

Análise Geoespacial da Qualidade da Água Subterrânea da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no Semiárido Sergipano

Felipe Lucena Silva de Oliveira¹; Paulo Sérgio de Rezende Nascimento¹

✉ lucenafelipe54@gmail.com

1. Universidade Federal de Sergipe.

Histórico do Artigo: O autor detém os direitos autorais deste artigo.

Recebido em: 26 de março de 2026

Aceito em: 27 de maio de 2026

Publicado em: 31 de agosto de 2026

Resumo: A disponibilidade da água subterrânea para o seu uso múltiplo e a análise hidrogeológica dependem dos indicadores físico-químicos. Esta análise é facilitada quando se emprega procedimentos de geoprocessamento para espacializar e avaliar a geoquímica da água subterrânea. Desta forma, o presente trabalho avaliou a restrição da qualidade da água subterrânea para fins de dessedentação animal do semiárido sergipano, na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco. As principais etapas dos procedimentos metodológicos foram a espacialização por geoestatística das variáveis cloreto, ferro, sódio, sólidos totais e sulfato, e a elaboração de restrições da qualidade da água, de acordo os valores máximos permitidos (VMP) da Resolução CONAMA 396/08. Conclui-se que a água subterrânea da área de estudo não está adequada para a dessedentação animal, evidenciada pelo mapa de restrição da qualidade da água, havendo a necessidade de tratamento prévio dos poços tubulares profundos analisados, por meio de dessalinizadores de osmose reversa.

Palavras-chave: Aquífero fissural, Geoprocessamento, Dessedentação animal.

Geospatial Analysis of Groundwater Quality in the São Francisco River Basin in the Semi-Arid Sergipano

Abstract: Groundwater availability for multiple uses and hydrogeological analysis depends on physical and chemical indicators. This analysis is facilitated when geoprocessing procedures are used to spatially identify and evaluate groundwater geochemistry. Therefore, this study evaluated groundwater quality restrictions for animal watering in the semiarid region of Sergipe, in the São Francisco River Basin. The main steps of the methodological procedures were the spatialization of chloride, iron, sodium, total solids, and sulfate variables using geostatistics, and the development of water quality restrictions according to the maximum permitted values (MPV) of CONAMA Resolution 396/08. It was possible to conclude that the groundwater in the study area is not suitable for animal watering, as evidenced by the water quality restriction map, requiring prior treatment of the deep tubular wells analyzed, by means of reverse osmosis desalination.

Keywords: Fissural aquifer, Geoprocessing, Animal watering.

Análisis Geoespacial de la Calidad de las Aguas Subterráneas en la Cuenca del Río São Francisco en el Semiárido Sergipano

Resumen: La disponibilidad de agua subterránea para usos múltiples y el análisis hidrogeológico dependen de indicadores físicos y químicos. Este análisis se facilita cuando se utilizan procedimientos de geoprocésamiento para identificar y evaluar espacialmente la geoquímica del agua subterránea. Por lo tanto, este estudio evaluó las restricciones de calidad del agua subterránea para el abrevadero en la región semiárida de Sergipe, en la cuenca del río São Francisco. Los principales pasos de los procedimientos metodológicos fueron la espacialización de las variables de cloruro, hierro, sodio, sólidos totales y sulfato mediante geoestadística, y el desarrollo de restricciones de calidad del agua de acuerdo con los valores máximos permitidos (VMP) de la Resolución CONAMA 396/08. La conclusión es que el agua subterránea en el área de estudio no es adecuada para el abrevadero, como lo evidencia el mapa de restricciones de calidad del agua. Por lo tanto, los pozos tubulares profundos analizados requieren tratamiento previo con plantas de desalinización por ósmosis inversa.

Palabras clave: Acuífero fisural, Geoprocésamiento, Abrevadero.

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (BRASIL, 1997) define a água como recurso natural limitado, dotado de valor econômico. A água agrega valor econômico, pois é um dos insumos mais necessários à produção de energia, industrial e agropecuária no Brasil (PEDROSA, 2021; AMPOLINI *et al.*, 2024). De acordo com a PNRH, os usos para o abastecimento humano e dessedentação animal deverão ser considerados prioritários em casos de escassez. A produção animal, em seus diversos segmentos e modalidades, a exemplo da pecuária, com a modalidade de pecuária de corte, de leite e de lã, possui uma relação direta com os recursos hídricos superficiais e subterrâneos (PALHARES, 2019; CARRA *et al.*, 2023; PALHARES *et al.*, 2024).

Esta relação de interdependência, segundo Oliveira (2010), pode ser abordada sob variados aspectos, como a suinocultura, a equinocultura e a carcinicultura. Todos esses aspectos giram em torno da situação qualitativa e quantitativa da água, antes e após a sua utilização nas atividades inerentes a este setor, como o manuseio, a dessedentação, e a extração de matéria-prima (LENZ; NEVES, 2023; SOUZA *et al.*, 2025). De acordo com Pereira *et al.* (2009), para se ter uma produção animal mais rentável e sadia, os aspectos quali-quantitativos da água são tão importantes quanto às instalações e manejo.

A qualidade da água subterrânea está relacionada aos processos naturais de infiltração, percolação e acumulação e por atividades antrópicas desenvolvidas na superfície e subsuperfície terrestre. A mineralização das águas subterrâneas é caracterizada por Feitosa *et al.* (2008); Gomes e Nascimento (2021); Souza *et al.* (2022) como o produto das interações entre fatores endógenos (sistemas de fluxo, tipo e estrutura litológicas, processos geoquímicos e microbiológicos em subsuperfície) e exógenos (aspectos climáticos e geofisiográficos). Neste sentido, as diversidades pluviométricas e geológicas brasileiras vão influenciar diretamente nos aspectos quali-quantitativos dos recursos hídricos superficiais e/ou subsuperficiais.

Embora o semiárido sergipano apresente baixos volumes anuais de escoamento superficial em razão da irregularidade das precipitações e das elevadas taxas de evapotranspiração, o coeficiente de escoamento representa a relação entre o volume escoado e a precipitação incidente, sendo condicionado pelas características dos solos, da cobertura vegetal e do relevo (FIGUEIREDO *et al.*, 2016). Como consequência da sazonalidade climática, predominam cursos d'água de regime intermitente ou temporário, com fluxo concentrado no período chuvoso e interrupção durante a estação seca. Nesse contexto, as águas subterrâneas assumem papel estratégico para o suprimento das demandas hídricas no Semiárido, incluindo

abastecimento humano, dessedentação animal e atividades agropecuárias (LOPES *et al.*, 2020; AMARAL *et al.*, 2021).

O meio em que o fluxo hídrico infiltra, percola e armazena depende das condições geológicas, podendo contribuir, limitar ou inviabilizar a exploração de águas subterrâneas (REBOUÇAS, 2008). As províncias hidrogeológicas no semiárido do estado de Sergipe são constituídas principalmente por aquíferos fissurais (ESTADO DE SERGIPE, 2014). De acordo com Nascimento e Silva (2019), o fluxo da água subterrânea nos aquíferos fissurais depende das propriedades intrínsecas das rochas cristalinas (magnéticas e metamórficas) formadoras deste tipo de aquífero. Destacam-se as porosidade e permeabilidade secundárias originadas por esforços tectônicos distensivos (MADRUCCI *et al.*, 2003). De acordo com Singhal e Gupta (1999), nos aquíferos fissurais, o fluxo da água é restrito às descontinuidades das rochas cristalinas (falhas e fraturas), as quais são decorrentes de esforços tectônicos e/ou neotectônicos e/ou por alívio de pressão (AZEVEDO; ALBUQUERQUE FILHO, 2013; NASCIMENTO *et al.*, 2017).

Estes reservatórios de água subterrânea do semiárido sergipano são inadequados ao fluxo da água subterrânea (REBOUÇAS, 2008; REBOUÇAS, 2019). A estimativa das reservas de águas subterrâneas na região semiárida sergipana (cerca de 51% do Estado) foi de apenas 4,74 m³/s (12,30%) da reserva estadual estimada em 38,77 m³/s (JICA, 2000). Apesar dessa informação não ser recente, as condições climáticas (baixa precipitação e alta temperatura) e geológicas supracitadas condicionam uma reserva hídrica subterrânea muito baixa.

As políticas públicas, quando adotadas para minimizar o problema, são principalmente a construção de açudes, a perfuração de poços artesianos e a construção de cisternas rurais. Fato preocupante é a captação de água subterrânea de forma inadequada nas rochas cristalinas (BOMFIM *et al.*, 2002; AMARAL *et al.*, 2021), pois são péssimos reservatórios de água, e as principais fontes de disponibilidade de água e a delimitação do potencial dessas fontes é um problema perene. Nesse cenário, existe uma enorme quantidade de poços tubulares, perfurados como medidas emergenciais pelos governos Federal e Estadual desde o início do século passado, que se encontram desativados e abandonados, denotando o desperdício de recursos financeiros públicos (BRITO *et al.*, 2012).

No entanto, segundo Cruz *et al.* (2010), esse quadro pode ser modificado com estudos hidrogeológicos específicos e regionais, visando também minimizar os custos e otimizar as decisões de investimentos agrícolas no Estado. Consequentemente, nas atividades pecuárias, principalmente nas regiões semiáridas, as alternativas para minimizar o problema da escassez de água sempre estiveram em pauta por parte dos gestores públicos (ZANELLA, 2014; LINHARES

et al., 2021). Contudo, a falta de água ainda é uma realidade no semiárido sergipano da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, denotando que as soluções efetuadas não resolveram definitivamente o problema (NASCIMENTO; NASCIMENTO FILHO, 2022).

Além da escassez hídrica, as concentrações elevadas de sais dissolvidos nas águas subterrâneas do semiárido geram problemas de salinização e, nos casos mais severos, geram distúrbios nutricionais (SILVA *et al.*, 2024). Desta forma, o objetivo deste presente trabalho foi confeccionar um mapa de restrição da qualidade da água subterrânea para fins de dessedentação animal do semiárido na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, no Estado de Sergipe, por meio da geoespacialização das variáveis químicas obtidas por poços tubulares profundos.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo (Figura 1) é a região semiárida da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, no Estado de Sergipe, delimitada pelos paralelos 9°29'41" e 10°12'59" de latitude Sul e meridianos 36°49'58" e 37°59'57" de longitude Oeste. A área de estudo abrange 15 municípios do território sergipano, e seu acesso a partir da capital Aracaju ocorre pela Rodovia Federal BR-101. A Bacia Hidrográfica do rio São Francisco representa no semiárido sergipano uma área de 5.710,68 km². O maior índice de ocupação do solo na área de estudo corresponde às pastagens para a criação extensiva de gado, seguida do cultivo de grãos e leguminosas (MASCARENHAS, 2008). Além disso, na área de estudo também se destaca a produção leiteira (CARVALHO FILHO *et al.*, 2000).

Análise Geoespacial da Qualidade da Água Subterrânea da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no Semiárido Sergipano

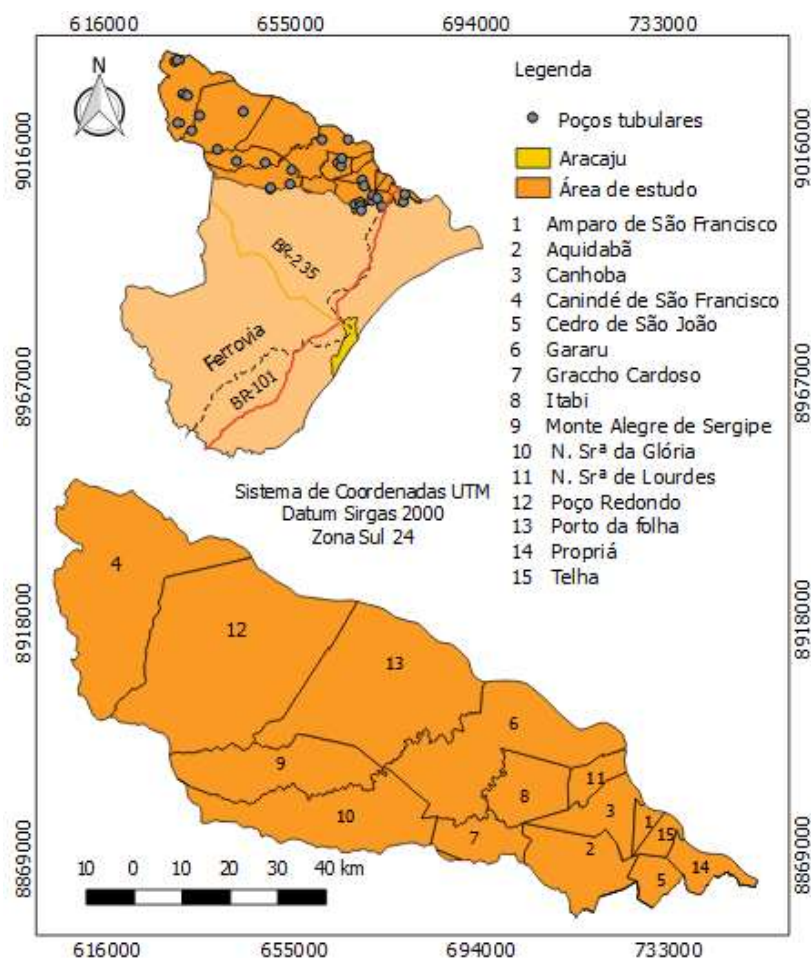


Figura 1. Mapa de localização e acesso à Bacia Hidrográfica do rio São Francisco no Semiárido Sergipano.

Fonte: Os autores.

A pluviometria e a evapotranspiração médias anual do semiárido são de 700 mm e 1.500 mm, respectivamente, com temperatura atingindo até 36°C (ESTADO DE SERGIPE, 2014). A unidade geomorfológica é composta pelo Pediplano Sertanejo desenvolvido em rochas metamórficas e magmáticas proterozoicas da Faixa de Dobramentos Sergipana, cujas rochas cristalinas proterozoicas formaram aquíferos fraturados ou fissurais (GOVERNO DE SERGIPE, 2010). Os tipos de solos são variados e sobrepostos pelo bioma da Caatinga, os quais se encontram, praticamente, convertidos em atividades agropecuárias (SERGIPE, 2013). Os argissolos, latossolos, planossolos, vertissolos e neossolos estão associados às variedades de rochas cristalinas do Pediplano Sertanejo sem nenhum tipo de cobertura vegetal ou compostos por pastagens e resquícios de vegetação típica da Caatinga (EMBRAPA, 2014).

Materiais utilizados

Nos dados do Projeto Cadastro da Infraestrutura Hídrica do Nordeste estão contabilizados pouco mais de 3.900 poços tubulares profundos, para todo o Nordeste. O Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) efetuou o cadastro e levantamento de todos os poços tubulares de Sergipe em 2002. Destes 3.900, 1.064 poços tubulares profundos estão localizados no território sergipano. A região semiárida sergipana apresentou cerca de 263 poços cadastrados, e a área de estudo obteve 32 poços tubulares profundos, os quais foram utilizados os dados vetoriais destes respectivos poços. Para a manipulação desses dados vetoriais foi utilizado o *software* QGIS (versão 3.14) da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) de Código Aberto segundo a Licença Pública Geral (GNU) (QGIS Development Core Team, 2020).

Procedimento metodológico

Após a aquisição dos dados qualitativos e quantitativos dos 32 poços tubulares profundos, estes foram importados para a plataforma unificada do programa de geoprocessamento QGIS, para a manipulação desses dados e extração de informações como tratamento estatístico e geoestatístico (krigagem ordinária e álgebra de mapa pelo método Booleano) para a espacialização.

A aplicação da krigagem ordinária teve como objetivo exclusivamente a espacialização contínua da variável, sem a realização de inferências geoestatísticas sobre a estrutura espacial dos dados. Essa opção decorreu do número reduzido de amostras ($n = 32$) e da distribuição espacial heterogênea dos pontos, condições que podem limitar a robustez da modelagem geoestatística e aumentar a incerteza das estimativas (LAWRENCE *et al.*, 2020; FUHG *et al.*, 2021). Assim, os resultados foram interpretados apenas sob a perspectiva cartográfica da interpolação espacial, não sendo utilizados para inferências relacionadas à dependência espacial, anisotropia ou desempenho preditivo do modelo, aspectos que requerem avaliação específica por meio da modelagem do semivariograma e da validação cruzada (YILDIRIM *et al.*, 2026).

Estabeleceu-se como padrão o Sistema de Coordenadas Geográficas UTM, para a uniformização do Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) de todos os dados utilizados. Em seguida, foi realizada a análise da distribuição espacial das variáveis físico-químicas da água subterrânea, com a seguinte análise da aptidão de utilização da água para dessedentação animal, de acordo a Resolução CONAMA 396/08.

Com a interpolação dos dados espaciais obteve-se a espacialização dos dados. Após esse procedimento, os mapas da distribuição espacial das variáveis físico-químicas foram comparados com os valores máximos permitidos (VMPs) da Resolução CONAMA 396/08, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, e dá outras providências.

Quando uma variável em análise não possui enquadramento, deve-se levar em consideração a classe anterior. Neste caso, na resolução CONAMA 396/08, não foram encontrados enquadramento para a dessedentação animal para as variáveis: cloreto, ferro, sódio, sulfato e sólidos totais. Dessa forma, as quatro variáveis foram analisadas quanto a dessedentação animal com os VMP da classe 2, de consumo humano, pois é mais restritiva, enquanto a variável sulfato foi analisada quanto a classe 3 (Tabela 1).

Tabela 1. VMP das variáveis para a dessedentação animal

Variável	Unidade	VMP	Referência
Cloreto	mg/L	250,0	CONAMA 396/08
Ferro	mg/L	0,3	CONAMA 396/08
Sódio	mg/L	200,0	CONAMA 396/08
Sólidos Totais	mg/L	1.000,0	CONAMA 396/08
Sulfato	mg/L	1.000,0	CONAMA 396/08

Fonte: Os autores.

Após as análises dos mapas de classificação, em comparação com os VMPs da Resolução CONAMA 396/08, foi realizado o procedimento para determinar as classes, de cada variável, que estão fora do padrão de potabilidade quanto à dessedentação animal. Esse procedimento consistiu na intersecção automática entre as variáveis cloreto, ferro, sódio, sólidos totais e sulfato, realizado por álgebra de mapas pelo método Booleano.

Em seguida criou-se uma nova coluna alfanumérica denominada “potabilidade” na tabela de atributos para as variáveis. A partir da comparação do VMP das variáveis foi designado um valor qualitativo de “potável” e “não potável” para cada variável, gerando um arquivo vetorial com todas as variáveis que possuem VMP e resultando no Mapa de Restrição de Potabilidade. É importante ressaltar, que o procedimento foi adaptado dos conceitos preconizados por Nascimento (2004), a partir de conceitos básicos de sobreposição manual de planos de informação para gerar um novo plano de informação, pelo método Booleano de álgebra de mapa.

Para finalizar, foi realizada a análise de cada variável escolhida referente a aptidão da água subterrânea para dessedentação animal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cloreto

A concentração da variável cloreto aumenta de sudoeste para noroeste (Figura 2a). De acordo com Baron *et al.* (2020), a presença de cloreto no corpo hídrico pode ocorrer pelo lançamento de efluentes na superfície e pela concentração proveniente da lixiviação de minerais cloretados formadores de rochas. Destacam-se os minerais halita (NaCl), silvinita (KCl) e carnalita ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), os quais geralmente encontram-se associados em depósitos evaporíticos de ambientes sedimentares e metassedimentares.

Como o cloreto, em geral, é muito solúvel, e essa alta solubilidade aliada ao lento movimento das águas subterrâneas, provocam o aumento gradativo e constante dos teores de cloreto na direção do fluxo (FEITOSA *et al.*, 2008). No entanto, na área de estudo, os sistemas hidrogeológicos fissurais não possuem uma interconexão, o que explica a maior concentração a noroeste. Os diferentes sistemas hidrogeológicos fissurais são decorrentes da variabilidade litológica, a qual reagem de forma distinta ao esforço tectônico.

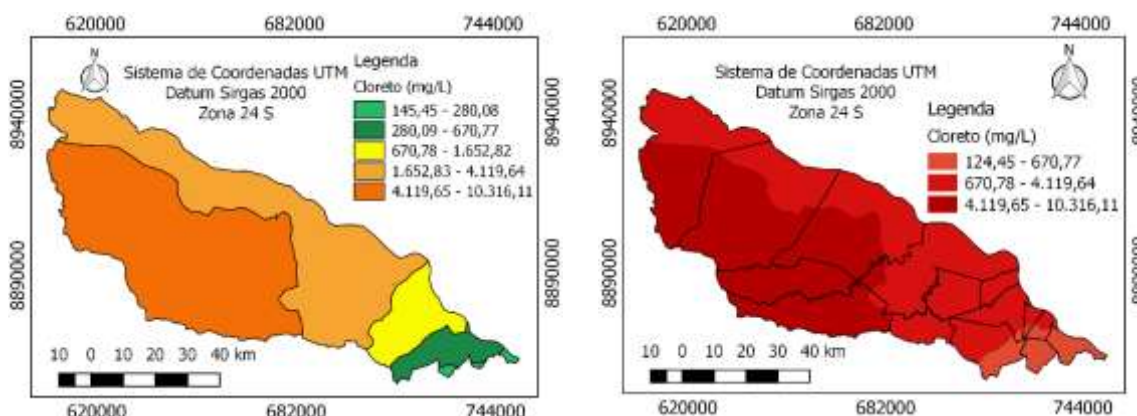


Figura 2: Espacialização da variável cloreto: (a) quanto a classificação e (b) quanto ao grau de restrição.

Fonte: Os autores.

Embora o cloro seja o elemento mais utilizado para desinfecção da água destinada aos seres humanos e animais devido ao seu poder bactericida (FURLAN *et al.*, 1999), os cloretos, além de proporcionar sabor salgado à água, são prejudiciais à avicultura, diminuindo a produção de ovos (DAMRON; FLUNKER, 1993). Por outro lado, Silva (1990) observou-se uma tendência ao

aumento do ganho de peso e de melhor conversão alimentar dos frangos de corte, com a suplementação de cloreto de amônio e bicarbonato de sódio.

Como é possível observar na figura 2b, a área de estudo é completamente restrita para esta variável, que tem como VMP 250 mg/L, de acordo com a Resolução CONAMA 396/08. Mesmo possuindo área totalmente restrita, o comportamento espacial da variável cloreto possui um aumento gradativo do leste em direção ao oeste. A área mais restrita apresenta classe de 4.119,65 - 10.316,1 mg/L, possuindo uma área de 2.815,60 km², e 11 poços tubulares profundos, especialmente no município de Monte Alegre de Sergipe.

Ferro

A maior concentração de ferro encontra-se na porção sudoeste da área (Figura 3a), e como é um metal abundante na crosta terrestre, tanto na forma ferrosa quanto férrica, sua presença nas águas subterrâneas é muito comum. Geralmente ocorrem associado ao manganês, conferindo à água sabor amargo adstringente, coloração amarelada e aspecto turvo quando presente em concentração superior a 0,3 mg/L (CURTIS *et al.*, 2001). Embora o ferro possa ter uma ação antianêmica para as aves, os altos níveis de ferro na água utilizada para a lavagem de ovos propiciam a penetração de *Pseudomonas* sp através da casca, aumentando a quantidade de ovos deteriorados (SOARES, 2010).

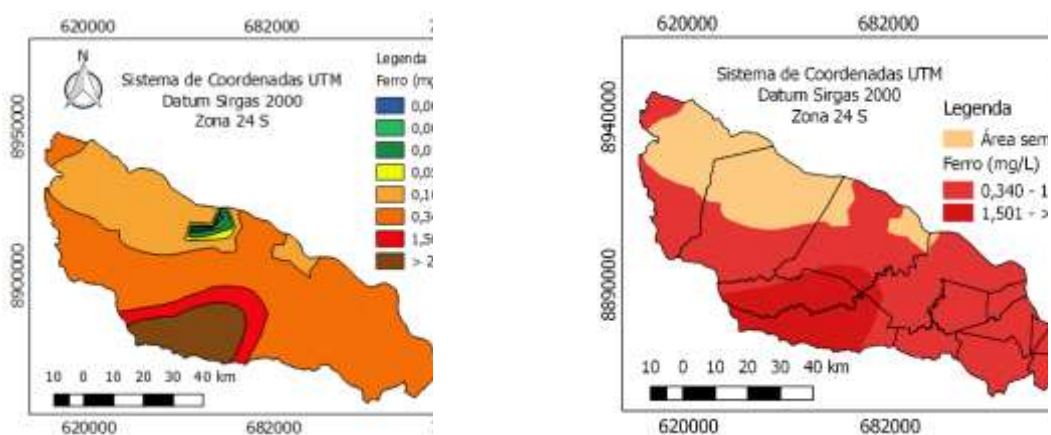


Figura 3: Espacialização da variável ferro: (a) quanto a classificação e (b) quanto ao grau de restrição.

Fonte: Os autores.

Nas águas subterrâneas, sua presença é constante devido ao intemperismo do ferro ferroso (RODRIGUES e ARAÚJO, 2019), estando presente em baixos teores (< 0,3 mg/L), ocorrendo sob diversas formas químicas (FEITOSA *et al.*, 2008). O ferro no estado ferroso é solúvel, e quando se

encontra em um meio oxidante, torna-se hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, causando uma mudança de cor na água. Nesse sentido, a água ao sair do poço é incolor, no entanto, ao entrar em contato com o oxigênio do ar se torna amarelada, adquirindo uma aparência desagradável. O ferro geralmente encontra-se na forma ferrosa ligado ao não à hidroxila e raramente como cátion férrico na forma de coloides. A elevada concentração de ferro pode reduzir o consumo de água pelos animais, comprometendo a ingestão de alimento e, consequentemente, o ganho de peso (RINELLA *et al.*, 2021).

A área de estudo possui áreas restritas para esta variável (Figura 3b), que tem como VMP 0,3 mg/L, de acordo com a Resolução CONAMA 396/08. Essas áreas estão concentradas no noroeste da área de estudo. Dessa forma, é possível distinguir a área de estudo em duas classes, quanto a variável ferro. A região que possui valores de ferro acima do VMP, possui área de 4.316,14 km², e 29 poços restritos para a dessedentação animal, sendo que os poços que obtiveram maior concentração estão presentes no município de Nossa Senhora da Glória, no sudoeste da área de estudo.

Sódio

Assim como o cloreto, o sódio é muito solúvel, no entanto, além do mineral halita, o sódio é encontrado nas principais classes mineralógicas, como os plagioclásios, anfibólios e piroxênios. A partir da distribuição da concentração de sódio na área de estudo (Figura 4a), foi possível dividi-la em duas principais classes. Em 19 poços tubulares profundos, o valor da concentração varia de 574,75 mg/L a 2.758,78 mg/L, em 4.496,08 km² localizados na maior parte central e oeste, no município de Monte Alegre de Sergipe. Em 13 poços, o valor da concentração de sódio foi entre 68,98 mg/L e 574,74 mg/L, em 1.213,88 km² e estão presentes em toda a área de estudo, porém principalmente no Sudeste, nos municípios de Canhoba e Nossa Senhora de Lourdes.

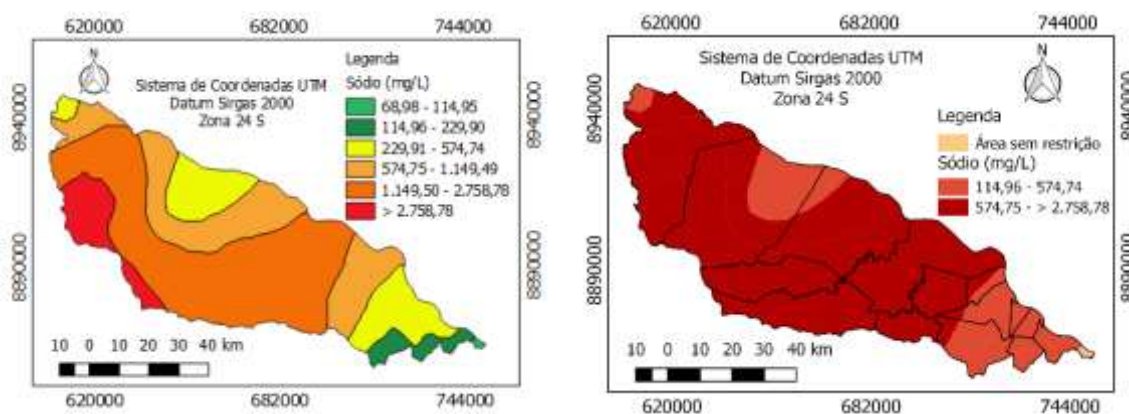


Figura 4: Espacialização da variável sódio: (a) quanto a classificação e (b) quanto ao grau de restrição.

Fonte: Os autores.

O sódio é o principal íon impermeável do compartimento extracelular, tendo relação íntima com a água corporal (GOMES, 2021). Segundo Murphy *et al* (1983), o consumo de sódio, a produção de leite, a temperatura ambiente e o consumo de matéria seca, são os principais fatores que determinam a quantidade de consumo de água durante as primeiras dezesseis semanas de lactação por vacas de leites. No entanto, o consumo de excessivo de sódio pode alterar o padrão de fermentação ruminal, redução da digestão, concentração ruminal de protozoários, selenomonas e população microbiana total (União Europeia, 2009). O VMP dessa variável, segundo a Resolução CONAMA 396/08, é de 200,0 mg/L. Dessa forma, foi elaborado o mapa de restrição para esta variável (Figura 4b), onde é possível observar que a única área sem restrição para essa variável se encontra no extremo leste do município de Propriá.

Sulfato

A classe mineralógica do grupo aniônico sulfato possui uma grande variedade de minerais divididos entre sulfatos anidros (grupo da barita) e sulfatos hidratados (grupo da gipsita), principalmente de origem evaporítica, hidrotermal e associada a rochas calcárias. As formas mais comuns e pouco tóxicas encontradas na água são sais de ferro, magnésio, sódio e cálcio, porém o sulfeto de hidrogênio que é menos comum, mas é a forma mais prejudicial, podendo causar até a morte (CARSON, 2000).

A concentração de sulfatos na área estudada é similar à distribuição do sódio (Figura 5a), porém não possui áreas restritas para a variável Sulfato (Figura 5b), que tem como VMP 1.000,0 mg/L, de acordo com a Resolução CONAMA 396/08. A área mais restrita apresenta classe de 153,71 mg/L a 360,22 mg/L, possuindo uma área de 1.961,98 km², com 12 poços tubulares profundos, especialmente no município de Nossa Senhora da Glória.

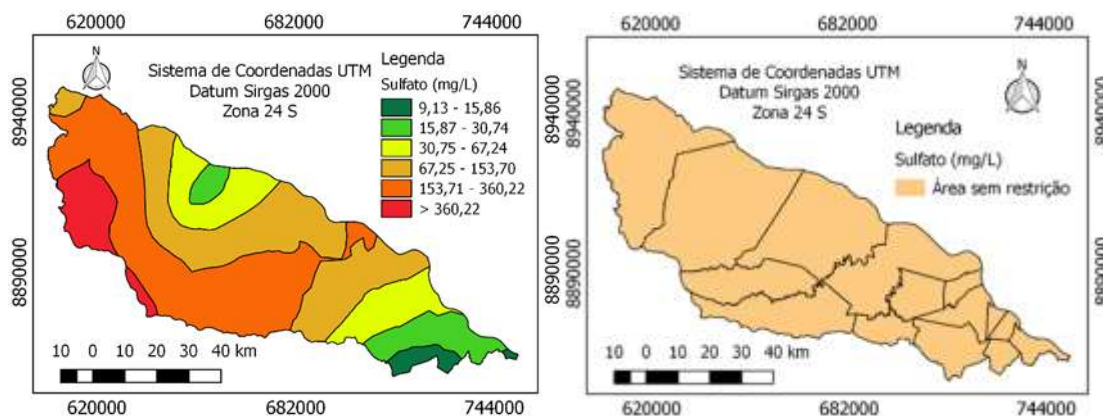


Figura 5: Espacialização da variável sulfato: (a) quanto a classificação e (b) quanto ao grau de restrição.

Fonte: Os autores.

As altas concentrações de sulfatos, especialmente o sulfato de sódio, produzem um efeito laxativo nos animais que consomem água com esse elemento (LINN, 2008). Segundo Carson (2000), além de reduzir o consumo de ração e provocar um efeito laxativo, valores de sulfato maiores que 500,0 mg/L podem afetar o desempenho e excreção de creatina, mais especificamente com valores de 1.000,0 a 3.590,0 mg/L. De acordo com Hare et al. (2026), elevadas concentrações de sulfato na água podem ser utilizadas sem comprometer o crescimento animal, porém podem reduzir as reservas corporais de cobre e selênio.

Sólidos Totais

Os sólidos totais representam a quantidade total de material sólido em uma suspensão ou solução, cujo diâmetro é inferior 10^{-3} μm e que permanecem em solução mesmo após a filtração, e são geralmente formados por magnésio, cálcio, potássio, sódio, cloreto, sulfato e nitrato, os quais surgem de forma natural (origem geogênica), ou pelo lançamento de efluentes e lixiviação de áreas agrícolas. Na área estudada, a distribuição espacial é similar à concentração de sulfeto, sódio e sulfato (Figura 6a).

As águas com elevados teores de sólidos dissolvidos totais (SDT) podem ser fornecidas aos animais sem prejuízo ao crescimento, embora possam favorecer alterações no estado nutricional de micronutrientes essenciais, especialmente quando associadas a altas concentrações de sulfato Hare et al., 2026).

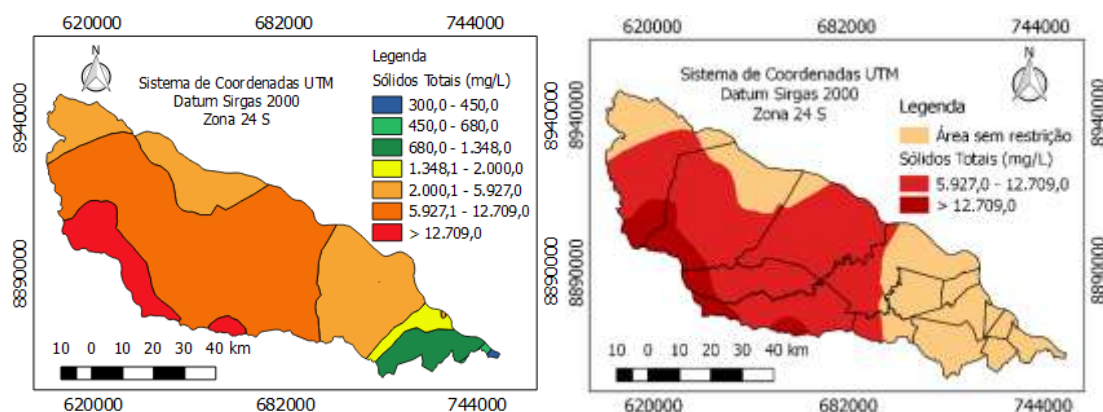


Figura 6: Espacialização da variável Sólidos Totais: (a) quanto a classificação e (b) quanto ao grau de restrição.

Fonte: Os autores.

De acordo com Ribeiro e Benedetti (2015) e Farias *et al.* (2015), à medida que os valores de sólidos totais aumentam, diminui a saúde animal, e consequentemente a produção avícola, em decorrência da diminuição do consumo de água. A área de estudo possui 21 poços classificados como impróprios para a dessedentação animal, em uma área de 5.167,12 km². Os municípios que apresentam menores concentrações são Propriá e Telha (Figura 6b).

As águas subterrâneas do semiárido nordestino são, geralmente, salinas, requerendo tratamento antes de sua utilização para a dessedentação animal. Valores de sólidos totais superiores a 1.000,0 mg/L, de cloreto superiores a 250,0 mg/L, de ferro acima de 0,3 mg/L e de sódio acima de 200,0 mg/L limitam fortemente o uso dessas águas, requerendo-se metodologias que reduzam o seu conteúdo salino, dentre elas o tratamento com dessalinizadores de osmose reversa.

A utilização de tais dessalinizadores, entretanto, gera rejeitos com alta concentração de sais, capazes de degradar os cursos d'água e solo quando dispostos sem controle. Faz-se necessário assim, a adoção de técnicas de gestão de tais rejeitos, que protejam o meio ambiente (MONTENEGRO, 2003). Neste sentido, o rejeito gerado pode ser utilizado para irrigação de halófitas, representando uma importante alternativa de gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos do semiárido, inclusive agregando valor econômico ao sistema de dessalinização, face às características forrageiras de algumas halófitas para bovinos e caprinos (CABRAL, 1998).

Mapa de restrição de potabilidade

Com a análise dos mapas de restrição para cada variável e dos mapas de classificação, é possível concluir que das cinco (05) variáveis que possuem VMP para a dessedentação animal, quatro (04) dessas variáveis possuem áreas de restrição, sendo elas cloreto, ferro, sódio e sólidos

totais. Dessa forma, foi elaborado o mapa de restrição de potabilidade (Figura 7) da área de estudo para todas as seis variáveis supracitadas, pois para a água ser considerada apta para a dessedentação animal, sem necessidade de tratamento prévio, é necessário que todas as variáveis estejam em conformidade com a legislação vigente (CONAMA 396/08).

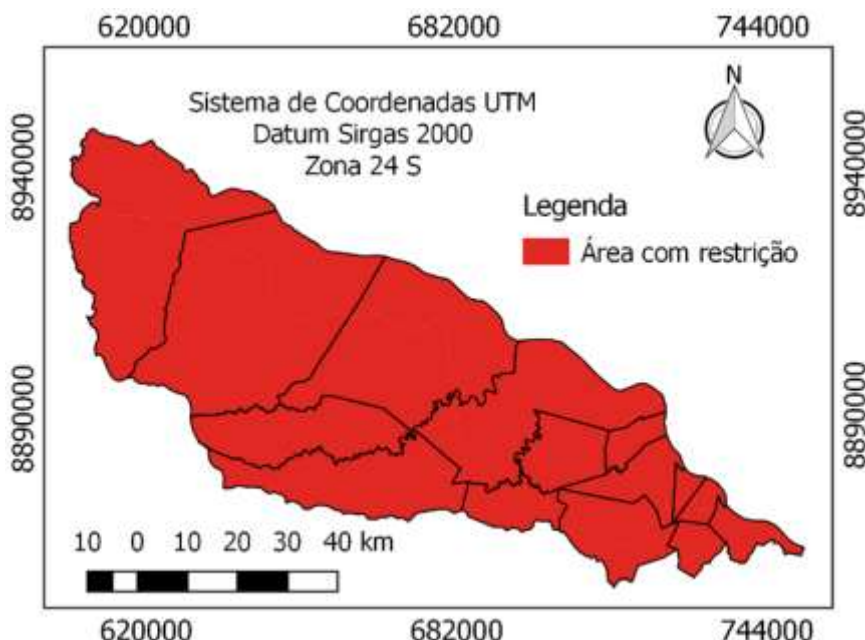


Figura 7: Espacialização da restrição de potabilidade

Fonte: Os autores.

A água subterrânea da área de estudo como um todo não está apta para a dessedentação animal, havendo a necessidade de tratamento prévio. Todas as variáveis que possuem valores acima do VMP, tem como causa o perfil hidrogeológico da região em que estão inseridas. A presença de sais na água subterrânea está diretamente associada ao tipo de substrato rochoso com o qual a água está em contato e com a sua capacidade de dissolução. Segundo Bomfim *et al.* (2002), aquíferos fraturados, como o da área de estudo, apresentam geralmente águas explotadas com maiores teores de sais que os granulares, resultado dos maiores períodos de contato, da falta de circulação das águas e dos tipos de rocha predominantes.

Destaca-se que este mapa de restrição de potabilidade do semiárido da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco não estabelece a qual variável está relacionada à restrição de uso, e apenas informa se a área em questão apresenta alguma restrição. Para conhecer a quais variáveis se referem, deve ser consultado o mapa referente a cada uma delas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração de mapas de restrição ao uso da água subterrânea para fins de dessedentação animal, na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, no semiárido sergipano, através das variáveis químicas, permitiu a visualização de regiões com restrições e não restrições, relacionados aos processos de impactos negativos nos animais, mostrando-se como uma ferramenta acessível e de muita utilidade no processo de decisão de investimentos agrícolas para o Estado de Sergipe.

De acordo com o mapa de restrição de potabilidade, a água subterrânea da área de estudo é imprópria para a dessedentação animal sem um tratamento prévio. Como as reservas de água subterrânea possuem um papel fundamental na dessedentação animal, recomenda-se o uso de dessalinizadores de osmose reversa, em cada poço tubular profundo, para tratamento químico da água subterrânea, e assim atender a Resolução CONAMA 396/08.

Os valores obtidos para as variáveis indicadoras da qualidade da água refletiram as características litológicas, climáticas e os processos geológicos de intemperismo químico na circulação de água nas discontinuidades dos aquíferos fissurais predominantes na área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, K.; FERREIRA, D. M.; NAVONI, J. A. Avaliação das águas subterrâneas salobras do semiárido do Rio Grande do Norte: qualidade e impactos sob atividades agropecuárias de subsistência. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 3, p. 1-14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v35i3.30077>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/30077>. Acessado em: jul. 2026.
- AMPOLINI, Geverson; WINCKLER, Silvana; RENK, Arlene. Gestão de recursos hídricos no Brasil: Desafios e oportunidades na implementação da agenda 2030 da ONU. **Desenvolvimento em Questão**, v. 22, n. 60, 2024. DOI: 10.21527/2237-6453.2024.60.15995. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/15995>. Acesso em: jul. 2026.
- ANTÔNIO FILHO, V.; GUSMÃO, C. L. **Impactos da qualidade da água na produção de bovinos de corte criados a pasto**. Goiânia: Goiás, 2021.
- AZEVEDO, A. A. & ALBURQUERQUE FILHO, J. L. **Águas subterrâneas**. In: OLIVEIRA, A. M. S. & BRITO, S. N. A. Geologia de engenharia, 3 ed. São Paulo: ABGE, 2013, p.153-178p.
- BARON, L.F.; PAZINATTO, R.; BARON, C.P. Oxidação de lipídeos e as implicações na nutrição e saúde de animais de produção. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 1, p. 1-9, 2020. Disponível em: <https://apct.sede.embrapa.br/index.php/cct/article/view/26597>. Acessado em: jun 2025.
- BOMFIM, L. F. C.; COSTA, I. V. G.; BENVENUTI, S. M. P. **Projeto Cadastro da Infraestrutura Hídrica do Nordeste: diagnóstico do município de Carira**. Aracaju: CPRM, 2002, 14p.
- BRITO, F. B.; VASCO, A. N.; PEREIRA, A. P.; MELLO JR., A. V. NOGUEIRA, L. C. Herbicidas no alto do rio Poxim, Sergipe e os riscos de contaminação dos recursos hídricos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 2, p. 390-398, abr/jun, 2012. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rca/a/fH9K4fX3Z5qJVNQbTPCdzYh/>. Acessado em: dez 2024.

CABRAL, C. D. G. **Dinâmica da salinidade no sistema solo-planta sob cultivo de *Atriplex* spp.** Recife: Pernambuco, 1998.

CARSON, T. L. Current knowledge of water quality and safety for livestock. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v.16, n.3, p.455-464, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0749072015300803>. Acessado em: jan 2025.

CARRA, S. H. Z.; DRASTIG, K.; PALHARES, J. C. P.; BORTOLIN, T. A.; KOCH, H.; SCHNEIDER, V. E. Impact assessment of livestock production on water scarcity in a watershed in Southern Brazil. **Water**, v. 15, n. 22, p.1-18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15223955>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/22/3955>. Acessado em: jul 2026.

CARVALHO FILHO, O. M.; MITERNIQUE, S.; CARON, P.; HOLANDA NETO, J.; CERDANM C. T. **A pequena produção de leite no semiárido sergipano**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2000. 26p.

CONAMA, 2008. **Resolução CONAMA Nº 396**, de 7 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

CRUZ, M.A.; RESENDE, R.S.; AMORIM, J.R.A. Análise da distribuição espacial de parâmetros de qualidade das águas subterrâneas para irrigação no semiárido do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.15, n. 2, p. 105-113, 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23415>. Acessado em: dez 2024.

CURTIS, L.; HAIRSTON, J.; DONALD, J.; ECKMAN, M. Factores clave del agua en la producción de pollos. **Indústria Avícola**, v. 48, n. 7, p. 26-31, 2001. Disponível em: <https://www.sidalc.net/search/Record/oai:fvet.uba.ar:biblioteca:22890/Description>. Acesso em: 15 des. 2024.

DAMRON, B. L.; FLUNKER, L. K. Broiler chick and laying hen tolerance to sodium hypochlorite in drinking water. **Poultry Science**, v. 72, p.1650-1655, 1993. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8234124>. Acessado em: out. 2024.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Base de dados para o Estado de Sergipe**: referenciais de solos para o desenvolvimento. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014.

ESTADO DE SERGIPE. **Panorama Energético de Sergipe**. Aracaju: SUDEN, 2014, v.1, 83p.

FARIAS D. S. C. R. FARIAS, S. A. R. NETO, J. D. Águas subterrâneas, armazenadas em fissuras de rochas cristalinas, para dessedentação de aves. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 1., Campina Grande, 2015. **Anais [...]** Campina Grande, 2015. p. 20-28.

FEITOSA, C. E. **Desenvolvimento da palma forrageira sob aspectos agroecológicos no semiárido sergipano**. São Cristóvão: Sergipe, 2019.

FEITOSA, F. A. C.; MACIEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

FIGUEIREDO, J. V.; ARAÚJO, J. C.; MEDEIROS, P. H. A; COSTA, A. C. Runoff initiation in a preserved semiarid Caatinga small watershed, Northeastern Brazil. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 13, p. 2390-2400, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.10801>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.10801>. Acessado em: jul. 2026.

FUHG, J. N.; FAU, A.; NACKENHORST, U. State-of-the-art and comparative review of adaptive sampling methods for kriging. **archives of computational methods in engineering**, v. 28, p. 2689-2747, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-020-09474-6>. Acessado em: jul. 2026.

FURLAN, R.L.; MACARI, M.; MALHEIROS, E. B.; INGRACI, C.; MEIRELES, H. T. Efeito da cloração da água de beber e do nível energético da ração sobre o ganho de peso e consumo de água em frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 3, p. 542-547, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/hWJzHjgbY9XDNpmrXcDDTTc/?lang=pt>. Acessado em: mai. 2025.

Análise Geoespacial da Qualidade da Água Subterrânea da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no Semiárido Sergipano

GOMES, M. C. R.; NASCIMENTO, S. A. M. Caracterização das águas subterrâneas no Alto Cristalino de Salvador-Bahia com auxílio da estatística multivariada. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 44, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufjf.br/index.php/aigeo/article/view/40600/pdf>. Acessado em: jul. 2026.

GOMES, E. B.; PEREIRA, H. C. P. Distúrbios do Sódio. **VITTALLE - Revista de Ciências da Saúde**, v. 33, n. 1, p. 219-231, 2021. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/vittalle/article/view/13256>. Acessado em: nov 2024.

GOVERNO DE SERGIPE. **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos**. Aracaju: SEMARH, 2010, 253p.

HARE, K. S.; PEREIRA, M. C. S.; SEIDLE, C. M.; SUMMACH, D.; JOHNSON, J. A.; CAMPBELL, J. C.; PENNER, G. B. Total dissolved solids in water high in naturally occurring sulfates impact serum and liver copper and selenium concentrations but do not affect the growth of beef heifers. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 106, p. 1-13, 2026. DOI: 10.1139/cjas-2024-0144. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S0008398426000169>. Acessado em: jul. 2026.

JICA. JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. **The study on water resources development in the state of Sergipe in the Federative Republic of Brazil**. JICA, 2000, 406p.

LAGGER, J. R.; MATA, H. T.; PECHIN, G. H.; LARREA, R. N.; OTOROSKY, R. O.; CESAN, A. G. E. La importancia de la calidad del agua en producción lechera. **Veterinaria Argentina**, v. 27, n. 165, p. 346 - 354, 2000. Disponível em: https://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/32-calidad_agua_en_produccion_lechera.pdf. Acessado em: fev. 2025.

LAWRENCE, P. G.; ROPER, W.; MORRIS, T. F.; GUILLARD, K. Guiding soil sampling strategies using classical and spatial statistics: A review. **Agronomy Journal**, v. 112, p. 493-510, 2020. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.20048>. Acessado em: jul.2026.

LENZ, L. F.; NEVES, P. B. Impactos relacionados à qualidade da água na suinocultura: revisão de literatura. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 26, n. 1, p. 1-16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.25110/arqvet.v26ilcont-013>. Disponível em: <https://revistas.unipar.br/index.php/veterinaria/article/view/10375/4887>. Acessado em: jul 2026.

LINN, J. Impact of minerals in water on dairy cows. **Dairy Star**, n.17, p.13-20, 2008. Disponível em: https://wcds.ualberta.ca/wcds/wp-content/uploads/sites/57/wcds_archive/Archive/2006/Manuscripts/Linn2.pdf. Acessado em: jun 2025.

LOPES, J. R. A.; BEZERRA, J. M.; ALMEIDA, N. M. D. P.; GONÇALVES, G. L.; MENDONÇA, S.S. C. Águas subterrâneas como alternativa de subsistência em uma comunidade rural no semiárido brasileiro. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 170-179, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v34i2.29889>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29889>. Acessado em: jul. 2026.

MADRUCCI, V.; ARAÚJO, C. C.; TAIOLI, F. Sensoriamento remoto, aerogeofísica e geoprocessamento aplicados ao estudo de aquífero fraturado em terreno cristalino, leste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, p.43-52, 2003. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001410584>. Acessado em: ago 2024.

MASCARENHAS, A. C. M. **Conflitos e gestão de águas: o caso da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. Brasília: DF, 2008.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. Interception and surface runoff processes in a seasonally dry tropical forest: implications for hydrological response in the Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, p. 2020.

MONTENEGRO, A. A.; MONTEGRO, S. M. G. L.; MARINH, S.; SILVA, V. P. Uso de Água Subterrânea Salina em Halófitas no Semi-árido Nordeste. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Pernambuco, v. 8., n. 2., p. 75-84, 2003. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/36/038f60783a016f43de3d8fcd5f33d21_f22d621df8ba3bcbf2dcda51c35e715fa.pdf. Acessado em: ago 2024.

MURPHY, M.; DAVIS, C.L.; MCCOY, G.C. Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactating. **Journal of Dairy Science**, v.66, n. 1, p. 35-38, 1983. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6300210/>. Acessado em: set 2024.

NASCIMENTO, P. S. R. **Subsídio à gestão ambiental hidroviária: o empreendimento hídrico Santa Maria da Serra**. 2004. 189f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

NASCIMENTO, Paulo Sérgio de Rezende; NASCIMENTO FILHO, José Carlos Benício do. Combinação linear ponderada na determinação da capacidade de armazenamento de água subterrânea. *Revista Internacional de Ciências*, v. 12, n. 1, p. 79-98, 2022. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2022.57525>. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/57525>. Acessado em: jul. 2026.

et
NASCIMENTO, P. S. R.; NASCIMENTO FILHO, J. C. B.; MENDONÇA, A. K. F.; WALLACUELLA, G. J. Análise da capacidade de armazenamento de águas subterrâneas em aquíferos fissurais por técnicas de sensoriamento remoto. In: SEABRA, G. **Educação ambiental: sustentabilidade dos ambientes rurais e urbanos**. Ed. Barlavento, Ituiutaba, 2017, p. 724-735.

NASCIMENTO, P.S.R.; DA SILVA, C.P.N. Aplicação de sensoriamento remoto e análise espacial em alinhamentos geológicos como indicador da potencialidade de acumulação de águas subterrâneas. **Revista Brasileira de Geomática**, v.7, n. 4, p. 204 – 222, 2019. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/9879>. Acessado em: dez 2024.

OLIVEIRA, M.V.A. Recursos hídricos e a produção animal – legislação e aspectos gerais. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL E RECURSOS HÍDRICOS, 1., 2010, Concórdia. **Anais [...]** Concórdia: 2010, p. 1 – 7.

PALHARES, J. C. P. Produção animal e recursos hídricos: tecnologias para manejo de residência e uso eficiente dos insumos. Brasília: Embrapa, 2019. 210p.

PALHARES, J. C. P.; MATARIM, D. L.; SOUSA, R. V.; MARTELLO, L. S. Water performance indicators and benchmarks for dairy production systems. **Water**, v. 16, n. 2, p. 1-14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16020330>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/2/330>. Acessado em: jul.2026.

PEDROSA, V. **O custo da água**: Fundamentos da engenharia econômica aplicados à infraestrutura hídrica. Vitória: Espírito Santo, 2021.

PEREIRA, E.R.; PATERNIANI, J.E.S.; DEMARCHI, J.J.A.A. A importância da qualidade da água de dessedentação animal. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.3, n. 3, p. 227 – 235, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/287810325>. Acessado em: dez 2024.

QGIS Development Core Team. **QGIS Geographic Information System**. A Free and Open Source Geographic Information System 2020. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/>. Acessado em: jan 2022.

REBOUÇAS, A. C. Importância da Água Subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL, F. J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. C. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM, p. 13-30, 2008.

REBOUÇAS, A. C. **Potencialidades dos aquíferos do Nordeste do Brasil**. Recife: Fundação José Nabuco, 2019.

RINELLA, M. J.; MUSCHA, J. M.; REINHART, K. O.; PETERSEN, M. K. Water quality for livestock in northern Great Plains rangelands. **Rangeland Ecology & Management**, v. 75, p. 29-34, 2021. DOI: 10.1016/j.rama.2020.11.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1550742420301330>. Acesso em: jul. 2026.

RIBEIRO, L.; BENEDETTI, E. (2015). A importância da qualidade da água na nutrição de ruminantes. In: CADERNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FAZU, 2., 2015, Uberaba. **Anais [...]** Uberaba: FAZU, 2011. p. 1 – 14.

RODRIGUES, L. S. S.; ARAÚJO, G. M. Sistema simplificado de remoção de ferro em água subterrânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30º, 16 a 19 jun. 2019, Natal, no Rio Grande do Norte. **Anais [...]** Natal, no Rio Grande do Norte, 2019.

Análise Geoespacial da Qualidade da Água Subterrânea da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no Semiárido Sergipano

SANTOS NETO, O. H. **Comunicação pessoal**. São Cristóvão: Parque Tecnológico Sergipetec, 17 fev. 2022. (informação verbal).

SERGIPE. **Bacias Hidrográficas do Estado de Sergipe**. Aracaju: SRH, 2013, 46p.

SILVA, A. V. F. **Interferência da temperatura no equilíbrio ácido-base em frangos de corte e sua resposta frente a suplementação com bicarbonato de sódio, cloreto de amônio e Stacidemr**. Curitiba: Paraná, 1990.

SILVA, J. M.; ROCHA, P. E.; SANTOS, D. C.; JESUS, J. B.; GARCIA, C. A. B.; COSTA, S. S. L. Avaliação e espacialização de parâmetros físico-químicos em águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Piauí nordeste, Brasil. *Scientia Plena*, v. 20, n. 9, p. 1-15, 2024. Disponível em: <https://scientiaplenu.org.br/sp/article/view/7546>. Acessado em: jun 2025.

SINGHAL, B. B. S.; GUPTA, R. P. **Applied hydrogeology of fractured rocks**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999.

SOARES N. M. Quantidade e qualidade da água na produção de aves. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL E RECURSOS HÍDRICOS, 1., 2010, Concórdia. **Anais [...]** Concórdia: Embrapa, 2010, p. 1 – 34.

SOUSA, C. J. S.; BORGES, W. R.; PINHEIRO, K. S. F. Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras-Itapecuru na Ilha do Maranhão, no litoral norte do Brasil. **Geociências**, v. 41, n. 2, 2022. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/15700>. Acessado em: jul. 2026.

SOUSA, M. L. P.; CONDE, T. T.; LUZ, G. G. G.; RIBEIRO, A. J.; CODOGNOTO, L. C.; NOVAIS, J. S.; PINHEIRO, J. A. A. Avaliação da qualidade da água para dessedentação de bovinos. *Caderno Pedagógico*, v. 22, n. 1, p.1-21, 2025. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n1-261>. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/13708>. Acessado em: jul 2026.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2009/54/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 18 de junho de 2009, relativa à exploração e comercialização de águas minerais naturais. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**. L, v.164, p.45-58, 2009. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:164:0045:0058:PT:PDF>. Acessado em: jun 2025.

YILDIRIM, V.; TODINI, E.; KANTAR, Y. M. A robust maximum likelihood estimation approach for Ordinary Kriging with outlier-contaminated spatial data. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 33, p. 513-544, 2026. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10651-026-00706-9>. Acessado em: jul. 2026.

ZANELLA, M.E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v.36, n. 1, p. 126 -142, 2014. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:164:0045:0058:PT:PDF>. Acessado em: jun 2025.