

INSTITUTO FEDERAL

Sertão Pernambucano

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO**

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO (PROPIP)
CAMPUS SALGUEIRO**

PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM RECURSOS HÍDRICOS PARA O SEMIÁRIDO

MARIA INÁCIO DA SILVA

**AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA
MICROBACIA DO RIO SACO LOBO, CRATO - CE**

Salgueiro - PE

2023

MARIA INÁCIO DA SILVA

**AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA
MICROBACIA DO RIO SACO LOBO, CRATO - CE**

Monografia apresentada ao curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Recursos Hídricos para o Semiárido, ofertado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, *campus* Salgueiro, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos para o Semiárido.

Orientador: Francisco das Chagas de Sousa

Salgueiro - PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S111 SILVA, Maria Inácio da.

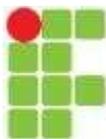
Avaliação microbiológica de águas subterrâneas na Microbacia do Rio Saco Lobo, Crato - CE / Maria Inácio da SILVA. - Salgueiro, 2023.
18 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Recursos Hídricos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, 2023.

Orientação: Prof. Msc. Francisco das Chagas de Souza.

1. Água - Tratamento - Controle de Qualidade. 2. Abastecimento público. 3. Semiárido. 4. Qualidade microbiológica. I. Título.

CDD 628.16



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO

Salgueiro - Código INEP: 26548747

Rod Br 232, Km 508, S/N, CEP 56000000, Salgueiro (PE)

CNPJ: 10.830.301/0005-20 - Telefone: 87 3421-0050

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **Avaliação microbiológica de águas subterrâneas na microbacia do rio saco lobo, Crato - CE**, sob orientação de Francisco das Chagas de Sousa, apresentada pela aluna **Maria Inácio da Silva (202127030016)** do Curso **Pós-Graduação em Especialização em Recursos Hídricos para o Semiárido (Salgueiro)**. Os trabalhos foram iniciados às **09:30** pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Francisco das Chagas de Sousa** (Presidente)
- **Luciana Nunes Cordeiro** (Examinadora Interna)
- **Teobaldo Gabriel de Souza Júnior** (Examinador Externo)
- **Maria da Conceicao Martins Ribeiro** (Examinadora Suplente Interna)
- **Tetisuelma Leal Alves** (Examinadora Suplente Interna)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição da candidata. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado Reprovado Nota (quando exigido): 100 **Observação / Apreciações:**

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Francisco das Chagas de Sousa** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Salgueiro / PE, 28/04/2023



Documento assinado digitalmente

TEOBALDO GABRIEL DE SOUZA JUNIOR

Data: 05/05/2023 11:02:02-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Teobaldo Gabriel de Souza Júnior



Documento assinado digitalmente

FRANCISCO DAS CHAGAS DE SOUSA

Data: 02/05/2023 20:48:48-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Francisco das Chagas de Sousa



Documento assinado digitalmente

LUCIANA NUNES CORDEIRO

Data: 03/05/2023 11:22:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luciana Nunes Cordeiro



Recebido: 31/03/2023 | Revisado: 30/04/2023 |



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 Unported License.

DOI: 00.0000/0000-0000.2018x0y0z0

Avaliação microbiológica de águas subterrâneas na Microbacia do Rio Saco Lobo, Crato - CE

*Microbiological evaluation of groundwater in the Microbasin of the River Saco Lobo, Crato - CE***SILVA, Maria Inácio da. Doutoranda/Química Biológica**URCA - campus Pimenta. Rua cel. Antonio Luiz, 1611, Crato - CE, Brasil. CEP: 63.105-000 / Telefone: (88) 98219.4124 / E-mail: maria.i.silva@urca.br**VIEIRA LIMA, Mirelle Tainá. Doutoranda/Recursos Hídricos**UFPEL - campus porto. Rua Gomes Carneiro, 1 centro Pelotas, RS - Brasil. CEP 96010-610/ Telefone: (53) 32843841/ E-mail: mirellet.vieira@gmail.com**LIMA OLIVEIRA, Victor Ardiles de. Graduado/Engenharia Civil**Universidade Federal do Cariri-UFCA -campus Juazeiro do Norte-CE. CEP:63.048-080. / Telefone: (88) 3221.9200/ E-mail: viktor.ardiles@aluno.ufca.edu.br**COSTA/Celme Ferreira da. Professora Doutora/ Engenharia Civil-Recursos Hídricos**Universidade Federal do Cariri-UFCA -campus Juazeiro do Norte-CE. CEP:63.048-080 / Telefone: (88) 99980-1070/ E-mail: celme.torres@ufca.edu.br**SOUSA, Francisco das Chagas de. Professor Mestre/Química Orgânica**Instituto Federal do Sertão Pernambucano campus Salgueiro. BR-232, Km 508, s/n - Zona Rural, Salgueiro - PE, Brasil CEP. 56000-000/ Telefone: (87) 8859.4544/ E-mail: sousafrancisco@rocketmail.com.

RESUMO

A água é fundamental para manutenção da vida, razão pela qual é importante saber seu nível de qualidade, principalmente quando se destina ao consumo humano. O presente estudo teve por objetivo avaliar e apresentar os resultados da análise microbiológica obtidos de 09 poços de abastecimento público na Microbacia do Rio Saco Lobo em Crato - CE. Para realização do estudo, foi adotado o teste presuntivo de coliformes totais e confirmativo para coliformes termotolerantes (*E. Coli*), por meio da técnica do substrato cromogênico, realizada na campanha do mês de junho/2022 que correspondeu ao final do período chuvoso na região do Cariri. A partir dos resultados obtidos, é possível afirmar que o uso e ocupação do solo interferiram diretamente na qualidade microbiológica da água de abastecimento público. Os poços localizados em áreas antropizadas foram mais afetados quando comparados àqueles localizados em áreas com baixa densidade urbana. A maioria dos poços estudados (60%) teve a qualidade de suas águas comprometidas, e precisam de tratamento convencional ou simplificado para atingir níveis de potabilidade aceitáveis. A presença de coliformes totais e termotolerantes (*E. coli*) nos corpos hídricos, principalmente em áreas urbanas, pode estar relacionada ao saneamento inadequado, como o uso de fossas sépticas ou sistema de captação de rede de esgoto deficiente.

Palavras-chave: Abastecimento público. Semiárido. Qualidade microbiológica.

ABSTRACT

Water is fundamental for the maintenance of life, which is why it is important to know its quality level, especially when intended for human consumption. This study aimed to evaluate and present the results of the microbiological analysis obtained from 09 public supply wells in the Saco Lobo River Microbasin in Crato - CE. To carry out the study, a presumptive test for total coliforms and a confirmatory test for thermotolerant coliforms (*E. Coli*) were adopted, using the chromogen substrate technique, carried out in the month of June/2022, which corresponded to the end of the rainy season in the region. From Cariri. From the results obtained, it is possible to state that the use and occupation of the soil directly interfered in the microbiological quality of the public water supply. Wells located in anthropized areas were more affected when compared to those located in areas with low urban density. Most of the wells studied (60%) had their water quality compromised, and need conventional or simplified treatment to reach acceptable levels of potability. The presence of total and thermotolerant coliforms (*E. coli*) in water bodies, especially in urban areas, may be related to inadequate sanitation, such as the use of septic tanks or a poor sewage collection system.

keywords: Public supply. Semi-arid. Microbiological quality.



Introdução

A água é fundamental para manutenção da vida, razão pela qual é importante saber seu nível de qualidade, principalmente quando é destinada ao consumo humano. Apesar do Brasil ser um país rico em disponibilidade de água doce, muitos estados, sobretudo da região Nordeste, enfrentam escassez desse recurso durante grande parte do ano. Aliada isso, há o comprometimento da qualidade dessas águas pela atividade humana, e sabe-se que a água é um dos principais veículos para a transmissão de doenças. No Brasil, o custo gerado para o tratamento de doenças transmitidas ou causadas por águas contaminadas, segundo o Ministério da Saúde, é equivalente a US\$ 2,7 bilhões por ano (YAMAGUCHI *et al.*, 2013).

O acesso à água potável é um direito humano básico. A gestão do recurso hídrico baseado nas legislações vigentes e nas condições hidrogeológicas dos aquíferos torna-se imprescindível para a sua preservação (SILVA, 2020), especialmente nas regiões do nordeste brasileiro onde o abastecimento urbano é primordialmente com águas subterrâneas (RIBEIRO *et al.*, 2019).

Em função da importância que as águas subterrâneas representam para a região do Cariri Cearense, é essencial que haja avaliação microbiológica dessas águas devido suas características de veículo de transmissão de bactérias, dentre estas, coliformes totais e termotolerantes, protozoários, vírus e fungos causadores de inúmeras doenças ao homem. Esses microrganismos são responsáveis pela ocorrência de diarreias, disenterias, hepatites, cólera, entre outras enfermidades graves (FUNASA, 2013).

A água contaminada associada à falta de saneamento básico mata anualmente cerca de 1,6 milhões de pessoas no mundo (ONU, 2016). A falta da potabilidade da água nem sempre é perceptível à visão ou olfato, sendo necessária uma análise laboratorial para detectá-la. A garantia da potabilidade da água consumida depende principalmente de uma avaliação integrada de diversos parâmetros, desde a captação do manancial até o abastecimento (SOUZA *et al.*, 2019; SILVA, 2020), propiciando o acompanhamento e alterações decorrentes de atividades antrópicas ou de fenômenos naturais.

No Brasil, de acordo com a Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde/ANVISA, a água é considerada potável, sob o ponto de vista microbiológico, quando está de acordo com a seguinte conformidade: ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100mL de amostra de água para consumo, considerando-se assim inofensiva para a saúde do homem (BRASIL, 2017).

Portanto, avaliações periódicas da qualidade microbiológica de águas destinadas ao consumo humano, são primordiais para averiguar se as mesmas estão isentas de microrganismos que possam ser prejudiciais à saúde dos consumidores (SILVA, 2020; ANA, 2021). O presente trabalho se propôs analisar a presença de coliformes totais e termotolerantes em amostras de águas subterrâneas na Microbacia do Rio Saco Lobo em Crato - CE.

Referencial teórico



Águas subterrâneas do Cariri - CE

As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada. A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) define a água subterrânea como:

“Toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos.”

Quase toda água subterrânea existente na terra tem origem no ciclo hidrológico, que é um processo dinâmico e interativo de circulação da água por meio da atmosfera, hidrosfera, biosfera e geosfera, acionado pela energia solar e pela gravidade. Essas águas também podem ter sua origem associada à formação das rochas sedimentares presentes nos interstícios, denominadas de águas conatas, e águas juvenis quando de origem magmática (MACHADO, 2008).

O ciclo da água na Terra é a contínua circulação da umidade e da água em nosso planeta, tendo início, por convenção, provocada pela irradiação da luz solar, onde geralmente se formam as nuvens (OLIVEIRA, 2012). Este fenômeno é constituído pelas etapas de precipitação, evaporação, transpiração, escoamento superficial e infiltração. Na etapa de infiltração ou escoamento subsuperficial, a água precipitada penetra nos poros do solo ou fendas da rocha, movendo-se por ação da gravidade para as camadas mais profundas, promovendo o surgimento dos aquíferos subterrâneos (HEATH, 1983; PANACHUKI, 2003; SILVA, 2020).

O termo água subterrânea é normalmente reservado à água subsuperficial, que se encontra abaixo do nível freático em solos e formações geológicas que estão totalmente saturados (FREEZE e CHERRY, 2017; SILVA, 2020). Esses espaços são completamente preenchidos por água. Na parte superior da zona de saturação encontra-se o lençol freático. Em maiores profundidades encontram-se as camadas geológicas denominadas de aquíferos (HEATH, 1983; BRANDÃO, 2014).

Segundo a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, os melhores sistemas de aquíferos do estado do Ceará, em termos de vazões exploradas, estão localizados na Bacia Sedimentar do Araripe (COGERH, 2017).

A Bacia do Araripe é formada por rochas sedimentares sobrepostas a rochas do embasamento cristalino, apresentando uma diversificação litológica caracterizada por sequências alternadas de arenitos, siltitos, calcários e folhelhos, com espessura total de cerca de 1.600m. Essa diversificação favoreceu o surgimento de aquíferos, aquíferos e aquícludes, que variam espacialmente com descontinuidade vertical e lateral (OLIVEIRA, 2014; CPRM, 2021).

A Bacia do Araripe dispõe de três sistemas de aquíferos. O sistema inferior é da Formação Mauriti e parte da Formação Brejo Santo, com espessura entre 60 e 100m; Médio (Formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha), com cerca de 500m de espessura; Superior (Formação Exu e Arajara), com espessura de aproximadamente 320m. Além dos aquícludes Santana e Brejo Santo,



com espessuras respectivamente de 180m e 400m (COGERH, 2009; SOUZA e CASTRO, 2013; SILVA, 2020).

Pertencente ao sistema de aquífero médio da Bacia Sedimentar do Araripe, a Microbacia Hidrográfica do Rio Saco Lobo (MHRSL) é de grande importância para o desenvolvimento social e econômico da população Cratense na Região do Cariri Cearense. O município de Crato apresenta boa disponibilidade hídrica, condição atribuída por sua situação geográfica, estando localizado na Chapada do Araripe (GOMES *et al.*, 2017). Dessa formação, são exploradas as águas para o abastecimento público (CAVALCANTE *et al.*, 2013).

Uso e ocupação do solo x qualidade da água para abastecimento

Os estudos sobre a vulnerabilidade de aquíferos por meio de mapeamento têm sido largamente utilizados em todo mundo com a finalidade de auxílio a programas de prevenção à contaminação da água subterrânea. Estas metodologias são, geralmente, utilizadas para fornecer uma avaliação comparativa dessas áreas com o potencial de contaminação das águas (BARBOZA, 2007; NOBRE *et al.*, 2007; SILVA, 2020).

No Brasil, já existem muitos estudos abordando esta temática, onde se avalia a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas com o uso de ferramentas matemáticas, como a modelagem analítica ou numérica, juntamente com sistemas de informações geográficas (SIG). Também são objetos de estudo os impactos decorrentes do processo de urbanização sobre os níveis de qualidade de água, podendo ser citado o trabalho de Silva (2020); Silva et al., (2021); Silva et al., (2023)

Segundo dados do Ministério das Cidades e Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, o Brasil ainda possui mais de 100 milhões de cidadãos sem acesso à coleta de esgotos, sendo que 30% dos esgotos coletados não são tratados. Já com relação ao abastecimento de água por rede, mais de 35 milhões de brasileiros não têm acesso ao serviço (CAGECE, 2016).

No estado do Ceará, a situação alcança outras proporções. Com franca expansão econômica e demográfica em diversos municípios, os investimentos na implantação dos sistemas de esgoto são presentes, porém, o baixo percentual de utilização dos serviços por parte da população tem gerado maiores desafios e consequências impactantes (CAGECE, 2021).

Atualmente, o Ceará conta com cobertura de esgotamento sanitário da ordem de 40,49%. Contudo, da quantidade de domicílios que têm rede coletora disponível, 189.636 não estão efetivamente ligados, o que representa 23% de domicílios que ainda não estão interligados ao sistema público de esgoto (CAGECE, 2016). Ou seja, por um lado ainda existem milhares de moradias sem acesso às redes de esgoto, e por outro existem outros milhares onde há disponibilidade da infraestrutura, mas que, por diversos motivos, não estão interligados às redes.

A consequência dessa realidade pode ser observada, em parte, através do monitoramento da qualidade da água. Este fator tem reflexos, principalmente, na qualidade da água bruta (sem tratamento e imprópria ao consumo humano), dificultando e/ou impossibilitando seu tratamento e afetando, conseqüentemente, o abastecimento de água potável e a saúde da população (SILVA, 2020).



No estudo realizado por Silva (2020) todos os poços monitorados na Bacia Sedimentar do Araripe entre os anos de 2014 e 2018 ultrapassaram os limites recomendados pela legislação vigente em ao menos uma variável hidro geoquímica. Tais alterações na qualidade da água observadas em seu estudo podem ter sido de causas naturais, contudo, agravadas pelas atividades antrópicas decorrentes do uso e ocupação do solo, desmatamento, mineração, práticas agrícolas, urbanização entre outros, podendo ocorrer mudança do regime hídrico. O estudo de Silva et al., (2021) também aponta que a diversificada utilização dessas águas é crescente, e com isso, aumenta a importância da avaliação da qualidade por meio do monitoramento.

Portanto, para que a água subterrânea seja considerada potável, é necessária a realização de análises físico-químicas e microbiológicas a fim de verificar se ela está dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, estabelecidos nas normas vigentes no País (BRASIL, 2011b).

No Brasil, as legislações vigentes que tratam de potabilidade da água para consumo humano e de águas subterrâneas são, respectivamente, a Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011b), a Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008 (BRASIL, 2008) e Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2011a) e a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

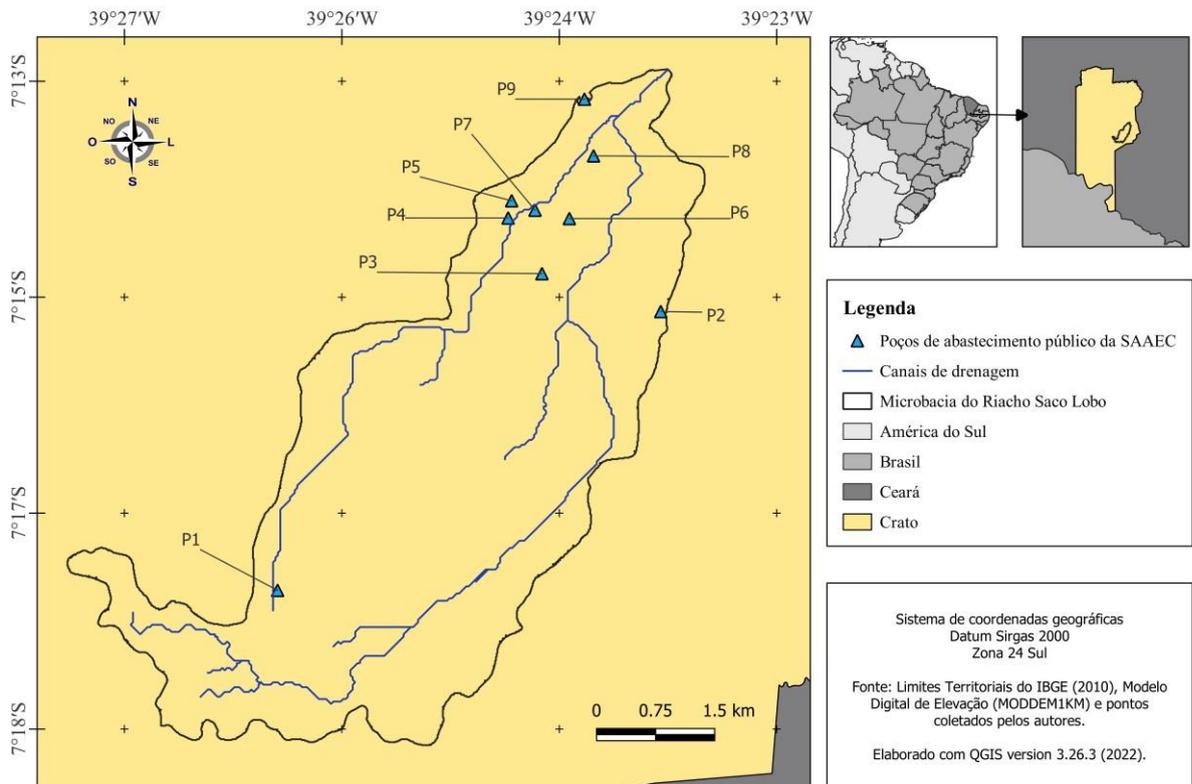
De acordo com a Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde/ANVISA, a água é considerada potável, sob o ponto de vista microbiológico, quando está de acordo com a seguinte conformidade: ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100 mL de amostra de água para consumo, considerando-se assim inofensiva para a saúde do homem.

Material e métodos

Área de estudo

A área estabelecida para o presente estudo esta situada no Nordeste brasileiro. Trata-se da Microbacia Hidrográfica do Rio Saco Lobo (MHRSL), localizada no município de Crato - CE, que fica ao sul do Estado do Ceará, pertencendo a Microrregião do Cariri, conforme ilustrado no mapa da **Figura 1**.

A referida região não dispõe de recursos hídricos superficiais (rios) que atendam a demanda de água para o consumo da população estimada pelo IBGE de 133.913 habitantes, que configura, portanto, uma densidade populacional de 103,21 hab./km². Dessa forma, a água subterrânea é a única alternativa para o abastecimento, onde foram considerados na MHRSL um total de 09 poços de abastecimento público para coleta de amostras e análise microbiológica de suas águas (Vide **Figura 1**).

Figura 1 - Localização da Microbacia Hidrográfica do Rio Saco Lobo (MHRSL) no município de Crato - CE.

Fonte: Autores (2023)

A população cratense possui diferentes perfis de consumo de água, variando de acordo com a sua classe social, nível de escolaridade, hidrometração, entre outros fatores. O município apresenta ainda boa disponibilidade hídrica, condição atribuída por sua situação geográfica, estando localizado na Chapada do Araripe (Silva, 2020).

Situado a 446 metros de altitude, tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 7° 13' 46" Sul, Longitude: 39° 24' 32" Oeste. O município do Crato dispõe de uma área territorial equivalente a 1.138,150 km² (IBGE, 2021). Por ser localizado no sopé da Chapada do Araripe, tem suas temperaturas relativamente baixas no inverno, embora elevadas no verão, ao contrário de outras áreas do Nordeste. A pluviosidade no município é de 1.086 milímetros anuais, com chuvas concentradas de dezembro a abril que podem se estender até maio. As temperaturas médias ao longo do ano variam entre 24 °C e 27 °C, com médias mínimas de 18 °C até médias máximas de 33 °C. Nas zonas altas da cidade, no topo da Chapada do Araripe, as temperaturas costumam ser mais frias devido à altitude (CPRM, 2021).

O Crato possui uma grande variedade de paisagens naturais, incluindo áreas de mata seca, floresta subcaducifólia tropical pluvial, cerrado, caatinga arbórea (floresta caducifólia espinhosa), mata úmida (floresta subperenifólia tropical pluvionebular) e carrasco (vegetação de transição presente em algumas regiões do Ceará). De acordo com dados oficiais do governo, reconhecem-se as seguintes vegetações no território do Crato: carrasco, floresta caducifólia espinhosa, floresta



subcaducifólia tropical pluvial, floresta subperenifólia tropical pluvio-nebular e floresta subcaducifólia tropical xeromorfa (CPRM, 2021).

As terras do Crato fazem parte da Depressão Sertaneja, com um relevo que é constituído ao norte por formas suaves, pouco dissecadas, com maciços residuais, e a sul pela uniformidade da Chapada do Araripe. Por estar localizada no sopé de uma chapada de altitudes consideráveis (chegando a até 920m) em meio a uma área semiárida, os solos da região são podzólicos, latossolos, litólicos e solos aluviais. Geologicamente, o substrato compõe-se de xistos, quartzitos, gnaisses e migmatitos do Pré-Cambriano indiviso, conglomerados, arenitos, grauvacas e argilitos do Eocambriano, arenitos e calcários do Paleozóico (CPRM, 2021).

Uso e ocupação do solo

A construção do mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado com base nos dados da coleção 7 do projeto Mapbiomas, considerando sistema de coordenada geográfica Datum Sirgas 2000 Zona 24 Sul, onde sua classificação se deu pela interpretação visual do formato, textura, tonalidade/cor e comportamento espectral das unidades que compõe a paisagem ilustrada na imagem de satélite selecionada (MAPBIOMAS, 2021). Estas foram classificadas por meio do software de geoprocessamento SIG QGIS 3.26 (2022). A localização dos poços considerados no estudo foi obtida via receptor GNSS, durante coletas no local.

Análise microbiológica - técnicas do substrato cromogênico (colilert)

O método é baseado nas atividades enzimáticas específicas dos coliformes (β galactosidade) e *Escherichia Coli* (β glucuronidase). Os meios de cultura contêm nutrientes indicadores (substrato cromogênico) que, hidrolisados pelas enzimas específicas dos coliformes e/ou *E. Coli* provocam uma mudança de cor no meio (FUNASA, 2013; ANA, 2021; APHA, 2018).

Para a realização da referida análise, as amostras de água coletadas foram armazenadas em frascos estéreis e mantidas em isopor imerso em gelo ao longo do percurso de viagem até o laboratório de microbiologia, onde foi retirada uma alíquota de 100 mL de cada amostra e homogeneizada com uma ampola do substrato @Colilert e incubados a 37° C por 24h. Após esse período foi observada a cor das amostras e realizada a leitura das mesmas sob a Luz Ultravioleta (UV) 365 nm (APHA, 2018).

Interpretação dos resultados

Para o entendimento dos resultados deste ensaio previamente discutidos, as amostras foram visualizadas sob luz Ultravioleta-UV, onde, a permanência do meio incolor indica a ausência de bactérias do grupo coliforme e de *E. coli* nas amostras. Em contra partida, se o meio tiver alteração de sua cor para o amarelo/alaranjado, sem apresentar fluorescência em contato com a luz UV, são apontadas presenças de bactérias do grupo coliforme, e ausência de *E. coli*. E se a cor do meio se alterar para amarelo e apresentar a fluorescência, isto significa que há a presença de bactérias do grupo coliforme total e *E. coli*. (FUNASA, 2013; ANA, 2021; APHA, 2018).

Validação dos resultados

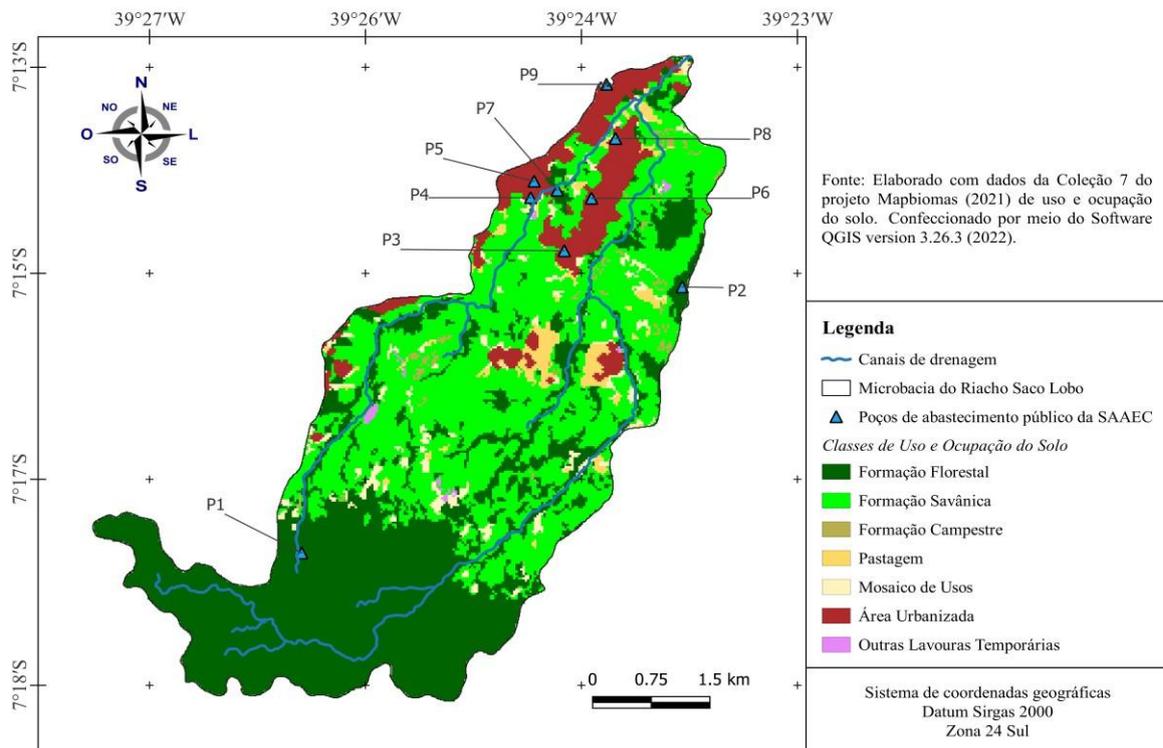
Para garantir a confiabilidade dos resultados, as análises foram realizadas em triplicata. Por se tratar de uma análise qualitativa por meio da observação visual, foram consideradas as mesmas condições de tempo e temperatura controlados, onde os resultados foram fotografados.

Resultados

Conforme ilustrado na **Figura 2**, a menor porcentagem de ocupação da Microbacia Hidrográfica do Rio Saco Lobo (MHRSL) corresponde às lavouras temporárias (0,29%) e formação campestre (0,86%), seguido por pastagens (2,54%) e mosaicos de usos (3,37%). A MHRSL tem sua área ocupada majoritariamente por formação florestal (42,46%) e savânica (42,31%), apresentando 8,16% de área urbanizada onde está localizada a maioria dos poços estudados.

Os poços de abastecimento do presente estudo estão localizados em sua maioria (60%) em áreas antrópicas, ou seja, em áreas urbanizadas que estão em constante crescimento, adentrando cada vez mais nas áreas que deveriam ser preservadas, onde os principais usos dessas águas compreendem o consumo humano.

Figura 2 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica Saco Lobo (MBSL) no município de Crato - CE.



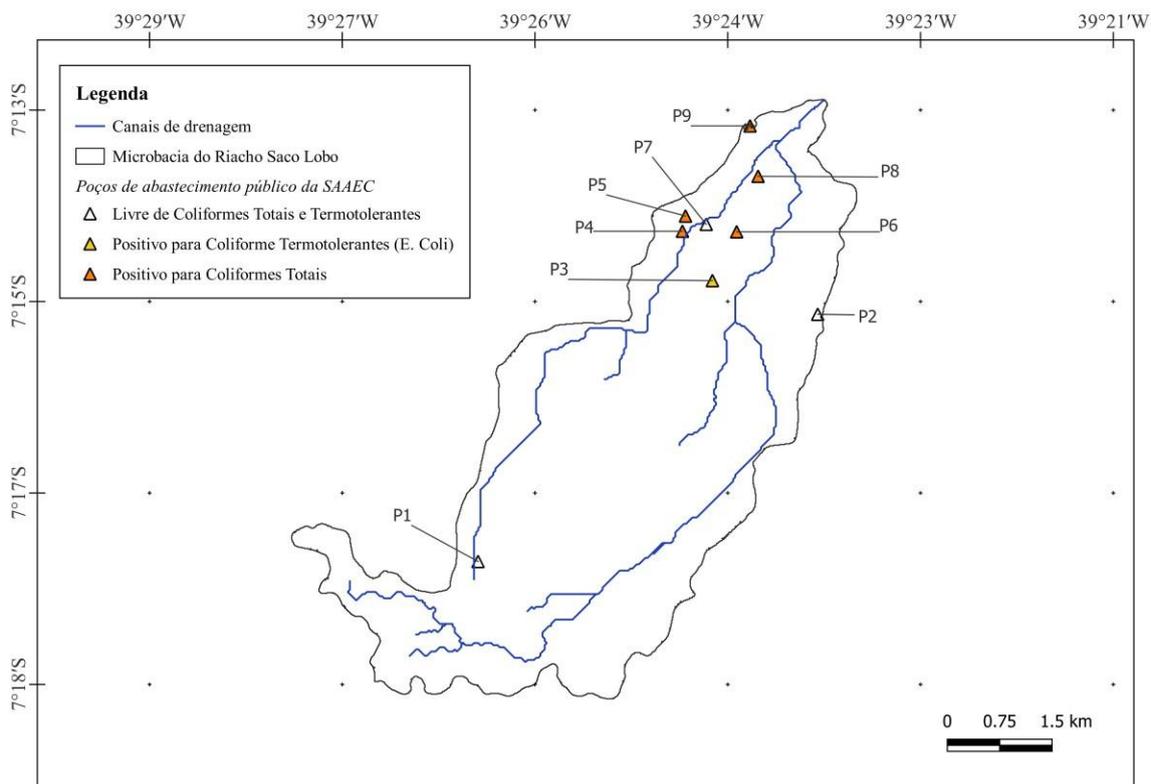
Fonte: Autores (2023)

O uso e ocupação do solo interferiram diretamente na qualidade da água dos poços analisados. Nos resultados da análise microbiológica, os poços localizados em áreas antropizadas

foram mais afetados quando comparados àqueles que estão localizados em áreas com baixa densidade urbana, como é o caso da formação florestal.

Na **Figura 3** estão apresentados os resultados da análise microbiológica obtidos no teste presuntivo de coliformes totais e confirmativo para coliformes termotolerantes (*E. Coli*), por meio da técnica do substrato cromogênico, realizada na campanha do mês de junho/2022 (final do período chuvoso na região do Cariri) em 09 poços de abastecimento público.

Figura 3 - Qualidade microbiológica da água de poços de abastecimento público na Microbacia Hidrográfica Rio Saco Lobo (MHRSL) no município de Crato - CE.



Fonte: Autora (2023)

Observa-se que as amostras de 60% dos poços analisados (p4, p5, p6, p8 e p9) apresentaram mudanças no aspecto físico de cor (laranja), onde foi detectado a presença de coliformes totais. O poço p3 por sua vez, também apresentou mudanças no aspecto físico de cor (amarelo) e foi o único que apresentou fluorescência quando submetidas à luz UV, consistindo em resultado positivo para coliformes termotolerantes (*E. Coli*). Contudo, as amostras dos poços (p1, p2 e p7) situados em área de formação florestal, não apresentaram coliforme totais e termotolerantes, ou seja, não tiveram alteração de cor e não manifestaram fluorescência quando submetidas à luz UV (permanecendo incolores), indicando assim boa qualidade microbiológica.



Discussão

Conforme Silva et al. (2021) e Silva et al. (2023), as diversas formas de ocupação e atividades antrópicas, cada vez mais intensas, sejam elas urbanas, agrícolas e industriais, têm afetado de forma negativa a recarga dos aquíferos por meio da impermeabilização de grandes áreas, como também a qualidade da água por meio da geração das mais diversas cargas de efluentes em diferentes níveis de contaminação.

A presença de coliformes totais e termotolerantes (*E. coli*) nos corpos hídricos principalmente em áreas urbanas pode estar relacionada ao saneamento inadequado, como o uso de fossas sépticas ou sistema de captação de rede de esgoto deficiente.

Silva (2020), no estudo da qualidade da água subterrânea da Bacia Sedimentar do Araripe, detectaram presença de Coliformes Termotolerantes (*E. Coli*) em 100% dos poços monitorados, com valores mais elevados em áreas de maior adensamento urbano. Do total de 154 amostras de água bruta, 85% apresentou 1NMP, 11% apresentou de 2 a 1000NMP, e os demais 4% apresentou de 11000 à 93300NMP sendo este um indicativo de contaminação fecal e presença de microrganismos patogênicos. Em poços no Estado de Minas Gerais, no Sudeste do Brasil, Ribeiro et al. (2019) obtiveram resultados positivos para coliformes termotolerantes em 83,3% dos poços semi-artesianos e 33,3% dos poços tubulares profundos, destacando que a contaminação pode ser decorrente de fatores como a localização, falta ou inadequada manutenção e conservação, bem como da ausência de práticas higiênico-sanitárias.

O consumo de água também se torna preocupante, principalmente quando não há tratamento adequado e análise periódica da sua qualidade. Portanto, é pertinente enfatizar que todos os poços analisados no presente estudo, tem análise periódica integrada de suas águas, que são devidamente tratadas para o posterior abastecimento. Ou seja, a água bruta coletada dos poços deste estudo, que se apresentaram incompatíveis com a legislação vigente, após o tratamento podem ser consumidas sem restrição, pois são potáveis, e sua qualidade é assegurada pelo fornecedor: Sociedade Anônima de Água e Esgoto do Crato (SAAEC).

Conforme a legislação vigente e Fundação Nacional da Saúde (FUNASA, 2013), a água para consumo humano não deve conter substâncias químicas acima do Valor Máximo Permitido (VMP) e deve estar livre de bactérias do grupo coliforme (totais) e termotolerantes, que são indicadoras de contaminação fecal, sendo representada principalmente pela *Escherichia Coli* (*E. Coli*). Logo, a garantia da potabilidade da água consumida depende principalmente de uma avaliação periódica integrada de diversos parâmetros, desde a captação do manancial até o abastecimento com devido tratamento (SILVA *et al.*, 2023).

Conclusões

Por meio dos resultados obtidos, é possível afirmar que o uso e ocupação do solo interferiram diretamente na qualidade microbiológica da água de abastecimento público. Os poços localizados em áreas antropizadas foram mais afetados quando comparados àquelas que estão localizados em áreas com baixa densidade urbana (p1, p2 e p7), que apresentaram boa qualidade. A



maioria dos poços analisados (60%) apresentaram contaminação microbiológica, sendo o poço p3 com resultado positivo para coliformes termotolerantes (E. Coli).

Mediante os resultados obtidos, é notório o comprometimento da qualidade da água na maioria dos poços estudados, que necessitam de tratamento convencional ou simplificado para atingir os níveis de potabilidade aceitáveis. A presença de coliformes totais e termotolerantes (E. coli) nos corpos hídricos, principalmente em áreas urbanas, pode estar relacionada ao saneamento inadequado, como o uso de fossas sépticas ou sistema de captação de rede de esgoto deficiente.

É sugerida a continuação do presente estudo, abrangendo uma maior quantidade de variáveis, como os parâmetros físicos e químicos; uma análise completa quanto à presença de agroquímicos e de metais, além de investigar o histórico de doenças relacionadas aos parâmetros analisados que se encontram acima do permitido pela legislação vigente.

Referências

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021 - Relatório Pleno**. ANA, 2021. [S.l.] Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>. Acesso em: Janeiro de 2023.

ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **Águas Subterrâneas O que são?** Abas. Educação. [S.l.]. Disponível em: <https://www.abas.org/aguas-subterraneas-oque-sao/>. Acesso em: março de 2023.

APHA (2018) Associação Americana de Saúde Pública. **Métodos padrão para o exame de água e esgoto, 23º**. <https://www.standardmethods.org/doi/book/10.2105/SMWW.2882>. Acessado em 12 de março de 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação n° 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n° 430. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 16 mai. 2011(a).

BRASIL. Portaria n° 2.914, de Dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011(b).



BRASIL. Resolução CONAMA n° 396, de 3 de Abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 2008.

BRANDÃO, R. L. **Geodiversidade do estado do Ceará.** Fortaleza: CPRM, 2014. 214 p.

BARBOZA, A. E. C.; ROCHA, S. F.; GUIMARÃES, W. D. Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero livre localizado na região de Ponta da Fruta, Vila Velha -ES. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.** Florianópolis, INPE, p. 3279-3286. 2007.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Plano de Monitoramento e Gestão dos Aquíferos da Bacia do Araripe,** Estado do Ceará. Fortaleza, 2009b.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Relatório Final do Balanço Hídrico considerando a Demanda e Oferta por Município,** Ceará, 2017.

COGERH. **Caderno regional da sub-bacia do Salgado.** 131p.: il. - Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas. v. 11. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). Fortaleza: INESP, 2009a.

CAGECE. **Saneamento Básico.** Um compromisso de todos por mais qualidade de vida, 25p. 2ª edição, 2016.

CAGECE. **Saneamento Básico.** Um compromisso de todos por mais qualidade de vida, 25p. 7 edição, 2021.

CAVALCANTE, F. G.; ALMEIDA, J.R.F; MOREIRA, F. G. S.; SALES, J. C. F.; GUEDES, L.F.; CASTRO, I.M.P; MACEDO, C.C.A. Identificação e quantificação dos sistemas de captação de águas subterrâneas no Cariri Cearense. In: **III Congresso Internacional de meio ambiente subterrâneo,** São Paulo, 2013.

CPRM—Serviço Geológico do Brasil (2021) Sistema de geociências do levantamento geológico do Brasil (GeoSGB). Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acessado em 10 de março de 2023.

FREEZE, A.; CHERRY, J. A. **Águas Subterrâneas:** tradução de Everton de Oliveira, et al.; 689 p.: il.; 30 cm. São Paulo - SP, 2017.



FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE (FUNASA). **Manual Prático de Análise de Água**. 4. ed. - Brasília: 2013. 153p. Disponível em; http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/eng_analAgua.pdf. Acesso em: 10 de março de 2023.

GOMES, M. C. R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Águas subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 134-149, 2017.

HEATH, RALPH C. - **Hidrogeologia Básica de Água Subterrânea** (Geological Survey Water-Supply Paper: 2220) US Government Printing Office - 1983 - Tradutores: Mario Wrege e Paul Potter - ABAS Núcleo Sul - Porto Alegre - RS.

IBGE—Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). **População AQ3 estimativas**. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2021/estimativa_dou_2021.pdf. Acessado em 20/12/22.

MAPBIOMAS. Cobertura e Uso do Solo. **Coleção 7**, 2021. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection7/lclu/coverage/brasil_coverage_2021.tif. Acesso em: Fevereiro de 2023.

MACHADO, J. L. F. **Águas subterrâneas e poços: uma jornada através dos tempos** - Porto Alegre: EST Edições/Suliani - Letra & Vida, 2008.

NOBRE; R. C. M. ROTUNNO FILHO, O. C.; MANSUR, W.J.; NOBRE, M. M. M.; COSENZA, C.A.N. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a fuzzy logic tool. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 94 , p.277-292, 2007.

OLIVEIRA, Cláudio Pereira de. **Águas Subterrâneas: Fontes legais e seguras de abastecimento**. **Águas Subterrâneas**, v. 5, p. 56-57, 2012.

OLIVEIRA, J. L. **Avaliação de Indicadores de Poluição de Solos e Águas e suas Implicações no Sistema de Abastecimento Público de Juazeiro do Norte-CE**, Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

PANACHUKI, E. **Infiltração de Água no Solo e Erosão Hídrica, sob Chuva Simulada, em Sistema de Integração Agricultura-Pecuária**, 2003. p.67. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2003.



QGIS Development Team, 2022. **QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project**. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: Março de 2023.

RIBEIRO P. G; PEREIRA, I; SANTOS, C. C. A; FRANCO, C. S; DE PAULA, R. F; MARQUES, V. Qualidade da água subterrânea e tratamento simplificado para abastecimento humano do instituto eterna misericórdia de lavras-MG. **Revista de gestão e sustentabilidade ambiental**, Florianópolis, v. 8, n. 3, p. 566-581, 2019.

SILVA, M. I. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Araripe: estudo de caso da Região Metropolitana do Cariri**, 2020. p. 105. Dissertação (mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável). Universidade Federal do Cariri, Crato - CE, 2020.

SILVA, M. I.; LOPES, W. A.; LIMA, M. T. V.; COSTA, C. T. F.; PARIS, M.; FIRMINO, P. R. A.. Assessment of groundwater quality in a Brazilian semiarid basin using an integration of GIS. **Journal of Hydrology**, v. 598, p. 126346, 2021.

SILVA, M. I.; LIMA, M. T. V. ; COSTA, C. T. F. ; MENEZES, J. M. C. ; F.J. De Paula Filho Groundwater quality assessment in a peri-urban Brazilian semi-arid microbasin. **Environmental Earth Sciences**, v. 82, p. 1-7, 2023.

SOUZA, P. F. G.; COSTA, C. R.; COSTA, M. F. Diagnóstico da qualidade da água da bacia do Rio Goiana. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.6, n.1, p.2-15, 2019.

SOUZA, C. D.; CASTRO, M. A. H. **Simulação do Fluxo Hídrico Subterrâneo por Estimativa de Parâmetros Usando Cargas Hidráulicas Observadas: Caso do Cariri Cearense**, Brasil. Portugal, 2013.

YAMAGUCH, Mirian Ueda et al. Qualidade microbiológica da água para consumo humano em instituição de ensino de Maringá-PR. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 37, n. 3, p.312-320, 2013. Disponível em: https://bvsm.sau.de.gov.br/bvs/artigos/mundo_saude/qualidade_microbiologica_agua_consumo_humano.pdf. Acesso em: 20 mar. 2023.