Chaves, A.D.C.G.; Almeida, R.R.P. de; Crispim, D.L.; Silva, F.T. da; Ferreira, A.C. 2015. Monitoramento e qualidade das águas do Rio Piranhas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 10(1) 160-164.
- Costa, H.A.; Santos, I.R.; Fernandes, J.N.V.; Silva, J.S.; Nascimento, J.F.; Barbosa, L.G. 2015. Qualidade da água de reservatórios de bacia antropizada no Nordeste: potencial de uso da água na irrigação. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 21, 2015, Brasília. Anais...Brasília.
- Costa, R.G.; Gheyi, H.R. 1984. Variação da qualidade da água de irrigação da microrregião homogênea de Catolé do Rocha, PB. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 19(8) 1021-1025.
- Costa, H.A. da; Santos, I.R. dos; Fernandes, J.N.V.; Silva, J. dos S.; Nascimento, J.F. Do; Barbosa, L.G. 2015. Qualidade da água de reservatórios de bacia antropizada no Nordeste: potencial de uso da água na irrigação. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 21, 2015, Brasília. Anais...Brasília.
- Dantas, E.F. 2012. Estudo da quantidade e da qualidade da água do Rio Piancó. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Centro de Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Pombal.
- Dantas Neto, J.; Barreto, J.F.; Farias, S.A.R.; Chaves, L.H.G. 2009. Qualidade das águas da sub-bacia do Rio Taperoá, para fins de irrigação. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 9(2) 138-144.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: dezembro de 2024.
- Fanti, C.E. 2016. Reconstrução de superfícies tridimensionais utilizando B-splines com peso associado à redução do número de pontos de controle. 125f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.
- Feitosa Filho, J.C.; Cavalcante, L.F.; Santos, C.J.O.; Santos, R.F. dos; Leite Júnior, G.P.; Costa, J.R.M.; Pinto, J.M. 2001. Monitoramento quantitativo e qualitativo de sais em águas de fontes subterrânea e superficial em estações seca e chuvosa no Brejo e Curimataú Paraibano e Seridó Riograndense do Brasil. In: *Congresso Internacional de Ingenieria Agrícola*, 4, 2001, Chile. Anais...Chile.
- Fernandes, R.M.L. 1997. Açude São Salvador: aspectos sanitários e físico-químicos da água represada e de seu tributário principal - proposta de manejo para retardo da eutrofização. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande.
- Ferreira, P.M.L.; Queiroz, M.M.F.; Sousa, T.M.I.; Garrido, J.W.A.; Costa, F.F. 2014. Qualidade físico-química da água para irrigação do Rio Piancó Piranhas Açú na cidade de Pombal-PB. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 9(4) 78-83.
- 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.; Sousa, J.H.S. de; Ribeiro, G. do N.; Rodrigues, R.C.M. 2023. Potencial de captação e armazenamento de água de chuva para residências do Estado da Paraíba utilizando modelagem por Interpolação B-Spline Multinível. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 13(3) 361-374.
- 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.
- Freire, V.A.; Ferreira, K.R.M.; Santiago, R.R. 2013. Água no semiárido: a importância da análise físico-química da água de Boqueirão utilizada para irrigação de hortaliças. In: *Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro*, 1, 2013, Campina Grande. Anais...Campina Grande.
- 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. 2004. Irrigação e drenagem na empresa agrícola:*

- impacto ambiental versus sustentabilidade. 1. ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão.
- Goldsman, D. 2007. Introduction to simulation. In: Winter Simulation Conference, 2007. Anais...
- Gondim Júnior, W.D. 2019. Ações educativas na melhoria da qualidade da água para fins de irrigação na produção agroecológica. 19f. Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Bananeiras.
- IBGE. 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais. 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.
- Jiang, Y.; Zhang, N. 2013. Applications of scattered interpolation with multilevel B-splines to magnetic anomaly data. *Near Surface Geophysics* 11(5) 579- 585.
- Kaya, H.; Hardy, D.J.; Skeel, R.D. 2021. Multilevel summation for periodic electrostatics using B-splines. *Journal Chemical Physics* 154(14) e4105.
- Kelton, W.D.; Sadowski, R.P.; Sturrock, D.T. 2007. *Simulation with Arena*. 4a ed. Editora McGraw-Hill.
- Kendall, M.A.; Stuart, A. 1967. *The advanced theory of statistics*. 2a ed. Londres: Charles Griffin.
- Lee, B.G.; Lee, J.J.; Kwon, K.R. 2005a. Quasi-interpolants Based Multilevel B-Spline Surface Reconstruction from Scattered Data. In: Gervasi, O. et al. *Computational Science and Its Applications*. ICCSA 2005. Lecture Notes in Computer Science, v.3482. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lee, B.G.; Lee, J.J.; Yoo, J. 2005b. An efficient scattered data approximation using multilevel B-splines based on quasi-interpolants. In: *International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling*, 5, 2005, Ottawa. Anais...Ottawa.
- Lee, S.; Wolberg, G.; Shin, S. 1997. Scattered data interpolation with multilevel bsplines. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 3(3) 228-244.
- 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.
- Lima Júnior, B.C.; Lima, V.L.A.; Farias, M.S.S.; Dantas Neto, J.; Guimarães, J.P.; Lima, M.G.M.; Alves, A.A. 2017. Classificação da água de irrigação em uma área cultivada com fruticultura irrigada. *Revista Espacios* 38(9) e20.
- Lima, J.R. de. 2009. Diagnóstico do solo, água e vegetação em um trecho do Rio Chafariz – Santa Luzia (PB). 88f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais. Centro de Saúde e Tecnologia Rural. Universidade Federal de Campina. Patos.
- Lucas, A.A.T.; Folegatti, M.V.; Duarte, S.N. 2010. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14(9) 937-943
- Lyche, T.; Manni, C.; Speleers, H. 2018. Foundations of Spline Theory: B-Splines, Spline Approximation, and Hierarchical Refinement. In: Lyche, T.; Manni, C.; Speleers, H. (eds) *Splines and PDEs: From Approximation Theory to Numerical Linear Algebra*. Mathematics, v.2219. Springer, Cham.
- Macêdo, L.D.S.; Menino, I.B. 1998. Monitoramento de sais na água e nos solos irrigados do projeto Vereda Grande, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2(1) 47-51.
- Macêdo, L.S.; Santos, J.B. 1992. Efeito da aplicação de água salina sobre os solos irrigados na Bacia Sucuru/Sumé, PB. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 27(6) 915-922.
- Magalhães, I.D. 2012. Eficiência fotoquímica e rendimento de pinhão manso irrigado com águas salinizadas. 54f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias). Campina Grande.
- Magalhães, N.F.; Ceballos, B.S.O.; Nunes, A.B.A.; Gheyi, H.R.; Bonig, A. 2002. Principais impactos nas margens do Baixo Rio Bodocongó-PB, decorrentes da irrigação com águas poluídas com esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 6(1) 128-135.
- Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13(3) 245-259.
- Medeiros, J.F. 1992. Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade assistidas pelo GAT nos Estados do RN, PB e CE. 196f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande.
- Medeiros, J.X. de. 2010. Qualidade das fontes hídricas na região do alto curso do rio Paraíba e análises multivariadas na hierarquização dos

- componentes principais. 124f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- Mello, C.R. de.; Lima, J.M.; Silva, A.M.; Mello, J.M.; Silva, M.S. 2003. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27(5) 925-933.
- Mendes, J. da S.; Chaves, L.H.G.; Chaves, I. de B. 2008. Qualidade de águas para fins de irrigação da região do Congo, PB. *Revista Caatinga* 21(2) 131-138.
- Möbös, G. 2003. QUALIGRAF. Programa para análise da qualidade de água. Fortaleza: Fundação Cearense Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).
- Moon, S.; Ko, K. 2018. A point projection approach for improving the accuracy of the multilevel B-spline approximation. *Journal of Computational Design and Engineering* 5(1) 73-179.
- Morais, E.R.C.; Maia, C.E.; Oliveira, M. de. 1998. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró, RN. *Caatinga* 11(1) 75-83.
- Morais, N.R.; Melo, J.A.B. de. 2016. Repercussões da instalação do aterro sanitário sobre a qualidade da água do açude Evaldo Gonçalves, Puxinanã, PB. *Hygeia* 12(22) 13-28.
- Noël, L.; Schmidt, M.; Messe, C.; Evans, J.A.; Maute, K. 2020. Adaptive level set topology optimization using hierarchical B-splines. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 62 1669-1699.
- 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.
- Nunes, J.C.; Cavalcante, L.F.; Rebequi, A.M.; Lima Neto, A.; Diniz, A.A.; Silva, J.J.M.; Brehm, M.D.S. 2009. Formação de mudas de noni sob irrigação com águas salinas e biofertilizante bovino no solo. *Engenharia Ambiental* 6(2) 451-463.
- Oliveira, B.C.; Cardoso, M.A.; Oliveira, J.C.D.; Oliveira, F.A.D.; Cavalcante, L.F. 2007. Características produtivas do tomateiro submetido a diferentes níveis de sais, na água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11(1) 11-16.
- Oliveira, F.M. 2005. Diagnóstico da qualidade da água superficial e subterrânea na microbacia do riacho Angico, região do Médio rio Paraíba. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- Oliveira, F.M. de; Farias, S.A.R.; Ceballos, B.S.O. de; Azevedo, C.A.V. de; Gheyi, H.R.; Oliveira, A.K. de. 2005. Diagnóstico de qualidade das águas da microbacia do riacho Angico, para fins de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 9 221-225.
- Osorio, D.S.Á.; León, J.C.M.; Contreras, A.C. 2011. Bathymetric digital models generated by interpolation methods IDW, Kriging, Shepard and B-Spline in the archipelago of Rosario islands. *Revista Geomática* 5 3-14.
- 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.
- Pereira, J.S.; Guimarães, J.P.; Farias, M.S.S. 2015. Diagnóstico da poluição ambiental em área de preservação no município de Lagoa Seca, Paraíba. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 10(1) e49.
- Polizelli Júnior, V. 2008. Métodos implícitos para reconstrução de superfícies a partir de nuvens de pontos. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional). Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação. Universidade de São Paulo. São Carlos.
- Porto, M.F.A.; Branco, S.M.; Luca, S.J. de. 1991. Caracterização da qualidade de água. In: BRANCO, S. M. *Hidrologia Ambiental*. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo/ABRH, cap. 2. p.27-66.
- QGIS. Development Team. 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.
- Queiroz, M.M.F.; Dantas, E.F.; Silva, A.L. 2013. Qualidade e quantidade da água do rio Piancó, tributário do rio Piranhas-Açu na região

- nordeste. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 8(2) 49-58.
- Remacre, A.Z.; Normando, M.N.; Sancevero, S.S. 2008. Krigagem das proporções utilizando a krigagem da média: uma ferramenta auxiliar na modelagem de reservatórios. *Revista Brasileira de Geociências* 38(1) 82-87.
- Ribeiro, G.M.; Maia, C.E.; Medeiros, J.F. 2005. Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 9(1) 15-22.
- Ribeiro, P.H.P.; Gheyi, H.R.; Uyeda, C.A.; Teixeira, M.B.; Loureiro Soares, F.A.; Silva Dias, N.D. 2018. Taxa de crescimento e produção de girassol irrigado com água salina sob doses de nitrogênio. *Irriga* 1(1) 233-247.
- Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: United States Salinity Laboratory. (USDA: Agriculture Handbook, 60).
- Rhoades, J.D.; Kandiah, A.; Mashali, A.M. 2000. Uso de águas salinas para produção agrícola. (Trad.) GHEYI, H. R.; SOUSA, J. R. DE; QUEIROZ, J. E. Campina Grande, UFPB. 117p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 48).
- Sabino, S.M.L.; Macedo, D.R. 2019. Relação entre dados pluviométricos primários e modelos geoestatísticos interpolados em escala global. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 19, 2019, Santos. Anais...Santos.
- SAGA. System for Automated Geoscientific Analyses. 2024. Disponível em: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>. Acesso em: 24 de janeiro de 2024.
- Setti, A.A.; Lima, J.E.F. W.; Chaves, A.G. De M.; Pereira, I. de C. 2001. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. Brasília: ANAEE; ANA. 328p.
- Shapiro, A.S.S.; Wilk, M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3/4) 591-611.
- Silva, V.F.; Paiva, A.L. de A.; Ferreira, A.C.; Baracuh, J.G. de V.; Maracajá, P.B. 2014. Potabilidade da água em fontes hídricas pertencentes ao rio Paraíba. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 9(1) 238-243.
- Silva Filho, S.B. da; Cavalcante, L.F.; Oliveira, F.A. de; Lima, E.M. de; Costa, J.R.M. 2000. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. *Irriga* 5(2) 101-109.
- Silva Júnior, L.G. de A.; Gheyi, H.R.; Medeiros, J.F. de. 1999. Composição química de águas do cristalino do Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 3(1) 11-17.
- Silva Neto, M.F. da. 2013. A problemática da salinização do solo no Perímetro Irrigado de São Gonçalo – PB. 139f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós- Graduação em Geografia. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.
- Silvestre, A.L. *Análise de dados e estatística descritiva*. Escolar Editora. 2007.
- Soares, F.A.; Carneiro, P.T.; Gomes, E.M.; Gheyi, H.R.; Fernandes, P.D. 2008. Crescimento e produção do maracujazeiro amarelo sob irrigação suplementar com águas salinas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 3(2) 151-156.
- Sousa, E.G. 2017. Salinidade da água e adubação biológica no crescimento e produção da beterraba. 59f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia). Centro de Ciências Humanas Sociais e Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Bananeiras.
- Sousa, G.B.; Cavalcante, L.F.; Cavalcante, Í.H.L.; Beckmann-Cavalcante, M.Z.; Nascimento, J.A. 2008. Salinidade do substrato com biofertilizante para formação de mudas de maracujazeiro irrigado com água salina. *Revista Caatinga* 21(2) 172-180.
- Souza, F.M.; Sá, F.V.D.S.; Souto, L.S.; Paiva, E.P.; Andrade, R.A.; Araújo, E.B.G. 2018. Desenvolvimento inicial e tolerância de cultivares de maxixe irrigado com água salina. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 12(1) 2385-2394.
- Souza, R.F.A. de. 1995. Avaliação da qualidade de água do município de Puxinanã-PB. 62f. Relatório (Estágio Supervisionado). Engenharia Agrícola. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande.
- Spearman, C. 1904. The Proof and Measurement of Association between Two Things. *The American Journal of Psychology* 15(1) 72-101.
- Tundisi, J.G. 2003. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. São Carlos: RiMa. 248p.
- 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.