



José Nilton Silva
Paulo Roberto Megna Francisco
George do Nascimento Ribeiro
José Hugo Simplicio de Sousa



Qualidade de Águas Superficiais e de Dessalinizadores para Consumo Humano de Parte da Região Continental Brasileira

Qualidade de Águas Superficiais e de Dessalinizadores para Consumo Humano de Parte da Região Continental Brasileira



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Q251 Qualidade de Águas Superficiais e de Dessalinizadores para Consumo Humano de Parte da Região Continental Brasileira/Silva et al.
— Campina Grande: EPTEC, 2025.

68 f.: il. color.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-01-36882-5

1. Valor máximo permitido. 2. Parâmetros da água. 3. Modelo paramétrico simplificado. I. Silva, José Nilton. II. Francisco, Paulo Roberto Megna. III. Ribeiro, George do Nascimento. IV. Sousa, José Hugo Simplicio de. V. Título.
CDU 540

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores.
As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável.
Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons.
Atribuição-Não-Comercial-Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

2025 by Eptec
Copyright © Eptec
Copyright do texto © 2025 Os autores
Copyright da edição © 2025 Eptec
Direitos para esta edição cedidos à Eptec pelos autores.
Open access publication by Eptec

Créditos das Imagens da capa e texto

Pixabay/Freepick

Editoração, Revisão e Arte da Capa

Paulo Roberto Megna Francisco

Conselho Editorial

Claudiomir Silva Santos (IFSULMINAS)
Djail Santos (CCA-UFPB)
Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)
Fabrício Santos Ritá (IFSULMINAS)
Flávio Pereira de Oliveira (CCA-UFPB)
George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)
Guttemberg da Silva Silvino (CCA-UFPB)
Gypson Dutra Junqueira Ayres (CTRN-UFCG)
João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)
José Nilton Silva (CTRN-UFCG)
José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)
Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)
Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)
Newton Carlos Santos (UFRN)
Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)
Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)
Raimundo Calixto Martins Rodrigues (DEAG-UEMA)
Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)
Viviane Farias Silva (CSTR-UFCG)

José Nilton Silva
Paulo Roberto Megna Francisco
George do Nascimento Ribeiro
José Hugo Simplicio de Sousa

Potencial de Captação e Armazenamento de Água de Chuva para Segurança Hídrica de Parte da Região Continental Brasileira



1.a Edição
Campina Grande-PB
2025

REALIZAÇÃO



APOIO



SUMÁRIO

QUALIDADE DA ÁGUA	6
MONITORAMENTO.....	8
ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	9
ESTUDOS REALIZADOS	11
DESSALINIZAÇÃO	12
ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA DESSALINIZADA	13
ESTUDOS SOBRE ÁGUA DESSALINIZADA	15
MODELOS E ALGORITMOS GEOESTATÍSTICOS	16
OBJETIVOS DA PESQUISA	18
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
MATERIAL E MÉTODOS	23
QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL.....	24
QUALIDADE DE ÁGUA DESSALINIZADA	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
QUALIDADE DE ÁGUA DESSALINIZADA	29
QUALIDADE DE ÁGUA SUPERFICIAL PARA CONSUMO HUMANO	37
CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
CURRICULUM DOS AUTORES.....	67



QUALIDADE DA ÁGUA

A escassez hídrica representa um desafio recorrente em diversas regiões áridas e semiáridas do mundo, com impactos significativos na qualidade de vida das populações que nelas habitam. São impactos no abastecimento de água para consumo humano, a saúde da população, a segurança alimentar e as atividades econômicas e de produção, como agricultura e pecuária (BISPO et al., 2023).

Santos et al. (2010) afirmam que, manter os padrões de quantidade e qualidade da água representa um desafio à sociedade, considerando que a maior parte dos problemas atuais relacionados aos recursos hídricos tem como principais problemas a falta de planejamento e gestão, além da sua contaminação.

As informações sobre a qualidade da água são fundamentais para que se conheça a situação em relação aos seus usos múltiplos e impactos ambientais. O crescimento

demográfico e o desenvolvimento socioeconômico estão sempre acompanhados pela necessidade de água, cuja qualidade e quantidade são de grande importância para a saúde e desenvolvimento de qualquer grupo (BUENO et al., 2005).

O termo qualidade de água não trata apenas o estado de pureza da mesma, mas sim às características físicas, químicas e biológicas e, dependendo destas características, são determinados diversos destinos para a água. A qualidade da água de um determinado recurso hídrico é avaliada dependendo das substâncias presentes na água, para isso denominada de parâmetros de qualidade da água. Tais substâncias caracterizam as condições em que a água se encontra, para os mais variados usos, inclusive para sua preservação no ambiente (MERTEN & MINELLA, 2002).



MONITORAMENTO

Programas de monitoramento da qualidade da água são estabelecidos para avaliar as substâncias presentes na água, sob os aspectos físicos, químicos e biológicos. A seleção dos parâmetros de interesse depende do objetivo do estudo, investigação ou projeto, levando-se em consideração os usos previstos para o corpo d'água e as fontes potenciais de poluição existentes na área e atender determinada legislação, estabelecendo os padrões de qualidade, no caso pela Resolução 20/86 CONAMA (SANTOS et al., 2001).

Qualquer programa de acompanhamento da qualidade da água, ao longo do tempo e do espaço, gera um grande número de dados analíticos que precisam ser transformados em um formato sintético, para que descrevam e representem de forma compreensível e significativa o estado atual e as tendências da água (SÁNCHEZ et al., 2007; CCME, 2001; FERREIRA & IDE, 2001), para que possam ser utilizados como informações gerenciais e como ferramenta na tomada de decisões relativas aos recursos hídricos. Uma forma de agregação dos dados em um formato sintético é o uso de indicadores que transfiram informações de um sistema a outro, levando a melhoria na tomada de decisões (CPRH, 2021).



ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Para facilitar a divulgação e interpretação de dados sobre os parâmetros de qualidade das águas ao público leigo, têm-se adotado os Índices de Qualidade das Águas que expressam, através de um valor único, a qualidade das águas em um ponto de monitoramento específico, o qual aponta de forma classificatória a qualidade da água (VON SPERLING, 2005, BRAGA et al., 2005).

Para se definir a qualidade das águas dos mananciais é preciso enquadrá-las em classes, considerando seus usos e estabelecendo-se critérios (ZAGATTO et al., 1993; VON SPERLING, 1995).

Diversas ferramentas foram propostas com base em características físicas, químicas e bacteriológicas da água, cabendo ajustes nos pesos e parâmetros para adequação à realidade regional. Destas, destaca-se o Índice de Qualidade da Água (IQA), que é uma importante metodologia para mensurar o padrão das águas nacionais (ANA, 2017).

Vários índices de qualidade foram desenvolvidos por diferentes entidades e com propósitos distintos, sendo que todos eles possuem em comum a combinação ponderada de um conjunto de fatores (BRAGA et al., 2005).

Metodologias diversas já foram desenvolvidas com o intuito de calcular o Índice de Qualidade de Água - IQA com o uso de médias aritméticas e geométricas. Entretanto, deve-se ter o cuidado ao agregar inúmeras variáveis em um único número, uma vez que, se pode gerar uma atenuação negativa de uma das variáveis frente às demais consideradas para o cálculo (SIMÕES et al., 2007). O IQA utiliza nove parâmetros em que apresentam pesos característicos (w_i), fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (ANA, 2024).



ESTUDOS REALIZADOS

Pesquisas em diversas regiões sobre qualidade da água foram realizadas como por Carvalho et al. (2004), Palácio (2004), Castro Júnior et al. (2007), Lopes et al. (2008), Lucena et al. (2008), Lopes e Magalhães (2010), Carvalho et al. (2011), Jerônimo e Souza (2013), Freire et al. (2013), Garcia et al. (2014), Bucci e Oliveira (2014), Costa e Ferreira (2015), Almeida et al. (2016), Santos et al. (2016), Santiago et al. (2016), Medeiros et al. (2016), Fontes et al. (2017), Lima e Alves (2017), Amorim et al. (2017), Brito et al. (2018), Amâncio et al. (2018), Gomes e Paula (2019), Alves et al. (2019), Okumura et al. (2020), Rocha et al. (2021), Silveira et al. (2022).

Quanto a qualidade da água diversas pesquisas foram elaboradas sobre diversas regiões como por Araújo et al. (2006), Vasco et al. (2010), Vasco et al. (2011), Araújo et al. (2013), Almeida Neto (2014), Silveira (2014), Mendes e Schneider (2015), Silva (2016), Lima e Sales (2018), Machado et al. (2018), Silva et al. (2018), Lima e Lourenço (2021) e por Silva et al. (2023).



DESSALINIZAÇÃO

A água para consumo humano é uma das grandes limitações para permanência das pessoas na zona rural do semiárido brasileiro. Atualmente a região possui um elevado número de poços tubulares, cuja execução é resultado, em sua grande maioria, de programas públicos de acesso a água. As águas desses poços frequentemente apresentam-se salobras ou salinas, resultado de sua localização no embasamento cristalino, cujas águas têm sua composição de sais alterada pela intemperização das rochas (SAIA et al., 2015).

Uma alternativa para viabilização do uso dessas águas para o consumo humano é a dessalinização por osmose reversa, que se encontra em expansão na região. Por sua comprovada eficiência quanto à relação custo/quantidade de água dessalinizada, a osmose reversa se destaca entre os outros processos de dessalinização e já vem sendo utilizada em várias comunidades no Nordeste do Brasil (SAIA et al., 2015).



ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA DESSALINIZADA

Os Índices de Qualidade de Água (IQA) vêm sendo desenvolvidos e aplicados no monitoramento da qualidade das águas, nas últimas décadas em diferentes partes do mundo. O índice é uma ferramenta matemática empregada para transformar vários parâmetros em uma única grandeza, que represente o nível de qualidade de água. O uso de um IQA é prático e é uma diretriz de condução, pois qualquer programa de acompanhamento de qualidade da água gera um grande número de dados analíticos que precisam ser apresentados em um formato sintético, para que descrevam e representem de forma compreensível e significativa o estado atual e as tendências da qualidade da água (SÁNCHEZ et al., 2007; CCME, 2001; FERREIRA & IDE, 2001). Simões et al. (2007) ressaltam que, há no mínimo 50 parâmetros que caracterizam a qualidade das águas, porém a quantificação destes representa um alto investimento para as agências de controle ambiental.

Diversos índices vêm sendo desenvolvidos em distintas regiões do planeta como por Horton (1965), Brown et al. (1970), Prati et al. (1971), Landwehr e Deininger (1976), Bascarán (1979), Smith (1987), Bernardes et al. (1999), Facincani et al. (1999), Deshpande e

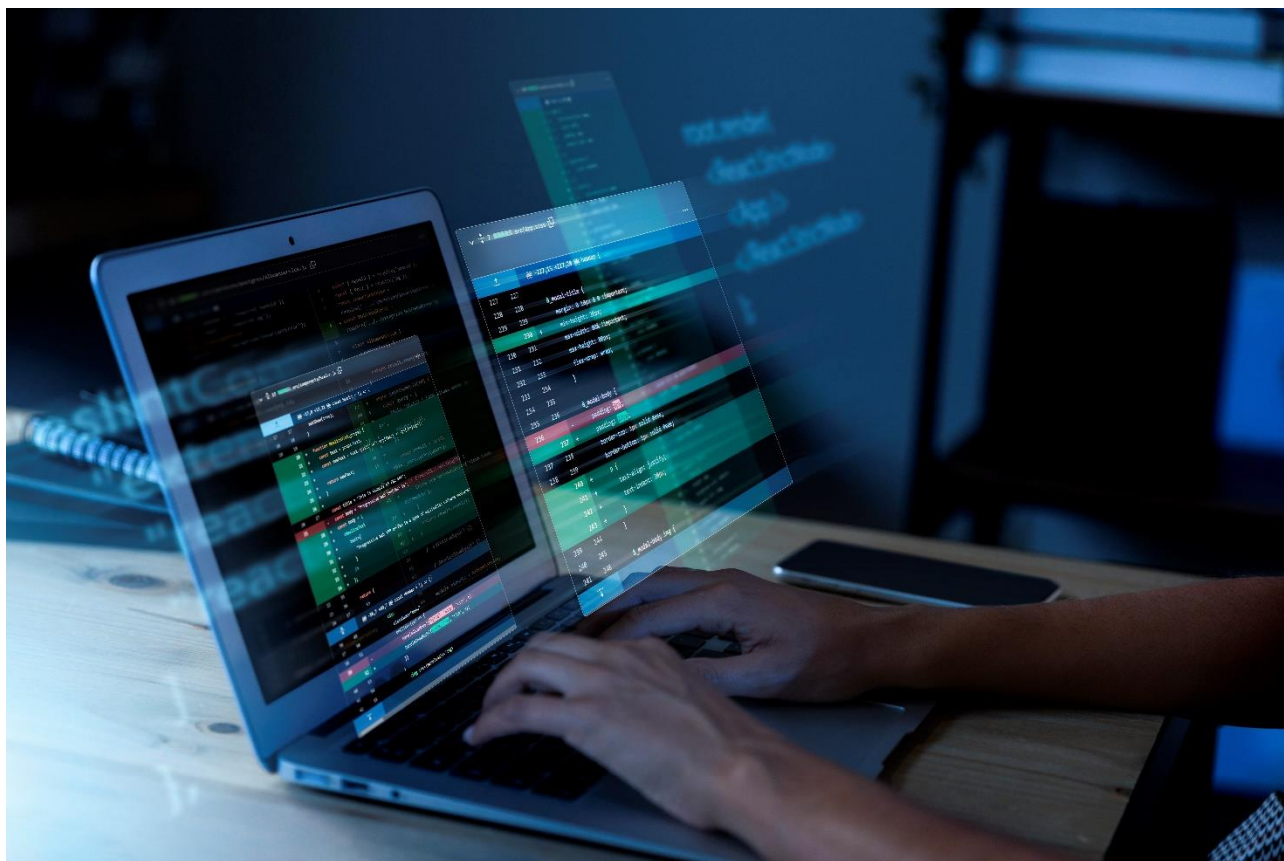
Raje (2003), Cadilhac e Albinet (2003), Stigter et al. (2006), Fernandes (2005), Almeida e Oliveira (2008), Menezes (2009), e adaptados e aplicados por Rizzi (2001), Sena et al. (2005), Molina et al. (2006), Zuffo e Genovez (2006), Oliveira et al. (2007), Sousa et al. (2007), Cristo et al. (2009), Khan et al. (2010), Lumb et al. (2010), Coutinho et al. (2013), Athayde et al. (2044) e Sousa (2021).



ESTUDOS SOBRE ÁGUA DESSALINIZADA

Atualmente, Fernandes e Loureiro (2006), propuseram o Índice Relativo de Qualidade (IRQ) visando caracterizar e hierarquizar o potencial qualitativo das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano considerando alguns parâmetros hidroquímicos sensíveis às interferências antrópicas. Esse índice permite ainda a utilização de outros parâmetros, desde que sejam conhecidos seus respectivos valores de padrão estabelecidos por normas ou portarias para o sistema hidrogeológico avaliado. Conforme Gibrilla et al. (2011), os índices podem se tornarem particularmente interessantes, quando incorporam em seu cálculo os valores previstos em legislações vigentes.

Oliveira et al. (2007) citam que, o mapeamento da qualidade das águas subterrâneas, através da utilização de índices, representa uma excelente possibilidade de sintetizar tais informações. Em geral, um índice de qualidade de água é um número adimensional obtido da agregação de dados físicos, químicos e bacteriológicos por meio de metodologias específicas. O interesse do Brasil por tais índices vem crescendo, desde que o Conselho Nacional de Meio Ambiente, em seu relatório anual de 1982, sugeriu a utilização destes, para ajudar na gestão dos recursos naturais (CPRH, 2006).



MODELOS E ALGORITMOS GEOESTATÍSTICOS

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 Sistema de Informação Geográfica 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).

Modelos matemáticos, aritméticos e lógicos, buscando representar propriedades e processos do meio físico natural, têm sido implementados e modelos inferenciais vêm sendo propostos, e a geoestatística é um desses modelos, e sua base conceitual está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas formalizada por Matheron (1971). Dentre os procedimentos geoestatísticos se destaca como a técnica do algoritmo B-spline multinível para interpolação espacial de dados dispersos, conforme proposto por Lee et al. (1997).

O algoritmo foi utilizado por diversos autores e múltiplas áreas, como por Lee et al. (2005a, 2005b), Osorio et al. (2011), Jiang e Zhang (2013), Moon e Ko (2018), Lyche et al. (2018), Noël et al. (2020), Kaya et al. (2021) e por Francisco et al. (2023; 2024).



OBJETIVOS DA PESQUISA

Portanto, este trabalho objetiva estimar, classificar e mapear a qualidade da água superficial e de água de dessalinizadores de parte da região continental brasileira para o consumo humano utilizando o uso de modelagem e geotecnologias.

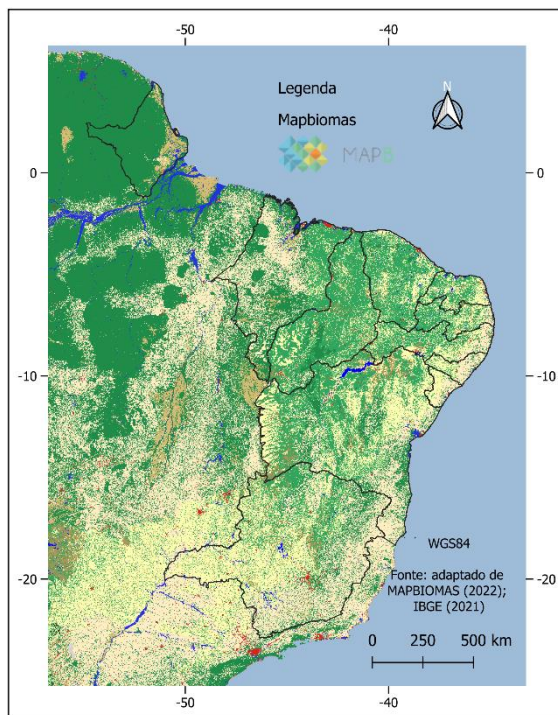


CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

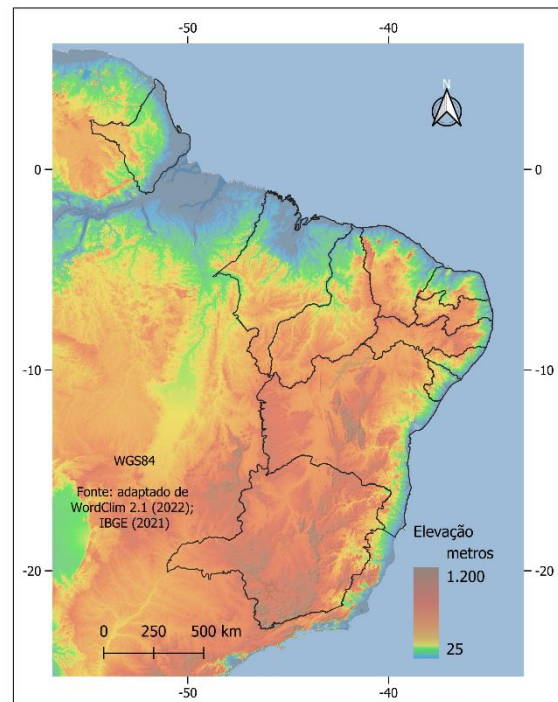
A área de estudo compreende a região Nordeste e os Estados de Minas Gerais, Maranhão e Amapá com diversidade de ambientes, biomas e vegetação (Figura 1a), elevação (Figura 1b), solos, tipos de clima (Figura 2a) e precipitação pluviométrica (Figura 2b).

De acordo com Alvares et al. (2013), na área de estudo, o clima é formado pelos tipos Af, Aw, As, BSh, Cwa e Cwb. Quanto a precipitação, a América do Sul, como tem grande 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).



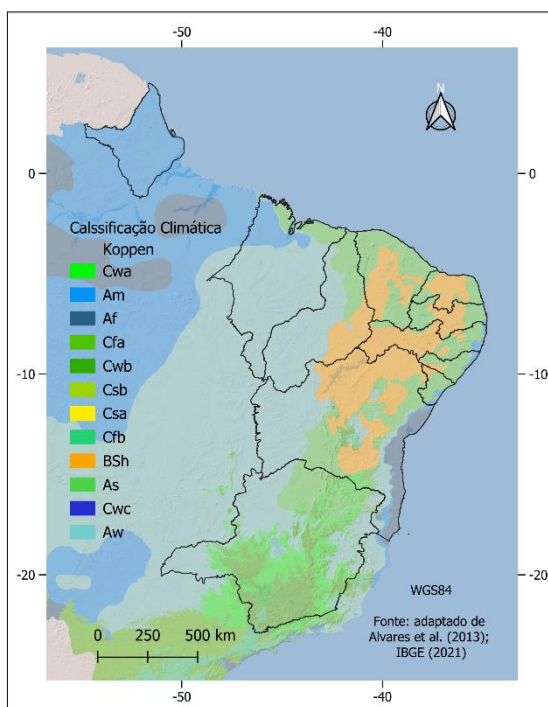
a



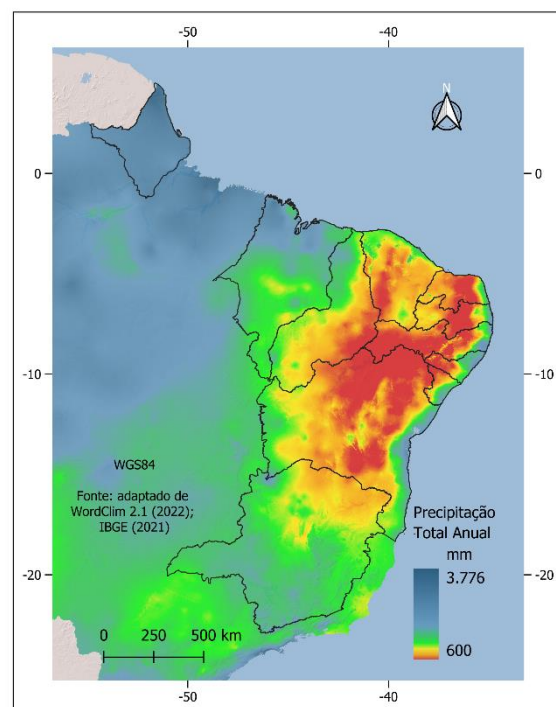
b

Figura 1. Vegetação(a), Elevação (b).

Fonte: Adaptado de MAPBIOMAS (2022); WorldClim® 2.1 (2022); IBGE (2021).



a



b

Figura 2. Classificação climática de Köppen (a), Precipitação total (b).

Fonte: Alvares et al. (2013); WorldClim® 2.1 (2022); IBGE (2021).

O Brasil é um país megadiverso onde seu território ocupa mais de 851 Mha abrangendo 6 biomas únicos e ricos em biodiversidade 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, insolação e temperatura (Figura 3). Quanto mais próximo do equador, mais crítica é a incidência, como é o caso das regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil (BAYER, 2004; BLEY JR., 1999). Quanto a precipitação, a América do Sul, como tem grande 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).

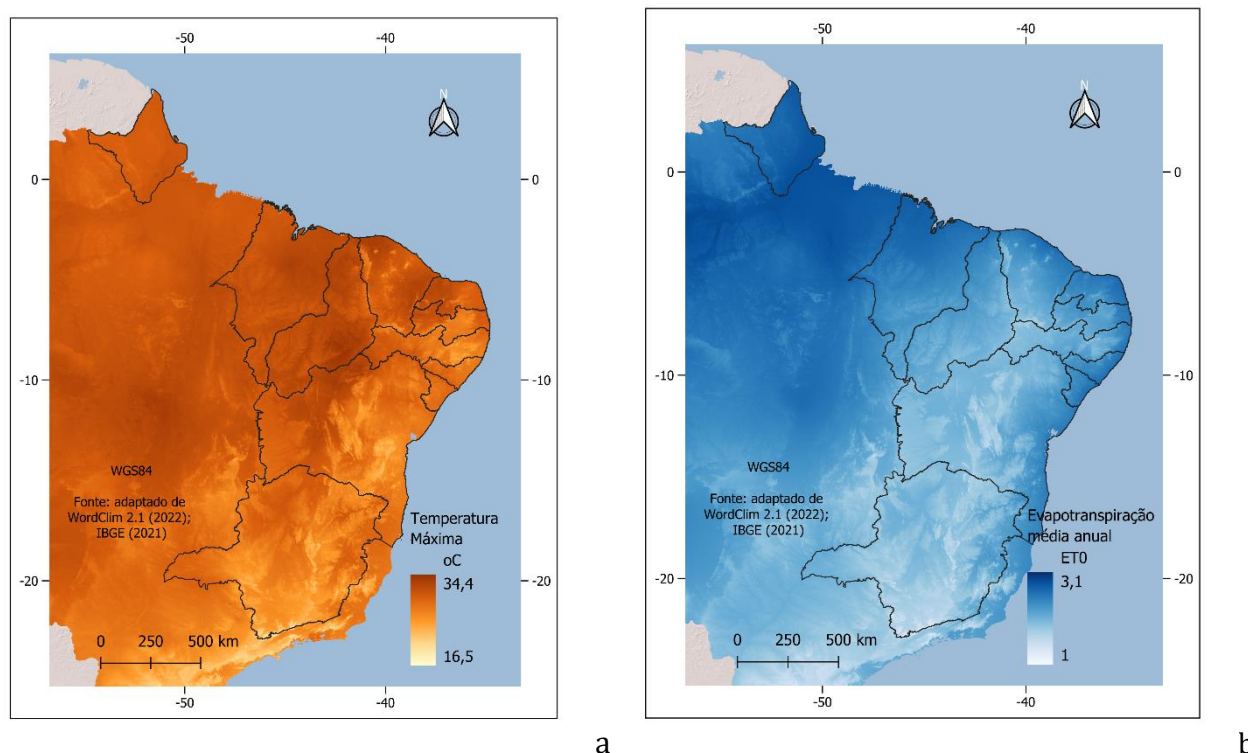


Figura 3. Temperatura máxima (a), Evapotranspiração (b).

Fonte: adaptado de WorldClim® 2.1 (2022); IBGE (2021).

Quanto a caracterização geológica (Figura 4c), a margem continental brasileira está dividida em três províncias fisiográficas distintas, a Plataforma continental Amazonas-Maranhão, incluindo a Cone Amazônico; a plataforma continental da costa norte-nordeste, abrangendo Barreirinhas, Ceará, Potiguar, Recife-João Pessoa, Sergipe-Alagoas, ao Sul bacias

da Bahia e Jequitinhonha; leste-sudeste plataforma continental costeira, na qual se situam as zonas costeiras e bacias marítimas de Cumuruxatiba, Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas. A seção estratigráfica brasileira conta com oito unidades principais, o Escudo Brasileiro Pré-cambriano, composto por rochas metamórficas dobradas e ígneas intrusivos; e cobertura de plataforma metassedimentar do Pré-cambriano ao Cambro-Ordoviciano, e seis sequências litoestratigráficas: duas paleozóicas, duas mesozóicas e duas cenozóicas em idade, delimitadas por discordâncias inter-regionais (CAMPOS et al., 1974).

O território do Brasil coincide quase inteiramente com a Plataforma Sul-Americana, o núcleo cristalino do continente. Seu embasamento é composto por antigas rochas metamórficas e ígneas e não sofreu nenhuma regeneração tectônica desde o início do Fanerozóico. Rochas sedimentares com estratificação quase horizontal cobrem este embasamento cristalino (ALMEIDA et al., 1981).

De acordo com a ANA (2019), 94,9% da massa d'água são de domínio Estadual, sendo 5,1% de domínio da União. Do número total de massas d'água de domínio Federal (12.241), 14,3% ou 1.746 são artificiais, sendo o restante 10.495 (85,7%) classificada como de origem natural. A capacidade total de armazenamento da massa d'água totaliza 630.170,63 hm³, dos quais 584.363,56 hm³ ou 92,7% referem-se a massas d'água ou reservatórios para geração de energia hidrelétrica (Figura 4b).

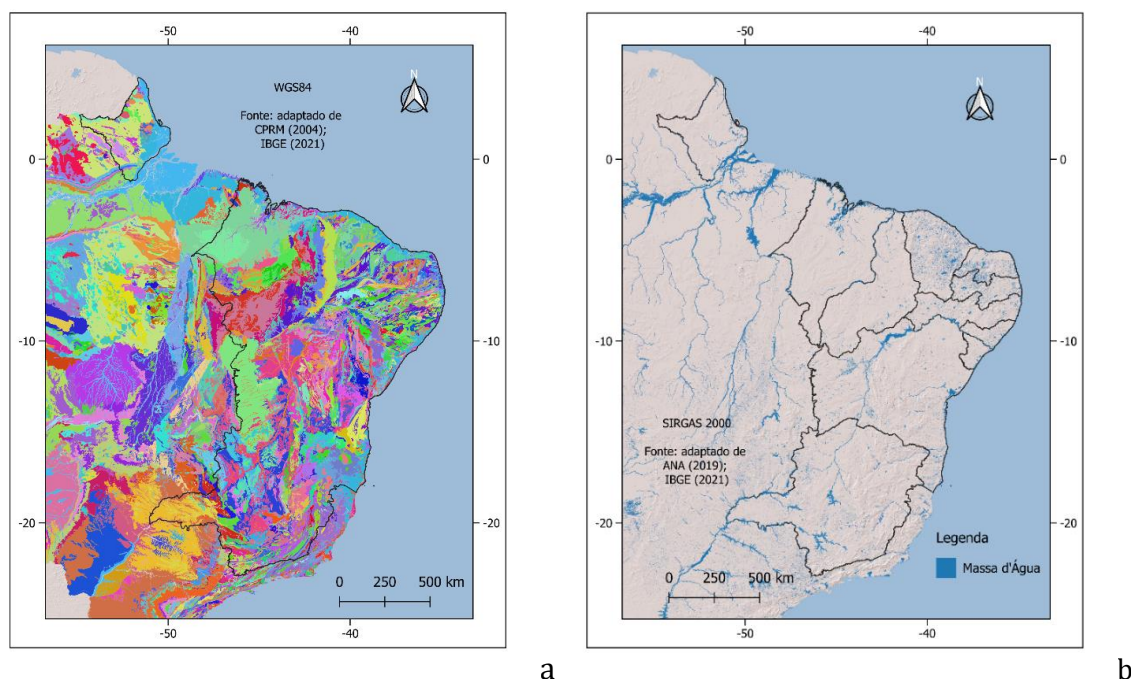
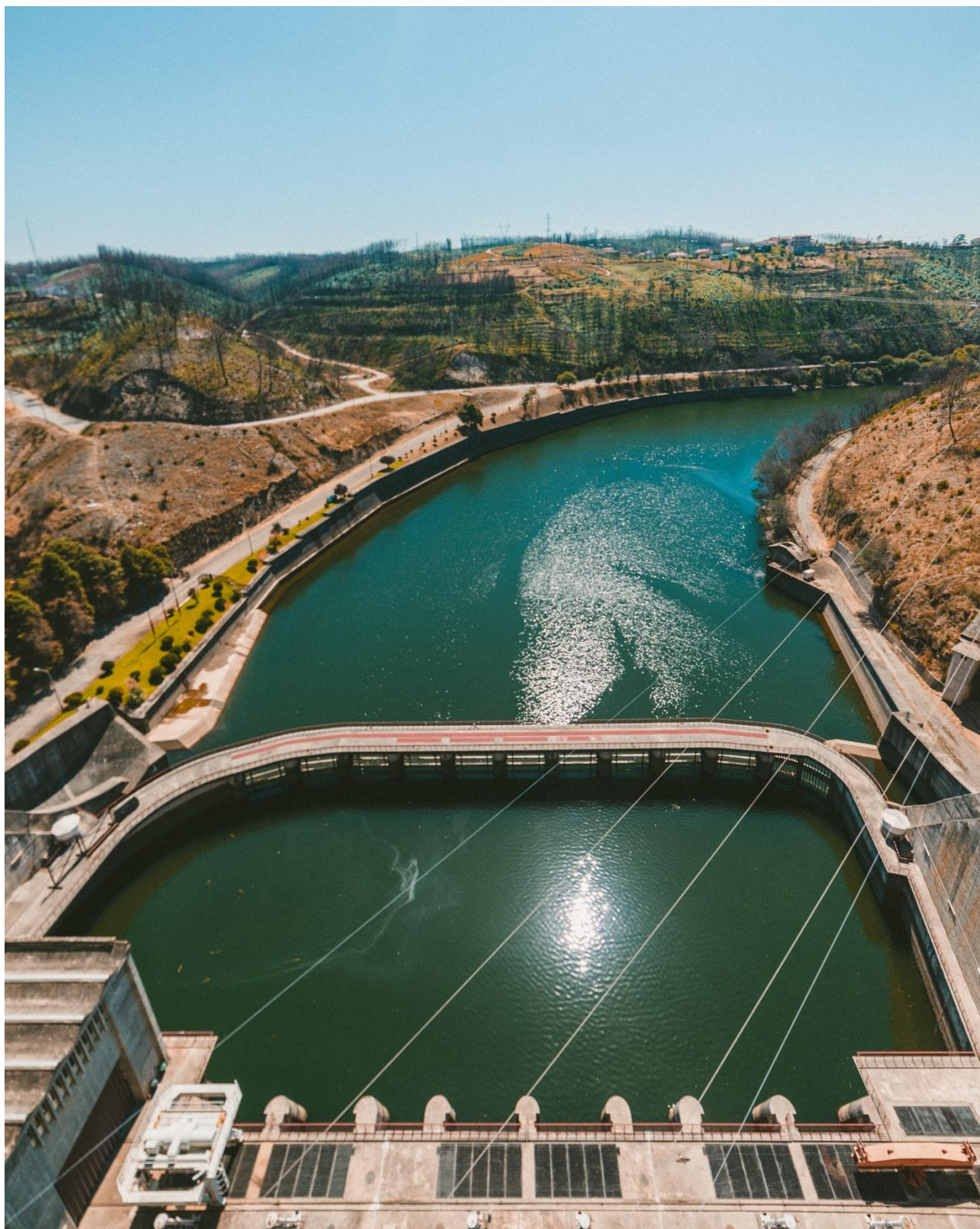


Figura 4. Geologia (a), Massa d'água (b).

Fonte: adaptado de CPRM (2004); ANA (2019); IBGE (2021).



MATERIAL E MÉTODOS

QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL

Na metodologia do trabalho foi adotado uma distância média de 10 km entre a captação e sua distribuição, o que ocorre normalmente nas redes de distribuição dos municípios, com o objetivo de distribuir os dados espacialmente.

Foram utilizados dados de parâmetros físicos, químicos e biológicos de águas superficiais de Temperatura da água (T), pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Coliformes Termotolerantes (CT), Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (FT), Sólidos Totais (ST) e Turbidez (TU) de 3.748 pontos georreferenciados proveniente do SNIRH (2023) e de diversas outras fontes. Os parâmetros de OD, DBO, FT e TU foram complementados por dados obtidos na ANA (2023).

Utilizando-se o software QGIS® 3.4 e a interpolação por Modelagem B-Spline (MBS) dos dados dispersos (LEE et al., 1997) através do plugin SAGA® 9.5.1 os dados dos parâmetros obtidos foram geoespacializados e recortados conforme os limites da área de estudo (IBGE, 2021).

Utilizando a calculadora *raster* do QGIS® 3.4 o IQA foi calculado pelo produto ponderado da qualidade da água correspondente aos parâmetros (Tabela 1) conforme a Equação 1 (VON SPERLING, 2007; ANA, 2024).

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \text{ (Eq.1)}$$

Em que: IQA = Índice de Qualidade da Água (0 a 100); q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro; w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro; sendo que: n : número de parâmetros ($n = 9$) (Equação 2).

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \text{ (Eq.2)}$$

Tabela 1. Parâmetros e pesos do IQA

Parâmetro	Peso (w)
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes Termotolerantes	0,15
Potencial Hidrogeniônico	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,10
Temperatura da Água	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Fósforo Total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

Fonte: Von Sperling (2007).

Após, os dados do IQA obtidos foram classificados conforme a Tabela 2. Para os cálculos de áreas foi utilizada o plugin GRASS® 8.4. *r.report*.

Tabela 2. Faixas e valores ponderados do IQA

Classe de Qualidade	Valor
Ótima	80-100
Boa	52-79
Regular	37-51
Ruim	20-36
Péssima	0-19

Fonte: Von Sperling (2007).

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio® v.2025. 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) e Jarque-Bera (1987). Na elaboração de correlação paramétrica foi utilizado a metodologia de correlação de Pearson (1895) (PCC).

QUALIDADE DE ÁGUA DESSALINIZADA

Na metodologia deste trabalho foram utilizados dados físico-químicos de parâmetros de água proveniente de dessalinizadores instalados em poços subterrâneos obtidos no SIAGAS® (SGB, 2024), no Programa Água Doce (MDR, 2024) e em diversas pesquisas de 3.872 pontos georreferenciados, em que através de planilha eletrônica do Excel® foram calculadas o Índice Relativo de Qualidade parcial (IRQDp) para cada parâmetro utilizado (Equação 3), de acordo com o estabelecido pelo padrão de potabilidade das águas (BRASIL, 2021) (Tabela 3).

$$\text{IRQDp} = (V_i/\text{VMP}) \text{ (Eq.3)}$$

Em que: IRQDp = Índice Relativo de Qualidade parcial para cada parâmetro; V_i = parâmetro (Dureza Total (CaCO_3), Sódio (Na^+), Ferro Total (Fe), Sulfato (SO_4^-), Cloreto (Cl^-), Nitrato (NO_3^-), Nitrito (NO_2^-), Sólidos Totais Dissolvidos (STD)); VMP = valor máximo permitido para cada parâmetro.

Tabela 3. Valor máximo permitido dos parâmetros da água para consumo humano

Parâmetros (mg/L)	Valor Máximo Permitido (VMP)
Dureza Total (CaCO_3)	500
Sódio (Na^+)	200
Ferro Total (Fe)	0,3
Sulfato (SO_4^-)	250
Cloreto (Cl^-)	250
Nitrato (NO_3^-)	10
Nitrito (NO_2^-)	1
Sólidos Totais Dissolvidos (STD) a 180°C	1.000

Fonte: Portaria GM/MS N° 888 (BRASIL, 2021).

Utilizando-se o software QGIS® 3.38 e a interpolação por Modelagem B-Spline (MBS) através do plugin SAGA® os dados dos IQRDp's obtidos foram geoespacializados e recortados conforme os limites da área de estudo (IBGE, 2021).

A classificação do Índice Relativo de Qualidade foi inferida por modelo paramétrico simplificado utilizando linguagem algébrica através da calculadora *raster* do QGIS® (Equação 4).

$$IRQD = (SA/NA) \text{ (Eq.4)}$$

Onde: IRQD = Índice Relativo de Qualidade Água de Dessalinizador; SA = somatório dos atributos: Dureza Total (CaCO₃), Sódio (Na⁺), Ferro Total (Fe), Sulfato (SO₄⁻), Cloreto (Cl⁻), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻), Sólidos Totais Dissolvidos (STD); NA = número de atributos.

Este modelo adaptado de Fernandes e Loureiro (2006), considera que variáveis/atributos da água proveniente de dessalinizador têm como valores de 0 a 1,2 (Tabela 4) onde a resultante classe 1 indica qualidade excelente - Classe Muito Alta (0 - 0,3), classe 2 indica qualidade Boa - Classe Alta (0,3 - 0,6), classe 3 infere classe Média (0,6 - 0,9) de água de qualidade Razoável, classe 4 infere Classe Baixa (0,9 - 1,2) de qualidade Ruim para consumo, e a classe 5 denota Muito Baixa (>1,2), classificada como de Péssima qualidade para consumo humano.

Tabela 4. Índice relativo de qualidade de água para consumo humano

Variação	Qualidade	Classe
0,0 - 0,3	Excelente	Muito Alta (1)
0,3 - 0,6	Boa	Alta (2)
0,6 - 0,9	Razoável	Média (3)
0,9 - 1,2	Ruim	Baixa (4)
> 1,2	Péssima	Muito Baixa (5)

Fonte: adaptado de Fernandes e Loureiro (2006).

Utilizando os dados das amostras e a planilha eletrônica do Excel® foi realizado o cálculo para a Classificação Simplificada da Água para o Consumo Humano (CSACH), em que foi adotado a Resolução CONAMA N° 20 (Tabela 5) para calcular os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) das amostras utilizando o CE da água modificada (Equação 3) (FERNANDES & LOUREIRO, 2006).

De acordo com Hem (1970), os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) corresponde ao peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Onde, à medida

que mais sólidos dissolvidos são adicionados à água, a condutividade elétrica aumenta. Portanto, existe uma relação de proporcionalidade entre a condutividade elétrica, CE, e os sólidos totais dissolvidos, STD. Esta relação é expressa pela Equação 5.

$$STD = \beta \times CE \text{ (Eq.5)}$$

Onde: STD = Concentração de Sólidos Totais Dissolvidos na água (mg/L); CE = condutividade elétrica da água em $\mu\text{S/cm}$; β = fator empírico de correlação igual a 0,65.

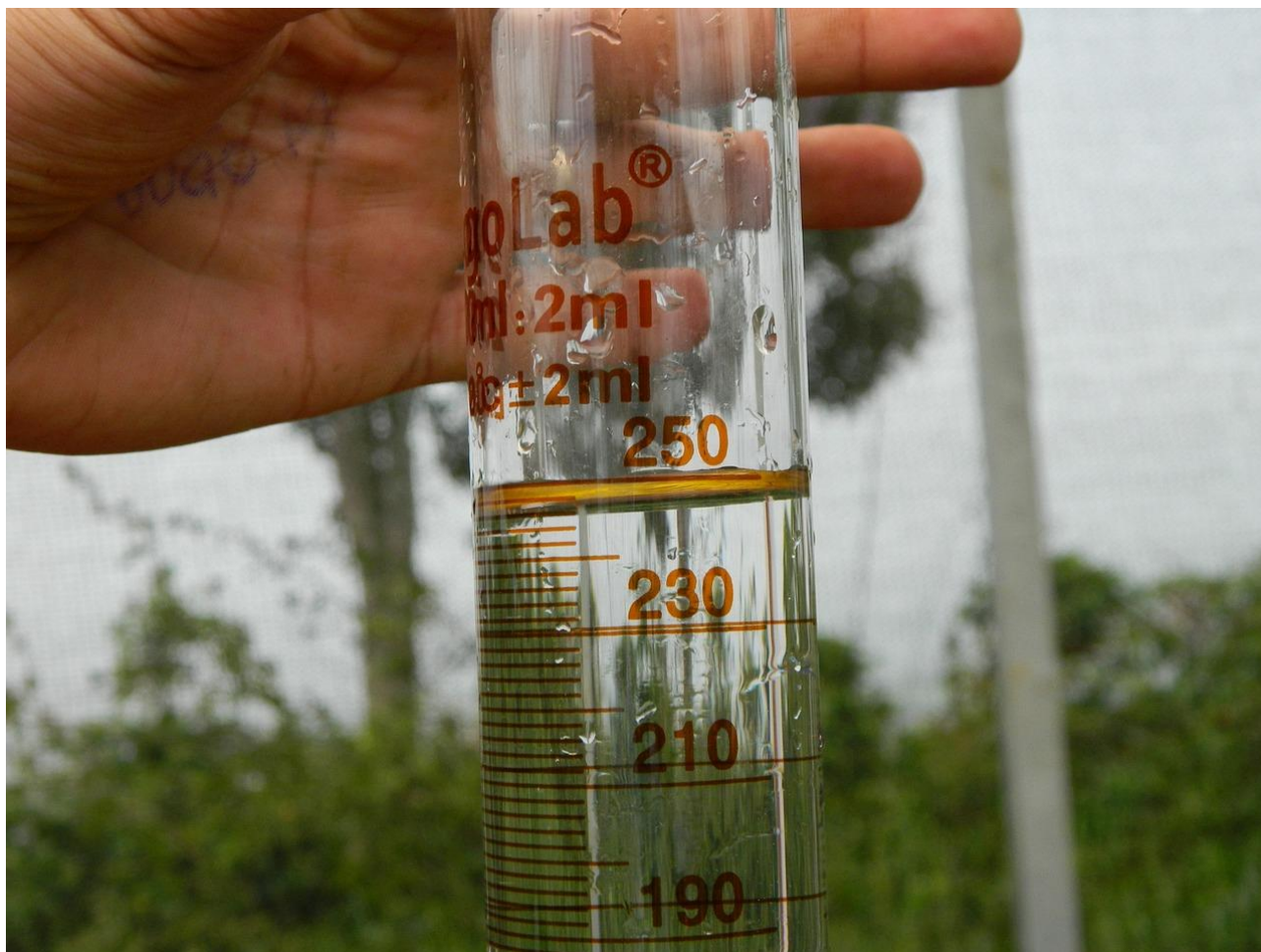
Tabela 5. Classificação simplificada da água para consumo humano

Classe de Água	Salinidade (‰)	STD (mg/L)	CE ($\mu\text{S/cm}$) para $\beta=0,65$
Doce	0 - 0,5	0 - 500	0 - 750
Salobra	0,5 - 30	500 - 30.000	750 - 45.000
Salina	> 30	>30.000	> 45.000

Fonte: Fernandes e Loureiro (2006).

Utilizando o QGIS® 3.38 e plugin SAGA® 9.3.1 foi realizada a interpolação pelo algoritmo B-Spline Multinível dos dados dispersos (LEE et al., 1997) da classificação simplificada das águas para consumo humano, e recortados conforme os limites da área de estudo (IBGE, 2021). Para os cálculos de áreas foi utilizada o plugin GRASS® 8.3.2. *r.report*.

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), Lilliefors (1967) e Jarque-Bera (1987). Na elaboração de correlação paramétrica foi utilizado a metodologia de correlação de Pearson (1895) (PCC).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

QUALIDADE DE ÁGUA DESSALINIZADA

Na Figura 5, pode-se observar a distribuição espacial das amostras em que sua maioria se encontra na região semiárida com menor precipitação, demonstrando sua real importância para a região. As maiores concentrações ocorrem nos Estados de Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Bahia e Alagoas, respectivamente.

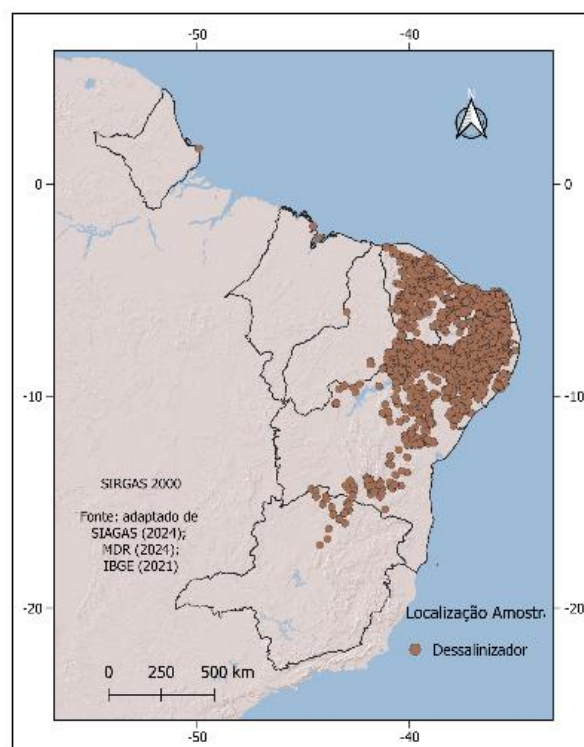


Figura 5. Distribuição espacial das amostras de dados de dessalinizadores.

Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); MDR (2024); IBGE (2021).

Pela Figura 6 pode-se observar o resultado do mapeamento e a distribuição das variáveis em estudo, quanto as variáveis químicas das águas produzidas por dessalinizadores, e na Tabela 5 sua equivalência em área e porcentagem.

Quanto a Dureza Total (CaCO_3) (Figura 6a), verifica-se que apresenta 95,17% da área (Tabela 5) acima do Valor Máximo Permitido (VMP) recomendado para o consumo humano, com exceção de áreas localizadas nos Estados de Alagoas e Paraíba e pequenas áreas na Bahia e Ceará (4,83%). No mapeamento do Sódio (Na^+) (Figura 6b) observa-se que 49,18% da área encontra-se até o VMP e 50,82% acima do valor, distribuída por toda a área de estudo com ênfase na região norte da Bahia. A variável Ferro Total (Fe) (Figura 6c), pode-se observar que 92,46% da área de estudo apresenta-se abaixo do VMP, com destaque aos maiores valores no interior do Estado da Bahia.

A variável Sulfato (SO_4^-) (Figura 6d) apresenta 63,61% de sua área até o VMP e acima do valor em 36,39% com destaque no interior de Sergipe e na divisa com Pernambuco, e no sul da Bahia divisa com Minas Gerais. Quanto a variável Cloreto (Cl^-) (Figura 6e), observa-se que 95,51% apresenta-se acima do VMP distribuído por toda a área e somente 4,49% abaixo do VMP localizado em pequenas áreas nos Estados da Bahia, Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. A variável Nitrato (NO_3^-) (Figura 6f), apresenta 67,75% acima do VMP com

destaque entre as divisas de Pernambuco e Paraíba, e até o VMP distribuído em 32,25% da área apresentando valores mais baixos em pequenas áreas no interior da Bahia, Sergipe, Alagoas, Paraíba e Ceará.

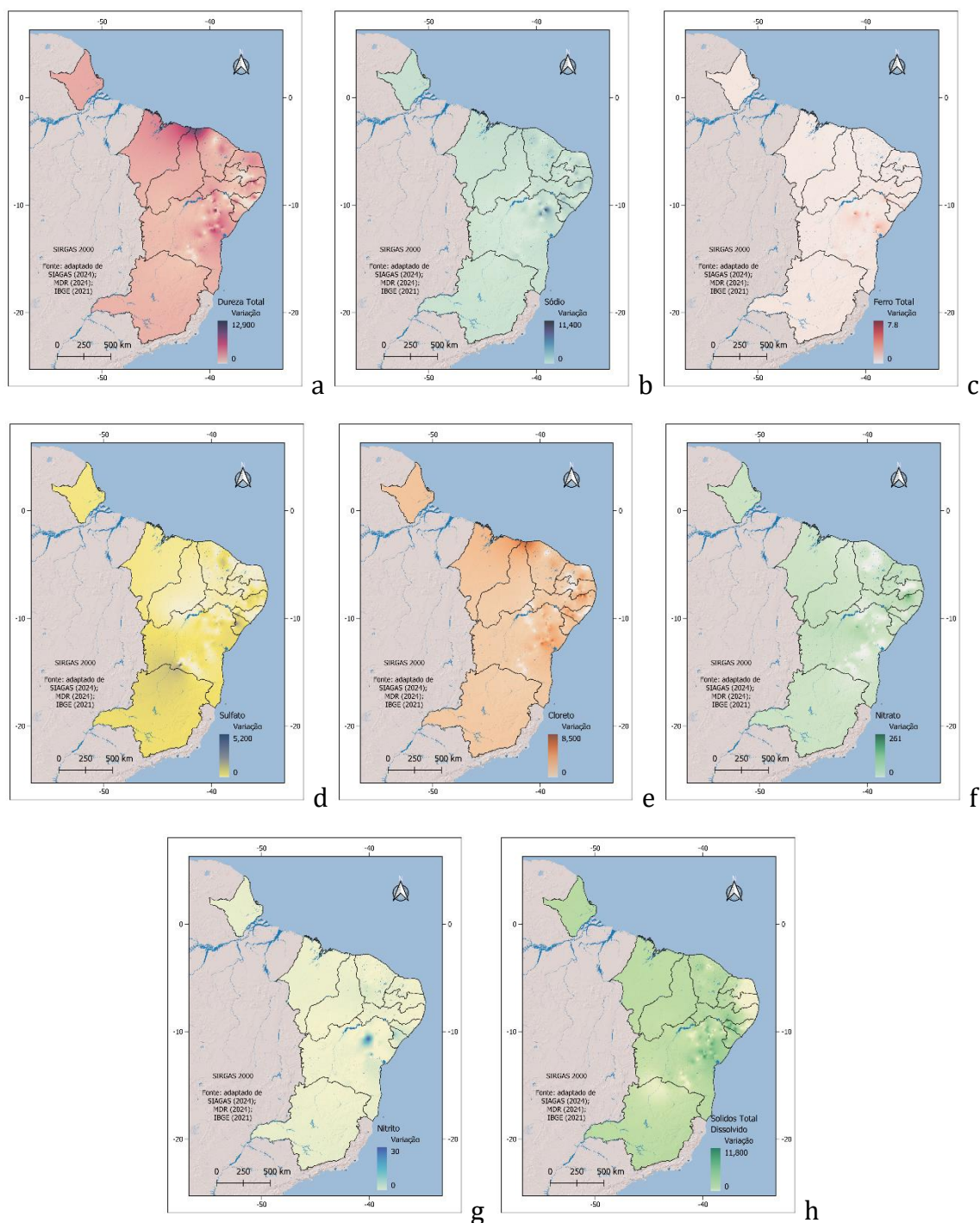


Figura 6. (a) Dureza Total (CaCO_3), (b) Sódio (Na^+), (c) Ferro Total (Fe), (d) Sulfato (SO_4^-), (e) Cloreto (Cl^-), (f) Nitrato (NO_3^-), (g) Nitrito (NO_2^-), (h) Sólidos Totais Dissolvidos (STD).

Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); MDR (2024); IBGE (2021).

Quanto ao Nitrito (NO_2^-) (Figura 6g), verifica-se que 95,56% do total encontra-se até o VMP e somente 4,44% acima do limite localizado em pequena área na região central da Bahia e na divisa com Sergipe. Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (Figura 3h) apresenta-se acima do VMP em 86,10% da área de estudo e em 13,90% abaixo do VMP localizado em Minas Gerais, em pequenas áreas na região central da Bahia, na região litorânea de Alagoas, Pernambuco, Paraíba até Rio Grande do Norte.

Tabela 6. Distribuição espacial dos parâmetros

Parâmetros	Valor Máximo Permitido (mg/L)	Área (km^2) até Limite	(%)	Área (km^2)	
				acima Limite	(%)
Dureza Total (CaCO_3)	500	110.138	4,83	2.171.022	95,17
Sódio (Na^+)	200	1.121.886	49,18	1.159.274	50,82
Ferro Total (Fe)	0,3	2.109.100	92,46	172.060	7,54
Sulfato (SO_4^-)	250	1.451.095	63,61	830.065	36,39
Cloreto (Cl^-)	250	102.412	4,49	2.178.748	95,51
Nitrato (NO_3^-)	10	735.601	32,25	1.545.559	67,75
Nitrito (NO_2^-)	1	2.179.796	95,56	101.304	4,44
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	1.000	317.129	13,90	1.964.031	86,10

Na Figura 7a observa-se o mapeamento da Classificação simplificada da água para consumo humano, em que, se pode verificar a distribuição espacial, onde 84,27% (Tabela 7) classifica-se como Água Doce (0 – 750) ($\text{CE } \mu\text{S/cm}$) espacializada por toda área de estudo, e 15,73% como Água Salobra (750 - 45.000) localizada na região central da Bahia, no Sertão de Sergipe, no Agreste do Estado da Paraíba e próximo a região litorânea do Rio Grande do Norte e em pequenas áreas próximo ao litoral do Ceará.

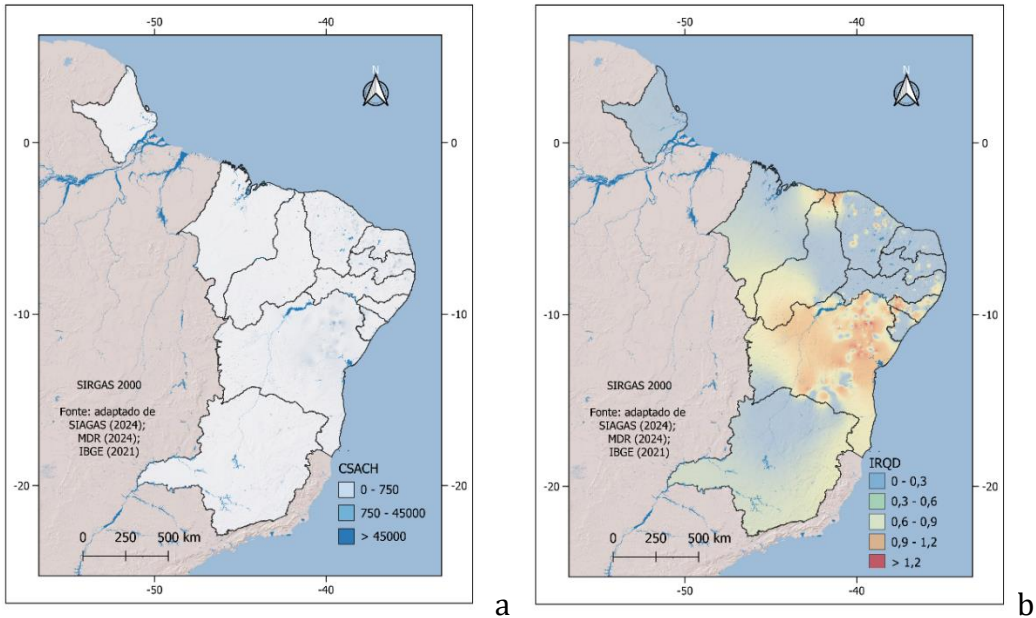


Figura 7. (a) Classificação simplificada da água para consumo humano, (b) Índice relativo de qualidade de água de dessalinizadores para consumo humano.
Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); MDR (2024); IBGE (2021).

Tabela 7. Distribuição espacial da classificação simplificada da água para consumo humano

Classe Água	CE (µS/cm)	Área (km ²)	(%)
Doce	0 - 750	1.922.285	84,27
Salobra	750 - 45.000	358.875	15,73
Salina	> 45.000	0	0
Total		2.281.160	100

Quanto ao índice relativo de qualidade de água de dessalinizadores para consumo humano (Figura 4b) sua distribuição espacial (Tabela 8) na classe Muito Alta (0-0,3) ocorre em 69,69% da área de estudo representando água de excelente qualidade para o consumo. A classe Alta (0,3-0,6) ocorre em 11,31% da área representando boa qualidade. As classes Média (0,6-0,9) e Baixa (0,9-1,2) totalizam 13,27% da área de estudo representando de razoável a ruim para o consumo. Já a classe Muito Baixa (>1,2), de péssima qualidade para o consumo, representa somente 5,73% da área total, estas distribuídas na região central do Estado da Bahia, no sertão em Sergipe e Alagoas, e em diversas pequenas áreas com destaque ao litoral do Ceará divisa com Piauí.

Tabela 8. Distribuição espacial do índice relativo de qualidade de água de dessalinizadores para consumo humano

Classe	Qualidade	Variação	Área (km ²)	(%)
Muito Alta	Excelente	0,0 - 0,3	1.589.796	69,69
Alta	Boa	0,3 - 0,6	257.901	11,31
Média	Razoável	0,6 - 0,9	154.056	6,75
Baixa	Ruim	0,9 - 1,2	148.646	6,52
Muito Baixa	Péssima	> 1,2	130.761	5,73
Total			2.281.160	100

Em relação a classe Muito Baixa identificada no Estado da Bahia, está relacionada conforme Guerra e Negrão (1996), em águas provenientes de aquíferos da província litológica de domínio do Embasamento Cristalino que apresenta maior salinidade das águas. Montenegro et al. (2000) afirmam que, as águas do cristalino são, via regra, salinas, requerendo tratamento antes de sua utilização em abastecimento humano, dessedentação animal, e irrigação. Oliveira et al. (2007) mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o índice de qualidade natural das águas subterrâneas obtiveram resultados similares a este trabalho para o Estado.

Quanto as áreas desta classe no Estado de Sergipe, Montenegro et al. (2000), observaram que as águas subterrâneas da região do Xingó, identificada neste trabalho, apresentam em geral, elevados teores de sais dissolvidos e caracterizam-se como águas salobras de baixa ou nenhuma potencialidade para usos convencionais diretos. Resultado similar a este trabalho.

Trabalhos realizados em diversos locais dos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte elaborados por Silva et al. (2014), Oliveira et al. (2017), Silva et al. (2019), e Amaral e Navoni (2023) estão de acordo com os resultados obtidos por este trabalho quanto a qualidade da água proveniente de dessalinizadores.

Na Tabela 9, dos dados estatísticos, pode-se observar que a maior média e mediana em mg/L ocorre no Cloreto, o valor máximo na variável Sódio e o maior desvio padrão no Cloreto. A maior curtose ocorre na variável Nitrito. Quanto aos dados adimensionais da classificação simplificada da água apresenta média de 2.047,06 e do índice relativo com mediana em 0,96 e desvio padrão de 1,84.

Tabela 9. Dados estatísticos das variáveis

Atributo/Variável	Média	Mediana	Mín.	Máx.	Desv. Pad.	Curtose	1st Quart	3rd Quart
Dureza Total (CaCO ₃)	2,17	0,44	0	24,70	3,80	10,46	0,00	2,64
Sódio (Na ⁺)	1,79	0,50	0	58,09	5,26	63,24	0,00	1,36
Ferro Total (Fe)	0,00	0,44	0	25,00	1,65	131,11	0,00	0,33
Sulfato (SO ₄ ⁻)	0,49	0,20	0	24,48	1,53	150,16	0,00	0,48
Cloreto (Cl ⁻)	4,31	1,51	0	35,00	6,27	3,79	0,08	5,90
Nitrato (NO ₃ ⁻)	0,95	0,01	0	27,00	2,54	55,06	0,00	1,07
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0,26	0,00	0	30,21	2,15	169,17	0,00	0,20
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	2,19	1,20	0	12,34	2,79	1,61	0,20	3,16
CSACH	2.047,06	1.087,13	0	30.468	3.172,0	21,98	9,76	2.739,7
IRQD	1,57	0,96	0	9,46	1,84	3,38	0,20	2,15

Pela Tabela 10 pode-se verificar que os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, 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.

Nas caixas *qqplots* dos quantis das variáveis utilizados neste trabalho (Figura 8a a 8h) e do CSACH e do IRQD (Figura 9a e 9b) observa-se a regularidade dos dados.

Tabela 10. Testes de normalidade

Variável\Teste	Shapiro-Wilk		Anderson-Darling		Lilliefors		Jarque-Bera	
	<i>W</i>	<i>p-valor</i>	<i>A</i>	<i>p-valor</i>	<i>D</i>	<i>p-valor</i>	<i>X</i> ²	<i>p-valor</i>
Dureza Total (CaCO ₃)	0,61661	$<2,2e^{-16}$	51,502	$<2,2e^{-16}$	0,28413	$<2,2e^{-16}$	2.548	$<2,2e^{-16}$
Sódio (Na ⁺)	0,34854	$<2,2e^{-16}$	83,080	$<2,2e^{-16}$	0,36665	$<2,2e^{-16}$	74.029	$<2,2e^{-16}$
Ferro Total (Fe)	0,24456	$<2,2e^{-16}$	94,451	$<2,2e^{-16}$	0,39301	$<2,2e^{-16}$	310.528	$<2,2e^{-16}$
Sulfato (SO ₄ ⁻)	0,30333	$<2,2e^{-16}$	79,541	$<2,2e^{-16}$	0,37342	$<2,2e^{-16}$	405.360	$<2,2e^{-16}$
Cloreto (Cl ⁻)	0,72269	$<2,2e^{-16}$	40,434	$<2,2e^{-16}$	0,24588	$<2,2e^{-16}$	524	$<2,2e^{-16}$
Nitrato (NO ₃ ⁻)	0,39005	$<2,2e^{-16}$	75,104	$<2,2e^{-16}$	0,35424	$<2,2e^{-16}$	56.432	$<2,2e^{-16}$
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0,09065	$<2,2e^{-16}$	140,850	$<2,2e^{-16}$	0,45234	$<2,2e^{-16}$	515.967	$<2,2e^{-16}$
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	0,78249	$<2,2e^{-16}$	30,917	$<2,2e^{-16}$	0,21595	$<2,2e^{-16}$	209	$<2,2e^{-16}$
CSACH	0,64405	$<2,2e^{-16}$	26,108	$<2,2e^{-16}$	0,19598	$<2,2e^{-16}$	9.487	$<2,2e^{-16}$
IRQD	0,79084	$<2,2e^{-16}$	36,735	$<2,2e^{-16}$	0,25935	$<2,2e^{-16}$	430	$<2,2e^{-16}$

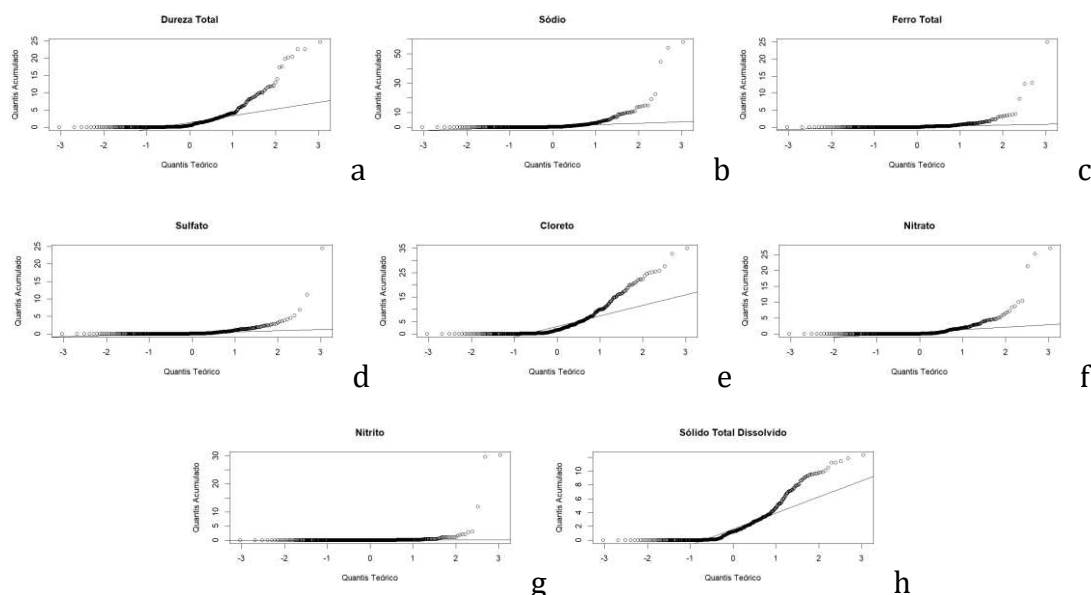


Figura 8. Quantis das variáveis (a) Dureza Total (CaCO_3), (b) Sódio (Na^+), (c) Ferro Total (Fe), (d) Sulfato (SO_4^-), (e) Cloreto (Cl^-), (f) Nitrato (NO_3^-), (g) Nitrito (NO_2^-), (h) Sólidos Totais Dissolvidos (STD).

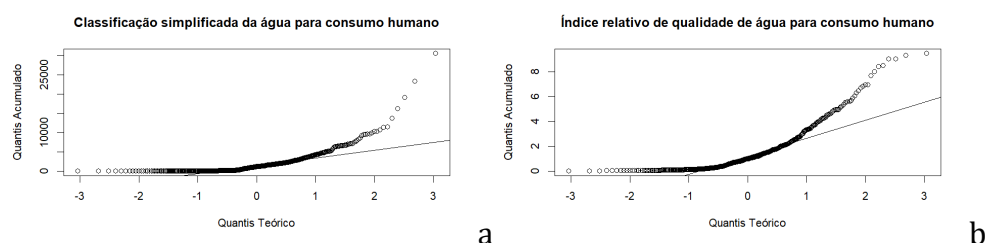


Figura 9. Quantis da (a) Classificação simplificada da água para consumo humano (CSACH), (b) Índice relativo de qualidade de água de dessalinizadores para consumo humano (IRQD).

Observa-se na Figura 10 que, a correlação de Pearson positiva entre o CSACH e o IRQD apresenta um coeficiente linear de $R=0,56$ com $p\text{-valor} < 2,2e^{-16}$, estando de acordo com os demais testes realizados anteriormente. De acordo com Cohen (1992) uma correlação que apresenta $r = |\pm 0,50|$, portanto se considera uma correlação forte.

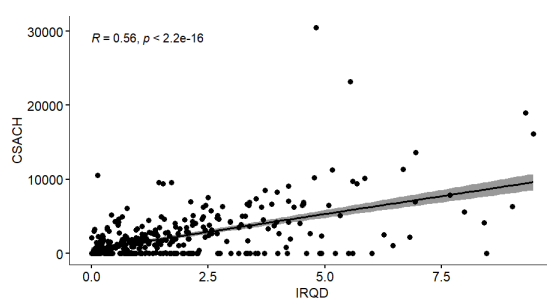


Figura 10. Correlação entre a CSACH e o IRQD.

QUALIDADE DE ÁGUA SUPERFICIAL PARA CONSUMO HUMANO

Na Figura 11, pode-se observar a distribuição espacial das amostras apresentando menor concentração no Estado do Maranhão seguido do Piauí e Amapá.

Na Figura 12a, quanto ao Oxigênio Dissolvido, observa maiores valores no Estado do Amapá e pequena representação na região centro norte do Estado de Minas Gerais seguida pelo Rio Grande do Norte.

Costa e Ferreira (2015) realizando a análise de parâmetros que compõem o IQA na porção mineira da bacia do rio Paranaíba – MG, observaram valores de OD maiores que o recomendado.

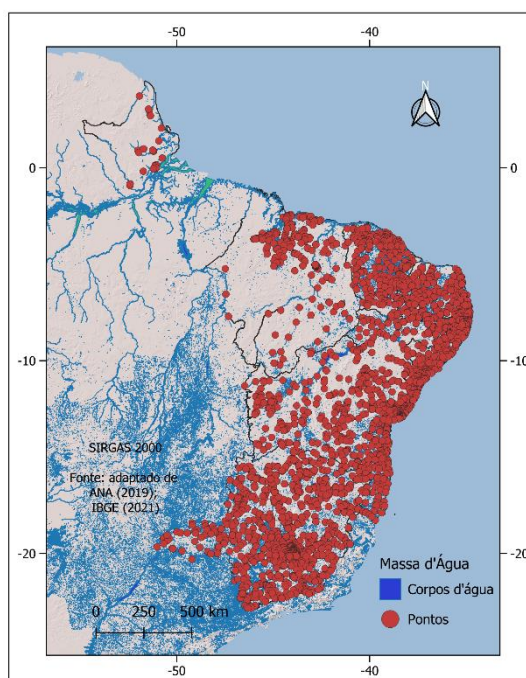


Figura 11. Distribuição espacial dos parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas superficiais. Fonte: adaptado de ANA (2023); IBGE (2021).

Em relação a Turbidez (Figura 12b), ocorre maiores valores em pequenas áreas, como em Minas Gerais próximo ao Rio São Francisco, em Pernambuco, na Paraíba, no Piauí ao sul e no Amapá. Santos (2020), observaram valores médios de 52,0 quanto a Turbidez nos rios do semiárido pernambucano. Teles et al. (2020), avaliando os parâmetros da água do rio Mogi-Guaçu-MG obtiveram valores de 10,33.

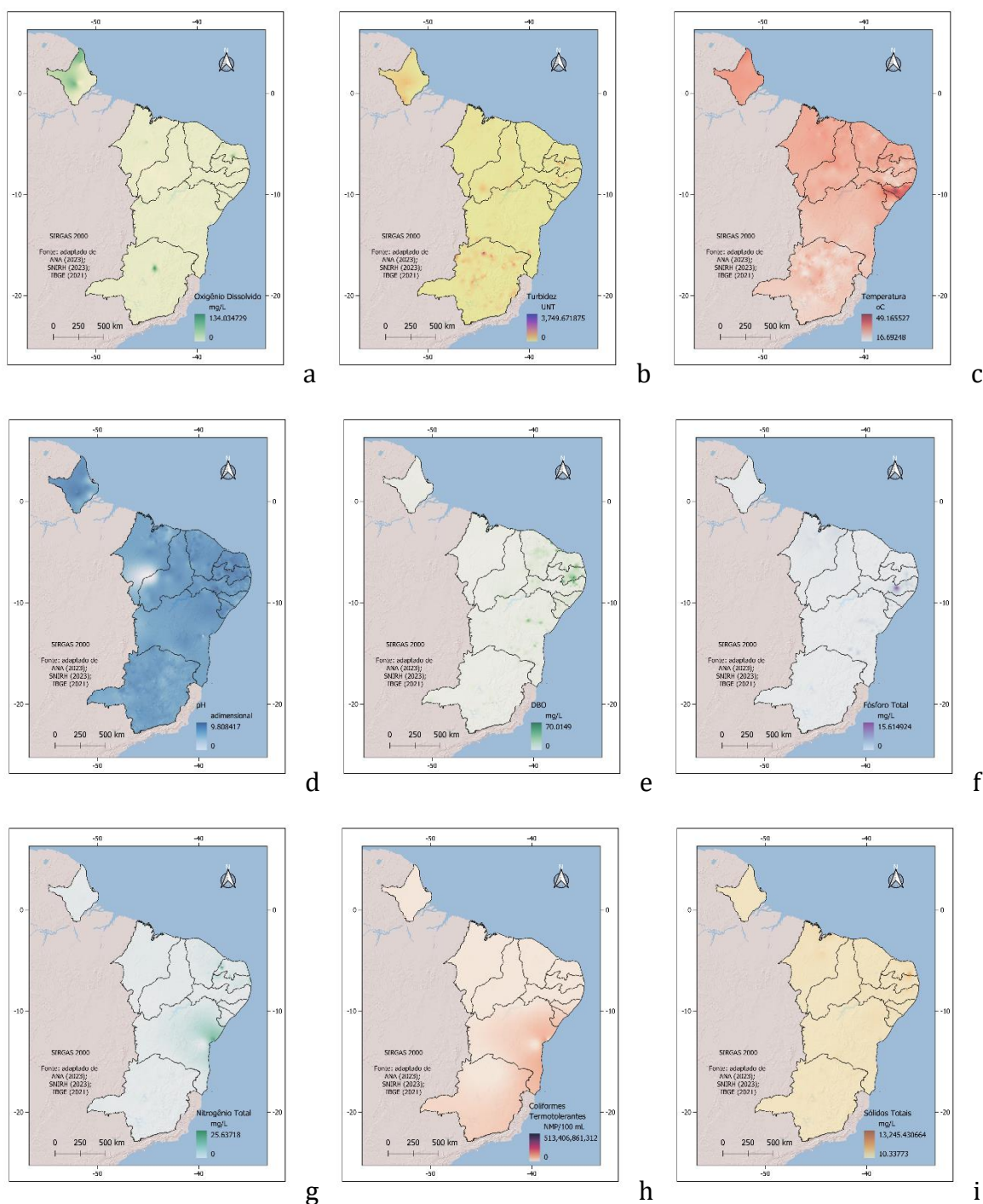


Figura 12. (a) OD, (b) Turbidez, (c) Temperatura, (d) pH, (e) DBO, (f) Fósforo Total, (g) Nitrogênio Total, (h) Coliformes Termotolerantes, (i) Sólidos Totais Dissolvidos.

Fonte: adaptado de SNIRH (2023); ANA (2023); IBGE (2021).

Quanto a Temperatura (Figura 12c), os menores valores ocorrem no Estado de Minas Gerais e maiores valores em Alagoas. Silva et al. (2019), observaram no semiárido Alagoano a temperatura da água máxima de 32,8°C. De acordo com Von Sperling (2005), elevações de temperatura aumentam as taxas das reações químicas e biológicas, diminuem a solubilidade

dos gases e aumentam a taxa de transferência dos mesmos, o que pode gerar mau cheiro no caso da liberação de gases com odores desagradáveis.

O pH (Figura 12d) apresenta os menores valores, ao sul do Maranhão entre o Piauí. Silva et al. (2017) obtiveram valores mínimos de pH 6,1 considerado ácido para a região central do Maranhão. No Piauí, Sousa et al. (2017) obtiveram valores de 7,1.

Conforme Baird e Cann (2011), o pH é um dos indicativos mais importantes de monitoramento de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos. A acidez exagerada pode ser um indicativo de contaminações, enquanto o excesso de solubilização de sais também pode tornar a água imprópria para consumo devido à elevada dureza.

Em relação ao DBO (Figura 12e), verifica-se maiores valores no interior da Bahia, em Pernambuco na região de Caruaru, na Paraíba na área da Transposição do Rio São Francisco e no litoral na capital, no Rio Grande do Norte na região do Seridó e Curimataú, no Ceará ocorre em região litorânea. No interior da Bahia, Santos et al. (2016), observaram valores de 15 mg/l, indicando a presença de matéria orgânica na água. No Ceará, Fiuza et al. (2010) observaram valores máximos de 49 mg/l na primeira coleta e após valores chegando a 1.330 mg/l, indicando a presença de despejos de origem química na água da região de Fortaleza.

Quanto ao Fósforo Total (Figura 12f) ocorrem valores maiores somente na região central de Pernambuco. O Nitrogênio (Figura 12g) apresenta maiores valores na capital da Bahia e no Rio Grande do Norte próximo ao rio Apodi. Alves et al. (2019), observaram para a região de Salvador valores de Nitrogênio de 22 mg/l concordando com os dados obtidos por este trabalho. De acordo com Von Sperling (2005), o principal problema relacionado com altas concentrações de nitrogênio é a eutrofização.

Os Coliformes Termotolerantes (Figura 12h), seu mapeamento apresenta os maiores valores na região litorânea da Bahia e Sergipe. Resultados concordantes com o trabalho de Alves et al. (2019) que observaram valores de $3,9 \times 10^8$ NMP/100ml na região litorânea da Bahia.

Os Sólidos Totais Dissolvidos (Figura 12i), observa que os maiores valores se apresentam no Rio Grande do Norte divisa com a Paraíba e em pontos da região litorânea de ambos os Estados.

De acordo com Sperling (2005) as águas naturais possuem constituição química resultante do grande número de substâncias dissolvidas, cuja natureza e concentração estão relacionadas com as diversas atividades realizadas pelo homem.

Pela Figura 13, do Índice de Qualidade da Água, verifica-se a ocorrência de menores valores nos Estados do Amapá, a oeste do Maranhão e a sudeste do Piauí, fato este devido à falta de dados ocorrido pela extensão da área com menor população.

Observa-se pela Tabela 11 que, a classe Péssima de qualidade da água ocorre em 99,80% da área de estudo, seguida da classe Ruim em 0,20%.

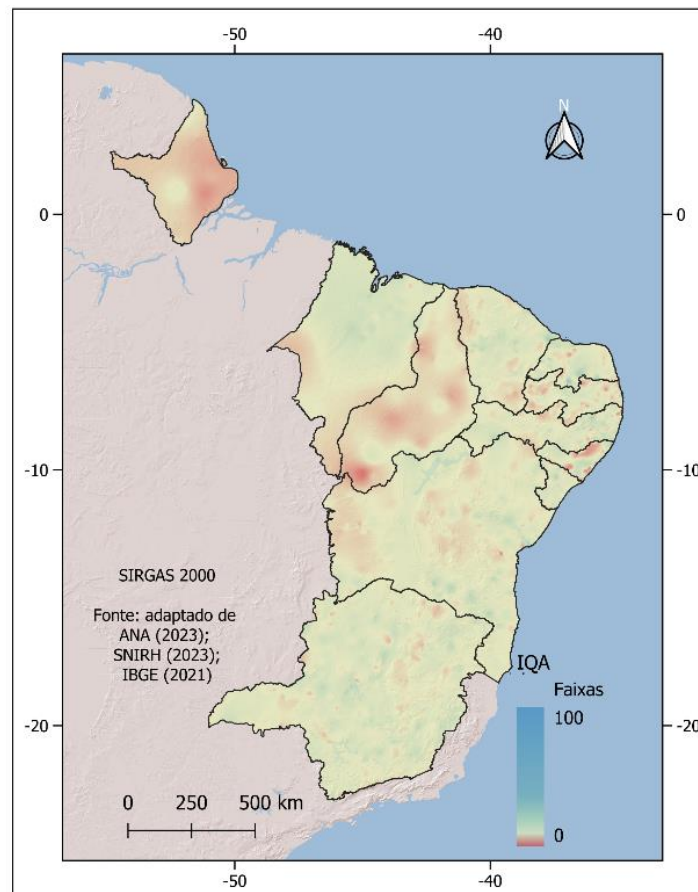


Figura 13. Índice de Qualidade da Água.

Fonte: adaptado de SNIRH (2023); ANA (2023); IBGE (2021).

Tabela 11. Distribuição espacial do índice de qualidade das águas

Classe	Varição	Área (km ²)	%
Ótima	80-100	-	-
Boa	52-79	-	-
Regular	37-51	-	-
Ruim	20-36	4.640	0,20
Péssima	0-19	2.276.520	99,80
Total		2.281.160	100

No Riacho da Bica em Portalegre no Estado do Rio Grande do Norte, Medeiros et al. (2016) obtiveram valores de IQA de 42,8 classificado como Ruim. Valores superiores ao identificado por este trabalho para a região, como também por Pinto Filho et al. (2012) para a Lagoa do Apodi.

Em Sergipe, Lima e Alves (2017) obtiveram valores de IQA classificados como Péssima para bacias hidrográficas da região sul do Estado. Já Fontes et al. (2017) em área contígua obtiveram resultado semelhante. Valores estes similares a este trabalho. No entanto, Britto et al. (2018) obtiveram valores para afluentes da região do Rio São Francisco entre a classe Ruim e Regular.

Carvalho et al. (2004) para Ubá em Minas Gerais, obtiveram valores de IQA Regular, e por este trabalho obtive-se a classe Péssima, talvez devido a data anterior de coleta de dados. Para o município de Juiz de Fora, Bucci e Oliveira (2014) observaram valores de IQA da classe Boa. Lopes e Magalhães Jr (2010) para a bacia do Ribeirão de Carrancas, observaram a classe Boa de IQA.

Para o sul da Bahia, próximo a Porto Seguro, Okumura et al. (2020), obtiveram valores de IQA na classe Boa, superiores aos obtidos por este trabalho. Para o rio Camarajipe em Salvador, Alves et al. (2019) obtiveram a classe Péssima, resultado similar a este trabalho.

Para o Maranhão, Amorin et al. (2017) observaram valores médios de IQA na classe Regular.

Na Tabela 12, dos dados estatísticos, pode-se observar que, o maior desvio padrão ocorre na variável Coliformes Termotolerantes seguida do Sólidos Totais Dissolvidos e pela Turbidez. Quanto aos dados adimensionais da classificação da água apresenta média de 11,73 e valores máximos de 35,23.

Observa-se por este trabalho que, o Desvio Padrão apresenta valores relativamente baixos, talvez devido a área de estudo apresentar amplidão territorial e os dados apresentarem boa distribuição.

Na Tabela 13 verifica-se que os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) e Jarque-Bera apresentam-se semelhantes entre si para com $p\text{-valor} < 2,2e^{-16}$, o que leva a aceitar a hipótese de normalidade nos dados.

Okumura et al. (2020), determinando a qualidade da água de um rio no sul da Bahia, utilizando o teste de Shapiro-Wilk obtiveram distribuição normal dos dados.

Tabela 12. Dados estatísticos das variáveis

Atributo/Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad.	Alcance	Curtose	1st Quart	3rd Quart
Temperatura	25,89	26,00	10,00	37,68	0,04	27,68	1,49	25,80	26,00
Potencial Hidrogeniônico	7,06	7,00	1,00	9,81	0,01	8,81	11,44	7,00	7,11
Turbidez	65,00	20,43	0,08	7.479,80	3,40	7.479,72	515,67	8,30	50,09
Oxigênio Dissolvido	6,78	6,9	0,05	145,50	0,08	145,45	366,00	5,62	7,70
Demanda Bioquímica de Oxigênio	4,52	2,78	0,10	85,00	0,11	84,90	47,65	2,00	4,00
Fósforo Total	0,30	0,11	0,00	15,00	0,01	15,00	125,87	0,05	0,21
Coliformes Termotolerantes	1.250,73	975,00	1,16	66.875,00	28,46	66.873,84	681,97	975,00	1.500,00
Nitrogênio Total	0,85	0,75	0,02	28,50	0,03	28,48	122,20	0,42	0,75
Sólidos Totais Dissolvidos	287,47	287,00	0,03	12.980,00	6,11	12.979,97	439,11	170,00	287,00
IQA	11,73	11,42	1,85	35,23	0,06	33,38	4,37	9,57	13,54

Tabela 13. 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
Temperatura	0,954	<2,2e-16	68,557	<2,2e-16	0,120	<2,2e-16	245	<2,2e-16
Potencial Hidrogeniônico	0,798	<2,2e-16	308,980	<2,2e-16	0,256	<2,2e-16	20691	<2,2e-16
Turbidez	0,236	<2,2e-16	814,790	<2,2e-16	0,377	<2,2e-16	41771840	<2,2e-16
Oxigênio Dissolvido	0,270	<2,2e-16	557,410	<2,2e-16	0,299	<2,2e-16	21123247	<2,2e-16
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,406	<2,2e-16	673,100	<2,2e-16	0,300	<2,2e-16	378087	<2,2e-16
Fósforo Total	0,404	<2,2e-16	695,080	<2,2e-16	0,328	<2,2e-16	2517161	<2,2e-16
Coliformes Termotolerantes	0,175	<2,2e-16	856,190	<2,2e-16	0,394	<2,2e-16	73007456	<2,2e-16
Nitrogênio Total	0,198	<2,2e-16	936,200	<2,2e-16	0,391	<2,2e-16	2401799	<2,2e-16
Sólidos Totais Dissolvidos	0,319	<2,2e-16	651,370	<2,2e-16	0,389	<2,2e-16	30306222	<2,2e-16
IQA	0,946	<2,2e-16	24,240	<2,2e-16	0,050	<2,2e-16	3708	<2,2e-16

Nas caixas *qqplots* dos quantis (Figura 14) das variáveis utilizados neste trabalho, observa-se a regularidade dos dados. Na Figura 15 dos quantis do índice da qualidade da água observa-se também sua regularidade.

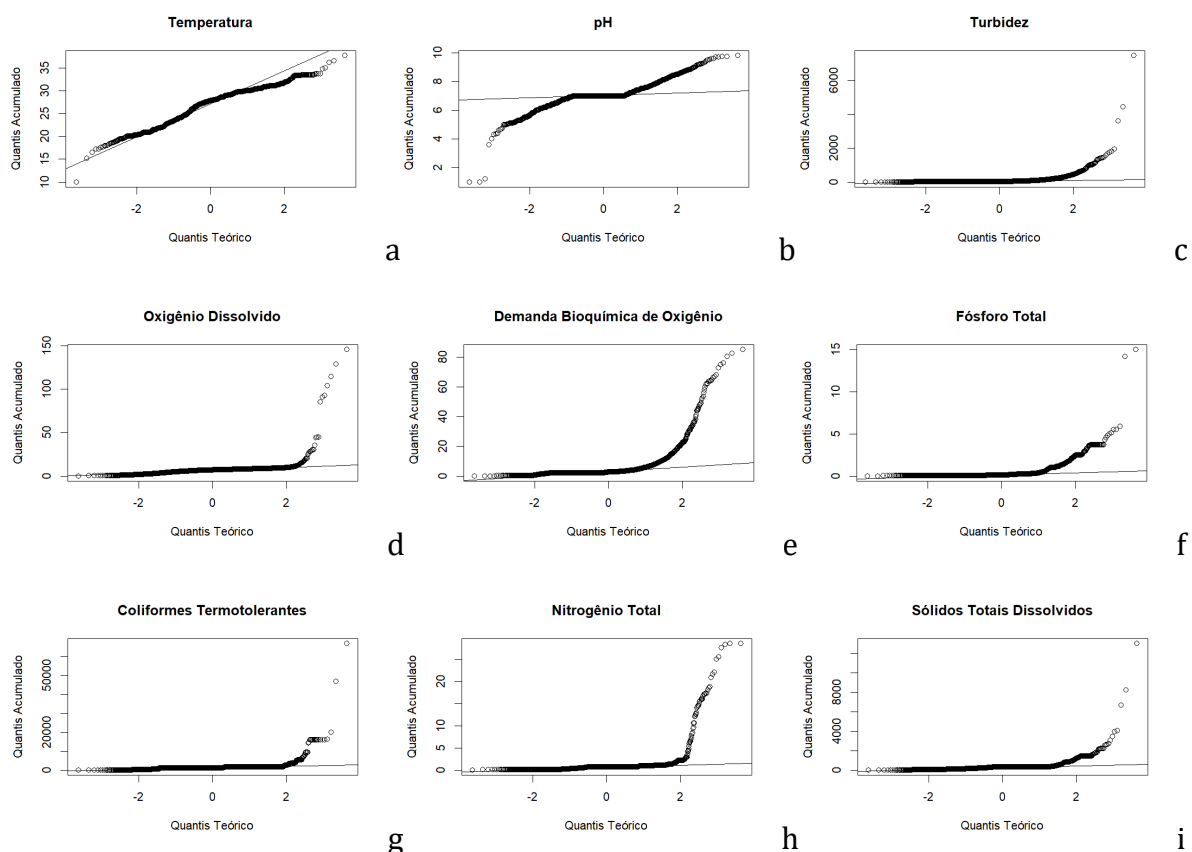


Figura 14. Quantis das variáveis (a) Temperatura, (b) pH, (c) Turbidez, (d) OD, (e) DBO, (f) Fósforo Total, (g) Coliformes Termotolerantes, (h) Nitrogênio Total, (i) Sólidos Totais Dissolvidos.

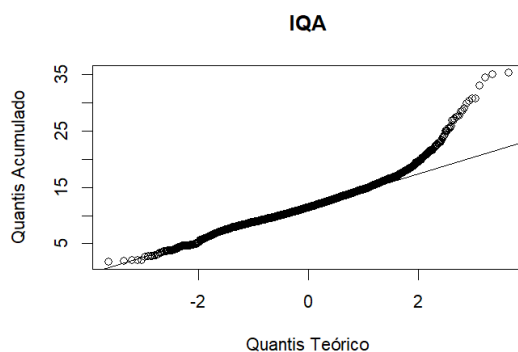


Figura 15. Quantis da qualidade da água para consumo humano.

Observa-se na Tabela 14 que ocorre maior correlação positiva entre as variáveis DBO e FT seguida da DBO NT com valores de 0,34 e 0,33, respectivamente. Gomes e Paula (2019), avaliando o IQA em Sobral no Ceará, obtiveram a correlação forte entre DBO e PT de 0,895, já para o OD e DBO os resultados foram similares a este trabalho (-0,7). Amorin et al. (2017), no Maranhão obtiveram correlação positiva entre o IQA e o pH e entre o OD de 0,642 e 0,469,

respectivamente. Por este trabalho para o pH e OD observa-se correlação de 0,10 e 0,08, respectivamente para o IQA, devido maior dispersão na área de estudo. Para o DBO, NT e PT a correlação são de 0,45; 0,36; e 0,39, respectivamente. De modo geral, observa-se, de acordo com a classificação de Pearson, correlações moderadas ($r=0,3$ a $0,6$) a fracas ($r=0,1$ a $0,3$) entre as variáveis estudadas.

Tabela 14. Matriz de correlação

Parâmetros	T	pH	TU	OD	DBO	FT	CT	NT	STD	IQA
T	1	0,14	-0,11	0,04	0,06	-0,01	-0,06	0,11	0,12	0,01
pH	0,14	1	-0,03	0,08	0,09	0,06	-0,01	0,06	0,08	0,10
TU	-0,11	-0,03	1	0,02	0,07	0	0,01	-0,01	0,11	0,33
OD	0,04	0,08	0,02	1	-0,08	-0,1	-0,05	-0,08	0,01	0,08
DBO	0,06	0,09	0,07	-0,08	1	0,34	0,15	0,33	0,15	0,45
FT	-0,01	0,06	0	-0,10	0,34	1	0,10	0,20	0,12	0,39
CT	-0,06	-0,01	0,01	-0,05	0,15	0,10	1	0,02	-0,01	0,25
NT	0,11	0,06	-0,01	-0,08	0,33	0,20	0,02	1	0,07	0,36
STD	0,12	0,08	0,11	0,01	0,15	0,12	-0,01	0,07	1	0,20
IQA	0,01	0,10	0,33	0,08	0,45	0,39	0,25	0,36	0,20	1

Recomenda-se ampliar a coleta de dados para melhor caracterização pontual do IQA.



CONCLUSÃO

A aplicação da modelagem B-spline proporcionou resultados eficazes no mapeamento dos dados coletados, alcançando rapidamente resultados precisos quanto a qualidade da água de dessalinizadores.

O modelo paramétrico simplificado utilizado para geração do índice relativo da qualidade de água provinda de dessalinizadores para o consumo humano apresentou resultados satisfatório demonstrando que 87,75% apresentaram qualidade Razoável a Excelente.

Na classificação simplificada da água para consumo humano provinda de dessalinizador somente 15% apresentou Água Salobra.

Os testes de normalidade das variáveis demonstraram que os dados são normalmente distribuídos.

A correlação entre o índice relativo de qualidade de água de dessalinizadores e a classificação simplificada da água apresentou-se positiva e forte.

Maior quantidade de dados provindo de dessalinizadores poderia melhorar o mapeamento de sua distribuição.

O índice utilizado para a classificação da água para o consumo humano demonstrou que 98,80% apresentaram qualidade Péssima.

A classificação da água apresentou média de 11,73 e valores máximos de 35,23.

O maior desvio padrão ocorreu em Coliformes Termotolerantes < Sólidos Totais Dissolvidos < Turbidez.

Os testes de normalidade das variáveis demonstraram que os dados são normalmente distribuídos.

Ocorreu correlação positiva entre as variáveis DBO e FT < DBO e NT.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, N. C. Avaliação dos parâmetros físicos e químicos e da presença de metais traços em águas do Rio Gramame-PB. 74f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2020.

ALMEIDA NETO, G. C. O uso e ocupação do solo e a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Miriri-PB. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia). Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2014.

ALMEIDA, A. F. L.; RODRIGUES, G. A. S.; VITAL, M. V. S.; SILVA, G. S. Análise química da qualidade da água da praia de Jatiúca, localizada no município de Maceió-Alagoas. *Ciências Exatas e Tecnológicas*, v.3, n.3, p.55-64, 2016.

ALMEIDA, F. F. M. DE; HASUI, Y.; NEVES, B. B. DE B.; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: An introduction. *Earth-Science Reviews*, v.17, n.1-2, p.1-29, 1981.

- ALMEIDA, R. A. S.; OLIVEIRA, I. B. Aplicação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) destinado ao uso para consumo humano. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, 2008, Natal. Anais...Natal, 2008.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ALVES, L. S.; MARTINS, L. A.; JESUS, L. B. Avaliação da qualidade da água na bacia do rio Camarajipe (Salvador-Brasil): diagnóstico dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e determinação do IQA. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.6, n.1, p.071-080, 2019.
- AMÂNCIO, D. V.; COELHO, G.; MARQUES, R. F. P. V.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. *Revista Scientia Agraria*, v.19, n.1, p.75-86, 2018.
- AMARAL, K. D. S.; NAVONI, J. A. Desalination in rural communities of the Brazilian semi-arid region: Potential use of brackish concentrate in local productive activities. *Process Safety and Environmental Protection*, v.169, p.61-70, 2023.
- AMORIM, D. G.; CAVALCANTE, P. R. S.; SOARES, L. S.; AMORIM, P. E. C. Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.22, n.2, p.251-259, 2017.
- ANA. 2019. Agência Nacional de Águas. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Massas d'Água - Versão 2019. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7d054e5a-8cc9-403c-9f1a-085fd933610c>. Acesso em: 06 de outubro de 2024.
- ANA. 2020. Agência Nacional de Águas. Guia nacional de coletas e preservação de amostras de águas, sedimentos. Alagoas.
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of t. *Journal of American Statistical Association*, v.49, p.765-769, 1954.
- ANDRADE, L. R. S.; ARAÚJO, S. M. S.; ANDRADE, M. Z. S. S.; MEDEIROS, L. E. L. Degradação ambiental no Açude de Bodocongó na cidade de Campina Grande, Paraíba. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.13, n.1, p.74-83, 2018.
- APRILE, F. M.; FARIAS, V. P. Avaliação da qualidade da água da bacia do Rio Goiana, Pernambuco-Brasil. *Bioikos*, v.15, n.2, p.109-114, 2001.
- ARAÚJO, M. C.; OLIVEIRA, M. B. M. Monitoramento da qualidade das águas de um riacho da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, v.8, n.3, p.247-257, 2013.

- ARAÚJO, M. C.; SANTOS, F. M. S.; OLIVEIRA, M. B. M. Análise da qualidade da água do riacho Cavouco-UFPE. In: Encontro Internacional das Águas, 7, 2013, Recife. Anais...Recife, 2013.
- ARAÚJO, R. C. S.; OLIVEIRA, F. H. P. C. Análise de parâmetros limnológicos da água dos açudes do Prata e do Meio (Pernambuco-Brasil). In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 19, 2011, Alagoas. Anais...Alagoas, 2011.
- ARAÚJO, V.; ARAÚJO, A.; SANTOS, J. Avaliação da qualidade das águas do rio Mossoró-RN. In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 1, 2006. Anais...Natal, 2006.
- ATHAYDE, C. M.; ATHAYDE, G. B.; LICHT, O. A. B.; ROSA FILHO, E. F. DA. Índice relativo de risco, ferramenta de tomada de decisão em bacias hidrográficas destinadas ao abastecimento público. Boletim Paranaense de Geociências, v.71, n.1, p.21-36, 2014.
- BAIRD, C.; CANN, M. Química Ambiental. 4. ed. Porto Alegre: Bookman. 2011.
- BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; RODRIGUES, A. S. L.; SIQUEIRA, E. Q. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. Revista Biociências, v.16, n.1, p.1-16, 2010.
- BASCARAN, G. M. Establecimiento de una metodologia para conocer la calidad del agua. Boletín Informativo del Medio Ambiente, p.30-49, 1979.
- BAYER, C. Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais. In: FERTBIO, 26, 2004, Lages. Anais...Lages, 2004.
- BERNARDES, R. S.; ABREU, L. M.; DORNAS, M. O índice da qualidade da água distribuída à população do Distrito Federal. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro, 1999.
- BISPO, M. H. G. S.; FERRO, A. S.; SILVA, K.; BRANDÃO, R. J. A. Pannel das cisternas do semiárido alagoano: auxiliando no aprimoramento de políticas públicas para o combate a escassez hídrica. In: Congresso de Gestão Pública, 12, 2023, Brasília. Anais...Brasília, 2023.
- BLEY JR., C. Erosão Solar: riscos para a agricultura nos trópicos. Ciência Hoje, v.25, n.148, p.24-29, 1999.
- BRAGA, B.; CONTRERA, R.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S.; GALLARDO, A. Introdução à Engenharia Ambiental. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRAGA, R. A.; CABRAL, J. J.; MONTENEGRO, S. M.; PERRIER JÚNIOR, G. S. Conservação dos recursos hídricos em brejos de altitude: o caso de Brejo dos Cavalos, Caruaru, PE. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.3, p.539-546, 2002.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu

padrão de potabilidade. 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 12 de agosto de 2024.

BRITTO, F. B.; VASCO, A. N.; AGUIAR NETTO, A. O.; GARCIA, C. A. B.; MORAES, G. F. O.; SILVA, M. G. Surface water quality assessment of the main tributaries in the lower São Francisco River, Sergipe Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v,23, e28, 2018.

BROWN, R. M.; MCLELLAND, N. I.; DEININGER, R. A.; TOZER, R. G. A. Water quality index – Do we dare? Water & Sewage Works, p.339-343, 1970.

BUCCI, M. H. S.; OLIVEIRA, L. F. C. Índices de qualidade da água e de estado trófico na represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). Revista Ambiental Água, v.9, n.1, p.130-148, 2014.

BUENO, L. F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade de água no horto Ouro Verde-Conchal-SP. Engenharia Agrícola, v.25, n.3, p.742-748, 2005.

CADILHAC, L.; ALBINET, M. SEQ - Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines: rapport de présentation. Agences del' Eau. 2003. 75p.

CÂMARA, F. M. M. Avaliação da qualidade da água do rio Poti na cidade de Teresina, Piauí. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2011.

CAMINHA, M. J. Degradação da qualidade da água do sistema de drenagem de sub-bacias urbanas de Campina Grande-Paraíba. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2014.

CAMPOS, C. W. M.; PONTE, F. C.; MIURA, K. Geology of the Brazilian Continental Margin. In: BURK, C.A.; DRAKE, C.L. (eds). The Geology of Continental Margins. Springer, Berlin, Heidelberg. 1974.

CARVALHO, A. P.; MORAES NETO, J. M.; LIMA, V. L. A.; SILVA, D. G. K. C. Determinação espacial e temporal do IQA do açude Soledade em Soledade-Paraíba. Engenharia Ambiental, v.8, n.2, p.138-147, 2011.

CARVALHO, A. P.; MORAES NETO, J. M.; LIMA, V. U. A.; SOUSA, R. F.; SILVA, D. G. K. C. E.; ARAUJO, F. D. Aspectos qualitativos da água do açude de Bodocongó em Campina Grande-PB. Engenharia Ambiental, n.5, n.2, p.94-10, 2008.

CARVALHO, C. F.; FERREIRA, A. L.; STAPELFELDT, F. Qualidade das águas do ribeirão Ubá-MG. Revista Escola de Minas, v.57, n.3, p.165-172, 2004.

CASTRO JÚNIOR, R. M.; SOBREIRA, F. G.; BORTOLOTTI, F. D. Modelagem geoestatística a partir de parâmetros de qualidade da água (IQA-NSF) para a sub-bacia hidrográfica do rio Castelo

(ES) usando sistema de informações geográficas. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.59, n.3, p.241-253, 2007.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report. In: Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999. Winnipeg: Environment Canada, 2001. Disponível em: https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/ceea/archive/Water/CCME_Canada.PDF. Acesso em: 13 de agosto de 2024.

COHEN, J. Statistical power analysis. *Current Directions in Psychological Science*, v.1, n.3, p.98-101, 1992.

COSTA, F. B.; FERREIRA, V. DE O. Análise de parâmetros que compõem o índice de qualidade das águas (IQA) na porção mineira da bacia do rio Paranaíba. *Revista Eletrônica de Geografia*, v.7, n.18, p.22-47, 2015.

COSTA, F. N. L.; OLIVEIRA, Y. R.; SILVA, P. H.; FERREIRA, P. M. P.; PACHECO, A. C. L.; ABREU, M. C. Avaliação da qualidade hídrica de um rio do semiárido piauiense. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v.3, n.2, p.218-225, 2018.

COUTINHO, I. M. C. Implicações sociais, econômicas e ambientais relacionadas a uma laguna costeira do litoral de Pitimbu, Paraíba, Brasil. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas). Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.

COUTINHO, J. V.; ALMEIDA, C. N.; GADELHA, C. L. M.; TARGINO, D. F.; LINHARES, F. M.; COELHO, V. H. R. Avaliação integrada da qualidade da água subterrânea em uma bacia hidrográfica representativa do litoral da região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.18, n.4, p.197-212, 2013.

CPRH. 2021. Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos. Procedimentos Metodológicos. Disponível em: <https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/06proc-metod.pdf>. Acesso em: 08 de dezembro de 2024.

CPRH. 2024. Agência Estadual de Meio Ambiente, 2024. Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2020 e 2022. Recife.

CPRH. Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração de Recursos Hídricos. Índice de Água. Índice e indicadores de qualidade da água – Revisão da Literatura. PNMA. 2006. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>. Acesso em: 13 de agosto de 2024.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Diretoria de Geologia e Recursos Minerais. Geologia do Brasil. 2004. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4de151f5-6d20-4e87-b49c-c9b0ea65440c>. Acesso em: 22 de maio de 2024.

CRISTO, V.; MENEZES, J. M.; SILVA JUNIOR, G.C. Comparação entre índices de qualidade de água. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 11, 2009, São Pedro. Anais...São Pedro, 2009.

CUNHA, A. C.; JÚNIOR, A. C. P. B.; COELHO, J. G.; SOUSA, M.; FLOURY, C.; AVELAR, S. B. Estudo numérico do escoamento superficial na Foz do Rio Matapi - Costa Interna Estuarina do Amapá. In: Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 11, 2006, Curitiba. Anais...Curitiba, 2006.

DAMASCENO, L. M. O.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; DIAS, N. S.; FRANCO, J. L. D.; FRANÇA, Ê. F. S. Qualidade da água do rio Poty para consumo humano, na região de Teresina, PI. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.3, n.3, p.116-130, 2008.

DAMASCENO, M. C. S.; RIBEIRO, H. M. C.; TAKIYAMA, L. R.; PAULA, M. T. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. Revista Ambiente e Água, v.10, n.3, p.598-613, 2015.

DANTAS, E. F. Estudo da quantidade e da qualidade da água do Rio Piancó. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar. Universidade Federal de Campina Grande. Pombal, 2012.

DESHPANDE, A. W.; RAJE, D. V. Fuzzy logic applications to environment management systems: case studies. In: IEEE International Conference on Industrial Informatics, 2003, Banff. Anais...Banff. 2003.

DIAS, T. A. Avaliação da qualidade da água do trecho do Rio Piancó na Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas Açú. 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Centro de Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.

FALCÃO, J. C. Avaliação da autodepuração do Rio Tambay na cidade de Bayeux - Paraíba/Brasil. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Centro de Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2011.

FANCICANI, V. R.; MORAES, I. P. S.; NARIYOSHI, M. A. C.; ONOFRE, R. M. S.; ORSATTI, W. A. Índice geral de qualidade de água distribuída pela Sabesp-IGQA. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro, 1999.

FERNANDES, R. A. Gestão integrada de águas subterrâneas: critérios gerais orientadores para definição e caracterização de áreas estratégicas de abastecimento. 494f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Programa de Pós-Graduação em

Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

FERNANDES, R. A.; LOUREIRO, C. O. Índice relativo de qualidade (IRQ): um método para caracterização e hierarquização do potencial qualitativo das águas subterrâneas. In: Congresso Brasileiro de Água Subterrânea, 14, 2006, Curitiba. Anais...Curitiba, 2006.

FERREIRA L. L. N.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. F.; ARRUDA, L. E. V.; VALE, C. N. C.; LEMOS FILHO, L. C. A. Dependência espacial da qualidade da água para irrigação em reservatório superficial do semiárido. In: INOVAGRI Internacional Meeting, 3, 2015, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2015.

FERREIRA, L. M.; IDE, C. N. Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQA-Smith e IQA-Horton, aplicados ao Rio Miranda, MS. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa. Anais...João Pessoa, 2001.

FIUZA, A. B. J. Q.; LEHUGEUR, L. G. O.; QUEIROZ, B. J. Análise ambiental do estado de conservação do Baixo Curso do Rio Pacoti – Ceará. Arquivos de Ciências do Mar, v.43, n.1, p.18-29, 2010.

FONTES, A. R.; LUCAS, A. A. T.; CARVALHO, M. E. S. Índice de qualidade da água na microbacia do rio Caiçá, no perímetro urbano de Simão Dias/SE. Revista de Ciências Ambientais, v.11, n.2, p.51-60, 2017.

FRANCISCO, P. R. M.; SOUSA, J. H. S. DE; RIBEIRO, G. DO N.; RODRIGUES, R. C. M. Rainwater capture potential and storage in residences of the Paraíba State using Multi-Level B-Spline Interpolation Modeling. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v.13, n.7, p.822-833, 2023.

FRANCISCO, P. R. M.; SOUSA, J. H. S.; RIBEIRO, G. N.; SILVA, J. N. Potencial de captação e armazenamento de água de chuva para segurança hídrica de parte da região continental brasileira utilizando modelagem B-Spline. Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology, v.10, n.2, p.39-49, 2024.

FREIRE, F. G. C.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M.; COSTA, S. C.; OLIVEIRA, A. D. F. M. Indicadores de qualidade da água no rio Jaguaribe em São João do Jaguaribe-CE, Brasil. Irriga, v.18, n.4, p.700-707, 2013.

GARCIA, H. L.; GARCIA, C. A. B.; MELO, A. P. S.; SILVA, V. L. Índices de qualidade da água dos reservatórios de Sergipe. In: Safety, Health and Environment World Congress, 14, 2014, Cubatão. Anais...Cubatão, 2014.

GHERARDI-GOLDSTEIN, E.; BERTOLETTI, E.; ZAGATTO, P. A.; NAKAHIRA, S.; INQUE, J. Dispersão de efluentes e os padrões ambientais. Revista Ambiente, v.7, n.1, p.12-17, 1993.

GIBRILLA, A.; BAM, E. K. P.; ADOMAKO, D.; GANYAGLO, S.; OSAE, S.; AKITI, T. T.; KEBEDE, S.; ACHORIBO, E.; AHIALEY, E.; AYANU, G.; AGYEMAN, E. K. Application of water quality index

- (WQI) and multivariate analysis for groundwater quality assessment of the Birimian and cape coast granitoid complex: densu river basin of Ghana. *Water Quality, Exposure and Health*, v.3, n.2, p.63-78, 2011.
- GÓIS, J. S.; OLIVEIRA, F. H. P. C. Variação sazonal das cianobactérias como parâmetro para análise da qualidade da água do reservatório Mororó, no município de Pedra/PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.5, p.1015-1023, 2014.
- GOMES, F. B. M.; PAULA, D. P. Os efeitos da sazonalidade climática e da urbanização na qualidade das águas do rio Acaraú em Sobral (CE). *Caminhos de Geografia*, v.20, n.69, p.421-436, 2019.
- GONDIM, J. E. R. G. Análise exploratória dos diferentes impactos antropogênicos nos estuários de Pernambuco. 108f. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística). Departamento de Estatística e Informática. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2015.
- GRASS-GIS. Geographic Resource Analysis Support System. 2024. Disponível em: <http://grass.osgeo.org>.
- GRATÃO, A. L. A. Distribuição do Fosfato Dissolvido no Sistema Estuarino do Rio Paciência, município de Raposa-Maranhão. 63f. Monografia (Graduação em Oceanografia). Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2023.
- GUEDES, K. C. P.; VALVERDE, K. C. Caracterização da água no canal do Jandiá e canal das Pedrinhas na cidade de Macapá, Amapá, Brasil. *Unifunec Científica Multidisciplinar*, 12(14) 1-13. 2023.
- HEM, J. D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. U. S. Geol. Survey. Water Supply Paper, 1473. 1970. 363p.
- HORTON, R. K. An index number system for rating water quality. *Journal WPCF* 37 300-305. 1965.
- HYNDMAN, R. J.; FAN, Y. Sample Quantiles in Statistical Packages. *The American Statistician*, v.50, n.4, p.361-365, 1996.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas Territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2024.
- IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Disponível em: <https://www.igam.mg.gov.br/component/content/article/16-duvidas/2438--acessar-dados-e-boletins-de-qualidade-das-aguas-em-minas-gerais-temporario>. Acesso em: outubro de 2024.

- INEMA. 2024. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Governo do Estado da Bahia. Rios de Salvador 2023: Diagnóstico da Qualidade Ambiental dos Rios de Salvador e Lauro de Freitas, Bahia, Brasil. 61p. Relatório Técnico N° 05/2024.
- JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review*, v.55, p.163-172, 1987.
- JERÔNIMO, C. E. M.; SOUZA, F. R. S. Determinação do índice de qualidade da água da lagoa de Extremoz-RN: série temporal e correlação a índices pluviométricos. *Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v.10, n.10, p.2219-2232, 2013.
- JIANG, Y.; ZHANG, N. Applications of scattered interpolation with multilevel B-splines to magnetic anomaly data. *Near Surface Geophysics*, v.11, n.5, p.579-585, 2013.
- KAYA, H.; HARDY, D. J.; SKEEL, R. D. Multilevel summation for periodic electrostatics using B-splines. *Journal Chemical Physics*, v.154, n.14, p.4105, 2021.
- KHAN, A. A.; PATERSON, R.; KHAN, H. Modification and application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador. *Canadian Water Quality Research Journal*, v.39, n.3, p.285-293, 2004.
- LANDWEHR, J. M.; DEININGER, R. A. A comparison of several water quality indices. *Journal of Water Pollution of Control Federation*, v.48, n.5, p.954-958, 1976.
- LAVÔR, L. F. Uso e ocupação do solo do baixo curso do Rio Camaratuba-PB e sua influência na qualidade da água do estuário. 59f. Monografia (Bacharelado em Geografia). Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2014.
- LEE, B. G.; LEE, J. J.; KWON, K. R. Quasi-interpolants Based Multilevel B-Spline Surface Reconstruction from Scattered Data. In: GERVASI, O. et al. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2005. ICCSA 2005. Lecture Notes in Computer Science*, v. 3482. Springer, Berlin, Heidelberg. 2005.
- LEE, B. G.; LEE, J. J.; YOO, J. 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*, 2005.
- LEE, S.; WOLBERG, G.; SHIN, S. Scattered data interpolation with multilevel bsplines. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v.3, n.3, p.228-244, 1997.
- Leite, A. P. A. Levantamento ambiental e pesqueiro dos rios Jaboatão e Pirapama no Estado de Pernambuco, Brasil. 67f. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura). Departamento de Pesca e Aquicultura. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2009.

- LEITE, J. A. P. C. Aplicação do Índice de Qualidade da Água de Bascarán para aos Rios Gramame, Abiaí e Grajaú na zona costeira sul da Paraíba. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Centro de Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.
- LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, v.62, n.318, p.399-402, 1967.
- LIMA, A. G.; LOURENÇO, A. M. G. Potabilidade da água de diferentes fontes de abastecimento na zona rural de Princesa Isabel–PB. *Revista de Agroecologia no Semiárido*, v.5, n.3, p.16-30, 2021.
- LIMA, A. G.; SALES, M. C. L. Índice de qualidade de água em comunidades inseridas em bacias hidrográficas rurais: O caso dos distritos de Jubaia e Cachoeira em Maranguape, Ceará. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, v.20, n.2, p.51-68, 2018.
- LIMA, A. N. Condições ambientais do estuário do Rio Formoso (Tamandaré/Pernambuco/Brasil): biomassa fitoplanctônica e hidrologia. 66f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2016.
- LIMA, L. R. Qualidade da água utilizada nas escolas e creches do município de Aparecida, sertão paraibano. 53f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais). Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar. Universidade Federal de Campina Grande. Pombal, 2017.
- LIMA, R. S.; ALVES, J. P. H. Avaliação da qualidade da água dos reservatórios localizados nas bacias hidrográficas dos rios Piauí–Real, utilizando o índice de qualidade da água (IQA). *Scientia Plena*, v.13, n.10, e109918, 2017.
- LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M. DE; AQUINO, D. DO N.; ARAÚJO, L. DE F. P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.3, p.392-402, 2008.
- LOPES, F. W. A.; MAGALHÃES JR, A. P. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.6, n.2, p.134-147, 2010.
- LOPES, L. B.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; ARAÚJO, L. F. P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e geoprocessamento. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.3, p.392-402, 2008.
- LUCENA, R. L.; MENEZES, M. F.; SASSI, R. Qualidade da água de reservatórios nas distintas zonas climáticas da Paraíba. *Mercator*, v.7, n.14, p.87-97, 2008.

- LUMB, A.; HALLIWELL, D.; SHARMA, T. Application of CCME water quality index to monitor water quality: a case study of the Mackenzie River basin, Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.113, n.1-3, p.411-429, 2006.
- LUSTOSA, R. V. Qualidade de água para consumo humano em Riacho Frio, Piauí. 38f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado. Instituto Federal Goiano. Urutaí, 2020.
- LYCHE, T.; MANNI, C.; SPELEERS, H. 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. 2018.
- MACHADO, C. A.; FACCIOLI, G. G.; AGUIAR NETTO, A. DE O.; ALMEIDA, C. A. P.; FOPPEL, E. F. C.; SILVA, M. G. Monitoramento da qualidade da água como ferramenta para gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Siriri Vivo-Sergipe. *Revista Educação Ambiental em Ação*, v.63, 2018.
- MALCHER, J. A. S.; BRITO, D. C.; CARVALHO, T. P.; SANTOS, J. O.; PENHA, E. C. M.; GUEDES, J. N.; CUNHA, A. C. Qualidade da água para abastecimento público em municípios com menos de 50 mil habitantes na Amazônia. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.7, p.1-21, 2020.
- MARQUES, E. A. T.; CARDOSO, A. S. Qualidade da água em trecho do eixo leste do projeto de transposição do Rio São Francisco, Brasil. In: Barbosa, F. C. (Eds.). *Meio ambiente e saneamento básico: impactos e desafios no Brasil*. Editora Conhecimento Livre, p.21-36. 2020.
- MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its applications. Paris, Le Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu. 1971. 211p.
- MATTA, M. A. S.; CAVALCANTE, I. N.; ASSIS, J. F. P.; MELO, C. R.; MARTINS, J. A. C.; DINIZ, C. G.; VACONCELOS, Y. B.; VANZIN, M. M.; CARMONA, K. M. Qualidade das águas tributárias do rio Amapari nas áreas de influência das mineradoras MMX e MPBA no Estado do Amapá. In: *Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*, 16, 2010. Anais...2010.
- MDR. Ministério do Desenvolvimento Regional. Programa Água Doce. Disponível em: <http://aguadoce.mdr.gov.br/>. Acesso em: 13 de agosto de 2024.
- MEDEIROS, S. R. M.; CARVALHO, R. G.; SOUZA, L.; BARBOSA, A. H. D. S. Índice de qualidade das águas e balneabilidade no Riacho da Bica, Portalegre, RN, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v.11, n.3, p.712-730, 2016.

- MENDES, L. A.; SCHNEIDER, E. H. M. Avaliação da disponibilidade hídrica sazonal nas bacias dos rios Real, Piauí e Sergipe a partir da regionalização de vazões. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21, 2015, Brasília. Anais...Brasília, 2015.
- MENEZES, J. M. Índice de qualidade de água subterrânea aplicado em área de aquíferos cristalinos com uso agrícola: bacia do rio São Domingos-RJ. 189f. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2009.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável. Porto Alegre, 2002.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Programa Água Doce. Resumo Executivo Planos Estaduais do Programa Água Doce 2010-2019. Brasília, 2020. 376p. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/resumo_executivo_PAD1.pdf. Acesso em: 4 de agosto de 2024.
- MOLINA, P. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S. Índice de qualidade de água na microbacia degradada do Córrego Água da Bomba-município de Regente Feijó-SP. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 16, 2006, Goiânia. Anais...Goiânia, 2006.
- MONTEIRO, A. F. M.; YAMAMOTO, A. L. C.; SILVA, P. N.; REBOITA, M. S. Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. Terræ Didática 17 1-12. 2021.
- MONTEIRO, F. H. B.; SANTOS JÚNIOR, M. S.; GONÇALVES, P. P.; VIEIRA, L. K. N.; SILVA NETO, M. C.; LINDOSO, T. C.; GUTERRES, C. E.; PINHEIRO, N. C. A. Análise das causas da desativação do sistema Cururuca de captação superficial em Paço do Lumiar, Maranhão. Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente, v.8, n.2, p.49-62, 2020.
- MONTENEGRO, A.; MONTENEGRO, S.; SILVA, V. DE P. E; MARINHO, I. DE S.; SILVA, J. G. DA; BEZERRA, R.; BARROS, M. K. Uso múltiplo da água subterrânea nas áreas de domínio do programa Xingó, com ênfase no desenvolvimento de halófitas. In: Joint World Congress on Groundwater, 1, 2000, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2000.
- MOON, S.; KO, K. A point projection approach for improving the accuracy of the multilevel B-spline approximation. Journal of Computational Design and Engineering, v.5, p.173-179, 2018.

- NASCIMENTO, M. R. R. Avaliação da qualidade das águas do açude Caraibeiras na cidade de Picuí/PB. 56f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química). Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2024.
- NOËL, L.; SCHMIDT, M.; MESSE, C.; EVANS, J. A.; MAUTE, K. Adaptive level set topology optimization using hierarchical B-splines. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, v.62, 1669–1699, 2020.
- OKUMURA, A. T. R.; SILVA, A. G.; SILVA, N. R. S.; LOPES, E. R. N.; BIFANO, R. B. A.; QUILENATO, R. V. Q. V. Determinação da qualidade da água de um rio tropical sob a perspectiva do uso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.4, p.1835-1850, 2020.
- OKUMURA, A. T. R.; SILVA, A. G.; SILVA, N. R. S.; LOPES, E. R. N.; BIFANO, R. B. A.; QUILENATO, R. V. Determinação da qualidade da água de um rio tropical sob a perspectiva do uso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.4, p.1835-1850, 2020.
- OLIVEIRA FILHO, J. C. C. Qualidade da água da Lagoa do Parque Sólon de Lucena. 31f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial). Centro de Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2022.
- OLIVEIRA, A. M. DE; DIAS, N. DA S.; FREITAS, J. J. R. DE; MARTINS, D. F. F.; RABELO, L. N. Avaliação físico-química das águas do processo de dessalinização de poços salobros e salinos em comunidades rurais do oeste potiguar. *Águas Subterrâneas*, v.31, n.2, p.58-73, 2017.
- OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, E. N. A.; BRITO, J. G.; SILVA, J. W. L. Qualidade da água para consumo humano distribuída pelo sistema de abastecimento público em Guarabira, PB. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, n.2, p.199-205, 2012.
- OLIVEIRA, C. R. Qualidade da água e conservação de nascentes em assentamento rural na mata pernambucana. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2014.
- OLIVEIRA, I. B. DE; NEGRÃO, F. I.; SILVA, A. G. L. S. Mapeamento dos aquíferos do Estado da Bahia utilizando o índice de qualidade natural das águas subterrâneas – IQNAS. *Águas Subterrâneas*, v.21, n.1, p.123-137, 2007.
- OLIVEIRA, S. S. O.; CUNHA, A. C. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. *Revista Ambiente e Água*, v.9, n.2, p.262-275, 2014.
- OSORIO, D. S. Á.; LEÓN, J. C. M.; CONTRERAS, A. C. Bathymetric digital models generated by interpolation methods IDW, Kriging, Shepard and B-Spline in the archipelago of Rosario islands. *Revista Geomática*, v.5, p.3-14, 2011.

- OTSUKA, A. Y.; FEITOSA, F. A. N.; MONTES, M. D. J. F.; SILVA, M. H.; TRAVASSOS, R. K. Condições ambientais do estuário do rio botafogo (Itamaracá-Pernambuco-Brasil): clorofila a e algumas variáveis ambientais. *Tropical Oceanography*, v.42, n.3, p.111-127, 2014.
- PALÁCIO, H. A. Q. Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará. 96f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2004.
- PEARSON, K. The grammar of science. London, J. M. Dent and Company. 1892.
- PEREIRA, I. F. M. Genotoxicidade como parâmetro de monitoramento ambiental do Rio São Francisco no Polo Petrolina (PE)/Juazeiro (BA). 88f. Dissertação (Mestrado em Genética). Centro de Biociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2017.
- PERES, J. M. Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2012.
- PINTO FILHO, J. L. O.; SANTOS, E. G.; SOUZA, M. J. J. B. Proposta de índice de qualidade de água para a Lagoa do Apodi, RN, Brasil. *Holos*, v.28, n.2, p.69-76, 2012.
- PRATI, L.; PAVANELLO, R.; PESARIN, F. Assessment of surface water quality by a single index of pollution. *Water Research*, v.5, p.741-751, 1971.
- QGIS. Development Team. 2024. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.
- REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Climate system in a nutshell: An overview for understanding Climate change. *International Journal of Development Research*, 12, e53365-53378, 2022.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. DA; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, p.185-204, 2010.
- REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Climate system in a nutshell: An overview for understanding Climate change. *International Journal of Development Research*, v.12, e53365-53378, 2022.
- REGO, E. L. Avaliação de parâmetros geoquímicos na bacia hidrográfica do Rio de Ondas, região oeste da Bahia. 114f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. Brasília, 2014.
- RIBEIRO, R. V. Evolução espaço-temporal na qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca-Pernambuco, Brasil. 83f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos). Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2020.
- RIZZI, N. E. Índices de qualidade de água. *Revista Técnica da Sanepar*, v.15, p.11-20, 2001.

- ROCHA, I. L. Qualidade ambiental das nascentes do Rio Paraim, Extremo Sul do Piauí. 44f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado. Instituto Federal Goiano. Urutaí, 2019.
- ROCHA, J. L. S.; REGO, N. A. C.; SANTOS, J. W. B.; OLIVEIRA, R. M.; MENEZES, M. Indicador integrado de qualidade ambiental aplicado à gestão da bacia hidrográfica do rio Jiquiriçá, BA, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v.5, n.1, p.89-101, 2010.
- ROCHA, M. H. F. F.; MARQUES, R. P. V.; GONÇALVES JÚNIOR, D. E.; SOARES, K. J.; OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, C. D. S. Avaliação do Índice de Qualidade das águas e da contaminação por tóxicos do Ribeirão do Carmo em Monsenhor Horta, distrito de Mariana–MG. *Research, Society and Development*, v.10, n.10, e110101018680, 2021.
- ROSA, R.; BRITO, J. L. S. Introdução ao geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas. Universidade Federal de Uberlândia. 1996. 142p.
- RSTUDIO. Posit Software. 2023. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>
- SAGA. System for Automated Geoscientific Analyses. 2024. Disponível em: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>. Acesso em: 24 de janeiro de 2024.
- SAIA, A.; JONNES, D.; LIMA, J. T. Componente de Obras Civas. In: Orientações Técnicas dos Componentes do Programa Água Doce para Implantação dos Sistemas de Dessalinização. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília. 2015. 70p. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/programa-agua-doce-1>. Acesso em: 4 de agosto de 2024.
- SÁNCHEZ, E.; COLMENAREJO, M. F.; VICENTE, J.; RUBIO, A.; GARCÍA, M. G.; TRAVIESO, L.; BORJA, R. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators*, v.7, n.2, p.315-328, 2007.
- SANTIAGO, B. E. C.; JESUS, T. D.; SANTOS, L. D. O. DOS. Avaliação da qualidade da água no perímetro urbano de Riachão do Jacuípe, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.9, n.4, 1p.058-1071, 2016.
- SANTO, A. A. E.; PINTO, M. C. S. Avaliação do índice de qualidade das águas no bairro Marilândia, Laranjal do Jari, Amapá. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá. Laranjal do Jari, 2023.
- SANTOS, A. G. Análise da qualidade da água no bairro Castanheira, Laranjal do Jari, Amapá. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental). Instituto Federal do Amapá. Laranjal do Jari, 2023.

- SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.14, n.8, p.826-834, 2010.
- SANTOS, K. P.; FLORENCIO, L. Aplicação de modelo simplificado para avaliação do estado trófico no reservatório de Duas Unas, Pernambuco-Brasil. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.21, 2001.
- SANTOS, R. M. S. Avaliação da qualidade de água e presença de compostos emergentes em rios no semiárido pernambucano. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Centro Acadêmico do Agreste. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2020.
- SANTOS, V. C. L. P.; ALVES, M. P.; SOUSA, S. J. C.; ROCHA, I. L. Avaliação de qualidade da água da nascente Jia, no Rio Paraim, Corrente/PI. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 14, 2023, Natal. Anais...Natal, 2023.
- SANTOS, V. J.; OLIVEIRA, F. B. S.; PALMEIRA, E. S. Contribuição individual dos parâmetros do índice de qualidade da água- IQA do rio Cachoeira, região sul da Bahia. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v.4, n.2, p.252-259, 2016.
- SEMARH. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas. Disponível em: <http://www.semarh.al.gov.br/tempo-e-clima/analises-tecnicas/precipitacao-mensal>. Acesso em: outubro 2024.
- SENA, M. C.; ROCHA, S. R. A. G.; MARTINS, M. A. L.; CALLADO, N. H.; HARRY, N. M. M. M. Monitoramento da qualidade da água no riacho das Águas do Ferro em Maceió/AL. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa. Anais...João Pessoa, 2005.
- SGB. Serviço Geológico do Brasil. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. SIAGAS WEB. 2024. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>. Acesso em: 14 de agosto de 2024.
- SHAPIRO, A. S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v.52, n.3-4, p.591-611, 1965.
- SILVA, A. P. L.; ALVES, G. N.; NASCIMENTO, A. M. A.; SANTOS, Á. Parâmetros de qualidade de água em nascentes no município de Olho D'Água do Casado, Semiárido Alagoano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n.6, p.2271-2284, 2019.
- SILVA, A. R. S.; MACHADO, A.; BARBOSA, S. A.; SANTOS, L. O.; SANTOS, M. N. Avaliação da qualidade da água do rio Pitanga, São Cristóvão/SE. *Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente*, v.6, n.3, p.63-74, 2018.

- SILVA, B. R. B. Avaliação da genotoxicidade como parâmetro de monitoramento ambiental do rio Ipojuca–Caruaru (PE). 71f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Centro de Biociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2019.
- SILVA, E. M. Avaliação da qualidade da água através de parâmetros físico química da água bruta e pós tratamento do açude de Sumé. 49f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Biosistemas). Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido. Universidade Federal de Campina Grande. Sumé, 2017.
- SILVA, G. S.; SANTOS, E. A.; CORRÊA, L. B.; MARQUES, A. L. B.; MARQUES, E. P.; SOUSA, E. R.; SILVA, G. S. Avaliação integrada da qualidade de águas superficiais: grau de trofia e proteção da vida aquática nos rios Anil e Bacanga, São Luís (MA). Engenharia Sanitária e Ambiental, v.19, p.245-250, 2014.
- SILVA, I. S.; ALVES, R. F.; ASSIS, D. A. S.; FIGUEIREDO, L. M.; OLIVEIRA, M. M. V. Avaliação da qualidade de água da bacia hidrográfica do rio Japarutuba. In: Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe, 15, 2023, Sergipe. Anais...Sergipe, 2023.
- SILVA, J. V. DE M.; NASCIMENTO, J. L. G. DO; BRITO, A. I. B. DA S.; SANTOS, D. DE A.; BAYDUM, V. P. A. Análise físico-química da qualidade do permeado e concentrado do processo de dessalinização para fins de potabilidade. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 30, 2019, Natal. Anais...Natal, 2019.
- SILVA, J. B. Estudo da situação atual da qualidade da água do açude de São Gonçalo – PB. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia). Centro de Formação de Professores. Universidade Federal de Campina Grande. Cajazeiras, 2015.
- SILVA, L. A.; SOUZA, L. R.; CUNHA, A. C. Análise da qualidade da água na Bacia do Rio Igarapé da Fortaleza – Amapá. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 20, 2014, Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2014.
- SILVA, M. D.; SILVA, M. D.; DANTAS NETO, J. Avaliação preliminar da presença de metais traço, nas águas do Riacho Mussuré e o Córrego de Mumbaba–João Pessoa–PB. Revista Brasileira de Geografia Física, v.7, n.4, p.668-677, 2014.
- SILVA, M. L. P. Qualidade da água do Córrego Mumbaba e consequências sobre a saúde da população ribeirinha - João Pessoa-PB. 167f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2016.
- SILVA, M. L. P.; SILVA, M. C. B. C.; NETO, J. D. Análise físico-química da água do Córrego Mumbaba e do Riacho Mussuré-João Pessoa/PB. Polêmica, v.13, n.4, p.1522-1531, 2014.

- SILVA, M. R.; SILVA, L. V.; BARRETO, L. N. C.; RODRIGUES, E. H. C.; MIRANDA, R. C. M.; BEZERRA, D. S.; PEREIRA, D. C. A. Qualidade da água da bacia do rio Pindaré, nos trechos correspondentes aos municípios de Pindaré-Mirim, Tufilândia e Alto Alegre no Estado do Maranhão. *Águas Subterrâneas*, v.31, n.4, p.347-354, 2017.
- SILVA, R. R.; SANTOS, J. C. V.; SILVA, Y. A.; PAIVA, S. C.; SARUBBO, L. A.; LUNA, J. M. Avaliação da qualidade microbiológica e físico-química da água de um trecho do Rio Capibaribe, no município de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil. *Brazilian Journal of Development*, v.7, n.6, p.62847-62866, 2021.
- SILVEIRA, A. M. Avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Sergipe usando análises multivariadas de dados. 121f. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2014.
- SILVEIRA, H. T.; GARCIA, C. A. B.; SANTOS, J. K. P.; PIRES, R. A. S.; SILVA, L. C. S.; COSTA, S. S. L.; GARCIA, H. L.; MONTEIRO, A. S. C. Aplicação de índices de qualidade da água para avaliação da barragem Jaime Umbelino de Souza, Sergipe, Brasil. *Research, Society and Development*, v.11, n.17, e66111738941, 2022.
- SIMÕES, F. S.; YABE, M. J. S.; MOREIRA, A. B.; BISINOTI, M. C. Avaliação do efeito da piscicultura em sistemas aquáticos em Assis e Cândido Mota, São Paulo, por indicador de qualidade da água e análise estatística multivariada. *Química Nova*, v.30, n.8, p.1835-1841, 2007.
- SMAMA. Secretaria de Meio Ambiente do Maranhão. Relatório de Monitoramento da qualidade da Água. Programa QualiÁgua. São Luís, 2017; 2019; 20; 2023; 2024.
- SMITH, D. G. A new form of water quality index for rivers and streams. *Water Science Technology*, v.21, n.2, p.123-127, 1987.
- SNIRH. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: outubro de 2024.
- SOUSA, C. R. N. A.; MATIAS, A. O.; SANTOS FILHO, F. C.; SARMENTO, R. G.; GOMES, M. F. C.; COSTA, M. F. Análise da qualidade da água de três propriedades rurais do município de Floriano, Piauí. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.9, n.2, p.17-23, 2019.
- SOUSA, I. V. A.; SOUZA, R. O.; PAULINO, W. D. Cálculo do índice de qualidade de água em reservatórios tropicais com estudo de caso no Acarape do Meio. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 17, 2007, São Paulo. Anais...São Paulo, 2007.
- SOUSA, T. C. L. DE. Índice relativo de qualidade (IRQ) de água subterrânea usada para abastecimento de piscicultura semi-intensiva, nordeste paraense. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Pesca). Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2021.

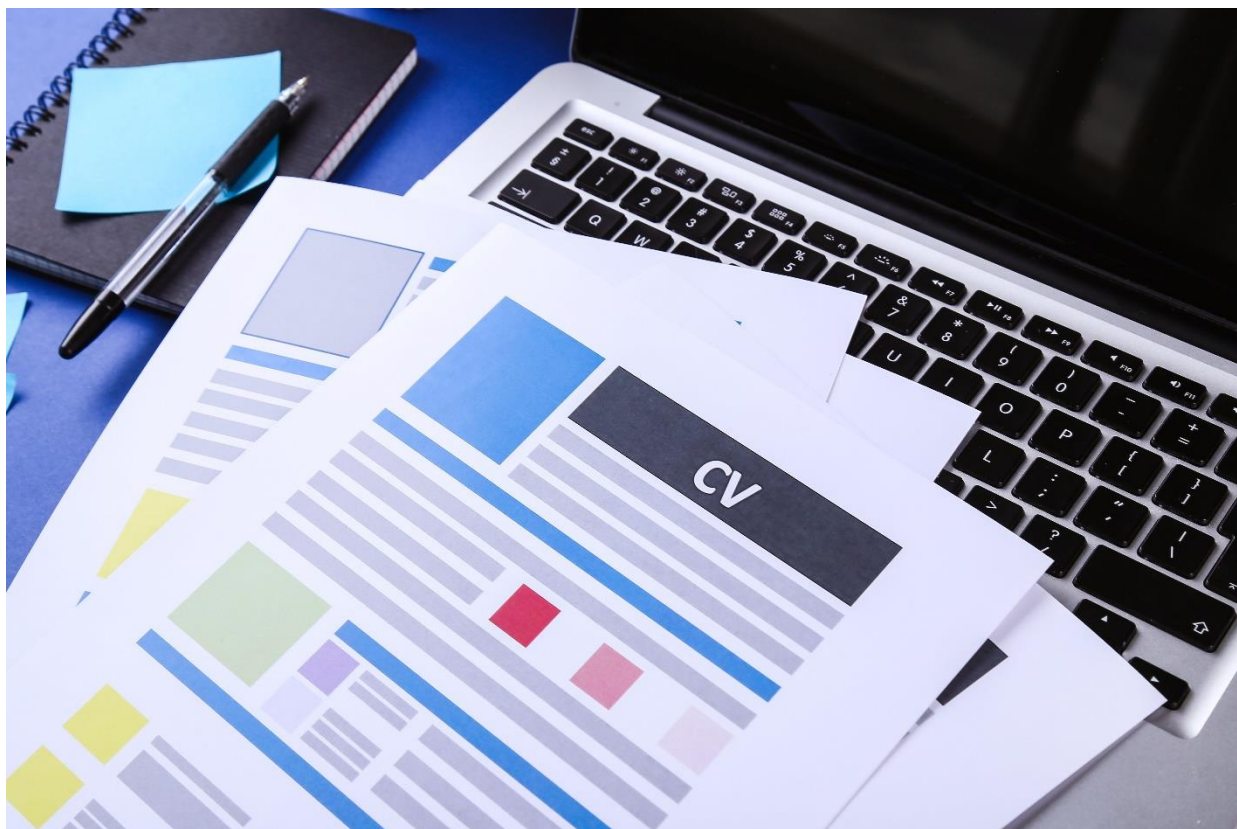
- SOUZA, A. D. G. Diagnóstico ambiental integrado e subsídios ao estabelecimento de metas de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Jaboatão (PE). 174f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2002.
- SOUZA, A. M. S.; SOUZA, A. M. S.; CARVALHO, R. S.; SANTOS, H. B.; MACHADO, C. A.; DANTAS, I. L. A.; FACCIOLI, G. G. Qualidade da água DESO e água residuária proveniente do sistema de lagoas de estabilização. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.9, n.1, p.24-31, 2015.
- SOUZA, A. S.; SANTOS FILHO, R. F. Determinação de parâmetros físico-químicos para a avaliação da barragem de Cristalândia, Distrito de Brumado-BA. *Cadernos Macambira*, v.9, n.3, p.134-138, 2024.
- SOUZA, E. S.; CRUZ, M. J. M. Avaliação dos parâmetros físico-químicos das Lagoas Costeiras do Parque das Dunas, Salvador-BA. In: *Safety, Health and Environment World Congress*, 14, 2014, Cubatão. Anais...Cubatão, 2014.
- SOUZA, F. B.; JESUS, R. N.; AMARAL, M. F. N.; SILVA, T. M.; VALENTE, T. A. P. Parâmetros físico-químicos e clorofila no rio Jiquiriçá, Bahia, Brasil: condutividade elétrica oito mil vezes acima do esperado. *Brazilian Journal of Development*, v.8, n.9, p.60868-60885, 2022.
- STIGTER, T. Y.; RIBEIRO, L.; CARVALHO DILL, A. M. M. Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies – two portuguese case studies. *Journal of Hydrology*, v.327, p.578-591, 2006.
- TAKIYAMA, L. R.; SILVA, A. Q.; COSTA, W. J. P.; NASCIMENTO, H. S. Qualidade das Águas das Ressacas das Bacias do Igarapé da Fortaleza e do Rio Curiaú–Amapá. In: Takiyama, L.R.; Silva, A.Q. da. (Orgs.). *Diagnóstico das Ressacas do Estado do Amapá: Bacias do Igarapé da Fortaleza e Rio Curiaú*, Macapá-AP. CPAQ/IEPA e DGEO/SEMA, p.81-104. 2003.
- TELES, I. B.; FLORENTINO, L. A.; RAMIRIO, L. D.; BRUNINI, R. G.; PEREIRA, W. R. Análise da qualidade das águas do rio Mogi-Guaçu por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. *Research, Society and Development*, v.11, n.11, e73111133285, 2022.
- VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Ambiente & Água*, v.6, n.1, p.118-130, 2011.
- VASCO, A. N.; RIBEIRO, D. O.; SANTOS, A. C. A. S.; MELLO JÚNIOR, A. V.; TAVARES, E. D.; NOGUEIRA, L. C. Qualidade da água que entra no estuário do rio Vaza Barris pelo principal fluxo de contribuição de água doce. *Scientia Plena*, v.6, n.10, e102401, 2010.
- VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. v.1. SEGRAC, Minas Gerais. 1995.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico das águas residuárias. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2005.

VON SPERLING, M. Estudo e modelagem da qualidade da água de rios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG (DESA). Belo Horizonte. 2007. 588p.

WORDCLIM. Historical climate data. 2024. Disponível em: <https://worldclim.org/data/worldclim21.html>. Acesso em: 5 de abril de 2024.

ZUFFO, A. C.; GENOVEZ, A. M. Método multicriterial utilizado como indicador da qualidade de água. In: Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 22, 2006, Ciudad de Guavana. Anais...Ciudad de Guavana, 2006.



CURRICULUM DOS AUTORES

Paulo Roberto Megna Francisco: Atuou como Pesquisador de Desenvolvimento Científico Regional de Interiorização na Universidade Federal da Paraíba-UFPB-CCA/Areia. Graduado como Engenharia Agrícola pela UFCG. Doutorado em Recursos Naturais (Concentração em Engenharia de Recursos Naturais). Possui Doutorado em Engenharia Agrícola (Concentração em Irrigação e Drenagem) pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2013), Mestrado em Agronomia - Manejo de Solo e Água (Concentração - Agricultura Sustentável e Planejamento Ambiental) pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB - Areia (2010), Graduado como Tecnólogo Agrícola (Mecanização) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Bauru (1990). Tem experiência na Docência na área de Agronomia, com ênfase em Mecanização Agrícola, Máquinas e Implementos Agrícolas e Máquinas Agrozootécnicas. Atua como pesquisador, colaborador e orientador em projetos junto à UFPB Campus de Areia, UFCG - Campus de Campina Grande e Campus de Sumé. Tem experiência em classificação técnica e mapeamento de solos, aptidão agrícola e pedoclimática, capacidade de uso do solo, geoprocessamento, cartografia, sensoriamento remoto, geoestatística, geração de balanço hídrico e índices climáticos. Prestou consultoria para o INCRA/PB na realização de PDAs. Foi Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do CONTECC. Editor Chefe da Editora Portal Tecnológico-EPTEC. Atualmente colabora como organizador e na comissão científica do CNMA-Poços de Caldas.

paulomegna@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5062-5434>

José Hugo Simplicio de Sousa: Engenheiro de Biosistemas pela Universidade Federal de Campina Grande, CDSA/Campus Sumé com ênfase em Sensoriamento Remoto e geoprocessamento. Atuou como bolsista do Programa Institucional de Iniciação Científica-PIBIC, em projetos na área de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, entre 2021 a 2023 e atuou em projeto na área de secagem de alimentos entre 2020 e 2021. Ex-Membro Associado Consultor Júnior da SustemBIO Jr, Empresa Júnior do curso de Engenharia de Biosistemas da UFCG/CDSA.

hugosimplicio123@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5068-0663>

George do Nascimento Ribeiro: Possui graduação em Agronomia (2003) e mestrado em Manejo e Conservação de Solo e Água (2006) pela Universidade Federal da Paraíba, doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2014) e Pós-doutorado em Fontes Alternativas de Energias pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da UFCG (LABFREN/UFCG). Atualmente é professor da Universidade Federal de Campina Grande/CDSA/Campus Sumé. Tem experiência nas áreas de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto (recursos naturais, geotecnologias e mapeamento temático) e em Energias Renováveis (produção de hidrogênio como fonte de combustível para fuel cell e energia solar - placas fotovoltaicas).

george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-4225-0967>

José Nilton Silva: Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (2009), Mestre e Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (2013), Licenciado em Química pela Universidade Estadual da Paraíba (2006). É Professor Adjunto na Universidade Federal de Campina Grande, lotado no Departamento de Engenharia Química, do Centro de Ciências e Tecnologias. Tem experiência na área de Engenharia Química, Sistemas Computacionais, com ênfase em processos e processamento de dados, atuando principalmente nos temas: modelagem, simulação de processos, projeto de processos industriais e energias renováveis. Na área de Gestão em Ciência, Tecnologia e Inovação é ativo em Sistemas de Inovação, Empreendedorismo Inovador, Proteção do Conhecimento, Transferência de Tecnologia, Interação Universidade-Empresa e Incubadoras de Empresas/Parques Tecnológicos. É orientador do quadro dos PPGs em Engenharia Química-UFCG e do PROFNIT- ponto focal Paraíba. Coordenou o Núcleo de Inovação e Transferência de Tecnologia NITT/UFCG (2017-2018), e atual assessor de PI do NITT-UFCG, e em 2018, Diretor Geral da Fundação Parque Tecnológico da Paraíba – PaqTcPB.

nilton@eq.ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-7128-8396>

