

Estimation of the Salinity of Surface Waters in the Brazilian Continental Region Using GIS Modeling

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

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

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

***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, lsaboya@hotmail.com

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

Received 19 September; accepted 01 November.

ABSTRACT

This work aimed to estimate and map the salinity of surface, for irrigation purposes in the Brazilian continental region. Electrical Conductivity (EC) data and Calcium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}) and Sodium (Na^+) parameters were obtained from 1,290 georeferenced samples and using QGIS® they were geospatialized using B-Spline Multilevel interpolation through the plugin SAGA®. In the QUALIGRAF® software, superficial water 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 low to medium surface salinity risk classes (C_1S_1 to C_2S_4) occurred in 94% of the study area. The normality tests were similar to each other and the correlation between EC and the variables Na^+ and Ca^{2+} were 0.815 and 0.816, respectively. The statistical results were similar to each other for all variables.

Keywords: water quality, irrigation, Multilevel B-Spline, interpolation.

Estimativa da Salinidade das Águas Superficiais de Região Continental Brasileira utilizando modelagem em SIG

RESUMO

Este trabalho objetivou estimar e mapear a salinidade das águas superficiais, para fins de irrigação para parte da região continental brasileira. Foram obtidos dados de Condutividade Elétrica (CE) e os parâmetros de Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Sódio (Na^+) provenientes de 1.290 amostras georreferenciadas 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®. Os resultados demonstraram que o uso da modelagem por B-Spline Multinível apresentou resultados satisfatórios. As classes de risco a salinidade superficial baixa a média (C_1S_1 a C_2S_4) ocorreram em 94% da área de estudo. Os testes de normalidade apresentaram-se semelhantes entre si e a correlação entre o CE e as variáveis Na^+ e o Ca^{2+} foram de 0,815 e 0,816, respectivamente. Os resultados estatísticos foram semelhantes entre si para todas as variáveis.

Palavras-chave: qualidade de água, irrigação, B-Spline Multinível, interpolação.

1 Introdução

A água dentre os recursos naturais é o mais importante, pois ela é um bem essencial para a sobrevivência de todas as espécies do planeta, sendo também o recurso natural que mais enfrenta problemas em termos de qualidade e quantidade (Batista et al., 2014). Das águas superficiais disponíveis no mundo, o Brasil é privilegiado por deter aproximadamente 12% desse recurso, os quais estão distribuídos de maneira irregular entre as regiões (Toledo, 2004).

Todos os mananciais de água de irrigação possuem sais minerais dissolvidos. Sua composição e concentração, entretanto, são variáveis conforme a fonte de água, sendo que muitos desses sais são benéficos às culturas. No entanto, a alta concentração desses elementos pode restringir ou mesmo inviabilizar o cultivo de lavouras, além de apresentar íons em concentrações tóxicas (Silva, 2004).

O conhecimento da composição iônica da água é primordial quando se deseja avaliar sua qualidade para fins agrônômicos e, mais

especificamente, para uso na irrigação (Maia et al., 2001; Andrade et al., 2006; Meireles, 2007). Ayers e Westcot (1999), afirmam que um dos principais problemas de qualidade de água para irrigação é a salinidade, pois o excesso de sais no solo reduz a disponibilidade da água para as plantas, e que as águas salinas utilizadas na irrigação podem representar risco para produção agrícola das culturas. Vysotskaya et al. (2010) afirmam que a salinidade é considerada fator ambiental que pode inibir severamente o crescimento das plantas e produtividade agrícola.

No Nordeste brasileiro, a qualidade das águas que podem ser utilizadas em irrigação é muito variável, tanto em termos geográficos como ao longo do ano, principalmente em pequenos açudes. Com a utilização de águas com níveis mais altos de condutividade elétrica, comumente encontrados no final do período de estiagem, há sérios riscos de salinização dos solos a serem irrigados, com prejuízos, também, para as culturas (Costa & Gheyi, 1984; Laraque, 1989; Audry & Suassuna, 1990).

A avaliação da qualidade da água de irrigação, relativa à salinidade, é ferramenta necessária ao planejamento da exploração desse recurso e ao manejo empregado, caso esta água se destine à irrigação (Andrade Júnior et al., 2006; Zamberlan et al., 2013).

Para irrigação, conforme Ayers e Wescott (1999), a adequação da água não depende unicamente do teor total, mas, também, de seus tipos. 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.

O estudo espacial é uma poderosa ferramenta que tem contribuído cada vez mais para as pesquisas. Uma de suas aplicações é a elaboração de mapas temáticos que permitam analisar a variável em estudo e o seu comportamento no espaço. Esse artifício é cada vez mais utilizado para definir zoneamentos e, assim, identificar subáreas para traçar estratégias de manejo inovador dos recursos naturais (Ferreira

et al., 2015), servindo de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando integrar em uma única base de dados, informação representando vários aspectos do estudo de uma região (Rosa & Brito 1996; Lopes et al., 2008). De acordo com Lopes et al. (2008), o uso do SIG objetiva servir de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento possibilitando integrar em uma única base de dados, informação representando vários aspectos do estudo de uma região.

Dentre os procedimentos geoestatísticos se destaca como a técnica do algoritmo B-spline multinível para interpolação espacial de dados dispersos (Lee et al., 1997). Já 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.

Diversos autores pesquisam quanto a salinidade das águas superficiais para irrigação, como por Silva Júnior et al. (2000) e Nunes Filho et al. (2000) para Pernambuco, Barroso et al. (2011), Araújo Neto et al. (2014) e Costa et al. (2017) para o Estado do Ceará, Brito et al. (2003) para o Estado da Bahia, Tavares (2018) para o Rio Grande do Norte, Oliveira et al. (2005), Dantas Neto et al. (2009), Ferreira et al. (2014), Chaves et al. (2015) e Mendes et al. (2008) para a Paraíba.

Portanto, este trabalho objetiva estimar e mapear a salinidade das águas superficiais para fins de irrigação para parte da região continental brasileira utilizando modelagem através de técnicas de geoprocessamento.

2 Material e Métodos

A área de estudo compreende a região Nordeste e os Estados de Minas Gerais, Maranhão e Amapá com diversidade de ambientes, biomas, vegetação, elevação (Figura 1a), solos, e tipos de clima (Figura 1b) e precipitação pluviométrica (Figura 1c). De acordo com Alvares et al. (2013), na área de estudo, o clima é formado pelos tipos Af, Aw, As, BSh, Cwa e Cwb.

O Brasil é um país megadiverso onde seu território abrange 6 biomas únicos denominados Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pampa, Pantanal e Mata Atlântica, em que possuem características distintas em termos de estrutura e composição da vegetação, características físicas e químicas do solo, disponibilidade de água, biodiversidade com ecossistemas endêmicos, condições climáticas e atividades de uso da terra (Souza Jr. et al., 2020).

Os ambientes tropicais caracterizam-se pela elevada incidência de radiação solar,

parte do seu território em área tropical, recebe anualmente volumes elevados de precipitação. Além disso, há grande variabilidade temporal e espacial da precipitação (Reboita et al., 2010; Monteiro et al., 2021; Reboita & Ambrizzi, 2022).

Os valores de classificação obtido para os pontos foram geoespacializados utilizando-se a interpolação B-Spline Multinível (MBS) através do plugin SAGA[®] do QGIS[®] 3.36. 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[®].

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

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.2024.

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) e Lilliefors (1967). Buscou-se identificar uma correlação entre o RAS e o CE utilizando o método de Pearson (1895).

3 Resultados e discussão

Pelos resultados obtidos, observa-se na Tabela 2, um total de 1.290 amostras de água superficial, com maior número no Estado de Minas Gerais e no Ceará, podendo ser visualizada sua distribuição espacial pela Figura 2.

Tabela 2. Distribuição das amostras

Estado	N.º de Amostras
Alagoas	103
Bahia	64
Ceará	206
Maranhão	14
Paraíba	85
Pernambuco	173
Piauí	67
Rio Grande do Norte	61
Sergipe	51
Minas Gerais	449
Amapá	17
Total	1.290

Na Tabela 3 verifica-se alguns dos dados obtidos, como também sua respectiva classificação quanto ao risco de salinidade das águas superficiais de rios, riachos e açudes.

Figura 2. Distribuição das amostras.

Fonte: adaptado de ANA (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

Tabela 3. Dados de algumas amostras de água superficial e sua classificação

Estado	Município	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	CE (µS/cm)	RAS	Classificação
AL	Canapi	14,8	2,0	3,8	2,4	8,6	C ₁ S ₁
AL	Delmiro Gouveia	14,7	16,2	4,8	192,0	4,5	C ₁ S ₁
AL	Maceió	35,0	75,0	15	300,0	5,2	C ₂ S ₁
BA	Vitoria da Conquista	2,2	0,25	0,2	0,3	4,4	C ₁ S ₁
BA	Feira de Santana	51,0	4,8	3,4	367,0	25,1	C ₂ S ₄
BA	Ilhéus	6,9	0,6	1,1	55,9	7,2	C ₁ S ₁
CE	Crato	14,9	22,4	12,3	280,0	3,5	C ₂ S ₁
CE	Fortaleza	129,9	21,4	22,3	910,0	27,7	C ₃ S ₄
CE	Sobral	102,1	27,6	16,9	790,0	21,6	C ₃ S ₄
MA	Imperatriz	9,4	58,2	6,1	397,0	1,6	C ₂ S ₁
MA	São Luís	8,7	2,5	0,6	56,0	6,9	C ₁ S ₁
MA	Vila Nova dos Martírios	8,6	61,2	8,3	525,0	1,4	C ₂ S ₁
MG	Brumadinho	1,9	3,2	1,3	39,3	1,3	C ₁ S ₁
MG	Governador Valadares	5,2	4,8	1,7	64,8	2,9	C ₁ S ₁
MG	Juiz de Fora	2,6	4,5	2,4	49,6	1,4	C ₁ S ₁
PB	Areia	106,2	7,7	30,5	15,0	24,2	C ₁ S ₃
PB	Campina Grande	3,3	1,3	1,2	610,0	2,9	C ₂ S ₁
PB	Pombal	1,3	58,4	61,5	473,0	0,1	C ₂ S ₁
PE	Caruaru	93,1	70,4	235,5	1,3	7,5	C ₁ S ₁
PE	Jaboatão dos Guararapes	15,5	4,0	2,6	124,0	8,5	C ₁ S ₁
PE	Petrolina	48,8	171,9	80,7	1.906,0	4,3	C ₃ S ₁
PI	Brejo do Piauí	3,7	5,6	6,7	118,0	1,4	C ₁ S ₁
PI	Pedro Laurentino	3,4	1,6	2,4	86,0	2,4	C ₁ S ₁
PI	Teresina	1,1	0,7	1,08	0,2	1,2	C ₁ S ₁
RN	Angicos	32,0	46,9	30,1	330,0	5,1	C ₂ S ₁
RN	Mossoró	8,1	11,9	6,2	2,6	2,7	C ₁ S ₁
RN	Pau dos Ferros	64,8	53,3	27,2	530,0	10,2	C ₂ S ₂
SE	Itabaiana	57,3	14,0	17,1	452,3	14,5	C ₂ S ₂
SE	São Cristóvão	10,4	14,0	2,5	155,5	3,6	C ₁ S ₁
SE	Campo Brito	56,6	13,7	16,8	493,1	14,4	C ₂ S ₂
AP	Pedra Branca do Amapari	0,3	0,1	0,1	43,3	0,9	C ₁ S ₁
AP	Serra do Navio	2,1	0,1	0,2	34,4	5,4	C ₁ S ₁

Fonte: adaptado de Albuquerque et al. (2005); Alencar (2020); Almeida (2013); Almeida (2023); Alves (2023); Amorim (2007); Amorim (2002); Dantas (2011); COGERH (2018); Aquino et al. (2003); Araújo Neto et al. (2014); Araújo (2020); Barroso et al. (2011); Barista et al. (2020); Boareto et al. (2014); Braga et al. (2002); Brito et al. (2006); Buarque et al. (2013); Cabaleiro (2010); Caminha (2022); Campos e Cavalcante (2009); Carvalho et al. (2022); Cavalcante et al. (2019); Cavalcanti (1994); Correia Filho et al. (2008); Costa et al. (2018); Damasceno et al. (2010); Damasceno (2018); Farias et al. (2003); Fernandes (2008); Fernandes et al. (2009); Figueiredo Júnior et al. (2013); Fontes (2008); Frota Júnior (2006); Gastaldini (1998); Guedes et al. (2016); Leite (1991); Lima (2020); Lobato et al. (2008); IGAM (2010); Magalhães et al. (2022); Mancini (2002); Matta et al. (2010); Medeiros et al. (2008); Medeiros (1992); Melo (2007); Moreira et al. (2016); Nascimento et al. (2024); Neves et al. (2016); Nobre et al. (2018); Nunes Filho et al. (2000); Oliveira Filho (2016); Oliveira (2018); Palacio et al. (2009); Pereira et al. (2003); Piscoya et al. (2012); Ribeiro et al. (2000); Santos (2016); Santos et al. (2000); Silva Filho (2016); Silva Jr. et al. (1999); Silva et al. (2011); Silva e Araújo Neto (2016); Silva (2020); Silva et al. (1999); Silva (2015); Silva (2016); Silva et al. (2016); Silva (2021); Silva (2016); Silveira (2014); Sousa Júnior et al. (2022); Sousa et al. (2018); Sousa et al. (2002); Souza et al. (2022); Souza (2019); Tartari (2021); Vieira et al. (2011).

Na Figura 3a referente a espacialização do Na⁺ de origem superficial verifica-se que maiores valores acima de 160 meqL⁻¹ se localizam na região nordeste do Estado da Bahia adentrando nos Estados de Sergipe e Alagoas e com áreas em Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e a sudeste do Piauí.

Quanto ao Ca²⁺ (Figura 3b) observa-se que valores acima de 64 meqL⁻¹ apresentam maior influência no nordeste da Bahia. Em relação ao Mg²⁺ (Figura 3c), este ocorre abaixo de 64 meqL⁻¹ por toda área de estudo.

a b c
Figura 3. Distribuição espacial. a) Na⁺, b) Ca²⁺, c) Mg²⁺ (meqL⁻¹).
Fonte: adaptado de IBGE (2021); ESRI (2024).

Quanto ao Na^+ , Damasceno (2018) para a bacia do Rio Doce que engloba o município de Taipú-RN obtiveram os teores mais altos neste estudo em 5.333,33 (meqL^{-1}), seguido por Alves (2023) em Porto da Folha-SE com 3.464 (meqL^{-1}), por Fontes (2008) em Várzea da Roça-BA com 2.100 (meqL^{-1}), e pela COGERH (2018) em Jaguaribe-CE com 855 (meqL^{-1}).

Os maiores teores de Ca^{2+} utilizados neste trabalho foram os obtidos por Fontes (2008), na Bahia em Várzea da Folha de 1.978 (meqL^{-1}), de 1.836 (meqL^{-1}) em São Cristóvão-SE por Almeida (2023), e por Silva (2016) em Petrolina-PE de 706,3 (meqL^{-1}).

Teores de Mg^{2+} acima de 1.000 (meqL^{-1}) localizam-se em Pernambuco, seguido por Bahia,

Rio Grande do Norte e Sergipe obtidos respectivamente por Araújo (2020), Fontes (2008), Damasceno (2018) e Almeida (2023).

Na Figura 4a pode-se verificar a ocorrência do CE em que estes ocorrem nas mesmas regiões de maiores valores de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Estes teores estão acima de 10.000 $\mu\text{mohs/cm}$ obtidos para o Estado de Sergipe por Alencar (2020), Alves (2023) e Silva (2023), para a Bahia por Fontes (2008), Pernambuco por Silva (2016) e para o Rio Grande do Norte por Damasceno (2018).

Em relação ao RAS (Figura 4b), os maiores tores são entre 100 e 200 localizados no Estado de Sergipe, Rio Grande do Norte e Ceará, obtidos respectivamente por Damasceno (2018), Silveira (2014) e Alves (2023).

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

Na Figura 5, do risco de salinidade das águas superficiais para fins de irrigação, observa-se que valores mais elevados estão localizados ao nordeste da Bahia, no sertão de Sergipe, ao oeste de Pernambuco, na divisa entre Paraíba e Rio

Grande do Norte e na região próxima a capital Natal, como também no centro leste do Ceará, estes entre as classes C_4S_1 a C_5S_4 (muito alto a excepcionalmente alto).

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

Da classe C_5S_4 (excepcionalmente alto), esta foram obtidas por Silva (2016) em Petrolina-PE, por Fontes (2008) em Mairi-BA, por Alencar (2020) em N. Sra. da Glória-SE, e por Damasceno (2018) em Taipú-RN.

A classe de risco médio (C_2S_1 a C_2S_4) ocorrem em regiões dispersas próximas a classe de risco alto e muito alto. O risco baixo de salinidade

das águas superficiais (C_1S_1 a C_1S_4), apresenta maior ocorrência dispersa por toda a área de estudo.

Na Figura 6a e 6b do histograma da imagem *raster* do mapa de risco de salinidade a irrigação, observa-se a ocorrência de maior frequência da Classe C_1S_1 a C_1S_4 com risco baixo, concordando com os dados descritivos da Tabela 4.

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

Na Tabela 4, verifica-se a distribuição espacial do risco de salinidade das águas superficiais, onde a classe de baixo risco de salinidade (C_1S_1 a C_1S_4) apresenta área equivalente a 75,06% do total da área de estudo. A classe de

médio risco (C_2S_1 a C_2S_4) ocorre em 18,95% da área. A classe de alto de risco a salinidade (C_3S_1 a C_3S_4), muito alto (C_4S_1 a C_4S_4) e a excepcionalmente alto (C_5S_1 a C_5S_4) totalizam 5,99% do total.

Tabela 4. Distribuição espacial das classes de risco de salinidade das águas superficiais para fins de irrigação

Classe	Área (km ²)	%	Classe	Área (km ²)	%	Classe	Área (km ²)	%
C_1S_1	643.907	28,23	C_3S_1	37.507	1,64	C_5S_1	2.432	0,11
C_1S_2	677.308	29,69	C_3S_2	30.500	1,34	C_5S_2	2.111	0,09
C_1S_3	255.280	11,19	C_3S_3	21.374	0,94	C_5S_3	1.742	0,08
C_1S_4	135.774	5,95	C_3S_4	16.526	0,72	C_5S_4	919	0,04
Subtotal	1.712.269	75,06	Subtotal	105.907	4,64	Subtotal	7.204	0,32
C_2S_1	143.128	6,27	C_4S_1	8.609	0,38			
C_2S_2	119.801	5,25	C_4S_2	6.593	0,29			
C_2S_3	67.829	2,97	C_4S_3	4.815	0,21			
C_2S_4	101.530	4,45	C_4S_4	3.477	0,15			
Subtotal	432.288	18,95	Subtotal	23.494	1,03	Total	2.281.162	100,00

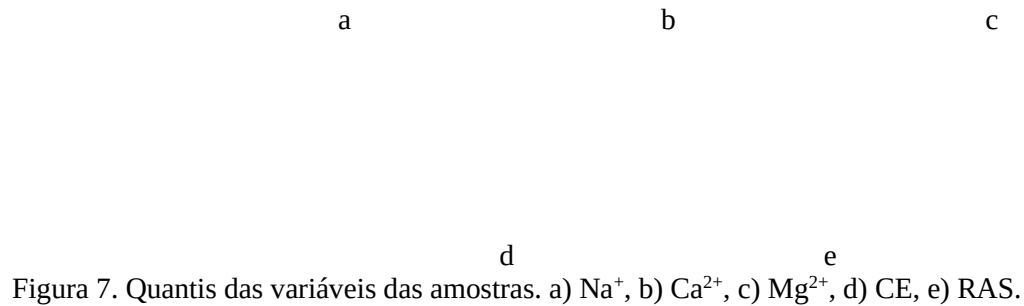
Chaves et al. (2010) mapeando a distribuição espacial da qualidade da água superficial para irrigação do Estado do Ceará em 48 pontos, em que 36 (75%) apresentaram-se na classe C_2S_1 , 9 (18%) na classe C_1S_1 , 2 (4%) reservatórios em C_3S_1 , e 1 classificado como C_3S_2 . Resultado similar e este trabalho quanto a esta região.

Pela Tabela 5, observa-se que o atributo Na^+ apresenta os maiores valores médios, máximos e desvio padrão seguido do Ca^{2+} e Mg^{2+} . O CE apresenta os maiores valores no risco de salinidade. O RAS por ser adimensional, apresenta os menores valores.

Tabela 5. Dados estatísticos das variáveis

Atributo/Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad.	Curtose	1st Quart	3rd Quart
Na^+	63,11	6,08	0	5.333,33	287,47	172,18	2,28	3,38
Ca^{2+}	25,95	6,30	0	1.978,00	98,96	223,75	2,40	18,85
Mg^{2+}	23,59	3,20	0	1.410,56	93,71	97,13	1,40	13,33
CE	558,05	88,95	0	20.000,00	1.691,37	63,80	10,97	400,00
RAS	8,53	3,10	0	200,45	16,36	51,92	1,53	8,98

Na Figura 7, nas caixas dos quantis dos resultados do teste, verifica-se que a distribuição apresenta regularidades em todas as variáveis.



Pela Tabela 6 pode-se verificar que os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) se apresentam 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 6. Testes de normalidade

Variável\Teste	Shapiro-Wilk		Anderson-Darling		Lilliefors	
	<i>W</i>	<i>p-valor</i>	<i>A</i>	<i>p-valor</i>	<i>D</i>	<i>p-valor</i>
Na ⁺	0,18761	<2,2e ⁻¹⁶	346,37	<2,2e ⁻¹⁶	0,41311	<2,2e ⁻¹⁶
Ca ²⁺	0,20576	<2,2e ⁻¹⁶	307,24	<2,2e ⁻¹⁶	0,39658	<2,2e ⁻¹⁶
Mg ²⁺	0,22299	<2,2e ⁻¹⁶	334,76	<2,2e ⁻¹⁶	0,40061	<2,2e ⁻¹⁶
CE	0,31905	<2,2e ⁻¹⁶	274,65	<2,2e ⁻¹⁶	0,37073	<2,2e ⁻¹⁶
RAS	0,45974	<2,2e ⁻¹⁶	189,95	<2,2e ⁻¹⁶	0,30100	<2,2e ⁻¹⁶

Na Figura 8, observa-se a correlação de Pearson entre as variáveis em estudo onde entre o RAS e o CE apresenta um coeficiente linear de R=0,669 e maior valor entre o CE e o Na⁺ e o CE e o Ca²⁺ de 0,815 e 0,816, respectivamente, comprovante neste caso a maior influência nos resultados.

Figura 8. Correlação entre as variáveis.

Na classificação das águas superficiais para fins de irrigação (Figura 9) observa-se que, a maior parte das amostras estão classificadas até o risco alto de salinização devido a condutividade

elétrica e no risco baixo devido ao sódio. Estas se

distribuem entre as classes C_1S_1 , C_2S_1 e C_3S_1 .

Figura 9. Classificação das águas superficiais para fins de irrigação.

Recomenda-se que os resultados deste trabalho possam ser utilizados na tomada de decisão como também nas aplicações de políticas públicas de âmbito agrícola a fim de se evitar a degradação ambiental.

4 Conclusão

O uso da modelagem por B-Spline Multinível apresentou excelentes resultados.

As classes de risco a salinidade superficial baixa a média (C_1S_1 a C_2S_4) ocorreram em 94% da área de estudo.

Os testes de normalidade apresentaram-se semelhantes entre si e a correlação entre o CE e as variáveis Na^+ e o Ca^{2+} foram de 0,815 e 0,816, respectivamente.

Os resultados estatísticos foram semelhantes entre si para todas as variáveis.

Referências

- Albuquerque Nunes, W.A.G.; Ker, J.C.; Neves, J.C.L.; Ruiz, H.A.; Freitas, G.A.; Beirigo, R.M. 2005. Qualidade da água de irrigação de poços tubulares e do rio Gorutuba na região de Janaúba-MG. Irriga 10(4) 419-426.
- Alencar, N.R.O. 2020. Processos hidrogeoquímicos envolvidos na salinização dos reservatórios Algodoeiro e Três Barras situados na região do baixo São Francisco no estado de Sergipe. 119f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão.
- Almeida, J.B. 2013. A qualidade de águas superficiais e subterrâneas na Bacia do Rio da Prata/São Luís Maranhão sob efeito da ação antrópica. 121f. Tese (Doutorado em Física). Centro de Ciências. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- Almeida, R.A. 2023. Estudo de caracterização comparativa de fontes de águas minerais nos aquíferos barreiras e são Sebastião nos estados de Sergipe e Bahia. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift 22(6) 711-728.
- Alves, J.P.H. 2023. Hidrogeoquímica dos Reservatórios de Sergipe. Aracaju-SE. Ed. Criação. 126p.
- Amorim, D.M.B. 2007. Cultivo protegido de roseiras sob diferentes lâminas de irrigação no Agreste - PE, Brasil. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Tecnologia Rural. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.
- 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.
- ANA. Agência Nacional de Águas Saneamento Básico. Base de Dados Nacional de Referência de Massas de Água. Registros: 240.899. Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/4c606c38ee534b84bffe70ca6c8552c6_0/explore. Acesso em: 12 de julho de 2024.
- 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. et al. 2006. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido Piauiense. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 10(4) 873-880.
- Andrade, E.M.; Batista, T.M.; Teixeira, A.S.; Meireles, M.; Sousa, B.F.S. 2006. Mapa de

- vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego do GIS. *Revista Ciência Agronômica* 37(3) 279-286.
- Aquino, R.F.; Nascimento, K.R.F.; Rodrigues, Z.R. Vieira, C.; Maia, P.H.P.; Costa, A.B. 2003. Caracterização hidrogeoquímica e isotópica das águas superficiais e subterrâneas do oeste baiano – Bacia do rio das Fêmeas – Bahia. In: *Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, 15, 2003, Curitiba. Anais...Curitiba.
- Araújo Neto, J.R. de; Andrade, E.M. de; Meireles, A.C.M.; Guerreiro, M.J.S.; Palácio, H.A. de Q. 2014. Proposta de índice da salinidade das águas superficiais de reservatórios do Ceará, Brasil. *Revista Agro@mbiente On-line* 8(2)184-193.
- Araújo Neto, J.R.; Sales, M.M.; Meireles, A.C.M.; Palácio, H.A.Q.; Chaves, L.C.G. 2014. Modelagem da estrutura iônica das águas superficiais de reservatórios da bacia Metropolitana do Ceará, Brasil usando regressão linear múltipla. *Revista Agro@mbiente On-line* 8(1) 29-38.
- Araújo, J.G.S. 2020. Atividades antrópicas e a qualidade das águas do rio Ipojuca no município de Caruaru-PE: documentário como proposta para o ensino das ciências ambientais. 112f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional para o Ensino das Ciências Ambientais). Centro de Biociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.
- Audry, P.; Suassuna, P. 1999. A qualidade da água na irrigação do trópico semi-árido. Um estudo de caso. In: *Seminário Franco-Brasileiro de Pequena Irrigação*, 1990, Recife. Anais...Recife, 1990.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. 1999. A qualidade da água na agricultura: estudos, irrigação e drenagem. Manual FAO 29. 2 ed. Campina Grande: UFPB. 153p.
- Barroso, A.D.A.; Gomes, G.E.; Lima, A.E.D.O.; Palácio, H.A.D.Q.; Lima, C.A.D. 2011. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15(6) 588-593.
- Barroso, A. de A.F.; Gomes, G.E.; Lima, A.E. de O.; Palácio, H.A. de Q.; Lima, C.A. de. 2011. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15(6) 588-593.
- Batista, A.C.D.O.N.; Souza, S.O.; Correia, V.M.S.; Aquino, M.D.; Lima Neto, I.E.; Silva, F.J.A. 2020. Variabilidade hidroquímica em dois reservatórios no semiárido brasileiro. *Brazilian Journal of Development* 6(3) 13698-13712.
- Bayer, C. 2004. Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais. In: *FERTBIO*, 26, 2004, Lages. Anais...Lages.
- Bernardo, S. 1995. Manual de Irrigação. 6.a ed. Viçosa: UFV.
- Bley Jr., C. 1999. Erosão Solar: riscos para a agricultura nos trópicos. *Ciência Hoje* 25(148) 24-29.
- Boareto, L.C.; Cordeiro, H.V.; Santos, E.A.; Silva, P.T.S.; Albuquerque Junior, E.C. 2014. Qualidade da água do canal do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho em Petrolina (PE) para fins de irrigação: conhecimento importante para os produtores. In: *Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental*, 34, 2014, Monterrey. Anais...Monterey.
- Braga, R.A.; Cabral, J.J.; Montenegro, S.M.; Perrier Júnior, G.S. 2002. Conservação dos recursos hídricos em brejos de altitude: o caso de Brejo dos Cavalos, Caruaru, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 6(3) 539-546.
- Brito, L.T. de L.; Silva, A.D.S.; Srinivasan, V.S.; Galvão, C. de O.; Gheyi, H.R. 2006. Uso de análise multivariada na classificação das fontes hídricas subterrâneas da bacia hidrográfica do Salitre. *Engenharia Agrícola* 26(1) 36-44.
- Brito, L.T. de L.; Srinivasan, V.S.; Silva, A. de S.; Gheyi, H.R.; Galvão C. de O.; Hermes, L.C. 2003. Fatores relacionados a salinidade das águas da Bacia hidrográfica do Salitre. In: *Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*, 4, 2003, Juazeiro. Anais...Juazeiro.
- Buarque, N.M.S.; Carvalho, S.M.C.; Pereira, M.O. 2013. Avaliação da qualidade da água do açude colina, Quiterianópolis, Ceará, Brasil após evento de floração de cianobactérias. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2013, Bento Gonçalves. Anais...Bento Gonçalves.
- Cabaleiro, S.M.O.L. 2010. Investigação geoquímica como instrumento de gestão ambiental - sub-bacia do córrego Sarandi, Minas Gerais. 210f. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Caminha, M.P. 2022. Classificação de qualidade da água para irrigação em microbacia hidrográfica em condições semiáridas. 44f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental). Departamento de

- Engenharia e Ciências Ambientais. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró.
- Campos, V.B.; Cavalcante, L.F. 2009. Salinidade da água e biofertilizante bovino: efeito sobre a biometria do pimentão. *Holos* 2(1) 10-20.
- Carvalho, A.K.N.; Souza, R.F.; Oliveira, S.D.S. 2022. Qualidade de águas superficiais e subterrâneas para irrigação em um município do semiárido do estado do Rio Grande do Norte. *Pesquisas em Geociências* 49(2) e119720.
- Cavalcante, T.R.B.; Anjos, D.C.; Hernandez, F.F.F.; Araújo, E.A.; Dias, I.F. 2017. Qualidade de águas superficiais e subterrâneas do município de Jaguaruana–Ceará; In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2017, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- Cavalcanti, B.F. 1994. Padrão Quali para Interpretação da qualidade de águas naturais para usos municipais e de irrigação. *Revista Roteiro* 1(3).
- 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.
- Chaves, L.C.G.; Andrade, E.M.; Feitoza, R.M.; Rodrigues, J.O.; Alexandre, D.M.B. 2010. Distribuição espacial da qualidade da água superficial para irrigação no Estado do Ceará. In: Simpósio Brasileiro de Salinidade, 1, 2010, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. 2018. Anuário do Monitoramento Qualitativo dos Principais Açudes do Estado do Ceará 2017. Fortaleza.
- Correia Filho, F.L.; Andrade, J.B.F.; Monteiro, A.B.; Fontes, S.L.; Feitosa, E.C.; Soares Filho, A.R.; Sousa, N.G.; Barradas, M.T. 2008. Hidroquímica do aquífero cabeças na borda sudeste da bacia sedimentar do Parnaíba-PI. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, 2008, Natal. Anais...Natal: ABAS.
- Costa, G.B.R.; Palácio, H.A. de Q.; Araújo Neto, J.R. de; Santos, D.L. dos; Araújo, D.P. de. 2017. Proposta de índice de salinidade dos reservatórios do alto Jaguaribe além da variabilidade temporal. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 5, 2017, João Pessoa. Anais...João Pessoa.
- Costa, J.G.; Martins, J.S.; Costa Filho, W.S.; Franco, S.P.B.; Santos, A.F. 2018. Caracterização físico-química e microbiológica da água disponibilizada no canal do sertão alagoano. In: Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido, 1, 2018, Natal. Anais...Natal.
- 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 1021-1025.
- Damasceno, L.M.O.; Andrade Júnior, A.S.D.; Dias, N.D.S.; Franco, J.L.D.; Silva, Ê.F.D.F. 2010. Aspectos qualitativos da água do Rio Poty na região de Teresina, PI. *Revista Ciência Agronômica* 41(1) 139-148.
- Damasceno, M.B. 2018. Aspectos químicos de águas e sedimentos em corpos hídricos superficiais nos rios Guajiru e do Mudo, Bacia Hidrográfica do Rio Doce/RN. 132f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Centro de Biociências. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.
- Dantas Neto, J.; Falcão, J.B.; 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.
- Dantas, F.P.S. 2011. Avaliação da composição iônica e aplicação de um índice de qualidade ambiental para a água de irrigação no Rio Açu, RN. 67f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró.
- ESRI. 2024. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: dezembro de 2024.
- Farias, C.H.D.A.; Sobrinho, J.E.; Medeiros, J.F.D.; Costa, M.D.C.; Nascimento, I.B.D.; Silva, M.C.D.C. 2003. Crescimento e desenvolvimento da cultura do melão sob diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 7(3) 445-450.
- Fernandes, J.G. 2008. Caracterização de águas e solos do perímetro irrigado Cachoeira II, Serra Talhada-PE. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Departamento de Agronomia. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Fernandes, J.G.; Freire, M.B.D.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(1) 27-34.
- Ferreira L.L.N.; Oliveira Júnior, R.F.; Arruda, L.E.V.; Vale, C.N.C.; Lemos Filho, L.C.A. 2015. Dependência espacial da qualidade da

- água para irrigação em reservatório superficial do semiárido. In: INOVAGRI Internacional Meeting, 3, 2015, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- 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 Açu na cidade de Pombal-PB. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável 9(4) 78-83.
- Figueredo Junior, L.G.M.; Ferreira, J.R.; Fernandes, C.N.V.; Andrade, A.C.; Azevedo, B.M.; Saraiva, K.R. 2013. Avaliação da qualidade da água do distrito de irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí-Ditalpi. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada 7(3) 213-223.
- Fontes, A.S. 2008. Vulnerabilidade à salinização das águas superficiais da bacia do rio Jacuípe por meio de traçadores ambientais. 32f. Tese (Doutorado em Geofísica). Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. Salvador.
- Frota Júnior, J.I. 2006. Variabilidade espacial e temporal da qualidade das águas no trecho perenizado na Bacia Hidrográfica do Curu, Ceará. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- Gastaldini, M.C.C. 1998. Estudo comparativo de índices de qualidade da água: Aplicação ao reservatório do Arroio Vacacaí-Mirim. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental, 8, 1998, João Pessoa. Anais...João Pessoa.
- GRASS-GIS. Geographic Resource Analysis Support System. 2024. Disponível em: <http://grass.osgeo.org>.
- Guedes, T.A.; Santos, J.D.; Feitosa, A.K.; Nogueira, D.H. 2016. Qualidade das águas subterrâneas e superficial da comunidade de Barro Vermelho, município de Aurora, Ceará, para fins de irrigação. Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária 10(3) 37-44.
- 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.
- IGAM. 2024. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Séries Históricas de Monitoramentos da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais (2º e 3º Trim-2023). Belo Horizonte. Disponível em: <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/4673>. Acesso em: junho de 2024.
- Laraque, A. 1989. Estudo e previsão da qualidade química da água dos açudes do Nordeste. Recife: SUDENE. 97p. (SUDENE. Hidrologia, 26).
- 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.
- Lee, S.; Wolberg, G.; Shin, S. 1997. Scattered data interpolation with multilevel bsplines. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 3(3) 228-244.
- Leite, L.M. 1991. Caracterização da qualidade da água superficial na bacia Capiá-AL, para fins de irrigação. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande.
- 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, M.H.R. 2020. Avaliação hidrogeoquímica dos reservatórios Jacarecica I e Macela situados na bacia hidrográfica do rio Sergipe, Nordeste Brasil. 77f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão.
- Lobato, F.A.O.; Andrade, E.M.; Meireles, A.C.M.; Crisóstomo, L.A. 2008. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. Revista Ciência Agronômica 39(1) 167-172.
- Lopes, L.B.; Teixeira, A.S.; Andrade, E.M.; Aquino, D.N.; Araújo, L.F.P. 2008. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e geoprocessamento. Revista Ciência Agronômica 39(3) 392-402.
- Magalhães, M.S.; Pinheiro, A.A.F.; Rodrigues, F.M.; Mesquita, P.R.R. 2022. Análise da qualidade da água utilizada para irrigação em propriedades rurais de Cravolândia, BA, Brasil. Research, Society and Development 11(11) e314111133521.

- Maia, C.E.; Morais, E.R.C.; Oliveira, M. 2001. Classificação da composição iônica da água de irrigação usando regressão linear múltipla. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 5(1) 55-59.
- Mancini, L.H. 2002. Migração de ²²⁶Ra e ²²⁸Ra nas águas superficiais e subterrâneas no Complexo Alcalino do Barreiro de Araxá (MG). 167f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.
- Matta, M.A.S.; Cavalcante, I.N.; Assis, J.F.P.; Melo, C.R.; Melo, C.R.; Diniz, C.G.; Vasconcelos, Y.B.; Vanzin, M.M.; Carmona, K.M. 2010. Qualidade das Águas Tributárias do rio Amapari nas áreas de influência das Mineradoras MMX (Ferro) e MPBA (ouro) no estado do Amapá. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 1, 2010, São Luiz. Anais... São Paulo: ABAS.
- 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. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências e Tecnologia.
- Medeiros, J.F.; Dias, N.D.S.; Barros, A.D. 2008. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro a salinidade da água de irrigação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 3(3) 242-247.
- Meireles, A.C.M.; Frischkorn, H.; Andrade, E.M. 2007. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semiárido cearense. *Revista Ciência Agronômica* 38(1) 25-31.
- Melo, M.R.S. 2007. Lixiviação de nutrientes em lisímetros de drenagem na presença de polímero hidroabsorvente. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.
- 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).
- Monteiro, A.F.M.; Yamamoto, A.L.C.; Silva, P.N.; Reboita, M.S. 2021. Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. *Terræ Didactica* 17 1-12.
- Moreira, V.O.G.; Hernandez, F.F.F.; Silva, E. da. 2016. Salinidade da água do rio curu-Ceará no período de estiagem. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 10(2) 507-514.
- Nascimento, S.L.; Silva, C.M.; Silva, M.F.; Silva, W.A. 2024. Qualidade da água de irrigação na região Tocantina do estado do Maranhão, Brazil. *Concilium* 24(3) 259-272.
- Neves, M.; Alves, J.D.P.H.; Fonseca, L.C.; Macedo, L.C.B. 2016. Qualidade da água do reservatório Jaime Umbelino–Barragem do Poxim/Sergipe. *Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente* 5(1) 81-94.
- Nobre, M.E.S.; Gomes, D.F.; Vasconcelos, S.M.S.; Frischkorn, H.; Lima Neto, I.O.; Ferreira, S.K.; Souza, D.P. 2018. Estudo hidroquímico-ambiental do aquífero aluvionar do baixo Jaguaribe, Itaíçaba–Ceará. *Revista do Instituto Geológico* 39(3) 77-92.
- Nunes Filho, J.; Sousa, A.R.D.; Sá, V.A.D.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.
- Oliveira Filho, R.A. 2016. Aspectos produtivos da rebrota de cultivares de sorgo irrigados com água salina. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.
- 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.
- Oliveira, F.S. 2018. Efeitos da irrigação com água salina no crescimento inicial e na produção de fitomassa em clones de eucalipto. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Vitória da Conquista.
- Palácio, H.A.D.Q.; Andrade, E.M.D.; Lopes, F.B.; Alexandre, D.M.B.; Arraes, F.D.D. 2009. Similaridade da qualidade das águas superficiais da bacia do Curu, Ceará. *Ciência Rural* 39(9) 2494-2500.
- 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, L.; Santiago, M.M.F.; Frischkorn, H.; Araújo, J.C. e Lima, J.O.G. 2003. Hidroquímica de águas superficiais e subterrâneas da bacia de Gameleira, município de Aiuaba/CE. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2003, Cuiabá. Anais...Cuiabá.
- Piscoya, V.C.; Cantalice, J.R.B.; Silva, Y.J.A.B.; Cunha Filho, M.; Silva, V.P. 2012. Implantação de barragem subterrânea e avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica

- semiárida do riacho jacu, Serra Talhada-PE. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2012, Campina Grande. Anais...Campina Grande.
- QGIS. Development Team. 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2024.
- Reboita, M.S.; Ambrizzi, T. 2022. Climate system in a nutshell: An overview for understanding Climate change. *International Journal of Development Research* 12 e53365-53378.
- Reboita, M.S.; Gan, M.A.; Rocha, R.P. da; Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25 185-204.
- 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, J.A.; Melo, F.; Feitosa, F.A.; Silva, C.M.V.; Santiago, M.F. 2000. Contribuição hidroquímica para o conhecimento das bacias do Iguatu-CE. In: Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, 181, 2000, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory. (USDA: Agriculture Handbook, 60).
- Rosa, R.; Brito. 1996. Introdução ao geoprocessamento. Universidade Federal de Uberlândia, 142p.
- SAGA. System for Automated Geoscientific Analyses. 2024. Disponível em: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>. Acesso em: 24 de janeiro de 2024.
- Santos, C.E.O. 2016. Qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira: uma avaliação com base em técnicas estatísticas multivariadas e nos processos geoquímicos de salinização. 97f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão.
- Santos, J.S.D.; Oliveira, E.D.; Massaro, S. 2000. Avaliação da salinização de açudes no semi-árido brasileiro por ICP-AES. *Química Nova* 23(4) 453-456.
- Shapiro, A.S.S.; Wilk, M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3/4) 591-611.
- Silva Filho, E.A. 2016. Avaliação de cultivares e progênies de sorgo irrigados com água salina na Zona da Mata de Pernambuco. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.
- Silva Jr., L.G.A.; Gheyl, H.R.; Medeiros, J.F. 1999. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 3(1) 11-17.
- Silva Júnior, J.N.; Sousa, A.R.; Sá, V.A.L. 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.
- Silva, A.M.R.B.; Melo, R.R.C.; Pereira, J.F.Q.; Silva, G.L.; Metri, M.; Silva, A.M.S.; Lima, E.S.; Silva, V.L. 2011. Qualidade da água da barragem jazigo, no município de Serra Talhada, Semi-árido de Pernambuco-Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Anais...Maceió.
- Silva, E.B.; Araújo Neto, J.R. 2016. Caracterização das variáveis hidroquímicas na sub-bacia do Alto Jaguaribe, Ceará utilizando análise multivariada e SIG. *Revista Engenharia na Agricultura* 24(5) 417-426.
- Silva, E.I.L. 2004. Quality of irrigation water in Sri Lanka – status and trends. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution* 1 5-12.
- Silva, E.L. 2020. Processos geoquímicos que controlam a salinização dos reservatórios Carira e Coité, bacia do rio Vaza-Barris, Estado de Sergipe. 96f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão.
- Silva, F.F.; Cavalcanti, B.F. Silva, A.M.; Lacerda, F.F.; Espinel, X.F. 1999. Apresentação e aplicação do padrão NMRH para diagnóstico da qualidade de águas naturais para usos municipais, irrigação e corrosividade em tubulações na Bacia do rio Paraíba/AL-PE. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e Encontro Latino Americano de Agrometeorologia, 1999, Florianópolis, Anais...Florianópolis.
- Silva, M.R.B. 2015. Avaliação da qualidade da água bruta superficial das Barragens de Bitá e Utinga de Suape aplicando estatística e sistemas inteligentes. 278f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia e

- Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.
- Silva, P.S. 2016. Avaliação de viabilidade de aplicação de técnicas de recarga artificial em aquíferos salinizados, fraturados, Petrolina, PE. 168f. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia e Meio Ambiente). Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. Brasília.
- Silva, R.L.; Feitosa, A.K.; Barros, B.E.A.; Batista, P.H.D.; Leite, F.E. 2016. Qualidade das águas superficiais do açude e do Rio Trussu no estado do Ceará, para fins de irrigação. *Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária* 10(3) 45-48.
- Silva, R.R.M. 2021. Processos hidrogeoquímicos que controlam as características das águas dos reservatórios Poxim, Jacarecica II e Ribeira, situados no Estado de Sergipe. 84f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão.
- Silva, T.C. 2016. Biomonitoramento da água na sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, Sergipe. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biologia). Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão.
- Silveira, A.M. 2014. Avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Sergipe usando análises multivariadas de dados. 120f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão.
- Sousa Júnior, F.S.; Silva, P.C.C. 2022. Avaliação da qualidade da água para irrigação dos açudes urbanos do município de Angicos-RN. *Conjecturas* 22(1) 834-849.
- Sousa, J.B.; Nascimento, F.R.; Souza, C.A. 2018. Qualidade da água na Bacia hidrográfica do Ribeirão Areado Alto Francisco, Estado de Minas Gerais em área de ocorrência de tufito e diferentes tipos solos, *Revista Caminhos de Geografia* 9(68) 81-100.
- Souza Jr.; C.M.; Shimbo, J.Z.; Rosa, M.R.; Parente, L.L.; Alencar, A.A.; Rudorff, B.F.T.; Hasenack, H.; Matsumoto, M.; Ferreira, L.G.; Souza-Filho, P.W.M.; Oliveira, S.W. de; Rocha, W.F.; Fonseca, A.V.; Marques, C.B.; Diniz, C.G.; Costa, D.; Monteiro, D.; Rosa, E.R.; Vélez-Martin, E.; Weber, E.J.; Lenti, F.E.B.; Paternost, F.F.; Pareyn, F.G.C.; Siqueira, J.V.; Viera, J.L.; Ferreira Neto, L.C.; Saraiva, M.M.; Sales, M.H.; Salgado, M.P.G.; Vasconcelos, R.; Galano, S.; Mesquita, V.V.; Azevedo, T. 2020. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian Biomes with Landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing* 12 e2735.
- Souza, A.D.G. 2002. Diagnóstico ambiental integrado e subsídios ao estabelecimento de metas de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Jaboatão (PE). 174f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.
- Souza, J.L.T.; Vicente, M.R.; Souza, E.R.; Gomes, A.C.B.; Santos, R.M.; Almeida, J.B. 2022. Irrigation water quality in the salinas salinas-mg region, Brazil. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 16(1) 115-120.
- Souza, R.T.A. 2019. Anatomia e valor nutritivo de genótipos de capim-elefante de diferentes portes sob irrigação. 129f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.
- Tartari, M.T. 2021. Qualidade e fitorremediação das águas superficiais e subterrâneas da zona urbana de Feira de Santana, Brasil. 56f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. Salvador.
- Tavares, F.B. 2018. Análise espaço-temporal da salinidade da água em reservatório superficial nas condições semiáridas. 50f. Monografia (Bacharel em Agronomia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró.
- Toledo, L. G. 2004. Monitoramento dos impactos ambientais das atividades agrícolas na qualidade das águas superficiais. In: Universidade de Passo Fundo. *Uso da água na agricultura*. Passo Fundo. UPF. 11p.
- Vieira, P.F.; Pereira, L.A.; Brito, L.T.L.; Melo, R.F. 2011. Qualidade da água de dois açudes públicos do Município de Petrolina, PE. In: *Jornada de Iniciação Científica da EMBRAPA Semiárido*, 6, 2011, Petrolina. *Anais...Petrolina: Embrapa Semiárido*.
- Vysotskaya, L.; Hedley, P.E.; Sharipova, G.; Veselov, D.; Kudoyarova, G.; Morris, J.; Jones, H.G. 2010. Effect of salinity on water relations of wild barley plants differing in salt tolerance. *AoB Plants*, 10(6).
- WORDCLIM. 2024. Historical climate data. Disponível em: <https://worldclim.org/data/worldclim21.html>. Acesso em: 5 de abril de 2024.
- Zamberlan, J.F.; Robaina, A.D.; Peiter, M.X.; Ferraz, R.C.; Pinto, L. de M. 2013. Índices sazonais de qualidade da água de irrigação via análise multivariada na região central do Rio Grande do Sul. *Irriga* 18(3) 376-386.