



Artigo Original

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v19n22025p61-78

Submetido em: 04 abr. 2025

Aceito em: 13 out. 2025

.....

Avaliação do processo de salinização na zona rural do município de São João da Barra, RJ

Evaluation of the salinization process in the rural area of the municipality of São João da Barra, RJ

Evaluación del proceso de salinización en el área rural del municipio de São João da Barra, RJ

Juliana Parente Ribeiro  <https://orcid.org/0000-0003-3226-7554>

Instituto Federal Fluminense

Mestranda em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

E-mail: julianaprib@gmail.com

Carolina Ramos de Oliveira Nunes  <https://orcid.org/0000-0003-4029-2880>

Instituto Federal Fluminense

Mestrado em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense.

E-mail: carolina.nunes@gsuite.iff.edu.br

Thiago Moreira de Rezende Araújo  <https://orcid.org/0000-0003-2512-9743>

Instituto Federal Fluminense

Doutorado em Ciências Naturais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Professor no Instituto Federal Fluminense.

E-mail: taraujo@iff.edu.br

Vicente de Paulo Santos de Oliveira  <https://orcid.org/0000-0002-5981-0345>

Instituto Federal Fluminense

Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Professor Titular no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

E-mail: vsantos@iff.edu.br

Resumo: Regiões costeiras vêm sofrendo aumento da intrusão salina, ocasionando alterações ecológicas e problemas para as comunidades. São João da Barra está localizado ao Norte do estado do Rio de Janeiro e vem enfrentando erosão e intrusão salina na região do delta do rio Paraíba do Sul e ocasionalmente a interrupção no abastecimento de água devido a elevada salinidade. A região é produtora de diversas variedades de frutas, verduras e legumes com captação de água em poços freáticos. O objetivo deste estudo foi avaliar a salinidade em 7 pontos amostrais, sendo 2 deles num canal com origem no rio Paraíba do sul, 4 em águas superficiais e 1 em água subterrânea, na área rural de Atafona e Grussáí por meio da análise dos parâmetros condutividade elétrica, salinidade, pH e concentração dos seguintes íons: fluoreto, cloreto, nitrito, nitrato, brometo, fosfato, sulfato, sódio, magnésio, potássio e cálcio. Os resultados indicaram que a maior parte das amostras foram classificadas como águas salobras, apresentaram

elevada condutividade elétrica e forte influência dos íons cloreto, potássio, magnésio, sódio e cálcio e, portanto, vem sofrendo o processo de salinização.

Palavras-chave: Intrusão Salina. Íons. Parâmetros Físico-Químicos. Salinização. Condutividade.

Abstract: Coastal regions have been experiencing increased saline intrusion, causing ecological changes and problems for communities. São João da Barra is located in the north of the state of Rio de Janeiro and has been facing erosion and saline intrusion in the Paraíba do Sul river delta region and occasional interruptions in water supply due to high salinity. The region produces several varieties of fruits, vegetables and legumes with water collection in groundwater wells. The objective of this study was to evaluate salinity in 7 sampling points, 2 of them in a channel originating in the Paraíba do Sul river, 4 in surface waters and 1 in groundwater, in the rural area of Atafona and Grussáí through the analysis of the parameters electrical conductivity, salinity, pH and concentration of the following ions: fluoride, chloride, nitrite, nitrate, bromide, phosphate, sulfate, sodium, magnesium, potassium and calcium. The results indicated that most of the samples were classified as brackish waters, presented high electrical conductivity and strong influence of chloride, potassium, magnesium, sodium and calcium ions and, therefore, have been undergoing the salinization process.

Keywords: Saline Intrusion. Ions. Physico-Chemical Parameters. Salinization. Conductivity.

Resumen: Las regiones costeras han estado experimentando un aumento en la intrusión salina, provocando cambios ecológicos y problemas a las comunidades. São João da Barra se encuentra en el norte del estado de Río de Janeiro y ha estado enfrentando erosión e intrusión salina en la región del delta del río Paraíba do Sul y ocasionalmente interrupciones en el suministro de agua debido a la alta salinidad. La región es productora de diversas variedades de frutas, verduras y legumbres, y extrae agua de pozos subterráneos. El objetivo de este estudio fue evaluar la salinidad en 7 puntos de muestreo, 2 de ellos en un canal con origen en el río Paraíba do Sul, 4 en aguas superficiales y 1 en aguas subterráneas, en la zona rural de Atafona y Grussáí, mediante el análisis de los parámetros conductividad eléctrica, salinidad, pH y concentración de los siguientes iones: fluoruro, cloruro, nitrito, nitrato, bromuro, fosfato, sulfato, sodio, magnesio, potasio y calcio. Los resultados indicaron que la mayoría de las muestras fueron clasificadas como aguas salobres, presentaron alta conductividad eléctrica y fuerte influencia de iones cloruro, potasio, magnesio, sodio y calcio y, por lo tanto, han estado sometidas al proceso de salinización.

Palabras clave: Intrusion Salina. Iones. Parámetros físico-químicos. Salinización. Conductividad.

1 Introdução

Com o crescimento das cidades, das atividades industriais, mineração e produção agrícola aumentam o consumo de água tornando essencial analisar a sua qualidade para uma boa gestão dos recursos hídricos (RAMOS, OLIVEIRA e ARAÚJO, 2019). O armazenamento das águas subterrâneas e superficiais foram alterados pelo homem de diversas maneiras através das construções de reservatórios e canais, desmatamento, aumento da captação para abastecimento e, desta forma, a sua qualidade é impactada devido a problemas como erosão, despejos de efluentes domésticos e industriais, resíduos agrícolas, remoção da biomassa e de espécies, dentre outros (TUNDISI, 2006).

A intrusão salina é um dos problemas que impacta a qualidade da água. Isso ocorre quando há inversão do fluxo natural de água na zona costeira do continente para o oceano (VILLAR *et al.*, 2022). Nas regiões costeiras, a interface entre água doce e salgada ocorre formando um fluxo do continente em direção ao mar. Na zona de mistura, a água doce, menos densa se sobrepõe à água salgada, obtendo o formato de cunha (FEITOSA *et al.*, 2008). Esse fenômeno vem ocorrendo nas regiões costeiras em diversas partes do mundo ocasionando alterações ecológicas e diversos problemas para as comunidades.

No Brasil, na região amazônica, Visschers *et al.*, (2022) identificaram uma expansão do manguezal para o interior do continente através de estudo comparativo de imagens de satélite por um período de 38

anos. Em contrapartida, houve maior erosão costeira devido ao avanço do mar. Ainda na região amazônica, os moradores do arquipélago de Bailique – AP, enfrentam há anos a salinização da água utilizada para consumo. As alterações no ambiente são refletidas com a redução do pescado relatado pelos pescadores da região. O fenômeno pode estar associado ao desmatamento na região e consequentemente assoreamento do rio constantes erosões nas margens do rio (PACHECO, 2021). Além da salinização da água, a comunidade enfrenta constantes erosões nas margens do rio, fato que dificulta ainda mais a implantação de uma estrutura física para a resolução do problema do abastecimento de água (LAGO *et al.*, 2023).

Na cidade de São Mateus – ES, em períodos de seca, o rio São Mateus sofre com avanço da intrusão salina percorrendo uma distância de mais de 50 km alcançando o ponto de captação de água para abastecimento urbano. Como consequência, ocorre a interrupção do abastecimento (COTTA e DE JESUS, 2021). Loitzenbauer e Mendes (2012) destacam a importância de estudar a dinâmica da salinidade monitorando a intrusão salina nas regiões costeiras com a finalidade de prever cenários futuros e estimar a demanda por água doce, evitando conflitos pelos usos de recursos hídricos. Neste sentido, a água deve ser utilizada de maneira sustentável, prezando pela sua qualidade e assegurando a disponibilidade para a coletividade.

1.1 O município de São João da Barra

São João da Barra pertence à região Norte Fluminense do estado do Rio de Janeiro e o clima é classificado como Tropical Úmido (Aw), segundo Köppen-Geiger (1928). Possui temperatura média anual de 24,0 °C e pluviosidade média anual de 958 mm (CLIMATE-DATA, 2023). A região Norte Fluminense possui baixos índices pluviométricos, principalmente no litoral, tendendo a aumentar em direção ao interior do continente. Apesar da distribuição das chuvas serem heterogêneas no espaço e no tempo, elas são mais intensas no verão, sendo novembro o mês mais chuvoso na região de Campos e Farol de São Tomé (LEITE, 2013). As regiões Norte e Noroeste Fluminense vêm sofrendo com o aumento do período de estiagem, desta forma, tramita no Congresso Nacional um projeto de Lei que visa alterar a classificação do clima dessas regiões para semiárido (DIA, 2023a), caracterizada por altas temperaturas e irregularidade de chuvas com longo período de estiagem (RAMALHO, 2013).

O município de São João da Barra está inserido na região da baixada campista, em uma extensa planície deltaica com cobertura vegetal típica de restinga (FILHO, 2003). Originalmente, a região da bacia hidrográfica da lagoa Feia era formada por uma rede de lagoas e canais que transbordavam na estação chuvosa formando um extenso espelho d’água. Devido à baixa declividade, o escoamento ocorria lentamente durante vários meses seguintes. Estão ainda situadas dentro do território municipal as lagoas de Grussaí,

Açu, Veiga, Iquipari e parte da lagoa Salgada que compreende a sub-bacia Lagoas do Nordeste (BIDEGAIN *et al.*, 2002).

Toda a bacia hidrográfica da lagoa Feia sofreu várias obras de canalização e retificação de canais realizadas pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS para drenar a água das áreas alagadas por motivações sanitárias e, consequentemente, favorecer a produção agrícola na região (CARNEIRO, 2004). Por fim, diversas lagoas foram extintas e as lagoas de Grussaí, Iquipari e Açu, foram assim caracterizadas como lagoas costeiras após a abertura do canal do Quitingute (SOFFIATI, 2013). Dentre as consequências estão redução do espelho d’água das lagoas, rebaixamento do lençol freático e salinização dos solos (BIDEGAIN *et al.*, 2002; SOFFIATI, 2013). As águas da chuva passaram a permanecer por menos tempo no continente passando a apresentar um quadro de escassez (BIDEGAIN *et al.*, 2002).

1.2 A região da foz do Rio Paraíba do Sul

Junto à foz do rio Paraíba do Sul, formou-se um sistema de cristas e cordões de areia paralelo à costa intercaladas por depressões entre os cordões (FILHO, 2003). A linha de costa da foz do rio Paraíba do Sul sofreu alterações a partir da década de 1970. Os sedimentos transportados que formavam o esporão arenoso passou a ser erodido e remanejado para áreas mais afastadas. Ainda neste estudo, o transporte de carga sedimentar não apresentou relação direta com o aumento no volume de chuvas, o que sugere que a redução da vazão e as alterações na dinâmica de sedimentação ocorreram devido a transposições para abastecimento urbano e barragens (OLIVEIRA, 2015).

Marengo e Alves (2005) estudaram a série histórica do Rio Paraíba do Sul e constataram uma tendência negativa na vazão do rio nos últimos 50 anos não relacionada com precipitação, sugerindo que a redução na vazão esteja relacionada a fatores antrópicos. Dentre as possíveis causas para redução da vazão estão a construção de barragens para abastecimento das cidades e geração de energia, transposição para a Metrópole do Rio de Janeiro, captação para utilização na agricultura, manejo inadequado do solo provocando assoreamento e alterações na pluviosidade da bacia.

Dando sequência ao estudo, Carvalho *et al.*, (2023) analisaram a série histórica das vazões da bacia do rio Paraíba do Sul entre os anos de 2000 e 2020 e concluíram que a bacia possui tendência negativa, em conformidade com os estudos de Marengo & Alves (2005). Em condições de baixa vazão do rio Paraíba do Sul, a intrusão salina fornece um maior aporte de íons cloreto, sulfato, sódio, potássio e magnésio, além de índices maiores de condutividade elétrica e salinidade, alterando a composição química das águas do rio Paraíba do Sul (NUNES *et al.*, 2022).

1.3 Manejo da água e do solo na produção agrícola

A agricultura é o principal usuário de recursos hídricos e é também a atividade com maior potencial de contaminação do solo e da água. As técnicas de irrigação provocam impactos positivos como a redução da área de cultivo e aumento da produtividade agrícola, mas o manejo inadequado pode provocar a degradação do solo, a contaminação por insumos agrícolas (BRITO *et al.*, 2010) e a salinização do solo e das águas (BRITO *et al.*, 2010; ANDRADE *et al.*, 2016). Para evitar o desperdício de água, devem ser utilizados sistemas de irrigação eficientes, assim como o manejo dos insumos agrícolas devem ser ajustados para evitar a contaminação da água. Pois o excedente desses produtos pode ser carreado superficialmente ou percolado no solo atingindo as reservas hídricas superficiais e subterrâneas (BRITO *et al.*, 2010).

A salinidade pode reduzir a produtividade e a viabilidade econômica da produção agrícola (DIAS *et al.*, 2016). Entretanto, é possível ter controle da salinização no solo aplicando melhor eficiência na irrigação e controlando a lixiviação e a drenagem da água (BRITO *et al.*, 2010). Pois no processo de percolação da água no solo, os sais se acumulam nas camadas superficiais tornando o solo salino (LOITZENBAUER E MENDES, 2012). Para corrigir a salinidade do solo é necessário utilizar maiores volumes de água de boa qualidade na irrigação tornando elevados os custos de recuperação. Portanto, a recomendação é realizar um bom planejamento do sistema de drenagem, de recursos hídricos e de insumos (BRITO *et al.*, 2010).

Na zona rural do município de São João da Barra são produzidos abacaxi, quiabo, maxixe, pimentão, tomate, batata doce (DIA, 2023b), jiló, coco, cana de açúcar, além de realização de atividades de pecuária mista (BURLA *et al.*, 2015). No 5º distrito de São João da Barra, o manejo da lavoura ocorre utilizando técnicas tradicionais de pousio e de rotação de culturas. A irrigação ocorre com a captação de água de poços utilizando bomba elétrica e mangueiras pressurizadas ou por aspersão convencional. Os produtores rurais também utilizam adubação química e orgânica para enriquecer o solo em nutrientes, principalmente nos períodos de escassez hídrica (PAES e ZAPPES, 2016).

Algumas medidas costumam ser adotadas para promover melhorias no fornecimento de água, principalmente na zona rural, como construção de reservatórios, cisternas e perfuração de poços artesianos (RAMALHO, 2013). O monitoramento da qualidade da água nessa região é importante, pois o município de São João da Barra sofre com a influência do Complexo Logístico e Industrial do Porto do Açu e com o aumento da salinidade que vem ocorrendo na foz do rio Paraíba do Sul, comprometendo o abastecimento de água em algumas épocas do ano. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a salinidade de água superficial e subterrânea na área rural de Atafona e Grussaí, no município de São João da Barra, RJ por meio da análise dos parâmetros físico-químicos, condutividade elétrica, salinidade, pH e concentração de alguns íons.

2 Material e Método

Este trabalho foi conduzido na área rural do 2º distrito, Atafona e 3º distrito, Grussaí, do município de São João da Barra/RJ. Toda a área de estudo possui pastagens com espécies herbáceas e lenhosas. Os pequenos produtores da região produzem coco, manga, caju, limão, banana e cana de açúcar além da criação de animais bovinos e suíños. Foram realizadas quatro saídas ao campo, identificadas como S1 a S4, para coleta de amostras, sendo 2 em estação seca e 2 em estação chuvosa, conforme Tabela 1. Em cada saída foram coletadas amostras em 7 pontos. Os pontos P1 e P2 são no canal da Chatuba, o qual possui comunicação direta com o Rio Paraíba do Sul. Os pontos P3, P4, P6 e P7 são em águas superficiais sem comunicação com o Rio Paraíba do Sul e o ponto P5 em água subterrânea de lençol freático captada por bomba elétrica (Figura 1).

Figura 1 – Localização dos pontos de coleta amostral próximo à foz do rio Paraíba do Sul, São João Barra-RJ.



Fonte: Google Earth (2023).

Foram levados em consideração os períodos do ciclo hidrológico, procurando identificar a influência da sazonalidade nos parâmetros analisados. As coletas das amostras foram realizadas na maré de sizígia e iniciadas no horário da primeira preia-mar do dia, momento em que ocorre maior influência do mar no estuário do rio Paraíba do Sul. Foram anotadas as condições ambientais no dia da coleta e a vazão do Rio.

Tabela 1 – Datas das saídas ao campo para coleta de amostras.

Coletas	Data	Estação
1 ^a	13/10/2022	Seca
2 ^a	10/03/2023	Chuvosa
3 ^a	18/08/2023	Seca
4 ^a	26/01/2024	Chuvosa

Os dados referentes à vazão do rio Paraíba do Sul foram obtidos utilizando o aplicativo HIDROWEB, pertencente ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), o qual fornece informações sobre vazões, chuvas, níveis dos rios, qualidade da água, sedimentos e climatologia (SNIRH, 2023). Os dados da estação Campos – Ponte Municipal foram utilizados, pois é o ponto de medição mais próximo à área de estudo.

Os pontos de coleta tiveram as coordenadas geográficas identificadas com auxílio do aplicativo GPS Altitude versão 6.06 (342). Os procedimentos de coleta, armazenamento e transporte foram adotados segundo o Manual Prático de Análise de Água (FUNASA, 2013). No dia da coleta, foram observadas as condições climáticas e qualquer alteração perceptível do ambiente. As amostras foram coletadas e armazenadas em frascos de plásticos que foram etiquetados e identificados com data e hora da coleta. Foram coletados 500 mL de água em cada ponto em águas superficiais, exceto no ponto 5, cuja amostra foi coletada em água do lençol freático. Em seguida, as amostras foram refrigeradas e encaminhadas para serem analisadas no Laboratório de Monitoramento das Águas da Foz do Rio Paraíba do Sul – LabFoz, no Polo de Inovação Campos do Goytacazes do Instituto Federal Fluminense. As coordenadas geográficas e distância de cada ponto de coleta estão descritas na tabela 2.

Tabela 2 – Localização dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Coordenadas Geográficas	Distância do RPS	Distância do ponto anterior
1	21°37'50.30"S 41°02'09.20"W	1,4 km	0 m
P2	21°38'09.20"S 41°02'21.60"W	2,1 km	700 m
P3	21°38'54.70"S 41°02'15.20"W	4,0 km	1,9 km
P4	21°39'09.80"S 41°02'24.40"W	4,6 km	550 m
P5	21°40'34.12"S 41°02'23.85"W	5,6 km	1 km
P6	21°40'09.60"S 41°03'06.80"W	5,9 km	300 m
P7	21°39'19.60"S 41°03'02.70"W	6,8 km	900 m

No LabFoz foram analisados os parâmetros condutividade elétrica, salinidade, pH, os ânions (fluoreto, cloreto, nitrito, nitrato, brometo, fosfato e sulfato) e os cátions (sódio, magnésio, potássio e cálcio). Esses íons foram analisados por meio da técnica de cromatografia iônica, a qual tem sido utilizada para

análises de águas salobras e salinas. A escolha dos íons se deu devido ao fato desses íons serem apontados como mais relevantes em estudos realizados anteriormente na região (NUNES *et al.*, 2022; LEITE, 2016; PRÉ, *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019).

Todas as análises foram feitas em duplicata. A condutividade elétrica e a salinidade foram realizadas utilizando o equipamento condutivímetro *Digimed DM-3* (Figura 2), o pH foi determinado pelo equipamento pHmetro *Thermo Orion Star A214* (Figura 3) e os íons foram analisados utilizando o cromatógrafo de íons *Metrohm 883 Basic IC Plus* (Figura 4) acoplado ao amostrador 863 *Compact Autosampler* (Figura 5).

Figura 2 – Condutivímetro *Digimed DM-3*



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 4 - Cromatógrafo de íons *Metrohm 883 Basic IC Plus*



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 3 - PHmetro *Thermo Orion Star A214*



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 5 - Amostrador 863 *Compact Autosampler*



Fonte: Autoria própria (2024).

Para realizar as análises estatísticas foi utilizado o *software Past. 3.25*, sendo os resultados submetidos à Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA) e à Análise de Componentes Principais (PCA), técnicas utilizadas quando há um grande número de variáveis e deseja agrupá-las de acordo com a similaridade entre as variáveis (MOITA NETO, 2004). As condições cromatográficas utilizadas e a

realização do pré-tratamento de dados por meio do cálculo de médias e desvio-padrão foram as mesmas utilizadas no trabalho de Nunes e colaboradores, 2022.

3 Resultados e Discussão

Os registros da vazão do rio Paraíba do Sul na estação campos foram de 343 m³/s (S1), 927 m³/s (S2), 272 m³/s (S3) e 1110 m³/s (S4). Nas primeiras três saídas, o tempo foi de sol com poucas nuvens. Apenas na 4^a saída choveu durante às 48h que antecederam a coleta. Os resultados dos parâmetros analisados estão exibidos na Tabela 3.

Considerando o total de amostras coletadas, cerca de 60% das amostras foram classificadas como águas salobras e 40% como águas doces. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, as águas doces são aquelas com salinidade menor ou igual a 0,5‰ e águas salobras com salinidade maior que 0,5‰ e menor que 30‰ (BRASIL, 2005). Em um estudo sobre a qualidade da água de poços freáticos no município de São João da Barra, Cerqueira *et al.*, (2014) classificaram 25% das amostras como salobras.

O P3 foi o único ponto onde apresentou água doce em todas as coletas enquanto os pontos P5, P6 e P7 apresentaram água salobra em todas as amostras. O Ponto P1, mais próximo ao rio Paraíba do Sul, classificou a água como salobra nos períodos secos (1^a e 3^a saídas) e doce nos períodos chuvosos (2^a e 4^a saídas). O Ponto P6 apresentou maiores valores para salinidade, variando entre 3,40 e 4,07. Em períodos chuvosos, a vazão do rio é mais alta, impedindo o avanço da cunha salina mesmo em ocasião da maré de sizígia, dado que as amostras do ponto P1 apresentaram água doce nas coletas realizadas nos meses de janeiro e março.

Tabela 3 – Resultados encontrados para pH, salinidade, condutividade elétrica e íons

(continua)

Pontos de coleta e saídas	pH	Sal* (ppt)	CE** (µS/cm)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)
P1S1	7,19	0,9	1452,10	<LD***	394,98	<LD	1,91	2,82	<LD	31,79	342,86	12,16	66,04	72,80
P1S2	7,06	0,4	740,45	<LD	181,83	<LD	<LD	1,49	<LD	9,42	154,97	9,44	22,94	89,52
P1S3	7,03	1,6	2947,50	<LD	645,81	<LD	2,91	5,30	<LD	103,78	724,38	21,58	123,04	151,45
P1S4	7,12	0,3	617,10	<LD	148,66	<LD	1,45	2,19	<LD	12,50	142,57	4,04	25,91	62,09
P2S1	7,54	0,8	1286,63	<LD	306,98	<LD	<LD	<LD	<LD	29,81	288,10	14,52	53,14	125,69
P2S2	7,27	0,4	764,20	<LD	157,04	<LD	<LD	1,23	<LD	15,86	143,77	11,84	18,22	113,90
P2S3	7,20	0,5	885,10	<LD	141,32	<LD	0,67	1,07	<LD	16,24	189,99	12,50	17,90	119,05
P2S4	7,31	0,4	630,95	<LD	111,78	<LD	1,59	<LD	<LD	20,12	121,04	42,51	18,36	113,22
P3S1	7,05	0,4	665,83	<LD	139,21	<LD	<LD	<LD	<LD	2,42	120,38	4,62	16,12	111,56
P3S2	6,73	0,3	581,35	<LD	132,30	<LD	<LD	<LD	<LD	1,32	111,19	3,94	15,17	103,48
P3S3	6,59	0,3	546,30	<LD	83,84	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	111,77	5,28	11,94	90,84
P3S4	6,73	0,2	384,95	<LD	95,19	<LD	0,41	<LD	<LD	2,19	84,77	3,53	6,88	42,11
P4S1	7,49	0,3	501,57	<LD	91,57	<LD	<LD	<LD	<LD	2,11	91,76	8,74	12,48	109,75
P4S2	7,20	0,9	1533,60	<LD	411,33	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	332,69	19,20	30,28	187,83
P4S3	6,99	0,9	1814,35	<LD	361,76	<LD	1,67	<LD	<LD	<LD	432,02	19,16	32,92	193,58
P4S4	6,98	0,5	903,65	<LD	196,02	<LD	1,69	<LD	<LD	<LD	186,96	10,30	17,23	122,27
P5S1	7,10	0,8	1364,00	<LD	257,98	<LD	<LD	56,05	<LD	64,72	233,66	53,82	37,66	199,01
P5S2	7,20	0,9	1570,05	<LD	328,50	2,68	<LD	133,42	<LD	71,46	225,74	63,38	41,25	218,59
P5S3	7,03	0,8	1469,76	<LD	215,34	<LD	<LD	60,00	<LD	79,04	263,00	52,81	38,86	205,59

Pontos de coleta e saídas	pH	Sal* (ppt)	CE** (µS/cm)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	(Conclusão)
P5S4	6,94	0,7	1295,30	<LD	281,27	<LD	3,14	53,89	6,47	70,68	267,40	53,59	40,61	211,58	
P6S1	7,71	4,1	6774,00	<LD	1969,43	<LD	10,29	<LD	<LD	12,96	1715,58	156,37	204,18	625,86	
P6S2	7,88	3,7	6066,00	<LD	1702,77	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1343,37	127,89	185,72	626,34	
P6S3	7,54	3,4	5962,50	<LD	1266,76	<LD	<LD	<LD	<LD	10,45	1507,29	137,13	170,39	738,07	
P6S4	7,94	4,0	6187,00	<LD	1807,42	<LD	16,15	<LD	<LD	<LD	1681,64	153,83	184,35	765,32	
P7S1	8,59	1,7	2861,33	<LD	731,44	<LD	<LD	<LD	<LD	3,20	667,95	24,46	92,77	357,40	
P7S2	8,45	1,7	2887,50	<LD	759,69	<LD	3,92	7,69	<LD	<LD	631,40	38,21	76,92	360,70	
P7S3	8,17	1,4	2538,50	<LD	157,10	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	234,03	14,25	40,79	260,99	
P7S4	8,58	1,4	2261,00	<LD	650,74	<LD	6,27	<LD	<LD	<LD	610,08	46,62	72,77	646,30	

*Sal = Salinidade. **CE = Condutividade Elétrica. ***<LD = Valor inferior ao limite de detecção do equipamento. Os limites de detecção são: F⁻ = 0,0089 mg/L, NO₂⁻ = 0,0193 mg/L, Br⁻ = 0,0291 mg/L, NO₃⁻ = 0,0228 mg/L, PO₄³⁻ = 0,0479 mg/L e SO₄²⁻ = 0,0169 mg/L.

Fonte: Autoria própria (2024).

Os menores valores de condutividade elétrica foram no ponto P3, variando entre 384,95 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na quarta saída e 665,83 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na primeira saída. Os pontos P5, P6 e P7 registraram condutividade elétrica acima de 1000,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em todas as amostras coletadas. O ponto P6 apresentou os valores mais elevados de condutividade elétrica, entre 5962,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na terceira saída e 6774,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na primeira saída.

Os pontos P5 e P6 estão localizados mais próximo à Grussáí e tais valores elevados estão de acordo com o estudo de Cerqueira *et al.*, (2014), onde os maiores registros de condutividade elétrica foram em Grussáí devido à influência das lagoas de Grussáí e Iquipari. No total de 28 amostras coletadas, cerca de 60% apresentaram condutividade elétrica acima de 1000,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enquanto Cerqueira *et al.*, (2014) encontraram apenas 4 amostras acima de 1000,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ num total de 44 poços amostrados.

A condutividade média das amostras coletadas nos períodos secos foi mais alta em relação aos períodos chuvosos. Exceto para os pontos P4 e P5 onde os valores médios de condutividade nos períodos secos foram ligeiramente menores que nos períodos chuvosos. No estudo realizado por Nunes *et al.*, (2019), houve um aumento da condutividade e salinidade por ocasião de menor vazão próximo à foz do rio Paraíba do Sul.

Não há um padrão estabelecido na resolução CONAMA 357/2005 para a condutividade elétrica. No entanto, alguns autores sugerem valores médios para uma boa qualidade e adequada para o consumo humano. Von Sperling (2007) considera concentração de até 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto outros autores recomendam valores inferiores a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (LOGAN, 1965; MENDES & OLIVEIRA, 2004).

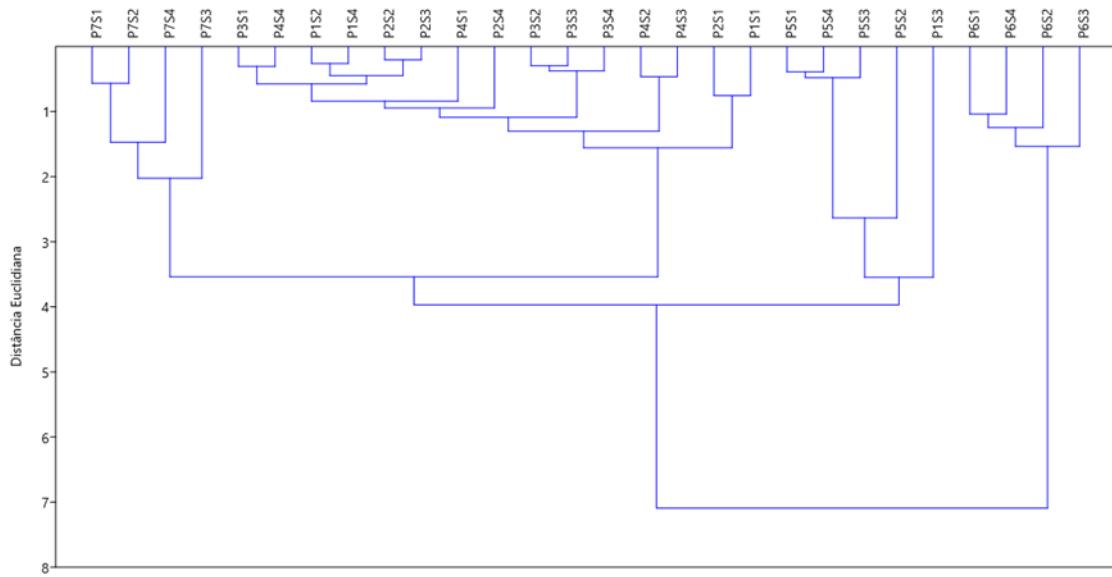
O pH das amostras se mantiveram entre 6,0 e 9,0, conforme preconiza a Resolução CONAMA 357/05 para águas doces classes I, II, III e IV e entre 6,5 e 8,5 para águas salobras classe I. Com exceção do P7 o qual o pH se enquadrou na classe II e III, entre 5,0 e 9,0. O P7 foi o ponto onde as amostras tiveram os maiores valores de pH (8,17 a 8,59) em todas as coletas (BRASIL, 2005). O pH deste estudo está em conformidade com a faixa de pH do aquífero livre de São João da Barra, RJ caracterizado por Cerqueira *et al.*, (2014). No trabalho realizado por Nunes *et al.*, (2019), o pH no rio Paraíba do Sul se manteve alcalino em todas as campanhas amostrais.

Dentre os íons, o cloreto foi o principal íon presente em mais alta concentração na maioria das amostras. Em estudos realizados no rio Paraíba do Sul, Nunes *et al.*, (2022), encontrou o cloreto em maior concentração apenas em amostras coletadas próximo à foz do rio, enquanto no trabalho de Ovalle *et al.*, (2013) sobre tendências hidroquímicas do rio Paraíba do Sul entre 1997 e 2007 o cloreto teve pouca representatividade.

De acordo com a análise de agrupamento hierárquico (HCA), o resultado indica a formação de quatro blocos agrupados por similaridade entre as amostras (figura 6). Um grande bloco formado pelos pontos P1, P2, P3 e P4, e outros três blocos formados pelas amostras dos pontos P5, P6 e P7. Com exceção apenas do P1S3 que se assemelhou com as amostras do P5 devido aos parâmetros com valores mais elevados, principalmente condutividade elétrica e salinidade.

No dia desta coleta, foi registrada a menor vazão do rio Paraíba do Sul, 272 m³/s, e como o P1 é o ponto mais próximo ao rio, sofreu maior influência da intrusão salina. As amostras do P3 e P4, apesar de não terem comunicação com o rio Paraíba do Sul, possuem características semelhantes aos pontos P1 e P2 os quais se comunicam com rio pelo canal da Chatuba, conforme análise da HCA. O P6 apresentou a maior distância euclidiana em relação aos outros pontos. Essa diferença ocorreu devido às características de águas salobras como condutividade elétrica, e os íons cloreto e sódio.

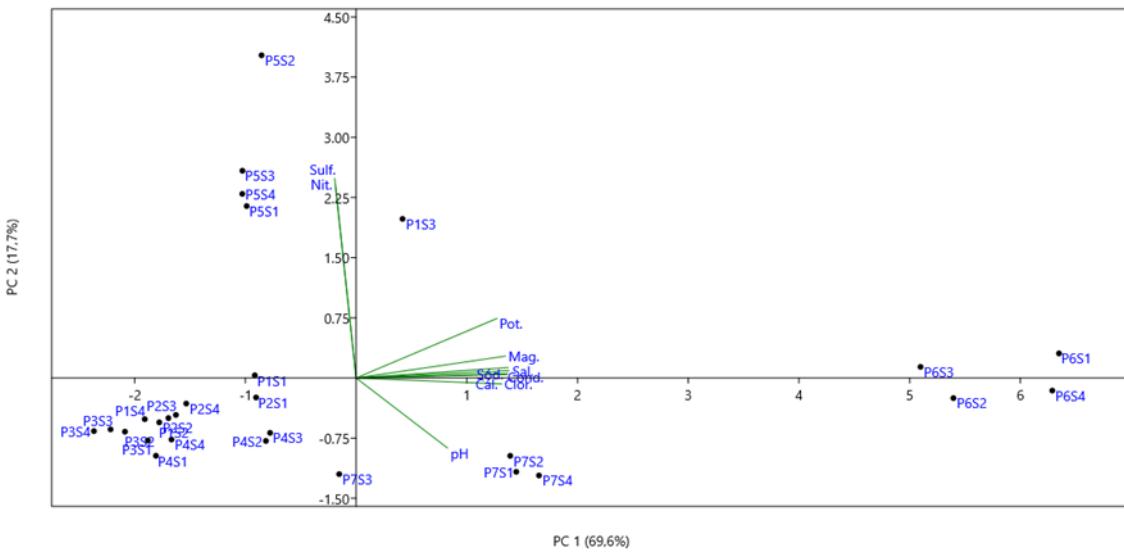
Figura 6 – Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (HCA) para todas as amostras coletadas.



Fonte: Autoria própria (2024).

Para realizar a análise de componentes principais (PCA), foram excluídos os ânions F⁻, NO²⁻, Br⁻ e PO₄³⁻ pois estavam presentes em poucas amostras. As duas componentes principais PC 1 e PC 2 explicam 87,3% da variação total dos parâmetros, sendo 69,9% do componente principal 1 e 17,7% do componente principal 2 (figura 7). Os pontos P5, P6, P7 se apresentam como isolados grupos e separados dos pontos P1 ao P4 os quais formam um único bloco e o P1S3 destacado devido às diferenças descritas anteriormente.

Figura 7 – Análise das duas primeiras componentes principais. Onde: Sal = salinidade, Cond = condutividade elétrica, Clor = cloreto, Nit = nitrato, Sulf = sulfato, Sód = sódio, Pot = potássio, Mag = magnésio, Cál = cálcio.



Fonte: Autoria própria (2024).

O componente principal 1 tem o potássio, magnésio, sódio, cálcio, cloreto, condutividade elétrica e salinidade como principais contribuintes positivamente para a variação nos dados, enquanto o componente principal 2 possui o sulfato e o nitrato como principais contribuintes positivos e pH como principal contribuinte negativo. O nitrato e o sulfato possuem maior concentração no ponto P5, amostra de poço. O nitrato pode estar relacionado a utilização defensivos agrícolas (QUAGGIO *et al.*, 2018). Já o sulfato, pode estar relacionado além de defensivos agrícolas, à intrusão salina (DE SOUZA *et al.*, 2022). No entanto, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008), os valores se encontram dentro do valor máximo permitido para águas subterrâneas.

4 Considerações finais

O agrupamento das amostras de acordo com os pontos de coleta revela que a sazonalidade não interferiu nos resultados das concentrações. Mas foi possível determinar um padrão de similaridade entre os pontos P1 a P4 influenciados pela água do rio e outro no P6 com características de água salobra. As amostras do P5, coletadas de poço freático, apresentaram maiores concentrações de nitrato e sulfato. Para confirmar relação com uso de produtos agroquímicos são necessárias novas pesquisas.

Conclui-se que a região do município de São João da Barra está sofrendo com aumento da salinidade não só na região do delta do rio Paraíba do Sul. No entanto, novos estudos serão necessários para investigar de que maneira este processo vem ocorrendo na linha de costa.

Referências

ANDRADE, E. M. D.; AQUINO, D. D. N.; LUNA, N. R. D. S.; LOPES, F. B.; CRISÓSTOMO, L. D. A. (2016). **Dinâmica do nível freático e da salinização das águas subterrâneas em áreas irrigadas.** Revista Ceres63(5), pp.621-630.

BIDEGAIN, P.; BIZZERIL, C.; SOFFIATI NETO, A. A. (2002). **Lagoas do Norte Fluminense: perfil ambiental.** 1 ed. Rio de Janeiro: SEMADS, 148p.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. (2005). **CONAMA, Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. (2008). **CONAMA, Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

BRITO, L. T. L.; BRAGA, M. B.; NASCIMENTO, T. (2010). **Impactos ambientais da irrigação no Semiárido brasileiro.** In: BRITO, L. T. L. MELO, R. F. GONGO, V. (Ed.). **Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro.** Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 137-169.

BURLA, R. D. S.; OLIVEIRA, V. D. P. S. D.; MANHÃES, C. M. C.; FRANCELINO, F. M. A.; SANTOS, J. C. O. R.; COLUCCI, M. C.; FONTES, S. C. (2015). **Caracterização dos aspectos socioeconômicos e do processo produtivo agrícola dos produtores rurais da microbacia do Rio Doce, São João da Barra, RJ.** Vértices, 17(1), 149-162.

CARNEIRO, P. R. F. (2004). **Água e conflito na Baixada dos Goytacazes.** REGA, v. 1, n. 2, p. 87-100.

CARVALHO, P. R. S.; MOTTA, M. B.; FILHO, W. A.; RIBEIRO, C. B. M. (2023). **Análise de tendência em séries históricas de vazões na bacia do rio Paraíba do Sul.** In Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos da bacia do Rio Paraíba do Sul, Campos dos Goytacazes-RJ, 2023.

CERQUEIRA, F. C. de; ALVES, M. Da G.; CHRISPIM, Z. M. P.; ALMEIDA, F. F. De; CORREIA, L. C.; SILVA JUNIOR, G. C. Da. (2014). **Análise preliminar da qualidade das águas do aquífero livre no município de São João da Barra, RJ.** In Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte-MG, 2014.

CLIMA-DATA (2023). **Dados climáticos para cidades.** Disponível em:<<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/sao-joao-da-barra-33684/>>. Acesso em: 21 dez. 2023.

COTTA, A. J. B.; DE JESUS, H. C. (2021). **Impactos, extensão e proposta de mitigação da intrusão salina no Rio São Mateus.** Pesquisas em Geociências 48(4), pp. 1-23.

DE SOUSA, C. J. DA S.; BORGES, W. R.; PINHEIRO, K. S. F. (2022). **Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras-Itapecuru na ilha do Maranhão, no litoral norte do Brasil.** Geociências, 41(2), p. 437-450.

DIA, O (2023a). **Forte estiagem reforça defesa de mudança da classificação do clima na região.** O Dia, Disponível em: <<https://odia.ig.com.br/campos/2023/12/6756801-forte-estiagem-reforca-defesa-de-mudanca-da-classificacao-do-clima-na-regiao.html>>. Acesso em: 21 dez. 2023.

DIA, O (2023b). **Segundo Maior produtor de abacaxi do estado resume potencial agrícola.** O Dia, Disponível em: <<https://odia.ig.com.br/sao-joao-da-barra/2023/09/6702043-segundo-maior-produtor-de-abacaxi-do-estado-resume-potencial-agricola.html>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; NETO, O. N. S.; QUEIROZ, I. S. R. (2016). **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade.** In Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Org. por GHEYI, H. R.; DIAS, N. D. S.; LACERDA, C. F. D.; GOMES FILHO, E. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, Fortaleza – CE, pp. 151-162.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Orgs.). (2008). **Hidrogeologia – conceitos e aplicações.** 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM. 812p.

FILHO, A. de C. *et al.* Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 197 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 32).

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. (2013). **Manual Prático de Análise de Água.** 4^a edição. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 153p.

LAGO, A.; NOBRE, L.; SANTOS, R. (2023). **Banho com água salgada e casas destruídas pela erosão são rotina para moradores do Bailique.** Planeta. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/planeta/noticias/banho-com-agua-salgada-e-casasdestruidas-pela-erosao-sao-rotina-para-moradores-do-bailique,d5aaa67d27a26217e9d151cb1dccddb43nw9e8j0.html>>. Acesso em: 27 dez. 2023.

LEITE, T. C. (2016). **Hidroquímica do Baixo Paraíba do Sul antes e após o aporte de seus principais afluentes: Rio Pomba e Rio Dois Rios.** Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, p. 106. 2016.

LEITE, A. F. (2013). **Comportamento espaço-temporal das chuvas do Norte Fluminense (RJ).** In LEITE, A. F.; GOMES, M. A. S. (org.). Dinâmica ambiental e produção do espaço urbano e regional no Norte Fluminense. 1. ed. Campos dos Goytacazes: Essentia, p. 11-34.

LOGAN, J. (1965). **Interpretação de Análises Químicas da Água.** US. Agency for International Development. Recife. 66p

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C. A. B. (2012). **Salinity dynamics as a tool for water resources management in coastal zones: An application in the Tramandaí River basin, southern Brazil.** Ocean & Coastal Management 55, pp. 52-62.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. (2005). **Tendências hidrológicas da bacia do Rio Paraíba do Sul.** Revista Brasileira de Meteorologia 20(2), pp. 215-226.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J. F. S. (2004). **Qualidade da água para consumo humano.** Lisboa-Porto Coimbra: Lidel, 2004.

MOITA NETO, J. M. (2004). **Estatística Multivariada – Uma visão didática-metodológica.** Revista Crítica. ISSN 1749-8457. Disponível em: <http://143.54.226.61/~viali/cursos/ceea/multi/textos/Moita_Neto.pdf>. Acesso em: 10 jan 2024.

NUNES, C. R. O.; PRÉ, H. L. S.; MENEZES, G. L.; OLIVEIRA, V. P. S.; ARAÚJO, T. M. R. (2019). **Interferência da vazão na concentração de íons próximo à foz do rio Paraíba do Sul.** In Anais do XXIII

SBRH – Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu-PR, nov. 2011. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=5535>>. Acesso em: 12 jan 2024.

NUNES, C. R. O.; PRÉ, H. L. S.; SILVA, K. C.; NETO, P. B.; OLIVEIRA, V. P. S.; ARAÚJO, T. M. R. (2022). **Ionic characterization and salinity evaluation in the Paraíba do Sul River estuary, southeast, Brazil, between 2018 and 2019.** *Regional Studies in Marine Science*, 55, pp. 102507.

OLIVEIRA, E. C. (2015). **Mudanças na Sedimentação do Delta do Rio Paraíba do Sul nos Últimos 40 anos: Resultados do Manejo Excessivo.** In *Homem e as Zonas Costeiras Tomo IV da Rede BrasPor*. Org. por Pereira, S. D. Rodrigues, M. A. Bergamaschi, S. Freitas, J. G. Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), Rio de Janeiro – RJ, pp. 17-178.

OVALLE, A. R. C.; SILVA, C. F.; REZENDE, C. E.; GATTS, C. E. N.; SUZUKI, M. S.; FIGUEIRDO, R. O. (2013). **Long-term trends in hydrochemistry in the Paraíba do Sul River, southeastern Brazil.** *Journal of Hydrology* 481, pp. 191-203.

PACHECO, N. (2021). **Mar avança no rio Amazonas e ribeirinhos de arquipélago ficam sem água potável: ‘Não presta nem para beber’.** G1 Amapá. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2021/10/12/mar-avanca-no-rio-amazonas-e-ribeirinhos-de-arquipelago-ficam-sem-agua-potavel-nao-presta-nem-para-beber.ghtml>>. Acesso em: 29 jul. 2022.

PAES, R. S.; ZAPPES, C. A. (2016). **Agricultura familiar no norte do estado do Rio de Janeiro: identificação de manejo tradicional.** Sociedade & Natureza, v. 28, p. 385-395.

PRÉ, H. L. S.; SOARES, I. M. M.; NUNES, C. R. O.; ARAÚJO, T. M. R. (2019). **Determinação da concentração de íons próximo à foz do rio Paraíba do Sul em diferentes períodos.** In *Anais do XI Congresso Fluminense de Iniciação Científica e Tecnológica*, Campos dos Goytacazes-RJ, Jun 2019.

QUAGGIO, C. S.; GASTMANS, D.; KIRCHHEIM, R.; BATISTA, L. V. (2018). **Variações na composição das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral em território brasileiro e sua relação com anomalias hidrogeoquímicas.** Águas Subterrâneas, [S. l.], 32(3), p. 283–294. DOI: 10.14295/ras.v32i3.29085. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29085>>. Acesso em: 4 abr. 2024.

RAMALHO, M. F. de J. L. (2013). **A FRAGILIDADE AMBIENTAL DO NORDESTE BRASILEIRO: O clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens.** Sociedade e Território, [S. l.], 25(2), p. 104–115. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/3629>>. Acesso em: 27 dez. 2023.

RAMOS, A. S.; OLIVEIRA, V. P. S.; ARAÚJO, T. M. R. (2019). **Qualidade da água: Parâmetros e métodos mais utilizados para análise de água de recursos hídricos superficiais.** Holos Environment, 19(2), p. 205-219.

SILVA, K. C. S.; PRÉ, H. L. S.; NUNES, C. R. O.; CINTRA, L. S.; ARAÚJO, T. M. R. (2019). **Determinação da Salinidade e da Concentração de íons próximo à foz do Rio Paraíba do Sul em período de baixa vazão.** In *XVII Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química – Regional Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, Dez, 2019.

SNIRH, HIDROWEB v.3.2.7 (2023). Portal do SNIRH – **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).** Disponível em: <snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 15 dez. 2023.

SOFFIATI, A. A. (2013). **As Lagoas do Norte Fluminense: uma contribuição à história de uma luta.** Campos dos Goytacazes, RJ: Editora Essentia, 203 p.

TUNDISI, J. G. (2006). **Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos.** Revista USP, São Paulo, n. 70, p. 24-35.

VILLAR, P. C.; HIRATA, R.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; CARVALHO, A. M. DE. (2022). **Governança das águas subterrâneas: desfios e caminhos.** Brasília: ANA. Disponível em: <https://bibliotecaана.gov.br/sophia_web/Busca/Download?codigoArquivo=155026>. Acesso em: 10 maio 2024.

VISSCHERS, L. B.; SANTOS, C. D.; FRANCO, A. M. A. (2022). **Accelerated migration of mangroves indicate large-scales altwater intrusion.** In Amazon coastal wetlands. Science of the Total Environment 836, pp. 155679.

VON SPERLING, M. (2007). **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte, MG: DESA/UFMG, 452p.