

Artigo de Pesquisa**ASPECTOS DA EXTENSÃO E QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS PARA USOS MÚLTIPLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAJIRU (RN)****Water availability and quality from surface and underground sources for multiple uses in the Guajiru river basin (RN)**

Michele Barbosa da Rocha¹, Sebastião Milton Pinheiro da Silva²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Natal, Brasil. E-mail.

michelerochageo@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8054-8815>

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Geografia, Natal, Brasil. E-mail.

sebastiao.milton.silva@ufrn.br

 <https://orcid.org/0000-0002-0950-4622>

Recebido em 10/05/2024 e aceito em 25/10/2024.

RESUMO

A água é uma riqueza natural considerada fonte de vida, e seu acesso universal é um direito humano consagrado nas metas globais da agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. A relevância do tema motivou investigar a disponibilidade e a qualidade das águas subterrâneas e superficiais para usos múltiplos na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru (BHRG), mediante levantamento de poços cadastrados nas bases de dados da CPRM, da SEMARH e da Agência Nacional de Águas (ANA) e de amostras de águas coletadas para análises químicas. Com o programa QGIS 3.16.11 foi possível analisar as variáveis situação dos poços, tipologia, natureza, tipo de uso, profundidade, vazão e qualidade e elaborar mapas com informações dos poços, cacimbas, açudes e pontos de coleta de amostras de águas. Os resultados demonstram que o poço PC01 apresenta água imprópria para consumo humano, com valores de pH em desacordo com a legislação vigente. As análises das águas superficiais revelaram que apenas a amostra MB008, coletada na Lagoa de Extremoz, apresenta resultados dentro dos valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. O estudo evidencia a urgência do estabelecimento de ações de monitoramento da qualidade das águas e de conscientização da população sobre a preservação dos recursos hídricos e sobre os riscos para a saúde humana de consumir água sem nenhum tipo de tratamento.

Palavras-chave: Qualidade dos recursos hídricos; Águas superficiais; Águas subterrâneas; Assentamentos.

ABSTRACT:

Water is a natural resource considered a source of life, and its universal access is a human right guaranteed in the global goals of the 2030 agenda for sustainable development. The relevance of the

topic motivated to investigate the availability and quality of surface and groundwater resources for multiple uses in the Guajiru River Basin (BHRG), by surveying waterholes and tubular wells registered in databases of government agencies, like Serviço Geológico do Brasil (SGB), Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) and Agência Nacional de Águas (ANA), and water samples collected for chemical analysis. With the QGIS 3.16.11 software, it was possible to analyze the situation of wells, typology, nature, type of use, depth, flow and quality and prepare maps with information on wells, reservoirs, dams and water sample collection points. The results demonstrate that PC01 waterhole presents water unfit for human consumption, with pH values that do not comply with current legislation. Analysis of surface waters revealed that only sample MB008, collected in Lagoa de Extremoz, presents results within the reference values of CONAMA Resolution nº 357, of March 17, 2005. The study highlights the urgency of establishing monitoring actions water quality and raising awareness among the population about the preservation of water resources and about the risks to human health of consuming water without any type of treatment.

Keywords: Quality of water resources; Surface waters; Groundwater; Settlements.

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são águas superficiais ou subterrâneas disponíveis para qualquer tipo de uso de uma região ou bacia hidrográfica que podem ser obtidas através dos rios, lagos, reservatórios ou águas armazenadas em aquíferos (COSTA *et al.*, 2012).

O Brasil é um dos países com maior disponibilidade de água. Todavia, apesar de possuir aproximadamente 12% da água doce disponível em todo o planeta, esse volume encontra-se mal distribuído pelo território brasileiro devido à grande variedade de processos climatológicos que regulam a distribuição e a disponibilidade da água no país. (ANA, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2018; OLIVEIRA; RAMIRES, 2019; MOSTARDA NETO; LAMAC; MANTOVANI, 2022).

O cenário descrito, somado ao uso intensivo da água pelas diferentes atividades econômicas desenvolvidas nas bacias hidrográficas brasileiras e aos problemas de qualidade decorrentes da poluição hídrica, tem exigido ações de gestão dos recursos hídricos cada vez mais efetivas (ANA, 2019).

Instituídas pela Política Nacional de Recursos Hídricos a partir da promulgação da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, as bacias hidrográficas são consideradas unidades básicas de análise no tocante ao desenvolvimento de ações com perspectivas de integrar a gestão dos recursos hídricos (TUCCI; HESPANHOL; CORDEIRO NETTO, 2001; SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002; SANTOS, 2004; CARVALHO, 2020).

Da mesma forma, o enquadramento dos corpos d'água se destaca como principal instrumento para instituir a gestão de qualidade das águas. Nesse sentido, representam marcos históricos as Resoluções CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, que define o enquadramento das águas subterrâneas, e nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento (BRASIL, 2005).

A disponibilidade dos recursos hídricos para usos múltiplos, em quantidade e qualidade adequadas, tem um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico dos municípios, dos estados e do país (TUNDISI, 2014). Além disso, é oportuno perceber que o comportamento da qualidade das águas reflete as condições ambientais da bacia hidrográfica. Sendo assim, verificar as características de sua qualidade amplia o conhecimento ecológico sobre o ecossistema e possibilita detectar alterações provenientes da atividade humana (SOUZA; GASTALDINI, 2014; GLORIA; HORN; HILGEMANN, 2017).

No tema, sabe-se ainda que os lagos e rios constituem as principais fontes de água potável como recurso direto, obtidas a partir de fontes superficiais (OLIVEIRA *et al.*, 2018; FERNANDES *et al.*, 2019). É diante desse contexto que a poluição hídrica, causada pela atuação indevida das práticas humanas, pode gerar impactos e provocar a escassez desse recurso natural.

Entende-se, diante do cenário exposto, que uma eficiente gestão das águas contempla não só os componentes físico-químicos e biológicos de sua qualidade, mas também a compreensão sobre o contexto ambiental, social e econômico dos espaços onde se encontram inseridas (OLIVEIRA; SILVA; TAVARES, 2020).

Em relação às bacias do Rio do Mudo, Doce e do Guajiru, localizadas no leste do Rio Grande do Norte, vários estudos mostram que o processo de ocupação deixou à mostra uma série de impactos advindos: da retirada da vegetação para atividades agropecuárias; da remoção da mata ciliar para o plantio de hortaliças e fruteiras; da expansão urbana desenfreada; e da contaminação da água e dos solos pelo uso de agrotóxicos, que implica diminuição da qualidade e quantidade de água disponível para consumo humano e animal (FAUSTINO; RAMOS; SILVA, 2014; VITÓ; SILVA; OLIVEIRA; GOMES; NUNES, 2016; COSTA; SOUZA; SILVA, 2019; ROCHA; SILVA, 2018).

Diante da importância do tema e da Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru (BHRG), o presente estudo teve como objetivo analisar a disponibilidade e qualidade hídrica das águas subterrâneas e superficiais para usos múltiplos na BHRG. Essa área foi selecionada pela sua importância ambiental e socioeconômica. A bacia apresenta grande potencial para o desenvolvimento da agricultura irrigada nas áreas rurais e integra o sistema de abastecimento de água realizado através da Lagoa de Extremoz para partes do município de Natal e de sua região metropolitana.

MATERIAIS E MÉTODOS

Situada no litoral leste do Rio Grande do Norte, a BHRG tem 120 km² de área de captação, abrangendo os municípios de Ielmo Marinho, Ceará-Mirim, São Gonçalo do Amarante, Extremoz e Natal. Da confluência dos rios do Mudo e Guajiru, nasce a Lagoa de Extremoz (Figura1), cujo exutório origina a Bacia Hidrográfica do Rio Doce. A Bacia do Guajiru é de natureza predominantemente rural, e nela estão inseridos três assentamentos que abrigam 320 famílias (INCRA, 2021), que dependem da agricultura de subsistência e de pequena produção de leite.

Por estar inserida em um estado com influência de cinco tipos climáticos, o ciclo da água da BHRG ocorre conforme as características do clima subúmido, caracterizado por médias pluviométricas anuais que variam entre 800 e 1200 milímetros, o que corresponde, na Classificação de Köppen, ao clima tropical chuvoso, com inverno seco e com a estação chuvosa prolongando-se até o mês de julho (SERHID, 1998).

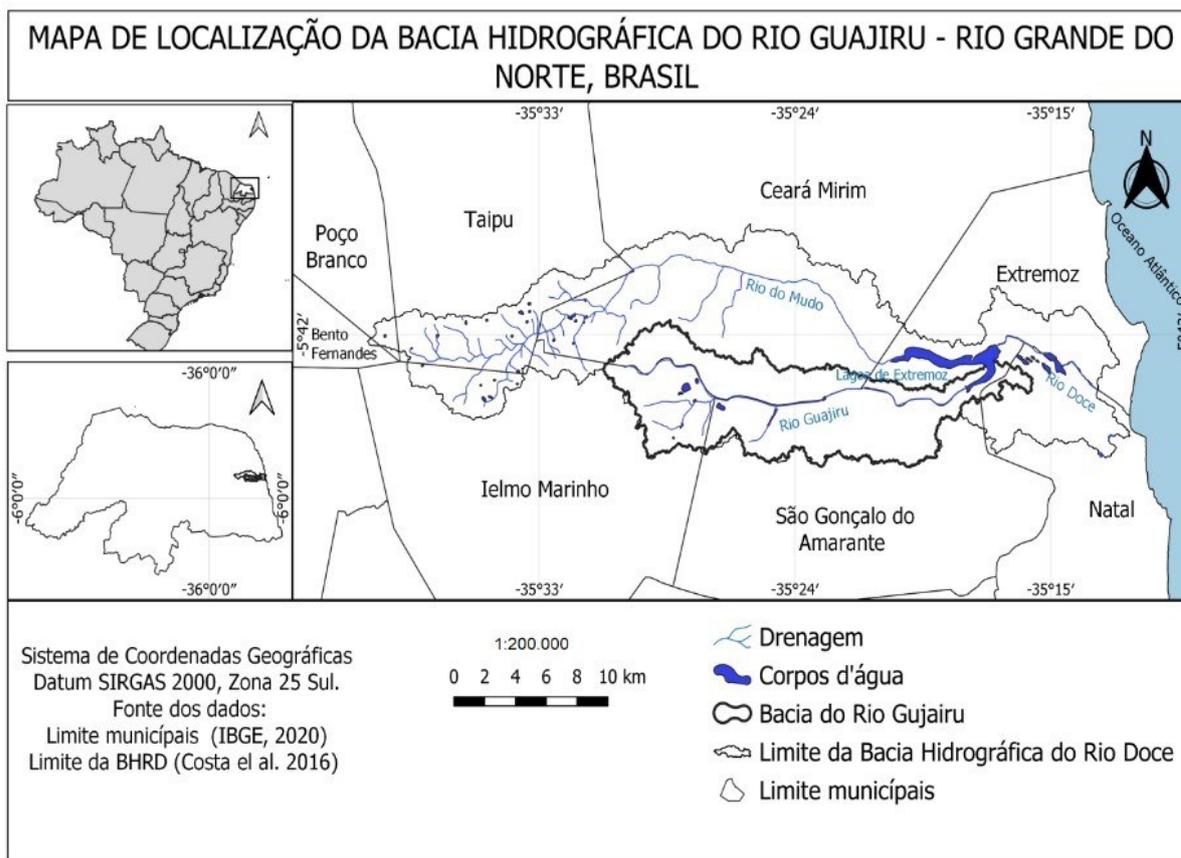


Figura 1. Mapa de localização da área de estudos **Fonte:** Elaborado pelos autores (2022).

Geologicamente, a bacia é composta, em sua maior parte, por sedimentos quaternários e terciário-quaternários do Grupo Barreiras, que ocorrem ao longo de uma faixa próxima ao litoral potiguar em forma de tabuleiros, por vezes constituindo falésias litorâneas (ANGELIM *et al.* 2007). Os depósitos quaternários constituem coberturas inconsolidadas formadas por depósitos eluviais, coluviais e aluviais distribuídos ao longo de topos, encostas e vales (NEVES; MORALES; SAAD, 2005).

Há ainda os depósitos colúvio-eluviais e os depósitos fluviolacustres, constituídos por depósitos de barra de pontal, originários do regime meandrante dos rios, e formados de areia fina a média intercalada com pelitos; bem como, os depósitos de transbordamento, constituídos por planície de inundação, ocasionada pelas cheias, com grande aporte de material síltico-argiloso e depósitos lacustres, com deposição sob baixa energia, resultando em fácies mais argilosas (ANGELIM *et al.*, 2007).

Na região oeste, ocorre a Suíte Intrusiva Itaporanga, datada do Neoproterozoico, com rocha de textura porfirítica grossa a muito grossa, constituída por megacristais de feldspato potássico que podem atingir até cerca de 10 cm de comprimento.

A ação climática sobre as litologias modelou os Tabuleiros Costeiros, destacando-se por seu relevo tabular sobre a Formação Barreiras (SILVA *et al.*, 2017) e as planícies de inundação fluvial sujeitas às inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais e dos solos Neossolo Flúvico (IBGE, 2009).

O solo Argissolo Amarelo Distrófico é encontrado em praticamente toda a extensão da bacia (COSTA *et. al*, 2019), seguido dos Latossolos Amarelos Distróficos e os solos do tipo Gleissolos Sálcos Sódicos (EMBRAPA, 2018). Campos (2020) detectou Neossolos Quartzarênicos bem drenados e muito pobres em nutrientes e em matéria orgânica.

Essas características, aliadas à disponibilidade de água doce, tornam a BHRG propícia para o desenvolvimento de atividades de agropecuária, coexistindo com Savana Estépica Arborizada, cuja formação é estruturada em dois nítidos estratos: um, arbustivo-arbóreo superior, esparsos, geralmente de características idênticas ao da Savana Estépica Florestada; e outro, inferior gramíneo-lenhoso, também de relevante importância fitofisionômica (IBGE, 2021).

Além da agropecuária, a BHRG apresenta serviços ecossistêmicos, como água disponível para a população residente na bacia, que é predominantemente rural, sobretudo nos municípios de Ilmo Marinho e Ceará-Mirim. Ilmo Marinho apresenta uma população rural de 7.564 habitantes de 18 a 79 anos, concentrando-se boa parte no distrito de Canto de Moça.

Dados do IBGE mostram que no município de Ceará-Mirim a população estimada para o ano de 2021 era de aproximadamente 74.268 habitantes; já nos municípios de Ilmo Marinho e São Gonçalo do Amarante estima-se, respectivamente, um total de 14.033 e 104.919 habitantes.

No alto curso da bacia estão situados os assentamentos Carlos Marighella, São Sebastião e Padre Cícero, que abrigam 320 famílias (INCRA, 2021).

Procedimentos Técnico-Operacionais

Inicialmente realizou-se a pesquisa bibliográfica, que permitiu a coleta do referencial teórico disponível sobre a área de estudos e sobre a temática a ser discutida através dos dados existentes, obtidos por meio da pesquisa documental. Foi feito, ainda, o levantamento das informações referentes aos poços cadastrados inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru, com base em dados da CPRM, da SEMARH e da Agência Nacional de Águas (ANA).

Os arquivos *.shp foram importados para o Sistema de Informação Geográfica QGIS 3.16.11, no qual foram analisadas as variáveis situação, tipologia, natureza, tipo de uso, profundidade, vazão e qualidade, com uso de técnicas de geoprocessamento. Posteriormente, foram confeccionados gráficos no Excel e mapas sobre a distribuição das informações dos poços.

Também foi gerado o mapa dos mananciais superficiais com suas extensões de lâminas de água atualizadas, considerando o emprego de uma cena Sentinel 2 MSI, datada de 26 de julho de 2022, processada no QGIS 3.16.11 com o *Semi-Automatic Classification Plugin* – SCP (CONGEDO, 2018).

Os mananciais foram divididos em rios, açudes, pequenas lagoas e a Lagoa de Extremoz, que tem pequena parcela do seu território dentro da bacia. Sobre esse mapa foram lançados os pontos de coleta de água do presente estudo, juntamente com os pontos obtidos de Campos (2020) e de Damasceno *et al.* (2021), conforme mostrado na Figura 2.

Para as análises das águas superficiais e de poços, foram coletadas nove amostras de águas superficiais para estudo da qualidade e três amostras em cacimbas localizadas em assentamentos da região estudada.

A escolha dos pontos para a coleta das amostras levou em consideração fatores como potencial poluidor, acesso, zona de despejo fluvial e utilização por comunidades próximas. As coletas em águas superficiais foram realizadas nos dias 5 de abril, 17 de maio e 24 de maio de 2022, em período chuvoso, enquanto as coletas das amostras realizadas nas cacimbas ocorreram no dia 1º de setembro de 2022.

Os pontos escolhidos contemplaram riachos e lagoas com água e contaram com a autorização de acesso dada pelos proprietários da terra, compreendendo áreas em Ceará-Mirim, Ielmo Marinho e São Gonçalo do Amarante e assentamentos inseridos nos municípios de Ielmo Marinho e Ceará-Mirim.

a) Coleta de água no Rio Guajiru, nas proximidades da Lagoa de Extremoz.	b) Coleta em lagoa em propriedade privada no distrito de Massaranduba, São Gonçalo do Amarante/RN.
	
c) Coleta de água em cacimba no assentamento Carlos Marighella, Ielmo Marinho/RN.	d) Coleta de água realizada no distrito de Canto de Moça, Ielmo Marinho/RN.



Figura 2. Coletas de água na BHRG. **Fonte:** Autores (2023)

A metodologia empregada pelo laboratório do Núcleo de Análises de Águas, Alimentos e Efluentes (NAAE) do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) para realização das análises pode ser consultada na obra *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 22^a edição, da American Public Health Association.

Foram analisados os seguintes parâmetros: pH (potencial hidrogeniônico), condutividade elétrica (CE), turbidez, nitrato (NO_3), nitrito (NO_2), fósforo, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes e sólidos totais.

Durante as coletas, evitou-se adentrar os corpos de água para não alterar o ambiente com a suspensão de material de fundo, além de se garantir a segurança do trabalho, utilizando-se equipamentos de pesca. Os recipientes utilizados para as coletas de água foram disponibilizados pelo Laboratório do Núcleo de Análises de Águas, Alimentos e Efluentes (NAAE), localizado no Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), em Natal/RN.

Foram disponibilizados dois tipos de frascos: um modelo que acomoda 1,5 litro, indicado para análise dos parâmetros pH (potencial hidrogeniônico), condutividade elétrica (CE), turbidez, nitrato (NO_3), nitrito (NO_2), fósforo, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e sólidos totais; e outro modelo de frasco que acomoda 250 ml, indicado para análise de coliformes termotolerantes.

Os recipientes foram acondicionados em caixa de isopor com bolsas de gelo e encaminhados ao laboratório NAAE/IFRN para realização das análises no mesmo dia da coleta.

A interpretação dos resultados das análises das coletas realizadas nas cacimbas teve como parâmetro os valores de referência da Resolução CONAMA n° 396, de 3 de abril de 2008, e a Portaria GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Já para interpretar os resultados das análises das coletas realizadas em águas superficiais, foram considerados os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005.

Nas discussões, são incorporados resultados de análises de amostras dos estudos de Campos (2020) e Damasceno (2018), totalizando 17 amostras de águas, das quais 12 delas são desta pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização geral dos poços

De acordo com os dados da Agência Nacional de águas (ANA), há 164 poços catalogados na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru, conforme mostrados no mapa da Figura 3. Destes, 31 poços se encontravam em operação, 1 estava desativado e 132 não contêm informações sobre situação.

O mapa da Figura 3 apresenta a distribuição dos poços e cacimbas por toda a bacia. Observou-se que há uma maior concentração de cacimbas no alto curso da bacia, tendo em vista que é onde se encontra a maior parte dos assentamentos rurais. Já os poços tubulares concentram-se, na maior parte, no médio e baixo curso.

Do total de 164 poços existentes, 53 deles — ou 32% — são cacimbas, enquanto 105 — ou 68% — são poços tubulares. Do total de poços tubulares, apenas 6 possuem piezômetros e são utilizados para medições e estudos, embora não haja informação sobre suas tipologias. Um desses poços (EXT0150) encontra-se instalado na margem direita da Lagoa de Extremoz, e os demais estão na porção central da bacia.

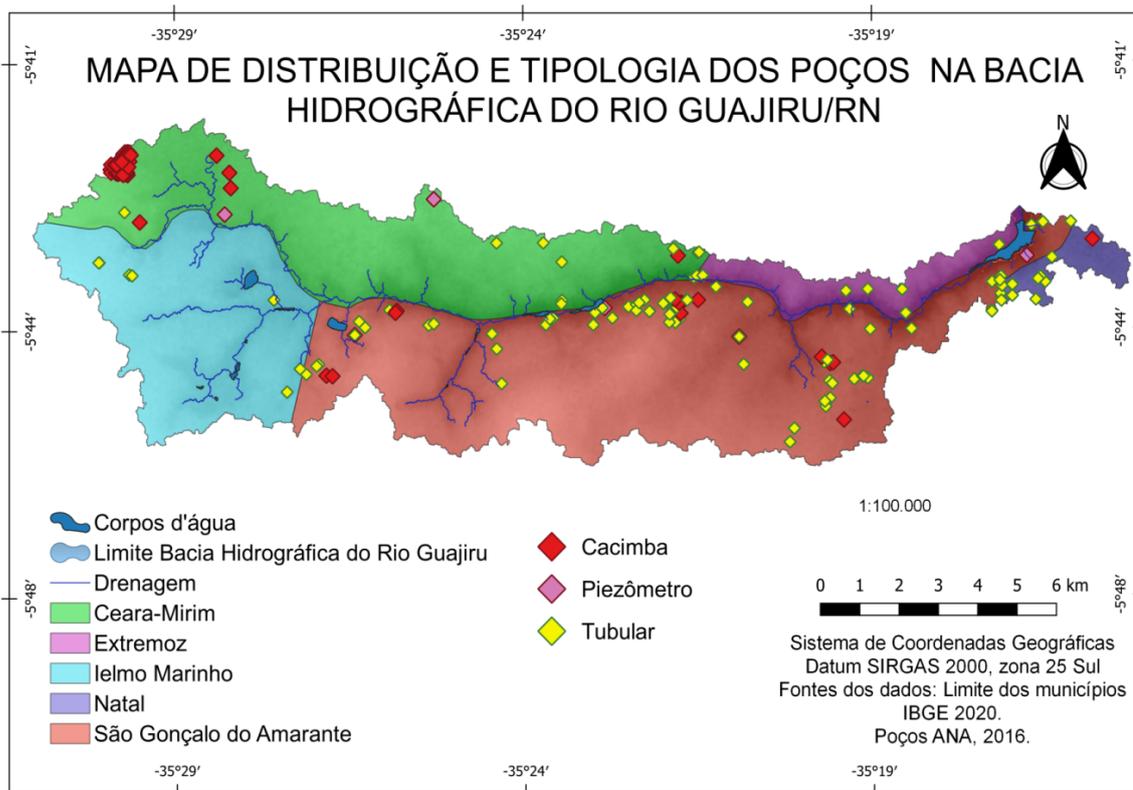


Figura 3. Mapa da distribuição de poços na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru (BHRG)
Fonte: Organizado pelos autores (2023).

Os dados mostraram que a maior parte dos poços são de propriedade privada, totalizando 149 poços. Desse número, apenas um é para abastecimento público, 41 para uso doméstico, 43 para uso agrícola, 14 para uso industrial, 6 para estudos, 7 para uso comercial; sobre 37 deles, não há informações sobre o tipo de uso.

Dos 164 poços, 1 não apresenta informação sobre sua natureza pública ou privada, enquanto outros 14 são públicos (Figura 4), sendo 9 deles utilizados para abastecimento público, 1 para uso comercial e 4 para uso agrícola.



Figura 4. Mapa de poços por tipo de uso na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru. **Fonte:** organizado pelos autores (2023).

O mapa da Figura 4 apresenta a distribuição dos poços por tipo de uso. Observou-se que os poços de uso industrial estão concentrados nas proximidades da Lagoa de Extremoz e nas imediações do polo industrial.

Já no médio e alto curso estão localizados, em maior concentração, poços para uso agrícola e doméstico. O gráfico da Figura 5 apresenta os percentuais de tipos de uso dos poços tubulares. Percebe-se que, do total de 105 poços desse tipo, 34% não têm informações sobre tipo de uso, enquanto o maior percentual obtido foi para os poços de uso doméstico, seguidos do uso agrícola.

Uso dos poços tubulares na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru

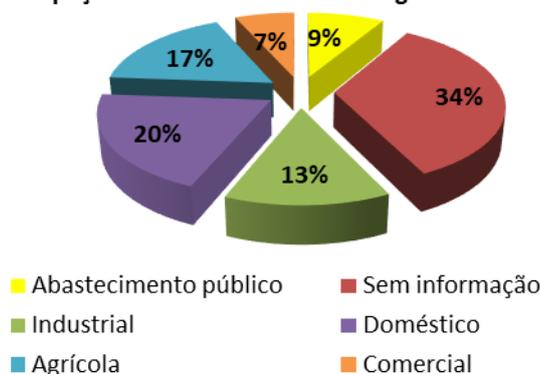


Figura 5. Tipos de usos das águas de poços tubulares. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

Cerca de 20% dos poços têm profundidade no intervalo entre 11 e 20 metros, enquanto 58% deles têm profundidade entre 11 e 60 metros, conforme gráfico da Figura 6. A profundidade mínima dos poços é de 3 metros, e a máxima, de 160 metros.

Verificou-se ainda que, do total dos poços catalogados, 48 não contêm informações de profundidade. Dos poços utilizados para atividades agrícolas, nenhum deles contém informações sobre profundidade.

Profundidade de poços na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru

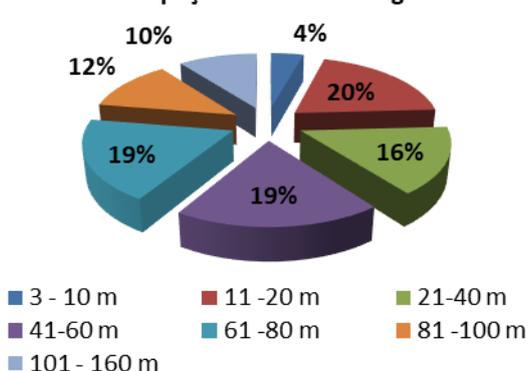


Figura 6. Distribuição dos poços nas classes de profundidade. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

Do total dos poços tubulares, 62 não possuem dados de vazão. O menor valor observado entre eles foi de 0,72 m³/h, e o maior registrado foi de 30 m³/h. Nos poços tubulares públicos, a vazão varia entre 0,72 m³/h a 2,5 m³/h. Já nos poços tubulares privados com informação, a vazão varia entre 10 m³/h e 30 m³/h.

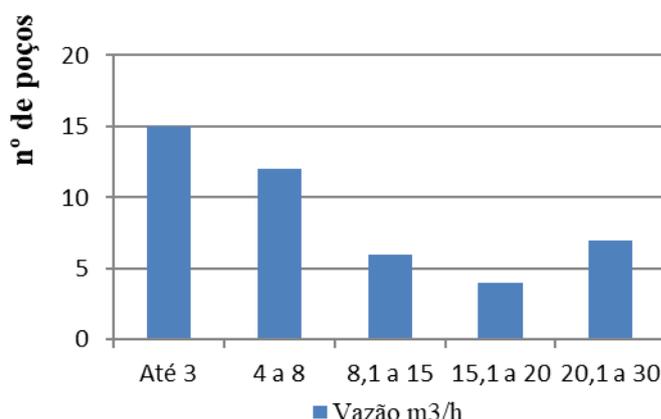


Figura 7. Vazão de poços tubulares da Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

Observa-se que a maioria dos poços tem capacidade de produzir 3 mil litros de água por hora, mas não há informações sobre todos os poços e cacimbas, o que dificulta pensar e dimensionar o uso desses reservatórios no âmbito do consumo na bacia como um todo.

Esse desconhecimento também se torna um obstáculo para a oferta, com segurança hídrica, de usos múltiplos dessas águas, tendo em vista que a segurança hídrica é considerada como a capacidade de uma população garantir a sustentabilidade quanto ao acesso a quantidade adequada de água e de qualidade aceitável, para que seja possível sustentar os meios de subsistência (ONU, 2013).

No entanto, segundo Pereira, Rodriguez, Coutinho, Santos e Marengo (2020), a gestão dos vastos usos da água com um sistema de planejamento que considere e atenda todos os atores e usuários de uma bacia hidrográfica ainda é deficiente para lidar com os conflitos de origem da água, em especial na questão da equidade de acesso e qualidade de água.

Isso é possível perceber nos estudos de Yamashita *et al.* (2020) sobre a segurança hídrica no assentamento Manoel Alves, no estado do Tocantins, em que foi constatado nos resultados das análises de águas coletadas nos poços de algumas residências que o número de bactérias superou os valores permitidos para consumo humano estabelecido pelo Ministério da Saúde, concluindo-se que, apesar dos esforços, a água está longe de ser um direito garantido a todo cidadão.

Diante disso, para se alcançar a segurança hídrica, deve-se proteger os sistemas hídricos que são vulneráveis com o intuito de mitigar os impactos de riscos relacionados à água (UNESCO, 2020).

Em termos de qualidade da água desses poços, os dados da Agência Nacional de Águas (ANA) contêm os seguintes parâmetros: Ce, pH, STD, alcalinidade, dureza, cor, Ci, Na, Ca, K, HCO₃, SO₄, Mg, Fe, NO₃ e NH₃. Todavia, nem todos os poços cadastrados dispõem de todas as informações, o que impõe limitações em estudos sobre segurança hídrica, uma vez que a falta de dados dificulta a identificação e

mitigação de riscos à saúde associados à água contaminada e a implementação de medidas corretivas. Notou-se ainda que dados de profundidade, produtividade, tipo de aquífero e meio geológico são escassos, dificultando ainda mais estabelecer relações espaciais entre poços.

Morais *et al.* (2020) realizaram estudos na bacia hidrográfica Piranhas-Açu, localizada no Rio Grande do Norte, e destacaram a importância do monitoramento contínuo de qualidade das águas existentes, pois trata-se de uma ferramenta poderosa para gerenciar antecipadamente problemas ambientais que venham a surgir quando os resultados apontam não conformidades com a legislação nacional competente.

Damk e Pasini (2020) observaram que são necessários esforços tanto de abordagens tecnológicas apropriadas para as unidades e sistemas de abastecimento como políticas públicas, necessitando-se de auxílio do poder público para a formulação, avaliação, organização da legislação e demais programas voltados ao tema.

Assim, neste estudo, foi possível identificar que, dos poços de natureza privada dos quais que se tem informações, existem poços cujos valores de pH se encontram abaixo de 6,0, não atendendo aos valores de referência estabelecidos pelo CONAMA. Constataram-se ainda valores de cloreto acima de 250 mg/L, ultrapassando o valor máximo permitido para consumo humano. O cloreto em altas concentrações pode restringir o uso da água, em razão do sabor que ele confere e do efeito laxativo que pode provocar (APPI *et al.*, 2012). Altas concentrações de cloreto podem significar infiltração de águas residuais e excesso de urina de pessoas e animais (COELHO *et al.*, 2017).

Dos poços de natureza pública existentes na bacia, a maior parte não apresenta informações completas sobre os parâmetros de qualidade da água. Observou-se que para o parâmetro cálcio, em um dos poços, os valores chegaram a 11,4 mg/L, e magnésio, 6,31mg/L.

A dureza da água, que é dada pela soma das concentrações de íons de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) na água, é outra variável a ser considerada importante para avaliar a qualidade da água, no contexto da Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Estudo realizado por Farias, Farias e Dantas Neto *et al.* (2016) nas águas dos poços da região do município de Boa Vista (PB) mostrou que as concentrações de íons de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) na água se apresentaram em desacordo com a legislação, estando, portanto, na época, fora dos padrões de potabilidade para consumo humano.

Quanto ao sulfato, este decorre da dissolução de rochas e solos e da poluição antrópica, possuindo como efeito negativo o fato de as altas concentrações provocarem incrustações e, para consumo humano, efeito laxativo (NASCIMENTO, 2020)

O valor máximo observado foi de 27,59 mg/L de sulfato. Conforme a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, o limite máximo permitido para o sulfato na água

potável é de 250 mg/L. Esse valor é estabelecido para garantir que a água seja segura e não cause efeitos adversos à saúde e ao uso cotidiano.

Com relação aos valores de nitrato (NO_3^-), alguns poços apresentaram valores de até 93,1 mg/L, enquanto o limite máximo permitido pela legislação é de 10 mg/L.

Santos e Silva (2021) afirmam que as principais fontes de contaminação por nitrato nas águas subterrâneas são as atividades humanas, excrementos de animais, fertilizantes nitrogenados e os efluentes domésticos. A contaminação das águas subterrâneas por nitrato pode comprometer o abastecimento de água potável, especialmente em áreas rurais, onde o tratamento da água pode ser limitado (SANTOS; SILVA, 2021).

O consumo frequente de água com excesso de nitrato pode contribuir para a formação de substâncias carcinogênicas, como nitrosamidas (COSTA; KEMPKA; SKORONSKI, 2016). Portanto, o excesso de nitrato indica a contaminação de aquíferos ou condições higiênico-sanitárias inadequadas de poços (SOARES; COSTA, 2020).

Análises de águas subterrâneas e superficiais

O mapa da Figura 8 apresenta a distribuição das amostras de águas superficiais e dos poços, assim como os pontos de coletas dos estudos de Campos (2020) e de Damasceno (2018).

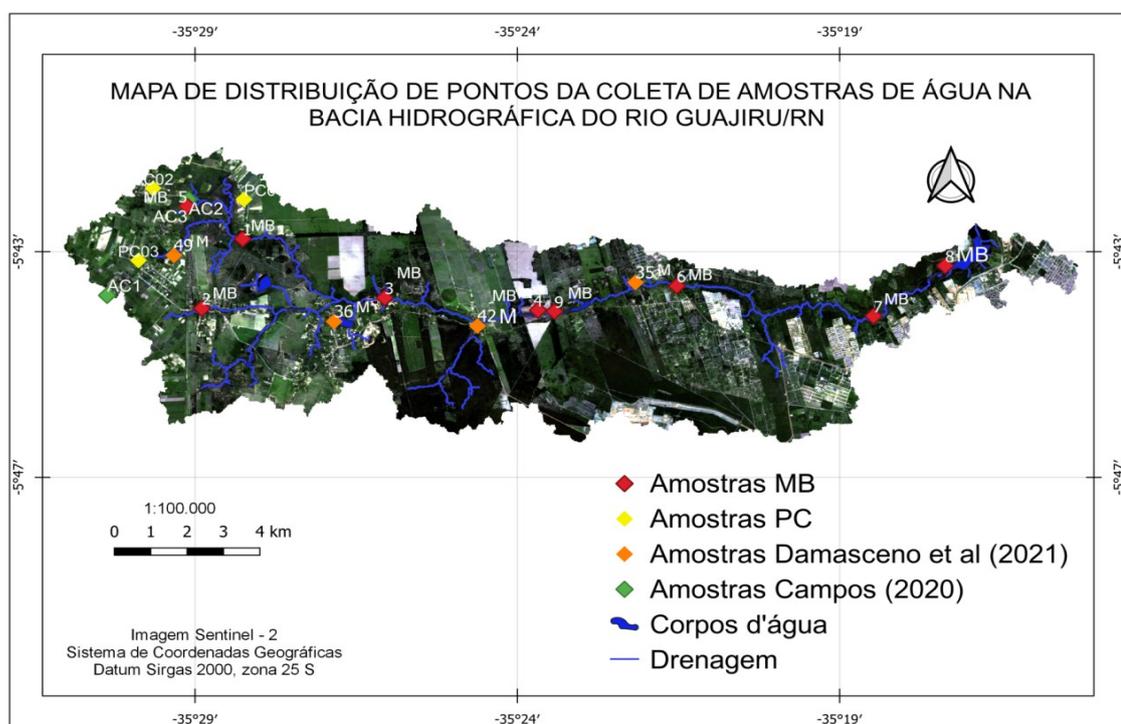


Figura 8. Distribuição dos pontos de coleta das amostras de água. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2022).

O ponto PC01 fica inserido em propriedade privada localizada no Assentamento Carlos Marighella, em Ceará-Mirim. No entorno da cacimba, existem plantações agrícolas e criação de animais, além de proximidade de fossa séptica, de acordo com o proprietário. A água é utilizada para atividades domésticas e consumo humano.

O PC02, também localizado em propriedade privada, encontra-se inserido no assentamento Padre Cícero, em Ceará-Mirim. Segundo o proprietário, atualmente a água da cacimba é utilizada para dessedentação animal. No entorno, desenvolve-se criação de gado e plantação de culturas, como milho e feijão.

O PC03 fica no assentamento Marcoalhado, em Ielmo Marinho. Na propriedade, também se observaram, ao redor da cacimba, plantações de milho. De acordo com o proprietário, a água foi utilizada para consumo humano, no entanto, ao se perceberem alterações no gosto da água, seu consumo passou a ser voltado para irrigação de culturas. A Tabela 1 apresenta os resultados das análises das águas subterrâneas.

Para os parâmetros turbidez e fósforo total, todas as amostras demonstraram-se em conformidade. No que se refere aos valores do parâmetro sólidos totais, todas as amostras encontram-se em conformidade. A Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, estabelece que o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 uT.

Tabela 1. Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para águas subterrâneas tendo como referência a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, e a Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008.

Amostras	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Turbidez (NTU)	pH (ND)	Sólidos totais (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	DBO_5 (ml/L)	Coliformes termotoler antes (NMP/100 ml)
PC01	193,70	< 0,10	4,83	129,78	4,64	< 0,02	< 0,05	1,02	17,0
PC02	940,00	2,69	4,46	629,80	10,21	0,08	< 0,05	0,31	130,0
PC03	538,00	< 0,10	5,28	360,46	10,74	0,02	< 0,05	1,22	31,0

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Os sólidos totais dissolvidos são compostos de sais inorgânicos, como magnésio, potássio, cálcio, bicarbonatos, sódio, cloretos e sulfatos, e matéria orgânica dissolvidos em água (WATER RANGERS, 2015).

Conforme Vitó, Silva, Oliveira, Gomes e Nunes (2016), na qualidade da água que é direcionada para o abastecimento, os altos teores de sais minerais estão associados à tendência de corrosão nos sistemas de distribuição, além de conferirem sabor à água. Para as águas subterrâneas das classes 1 e 2, o valor máximo permitido para consumo humano é 1000 mg/L.

Os resultados mostraram também que, de todas as amostras analisadas, a PC2 foi a que apresentou os valores mais elevados de condutividade elétrica, com 940,00

$\mu\text{S/cm}$. A Organização Mundial da Saúde (OMS) não estabelece valor-guia para esse parâmetro, dando conta, no entanto, da importância de sua determinação.

O Decreto-Lei nº 152, de 7 de dezembro de 2017, define como valor paramétrico para a condutividade 2500 $\mu\text{S/cm}$ (microsiemens por centímetro) a 20°C (COSTA; COSTA JUNIOR; VORPAGEL; ZONIN, 2021).

Nas amostras PC02 e PC03 (Tabela 1), os valores de nitrato ultrapassaram os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, cujo valor máximo permitido é de 10 mg/L. O mesmo valor-limite de referência é considerado pela Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008 (BRASIL, 2008). No tocante ao poço PC01, este apresenta valores abaixo do limite estabelecido, estando em conformidade com a legislação para níveis de nitrato. Já em relação ao parâmetro nitrito, todas as amostras estão dentro dos padrões estabelecidos para consumo humano, de acordo com a Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008.

Segundo o Ministério da Saúde (2021), o pH ideal da água deve ser mantido entre 6 e 9,0. Além das questões de filtragem e dos aspectos microbiológicos, esse é o padrão considerado adequado para consumo. As amostras PC01, PC02 e PC03 apresentaram pH abaixo de 6, o que as caracteriza como água ácida.

Silva *et al.* (2020), em seus estudos sobre a análise da qualidade de água nos poços do interior do município de Caxambu do Sul/SC, também identificaram níveis de pH abaixo de 6, no entanto, ressaltam que a leve acidez da água não traz riscos à saúde e que a ocorrência desse pH levemente ácido se deve, possivelmente, ao tipo de rocha formadora do solo existente na região.

Moreira *et al.* (2021) também analisaram o parâmetro pH em um estudo realizado dentro de um bairro no município de Goiânia/GO e encontraram valores inferiores ao limite mínimo, indicando acidez na água. Diante disso, os autores evidenciam a importância do monitoramento da qualidade da água para o abastecimento em condições adequadas e seguras para a população.

Com relação ao parâmetro DBO, a portaria do Ministério da Saúde não estabelece um valor-limite. Em contrapartida, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, indica, para águas destinadas ao abastecimento público após tratamento convencional, o valor-limite de 5 mg/L. Dessa forma, observa-se que todas as amostras deste estudo se encontram abaixo desse limite.

Sobre a presença de coliformes termotolerantes na água, a Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, estipula a ausência destes em 100 ml de água como padrão microbiológico para consumo humano.

As amostras indicaram a presença de coliformes termotolerantes, e, entre elas, a do poço PC02 apresentou valor mais elevado. Essa constatação possivelmente se associa às atividades desenvolvidas no entorno dos poços, como agricultura e manejo de animais, assim como à presença de residências (SCHEFFLER; BISOGNIN; SILVA; WEBER, 2022).

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras coletadas em águas superficiais são apresentados na Tabela 2. A análise e interpretação desses resultados teve como referência os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que possibilita enquadrar essas águas como da Classe 2: águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, e à aquicultura e à atividade de pesca.

Tabela 2. Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos de amostras de águas superficiais.

Amostras	CE (µg/L)	Turbidez (NTU)	pH (ND)	Sólidos totais (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	DBO ₅ (ml/L)	Coliformes termotolerant es (NMP/100ml)
MB001	792,00	37,69	5,56	559,00	0,33	<0,02	0,05	3,59	2200,0
MB002	248,60	9,25	5,82	183,00	0,54	<0,02	0,05	1,62	260,0
MB003	465,00	60,81	6,00	383,00	0,88	<0,02	<0,05	2,16	5400,0
MB004	824,00	34,25	6,98	590,00	0,46	<0,02	<0,05	3,41	—
MB005	356,00	42,06	5,37	266,00	0,93	<0,02	0,18	8,91	230,0
MB006	366,00	2,06	6,94	230,00	< 0,10	< 0,02	< 0,05	5,35	240,0
MB007	207,10	5,19	5,57	116,00	0,26	< 0,02	< 0,05	1,04	45,0
MB008	223,00	9,25	6,00	109,00	0,36	< 0,02	< 0,05	3,56	78,0
MB009	595,00	39,56	6,61	374,00	0,71	< 0,02	0,07	10,89	330,0

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Para as águas superficiais, em todas as amostras, os valores para o parâmetro turbidez mantiveram-se dentro dos padrões de referência estabelecidos para a classe 2, de até 100 UNT, conforme a resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (Tabela 2). Campos (2020) observou em suas análises que os valores altos de turbidez nas águas do assentamento Padre Cícero (Tabela 2) estariam relacionados com a presença do gado bovino pastando nas margens de riachos e lagoas.

Em sua pesquisa, a autora também chama a atenção para o impacto da ausência da mata ciliar nas lagoas e nos riachos do assentamento. A presença da cobertura vegetal reduziria o escoamento de sedimentos para os mananciais, estabilizando suas margens, o que ajudaria a manter a cor da água em níveis mais adequados de turbidez (CAMPOS, 2020).

Na região, entende-se que os valores encontrados estão de acordo, considerando um suposto acentuado processo de erosão e transporte de sedimentos. Ressalta-se que os dados coletados na EMPARN para o ano de 2022 indicam que foi um ano chuvoso, com a precipitação chegando aos 1.128,4 mm, e que as margens dos corpos de águas estão, na sua grande maioria, desprotegidas da mata ciliar capaz de filtrar e barrar parte do volume de material escoado para os canais fluviais.

Para o parâmetro fósforo total, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, estabelece o valor de até 0,03 mg/L, em ambientes lênticos. Sendo assim, a

amostra do ponto MB005 da Tabela 2 apresentou valor elevado, chegando aos 0,18 mg/L.

Ressalta-se que esse ponto se localiza no Assentamento Padre Cícero, local em que Campos (2020) também evidenciou altos valores para o mesmo parâmetro em todas as suas amostras. A autora indicou forte presença de matéria orgânica na água, decorrente de dejetos animais e de carregamento de fertilizantes químicos.

Com as chuvas do ano de 2023, alguns terrenos dentro do assentamento tiveram as pastagens removidas ou foram desmatados para preparação e adubação da terra para semeadura de milho, sorgo e feijão. Todos esses terrenos drenam para nascentes e cursos d'água do Rio Guajiru.

Para sólidos totais, as amostras MB001 e MB004 (Tabela 2) apresentaram valores acima dos níveis estabelecidos para consumo humano, de até 500 mg/L. Esse parâmetro está diretamente relacionado com a condutividade elétrica e é usado em laboratório como medida da salinidade da água ou dos efeitos causados por alguma atividade antrópica que afetou o corpo d'água (ARAÚJO; OLIVEIRA, 2013; PIRATOBA; RIBEIRO; MORALES; GONÇALVES, 2017).

Os resultados das análises (Tabela 2) demonstram que, para o parâmetro condutividade elétrica, as amostras dos pontos MB001 ao MB009 apresentaram níveis mais elevados quando comparadas com as demais. A condutividade elétrica traz uma noção bastante interessante da salinidade total, que indiretamente sugere a origem e o grau de contaminação da água (SANTIAGO; SILVA; SOARES, 2018), pois representa uma medida da concentração total de sais dissolvidos presentes na água.

Segundo Nolasco *et al.* (2020), a condutividade também está diretamente relacionada com a formação geológica da área em questão, de forma que mudanças significativas podem ser indicadores da ocorrência de processos de poluição, com descarga de material, nas águas advindas de efluentes de áreas residências, sistemas de irrigação, escoamento superficial de áreas agrícolas e efluentes industriais.

Mesmo que a observância do aumento de íons no corpo hídrico seja importante para a identificação de possíveis contaminantes na água, a legislação brasileira não define valores para esse parâmetro (MARINHO *et al.*, 2020).

Por sua vez, para o parâmetro nitrato, os valores apresentam-se abaixo dos 10,0 mg/L, ou seja, dentro do que o CONAMA estabelece como dentro do padrão. Já com relação aos teores de nitrito, todas as análises estão de acordo com os valores de referência estabelecidos na legislação.

Em consideração ao pH, um dos parâmetros mais importantes da qualidade da água, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, estabelece que, para proteção da vida aquática, o pH deve estar entre 6 e 9 (BRASIL, 2005). Os resultados apresentados na Tabela 2 demonstram que as amostras analisadas nos pontos MB001, MB002, MB005 e MB007 apresentaram valores de pH abaixo de 6,0, o que está fora dos padrões de referência da resolução mencionada.

Por seu turno, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica na água através da decomposição microbiana aeróbia. Valores altos de DBO num corpo d'água são provocados e, geralmente, causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente de esgotos domésticos.

Os resultados para DBO apontam que as amostras coletadas nos pontos MB001, MB002, MB003, MB004 MB007 e MB008 estão dentro dos limites, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, porém as amostras coletadas nos pontos MB005, MB006 e MB009 (Tabela 2 e Figura 8) apresentam valores de até 10, 89 mg/L, ultrapassando o padrão vigente, de até 5 mg/L.

Estudo realizado por Ricci e Wiecheteck (2021) no Ribeirão Jaculinga, no estado do Paraná, afluente da Bacia do Rio Tibagi, mostrou altos níveis de DBO. A conclusão alcançada na pesquisa foi que a atividade agrícola exercida na região, com a substituição das matas, vem causando uma redução na capacidade de infiltração do solo e, assim, influenciando no aumento dos níveis de DBO acima dos padrões.

Para os coliformes termotolerantes, os resultados indicam que as amostras coletadas nos pontos MB001 e MB003 (Tabela 2 e Figura 8) apresentaram valores de 2.200 e 5.400 de coliformes termotolerantes por 100 ml, respectivamente, valores esses que ultrapassam o estabelecido pelo CONAMA. Para as amostras coletadas nos pontos MB002, MB005, MB006 e MB009 (Tabela 1 e Figura 8), os valores altos indicam amostras impróprias para consumo humano, porém que ainda podem ser utilizadas para dessedentação animal.

Ainda no mesmo parâmetro, as amostras coletadas nos pontos MB007 e MB008 (Tabela 2 e Figura 8) apresentaram os menores valores com relação às demais amostras: 45,0 e 78,0, respectivamente. A amostra MB007 foi coletada nas proximidades da Lagoa de Extremoz, e o ponto MB008, na margem esquerda da lagoa.

Tabela 3. Resultados das análises dos estudos de Campos (2020) – amostras AC01, AC02, AC03 – e Damasceno (2018) – amostras M35, M36, M42, M49.

Amostras	CE (µg/L)	Turbidez (NTU)	pH (ND)	Sólidos totais (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	DBO ₅ (ml/L)	Coliformes termotolerant es (NMP/100ml)
AC01	1800	36,35	6,36	-----	0,1	0,1	0,16	1,47	230
AC02	173	36,70	6,44	-----	0,1	0,1	0,21	4,40	170
AC03	229	210,00	5,35	-----	0,1	0,1	0,31	12,00	490
M35	71,670	2,000	5,7	48,730	0,290	0,000	----	----	----
M36	826,500	13,330	8,3	575,000	0,000	0,000	----	----	----
M42	1.834,400	2,000	8,2	1.204,000	0,000	0,000	----	----	----
M49	789,500	2,000	7,9	504,000	1,350	0,000	----	----	----

Fonte: Elaborada pelos autores (2022) a partir de Damasceno (2018) e Campos (2020).

A Tabela 3 apresenta os resultados das análises de água dos estudos de Campos (2020) e Damasceno (2018). Damasceno e Souza (2020) verificaram aspectos químicos de águas e sedimentos nas bacias dos rios do Mudo e do Guajiru e, para

os pontos analisados no rio Guajiru (Tabela 3), concluíram que, mesmo apresentando salinidade satisfatória para irrigação ou outros consumos, a presença de metais inviabiliza a utilização dessas águas para quaisquer usos.

CONCLUSÃO

A coleta de informações dos poços mostrou que, de 164 poços catalogados, 132 não contêm informações sobre a situação deles. Do total, 149 poços são privados, e 6 deles contavam com piezômetro. A profundidade desses poços varia de 3 a 160 metros, mas 46 deles não têm informação de profundidade do poço.

Dos poços públicos, 14 são tubulares e utilizados para abastecimento público e agrícola, com profundidade que varia de 18 a 85 metros. Apenas 3 dos poços de natureza pública e 3 dos poços de natureza privada possuem informações sobre parâmetros de qualidade da água.

Com relação aos parâmetros de qualidade da água dos poços cadastrados, observou-se que a falta de dados e informações varia muito em quantidade, diversidade e distribuição espacial por poços, além de algumas informações estarem desatualizadas, representando uma dificuldade para a realização de estudos de qualidade da água desses poços na Bacia do Rio Guajiru.

O mapeamento dos mananciais superficiais mostrou que só 0,9% do território é recoberto por água. Mesmo as elevadas precipitações que ocorreram nos municípios de Ceará-Mirim, Ielmo Marinho e São Gonçalo do Amarante em 2022, de 947,2 mm, 1.128,4 mm e 991,0 mm (EMPARN, 2022), respectivamente, não foram suficientes para aumentar a cobertura de lâminas de água, notadamente no alto curso do rio, onde há uma razoável concentração da população rural.

Do total de três amostras retiradas de cacimbas particulares, PC01, PC02 e PC03 (Tabela 1), todas se encontram impróprias para consumo humano. No campo, foi constatado que, entre os poços analisados, apenas o PC01 é utilizado para consumo humano. Mesmo assim, com base nos padrões de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, e a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, não seria recomendável tal utilização sem que houvesse um tratamento prévio, pois poderia oferecer riscos à saúde.

Do total de 9 amostras de mananciais superficiais, apenas a amostra MB008, coletada na Lagoa de Extremoz, apresentou resultados dentro dos valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

As águas nos pontos MB001, MB002, MB005 e MB007 encontravam-se com pH fora dos padrões estabelecidos, caracterizando-se como águas ácidas, sendo impróprias para consumo humano.

O emprego do SIG QGis 3.16.11 e a imagem de satélite foram eficientes na identificação de corpos de água e nas orientações das coletas de amostras, nas visitas *in loco*, contribuindo para identificar e acessar os locais com variados cenários de degradação ambiental decorrentes da ocupação humana desordenada. Portanto, pode-se afirmar que essas geotecnologias digitais são imprescindíveis nos

estudos ambientais para levantar, mapear e caracterizar problemas no campo de forma mais ampla e distribuída pelo território.

Por fim, entende-se que o desmatamento e os locais mais antropizados nas proximidades das drenagens são em parte responsáveis por uma maior degradação da qualidade das águas superficiais para os parâmetros sólidos totais, condutividade elétrica, fósforo total e DBO. Nesse sentido, pode-se afirmar que são necessários, por parte do poder público, investimentos, sobretudo no que se diz respeito ao monitoramento e ao tratamento da água dos poços utilizados pela população rural, visto que a qualidade da água nessas comunidades está associada às características de sua localização, como a ausência de infraestrutura sanitária e a proximidade de fossas em relação aos poços. Além disso, a restauração da vegetação e sua preservação próxima de nascentes, matas ciliares e no entorno de mananciais superficiais poderá, no futuro, contribuir com a melhoria da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento (PRODEMA/UFRN) e à CAPES pela concessão de bolsa à primeira autora.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Concepção: Michele Barbosa e Sebastião Milton. **Metodologia:** Michele Barbosa e Sebastião Milton. **Análise formal:** Michele Barbosa e Sebastião Milton. **Pesquisa:** Michele Barbosa e Sebastião Milton. **Preparação de dados:** Michele Barbosa e Sebastião Milton. **Escrita do artigo:** Michele Barbosa e Sebastião Milton. **Revisão:** Sebastião Milton. **Supervisão:** Sebastião Milton. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

REFERÊNCIAS

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019:** informe anual. Brasília, DF: ANA, 2019. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/ana_encarte_cobranca_conjuntura2019.pdf. Acesso em: 19 mar. 2022.

ANGELIM, L. A. *et al.* (org.) **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte:** Escala 1:500.000. Recife: CPRM, 2007.

APPI, N. *et al.* Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). **Geografia Ensino & Pesquisa**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 77-92, 2012. DOI 10.5902/223649947581. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/7581>. Acesso em: 13 ago. 2024.

ARAÚJO, M. C.; OLIVEIRA, M. B M. Monitoramento da qualidade das águas de

um riacho da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 247- 257, 2013. DOI org/10.4136/ambi-agua.1192.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/PPLzN5spbxnBcX7JvWGRRMG/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 25 mar. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, n. 053, p. 58-63, 18 mar. 2005. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 25 jun. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, 7 abr. 2008. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=545. Acesso em 25 jun. 2022.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 7 abr. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em 2 out. 2024.

CAMPOS, A. L. F. **Geotecnologias aplicadas à análise ambiental no assentamento de reforma agrária padre Cícero na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, Ceará-Mirim (RN)**. 2020. 115f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**: release 5.0.0.1. [S.l.], 2018. 208 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265031337_SemiAutomatic_Classification_Plugin_User_Manual. Acesso em: 4 nov. 2022.

CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, [s. l.], v. 1, n. 42, p. 140-161, 2020. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/6953>. Acesso em: 6 maio 2022.

COELHO, S. C. *et al.* Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil.

Revista Ambiente & Água, [s. l.], v. 12, n. 1, jan./fev. 2017. DOI 10.4136/ambi-
agua.1962. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/q6YqwDvZ5ctjNMYs3fzD8bg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 5 ago. 2024.

COSTA, A. F. S.; TEIXEIRA, C.M.; SILVA, C.S.; NASCIMENTO, J.A. Do.; OLIVEIRA, M.M.; QUEIROZ, Y.de O.; SILVA, M. De J. **RECURSOS HÍDRICOS**. Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas | Sergipe | v. 1 | n.15 | p. 67-73 | out. 2012. Disponível em: [file:///C:/Users/PC/Downloads/amchagas,+CDG-Exatas-67-73-n01%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/amchagas,+CDG-Exatas-67-73-n01%20(1).pdf). Acesso em: 06 ago. 2024.

COSTA, F. R.; SOUZA, R. F. de; SILVA, S. M. P. da. Caracterização Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN/Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, [s. l.], v. 75, p. 43-63, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.5380/geo.v75i0.58756>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/58756/3974>. Acesso em: 3 nov. 2022.

COSTA, M. L.; COSTA JUNIOR, J. M.; VORPAGEL, J. D. S.; ZONIN, W. J. Avaliação da qualidade da água para abastecimento humano do assentamento 10 de abril, Crato (CE) e sistema integrado de saneamento rural da bacia do salgado. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 317–340, 2021. DOI: 10.19177/rgsa.v10e32021317-340. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8932. Acesso em: 7 maio 2022.

COSTA, D. D; KEMPKA, A. P; SKORONSKI, E. A contaminação de mananciais de abastecimento pelo nitrato: o panorama do problema no Brasil, suas consequências e as soluções potenciais. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 10, n. 2, p. 49-61, 2016. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/338>. Acesso em: 3 ago. 2024.

DAMASCENO, Micael Batista. **Aspectos químicos de águas e sedimentos em corpos hídricos superficiais nos rios Guajiru e do Mudo, Bacia Hidrográfica do Rio Doce/RN**. 2018. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

DAMASCENO, M. B. *et al.* Caracterização hidroquímica de águas superficiais dos rios Guajiru e do Mudo, Bacia Hidrográfica do Doce, Nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, [s.l.], v. 48, n. 1, p. e102566, 2021. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/102566>. Acesso em: 1º nov. 2022.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

EMPARN. **Boletim Diário**. Disponível em:
<http://meteorologia.emparn.rn.gov.br/boletim/diario>. Acesso em: 28 nov. 2022.

FARIAS, D. S. C. R.; FARIAS, S. A. R.; DANTAS NETO, J. Avaliação de água de poços tubulares para consumo humano no Município de Boa Vista, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 8-14, 2016. DOI 10.18378/rvads.v11i5.3943. Disponível em:
<https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3943>. Acesso em: 6 ago. 2024.

FAUSTINO, A. B; RAMOS, F. F; SILVA, S. M. P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em Sensoriamento Remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 18-30, 2014. Disponível em:
<https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/5305>. Acesso em: 14 abr. 2022.

FERNANDES, J. de F. *et al.* Análise da qualidade da água do rio Jaguaribe, em um trecho situado no município de Jaguaribe, Ceará, Brasil. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 215-226, 2019. DOI 10.5433/1679-0367.2019v40n2p215. Disponível em:
<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/seminabio/article/view/34599>. Acesso em: 6 maio 2022.

GLORIA, L. P.; HORN, B. C.; HILGEMANN, M. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da Água - IQA. **Caderno Pedagógico**, [s. l.], v. 14, n. 1, 2017. DOI 10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1421. Disponível em:
<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/1364>. Acesso em: 6 maio 2022.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IBGE. **Downloads**: geociências, organização_do_territorio, 2021. Canal de arquivos para download. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 8 dez. 2021.

INCRA. **Informações gerais sobre os Assentamentos de Reforma Agrária**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/assentamentos-relacao-de-projetos>. Acesso em: 27 jan. 2022.

MARINHO, Eduardo Ribeiro *et al.* Avaliação da Ação Urbana no Canal Água Cristal em Belém, Pará, um Estudo Sobre Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 322-335, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v13.1.p322-335. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbge/article/view/242727>. Acesso em: 7 maio. 2022.

MORAIS, M. A. *et al.* Qualidade da água como instrumento para a gestão hídrica da Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu (Rio Grande do Norte, Brasil). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s. l.], v. 7, n. 17, p. 1563-1573, 31 dez. 2020. <https://revista.ecogestaobrasil.net/v7n17/v07n17a33.html>. Disponível em: <https://revista.ecogestaobrasil.net/v7n17/v07n17a33a.html>. Acesso em: 25 jul. 2024.

MOREIRA, M. H.; KOPP, K. A.; NARDOCCI, A. C. Avaliação da qualidade da água para consumo humano proveniente de poços rasos e do risco de infecção desta por exposição a patógenos emergentes em um bairro de Goiânia, Goiás. **Revista Águas Subterrâneas**, [s. l.], v. 35, n. 2, e-30043, 2021. DOI <https://doi.org/10.14295/ras.v35i2.30043>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/30043>. Acesso em: 27 jul. 2024.

MOSTARDA NETO, N., LAMAC, J., MANTOVANI, R. **Relatório da situação dos Recursos Hídricos 2022**: Comitê das Bacias Hidrográficas da Serra da Mantiqueira. São Paulo: CBH-SM, 2022. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/deliberation//CBH-SM/23238/relatorio-da-situacao-2022-_2021-cbh-sm.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.

NASCIMENTO, Daniela M. A importância da qualidade da água para seu uso na irrigação. **Boletim do Tempo Presente**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 70-92, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufs.br/tempopresente/article/view/14512>. Acesso em: 3 out. 2024.

NEVES, M. A.; MORALES, N.; SAAD, A. R. Coberturas Sedimentares Cenozóicas da Bacia do Rio Jundiá – SP. **Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 289-303, 2005. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/147>. Acesso em: 22 jun. 2022.

NOLASCO, G. M. Análise da alcalinidade, cloretos, dureza, temperatura e condutividade em amostras de água do município de Almenara/MG. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, Almenara, v. 2, n. 2, p. 52-64, 2020. DOI: 10.46636/recital.v2i2.60. Disponível em: <https://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital/article/view/60>. Acesso em: 7 maio 2022.

OLIVEIRA, M. M., *et al.* Análise físico-química e microbiológica de águas de poços artesianos de uso independente. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 624-639, 2018. DOI 10.19177/rgsa.v7e32018624-639. Disponível em:

https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/6971. Acesso em: 6 maio 2022.

OLIVEIRA, P. T. de.; RAMIRES, I. Análise da Qualidade das Águas de Poços Rasos no Assentamento Itamarati em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 88-114, 2019. DOI 10.19177/rgsa.v8e3201988-114. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/7319. Acesso em: 6 maio 2022.

OLIVEIRA, C. S. P.; SILVA, J. C.; TAVARES, J. L. Análise de qualidade da água e percepção ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu (BHRP). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [s. l.], v. 8, n. 3. p. 13-26, 2020. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/387/233> Acesso em: 28 de jun. 2022.

ONU. **What is Water Security? Infographic**. 2013. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/water-security-infographic/>. Acesso em: 3 set. 2022.

PEREIRA, Vânia Rosa; RODRIGUEZ, Daniel Andrés; COUTINHO, Sônia Maria Viggiani; SANTOS, Diogo Victor; MARENGO, José Antônio. Oportunidades de adaptação para segurança hídrica no Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, [s. l.], v. 3, p. 91-121, 2020. DOI 10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33858. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/33858>. Acesso em: 27 jul. 2024.

PIRATOBA, A. R. A., RIBEIRO, H. M. C., MORALES, G. P., GONÇALVES, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12 n. 3, maio/2017. DOI 10.4136/1980-993X. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/f45JMMTdfXvPWLmM6mbDX6K/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 jul. 2022.

RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**: caracterização hidrogeológica dos aquíferos do Rio Grande do Norte. Natal: SERHID, 1998.

ROCHA, M. B; SILVA, S. M. P. Uso e cobertura da terra em microbacias de nascentes degradadas do rio Guajiru (RN) baseada em dados de campo e apoio de geotecnologias. *In*: CONADIS, 1., 2018, Natal. **Anais** [...]. Natal: UFRN, 2018. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/50890>. Acesso em: 22 nov. 2021.

SANTIAGO, C. M. C.; SILVA, E. V.; SOARES, L. S. Diagnóstico da qualidade da água frente às alterações antrópicas na bacia hidrográfica do Rio São Nicolau. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, [s. l.], v. 9, n. 2, p.127-147,

2018. DOI <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0012>. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2018.002.0012>. Acesso em: 19 jul. 2022.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SANTOS, L. M. F.; SILVA, R. A. Nitrato em águas subterrâneas: um alerta sobre os riscos à saúde. **BEPA – Boletim Epidemiológico Paulista**, São Paulo, v. 18, n. 216, p. 46-57, 2021. DOI 10.57148/bepa.2021.v.18.37269. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/BEPA182/article/view/37269>. Acesso em: 24 jul. 2024.

SCHEFFLER, J.; BISOGNIN, R. P.; SILVA, D. M.; WEBER, F. H. Qualidade das Águas Subterrâneas de Consumo Humano em Comunidades Rurais no Noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 72–92, 2022. DOI 10.59306/rgsa.v11e1202272-92. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/10062. Acesso em: 7 maio 2022.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2022.

SILVA, M. L. N. *et al.* Análise da Qualidade de Água de Poços Rasos no Interior do Município de Caxambu do Sul - SC, um Estudo de Caso. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 14, n. 3, 2020. DOI <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v14i.6125>. Disponível em: <http://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca>. Acesso em: 23 jul. 2024.

SILVA, C. C. L. *et al.* Unidades naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17.; CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1., 2017, Campinas. Anais [...]*. Campinas: Unicamp, 2017. DOI <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2508>. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2508>. Acesso em: 12 dez. 2017.

SOARES, S. C. R.; COSTA, F. S. Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água em assentamento rural do Amazonas: o caso do PA Pacιά (Lábrea/AM). **Águas Subterrâneas**, [s. l.], v. 34, n. 2, 2020. DOI 10.14295/ras.v34i2.29896. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29896>. Acesso em: 7 ago. 2024.

SOUZA, M.M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Eng. Sanit. Ambient.**, [s.l.], v. 19, n. 3, p. 263-274, 2014. doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001097. Disponível

em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/LGHjSGCrD9fgGKzFwnnRZhG/?format=pdf&lang=pt>.
Acesso em: 6 maio 2022.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Gestão da Água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o Futuro. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014.

UNESCO. **Water Security**. 2020. Disponível em:

<https://en.unesco.org/themes/water-security>. Acesso em: 3 ago. 2024

VITÓ, C. V. G.; SILVA, L. J. B. F.; OLIVEIRA, K. M. L.; GOMES, A. T.; NUNES, C. R. O. Avaliação da qualidade da água: determinação dos possíveis contaminantes da água de poços artesianos na região noroeste fluminense. **Acta Biomedica Brasiliensia**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 59-75, 2016. DOI

<http://dx.doi.org/10.18571/acbm.111>.

Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=16187> Acesso em: 28 jan. 2022.

YAMASHITA, N. P. L. *et al.* Segurança hídrica no assentamento Manoel Alves – TO: uma análise da qualidade da água/ Water safety in settlement Manoel Alves - TO: an analysis of water quality. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 8234-8247, 2020. DOI 10.34117/bjdv6n2-216. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/7030>. Acesso em: 7 ago. 2024.

WATER RANGERS. **Water Test Parameters: total dissolved solids (TDS)**. 2015.

Disponível em: <https://www.waterrangers.ca/testkits/tests/total-dissolved-solids-tds/>. Acesso em: 9 jan. 2022.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0