



Relação entre a concentração de cloro residual livre e a presença de microrganismos na água de poços artesianos destinada ao consumo humano

Relationship between free residual chlorine concentration and the presence of microorganisms in well water intended for human consumption

J. A. R. Santos¹; R. S. Nascimento¹; E. V. S. Siqueira¹; J. R. V. S. Filho¹; K. E. Santos², A. S. Santos³; M. I. Santos³; J. J. S. Moreira¹; C. G. Siqueira²; L. E. Fraga^{1,4*}

¹Departamento de Química, Campus Prof. Alberto Carvalho, Universidade Federal de Sergipe, 49506-036, Itabaiana – SE, Brasil

²Departamento de Biociências, Campus Prof. Alberto Carvalho, Universidade Federal de Sergipe, 49506-036, Itabaiana – SE, Brasil

³PPGECIA, UFS, Universidade Federal de Sergipe, 49107-230, São Cristóvão – SE, Brasil

⁴PPGCN, UFS, Campus Prof. Alberto Carvalho, Universidade Federal de Sergipe, 49506-036, Itabaiana – SE, Brasil

*fragaufs@academico.ufs.br

(Recebido em 02 de maio de 2024; aceito em 08 de agosto de 2024)

A desigualdade hídrica no Brasil dificulta o acesso à água potável, sobretudo na região do Nordeste, onde essa desigualdade é mais acentuada. Dessa forma, o acesso à água para o consumo humano, através de poços artesianos, tem sido uma alternativa para abastecer comunidades do interior do Brasil. O presente trabalho objetivou avaliar a potabilidade das águas distribuídas pelos poços artesianos dos povoados Pé do Veado, Roncador, Serra e Terra Dura, situados no município de Itabaiana, agreste de Sergipe, por meio de parâmetros físico-químicos (cloro residual livre, temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica e salinidade) e microbiológicos (bactérias heterotróficas, coliformes termotolerantes e fecais - *Escherichia coli*). A determinação quantitativa de cloro residual livre ocorreu por meio do método colorimétrico N,N-dietil-p-fenilendiamina (DPD), analisada através da espectrofotometria de absorção molecular UV-Vis; as bactérias heterotróficas foram determinadas por meio do método semeadura por esgotamento; os coliformes termotolerantes e fecais (*Escherichia coli*) foram determinados por meio do método de membrana filtrante. A partir das análises realizadas, considerando os parâmetros de cloro residual livre e microbiológicos, evidenciou-se que todas as amostras de água dos poços artesianos analisados não estão de acordo com as Portarias GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021 e n° 2.914, de 12 de dezembro 2011 e com a Resolução Conama n° 357/2005 e Resolução Conama n° 396/2008, indicando a necessidade de vistoria, monitoramento e tratamento das águas analisadas, sendo esses resultados norteadores para implementação e/ou melhoria na gestão ambiental e de saúde pública.

Palavras-chave: águas subterrâneas, desinfecção de água, potabilidade.

Water inequality in Brazil complicates access to potable water, especially in the Northeast region, where this disparity is more pronounced. Consequently, access to water for human consumption through artesian wells has become an alternative to supply communities in the interior of Brazil. This study aimed to evaluate the potability of water distributed by artesian wells in the villages of Pé do Veado, Roncador, Serra, and Terra Dura, located in the municipality of Itabaiana, in the Agreste region of Sergipe, through physicochemical parameters (free residual chlorine, temperature, hydrogen potential (pH), electrical conductivity, and salinity) and microbiological parameters (heterotrophic bacteria, thermotolerant and fecal coliforms - *Escherichia coli*). The quantitative determination of free residual chlorine was carried out using the colorimetric method N,N-diethyl-p-phenylenediamine (DPD), analyzed through UV-Vis molecular absorption spectrophotometry; heterotrophic bacteria were determined by the streak plate method; thermotolerant and fecal coliforms (*Escherichia coli*) were determined by the membrane filtration method. From the analyses conducted, considering the free residual chlorine and microbiological parameters, it was evident that all water samples from the analyzed artesian wells do not comply with GM/MS Ordinances No. 888, of May 4, 2021, and No. 2.914, of December 12, 2011, as well as Conama Resolution No. 357/2005 and Conama Resolution No. 396/2008, indicating the need for inspection, monitoring, and treatment of the analyzed waters. These results provide guidance for the implementation and/or improvement of environmental and public health management.

Keywords: groundwater, water disinfection, potability.

1. INTRODUÇÃO

A água, segundo o filósofo grego Tales de Mileto, representaria a substância constituinte de todas as coisas - a *arché*, em grego, o princípio ou o começo. Ela é, sem dúvida, um recurso natural importantíssimo para a manutenção dos ecossistemas e de todas as formas de vida no planeta. Os dados fornecidos pelo Ministério do Meio Ambiente, em 2007, afirmam que a maior parte da superfície da Terra está coberta por água, cerca de 70%, onde 97,5% é salgada e 2,5% é doce, sendo que do volume total de água doce disponível para consumo, as águas subterrâneas representam 96% [1, 2].

As águas subterrâneas encontram-se sob a superfície da terra "escondidas", preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo na zona saturada, formando aquíferos porosos, fissural e cárstico [1]. De acordo com Diniz et al. (2023) [3] os aquíferos cársticos apresentam maior sensibilidade à contaminação devido à pouca profundidade, bem como à alta velocidade do fluxo da água. As águas subterrâneas são utilizadas em território brasileiro desde a época colonial no abastecimento das populações nordestinas assoladas pela seca [4, 5]. A seca e a escassez de água na região nordestina são fruto da falta de abastecimento público e, dessa forma, a exploração racional das águas subterrâneas representa uma alternativa à falta de água, bem como promove o desenvolvimento social e econômico [6]. Em um estudo realizado por Giatti e Cutolo (2012) [7] foi observado uma preferência da população indígena de Iauaretê por poços artesianos para atenderem as suas necessidades básicas, como beber e cozinhar. No entanto, o estudo também identificou que os indígenas não possuíam fácil acesso às águas subterrâneas.

Assim como na época colonial, as águas subterrâneas representam um recurso econômico importante e a solução mais viável para o abastecimento urbano e industrial [4, 5]. No nordeste brasileiro, em razão dos períodos de estiagem, a população adotou com alternativa a escavação de pequenos poços, ou cacimbas, construídos próximos a rios, riachos e reservatórios [8]. Esses corpos hídricos necessitam de um cuidado especial para a sua preservação e utilização de forma sustentável, uma vez que, em caso de contaminação, a sua recuperação para as condições originais é extremamente difícil, devido à complexidade nas técnicas de remediação, que envolvem alto custo e identificação dos agentes poluidores [3].

Muitos fatores prejudicam a qualidade das águas subterrâneas, como a superexploração, a poluição e a impermeabilização do solo. A poluição e a contaminação podem ocorrer de forma direta ou indireta, podendo ser resultantes de ações antrópicas ou processos naturais. As contaminações diretas estão relacionadas à deposição de resíduos sólidos no solo, esgoto e fossas sépticas, atividades agrícolas, mineração, vazamento de substâncias tóxicas e cemitérios [9]. As contaminações indiretas correspondem a poços abandonados ou construídos sem critérios técnicos e às transformações químicas provenientes da composição rochosa que podem, por sua vez, alterar as características físico-químicas das águas subterrâneas. [1, 3, 10].

As águas subterrâneas apresentam elevado padrão de qualidade físico-química e microbiológica, mas não são imunes à poluição e, conseqüentemente, à contaminação. Um solo contaminado pode, pelo processo de lixiviação, atingir os aquíferos através dos poros existentes nos solos e rochas [3]. Por isso, esses corpos hídricos precisam ser constantemente monitorados, por meio de análises físico-químicas e microbiológicas a fim de garantir a sua qualidade. Para tal, torna-se necessário adotar parâmetros de análises, existindo algumas portarias e resoluções que trazem os padrões necessários que estabelecem a água adequada para o consumo humano. Dentre essas, é possível citar a Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021, a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro 2011, a Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005 e a Resolução Conama nº 396, de 3 de abril de 2008, as quais visam o controle e a vigilância da qualidade da água, estabelecendo os procedimentos e padrão de potabilidade [11, 12].

Assim, uns dos desafios existentes na gestão integrada e sistêmica desses recursos hídricos, dizem respeito à falta de monitoramento e do protagonismo da sociedade em buscar conhecer os recursos hídricos e sair em defesa do meio ambiente e do cumprimento das leis ambientais [13]. Uma vez que muitos poços artesianos têm sido mal construídos sem critérios técnicos ou abandonados, torna-se importante analisar a qualidade da água desses poços presentes nas comunidades rurais do interior do Brasil, a fim de compreender se a água distribuída está de acordo com os parâmetros de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde.

Através dessa necessidade, a Assembleia Geral das Nações Unidas (ONU) criou a agenda de 2030, a qual se refere aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que estabelece 17 objetivos, visando buscar solucionar os maiores problemas enfrentados pelos seres humanos na atualidade. Para tal, foram traçadas 169 metas dentro desses objetivos, que irão buscar de forma integrada atingir as três dimensões do desenvolvimento sustentável, sendo elas: social, econômica e ambiental [14].

Nessa agenda da ONU, destaca-se o objetivo 6, que se refere ao acesso à água potável e ao saneamento básico para todos, fundamentando-se na gestão sustentável da água, a partir da proteção das reservas de água e do compartilhamento das tecnologias de tratamento da água. Para que esse objetivo seja atingido, foram traçadas 6 metas importantes, sendo elas resumidamente: garantir o acesso universal e equitativo a água para todos; garantir o acesso a saneamento e higiene adequado e equitativo para todos; melhorar a qualidade da água e reduzir a poluição; assegurar a retirada sustentável e o abastecimento de água doce, buscando enfrentar a escassez da água; buscar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis; proteger e restaurar ecossistemas relacionados a água [14].

Dentro desse contexto, os poços artesianos têm sido uma alternativa para garantir o acesso à água em regiões que sofrem com a disposição do recurso hídrico, devido, principalmente, às características geográficas. Contudo, deve-se assegurar que a distribuição desse recurso atenda às exigências adequadas da água para o consumo humano. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo determinar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas distribuídas através poços artesianos, localizados no município de Itabaiana, agreste de Sergipe, e posteriormente comparar os resultados obtidos com os valores estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, na Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro 2011 e na Resolução Conama nº 396, de 3 de abril de 2008, que dispõem sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Escolha dos poços artesianos e dos parâmetros de análise

Inicialmente, selecionaram-se os pontos de coleta que fizeram parte das análises físico-químicas e microbiológicas, levando-se em consideração a presença de um sistema de cloração instalado, e a finalidade do uso da água, já que esta deve ser utilizada para o abastecimento da população. Por esse motivo, escolheram-se os poços artesianos dos povoados Pé do Veado, Roncador, Serra e Terra Dura, localizados no município de Itabaiana, agreste de Sergipe. A Figura 1 representa a situação de captação e armazenamento de água atual de três dos quatro pontos escolhidos para o estudo.



Figura 1: Poços artesianos selecionados.

A partir dos pontos escolhidos, realizou-se a codificação, como apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Poços artesianos localizados na zona rural do município de Itabaiana, agreste de Sergipe.

Poço	Código
Pé do Veado	P1
Roncador	P2
Serra	P3
Terra Dura	P4

Em seguida, estabeleceram-se os parâmetros físico-químicos e microbiológicos para avaliar a potabilidade da água, sendo eles cloro residual livre (CRL), temperatura (T), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), salinidade (S) bactérias heterotróficas, coliformes termotolerantes e fecais (*Escherichia coli*). A partir dos parâmetros escolhidos, buscou-se estabelecer uma relação entre eles, observando assim, qual a interferência que existe entre os mesmos e se esses poços podem ser utilizados como fonte de abastecimento de água para as comunidades dos povoados Pé do Veado, Roncador, Serra e Terra Dura, localizados em Itabaiana, agreste de Sergipe.

2.1.1 Coleta e armazenamento de amostras

Para as análises físico-químicas, as águas coletadas foram armazenadas em garrafas de politereftalato de etileno (PET) de 500 mL, previamente enxaguadas com água destilada e secas antes de serem utilizadas. Nos locais de coleta, as torneiras foram devidamente higienizadas com água sanitária e álcool e, em seguida, deixadas abertas por cinco minutos. Por fim, ambientaram-se os recipientes e coletou-se as amostras [15].

Para as análises microbiológicas, as amostras foram adicionadas em frascos de vidros esterilizados, com uma solução de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 1%. Assim como nas análises físico-químicas, as torneiras dos locais de coletas passaram pelo processo de higienização com água sanitária e álcool e, em seguida, deixadas abertas por cinco minutos. Em seguida, sem ambientação do recipiente, coletaram-se as amostras [15]. Tanto para as análises físico-químicas, quanto para as análises microbiológicas, as coletas foram realizadas entre dezembro de 2023 a abril de 2024.

Após o procedimento de coleta, as amostras foram etiquetadas e inseridas em recipiente térmico de gelo com temperatura de 4°C, de acordo com o protocolo de armazenamento para cada tipo de amostra em relação ao parâmetro a ser analisado [15].

2.1.2 Análises físico-químicas

A análise da concentração de cloro residual livre foi realizada através do método colorimétrico N,N-dietil-p-fenilendiamina (DPD) [16]. Pipetou-se 1 mL da solução DPD, 1 mL da solução tampão fosfato e 10 mL da amostra de água coletada. Por meio da espectrofotometria de absorção molecular UV-VIS, observou-se a máxima absorbância do cloro residual livre em comprimento de onda de 515 nm. As determinações na concentração de cloro residual livre foram realizadas através de um tratamento estatístico, a partir da curva analítica para determinação de CRL, em que os dados em triplicata possibilitaram a determinação da média, desvio padrão estimado e intervalo de confiança a 95% das concentrações.

A condutividade elétrica foi determinada por meio de um condutivímetro CG1800. Após a calibração do instrumento, lavou-se o eletrodo com água destilada e, em seguida, inseriu o mesmo na amostra de água coletada contida em um béquer, esperou-se a estabilização e anotou-se o resultado.

A salinidade foi calculada a partir da condutividade ajustada a 25°C, seguindo uma equação adaptada da Practical Salinity Scale de 1978 (PSS 78) [17] e, em seguida, multiplicada pelo valor de referência de condutividade elétrica para águas interiores. Portanto, o cálculo deve ser interpretado como uma estimativa da salinidade. A seguir, na Figura 2, a equação utilizada para determinação da salinidade:

$$CE (25\text{ }^{\circ}\text{C}): \frac{CE_w}{[(1 - (25 - T_w)) \times 0,021]} \times 0,0006$$

Figura 2: Equação para cálculo de salinidade a partir da condutividade elétrica ajustada a 25°C. Fonte: *Practical Salinity Scale (1978)* [17].

Na equação, ilustrada na Figura 2, tem-se condutividade elétrica ajustada a 25° C (CE), a condutividade elétrica da amostra de água coletada (CE_w) e a temperatura da amostra de água coletada (T_w).

O potencial hidrogeniônico (pH) foi aferido por meio do pHmetro portátil digital LUTRON pH-221. Inicialmente, o instrumento foi calibrado e, em seguida, lavou-se o bulbo com água destilada, enxugou-se e foi inserido na amostra de água coletada contida em um béquer, esperou-se a estabilização e anotou-se o resultado.

A temperatura foi aferida in situ com o auxílio de um termômetro de mercúrio, com graduação em grau Celsius (°C). O bulbo foi lavado com água destilada, enxugado e inserido na amostra de água coletada contida em um béquer; esperou-se a estabilização e anotou-se o resultado. Todas as análises físico-químicas foram realizadas em triplicata.

2.1.3 Análises microbiológicas

Para as análises de bactérias heterotróficas, utilizou-se o método de semeadura por esgotamento. Prepararam-se as placas de petri esterilizadas com o meio de cultura *Tryptone Soy Agar* (TSA), em seguida, adicionou-se 0,1 mL das amostras coletadas e espalhou-se nas placas com o auxílio da espátula de *drigalski*. Em seguida, as placas foram encubadas, a (35 ± 0,5) °C em um período de 24h na estufa bacteriológica – após encubação, contaram-se as bactérias [15].

Para as análises de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, utilizou-se o método da membrana filtrante. Prepararam-se as placas de petri esterilizadas com o meio de cultura *Ágar M-TEC*. Em seguida, agitaram-se os recipientes contendo as águas, adicionou-se a membrana filtrante ao sistema de filtração e verteu-se 100 mL das amostras coletadas no porta-filtro. Por fim, após remover a membrana filtrante, adicionou-a as placas de petri, as quais foram encubadas, a (35 ± 0,5) °C em um período de 24h, na estufa bacteriológica – após encubação, contaram-se as bactérias [18].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas serão descritos nas Tabelas 2 e 3. Buscou-se, por meio desses dados, discutir os padrões de potabilidade estabelecidos pelas Portarias GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021 e N° 2.914, de 12 de dezembro 2011, e pelas Resoluções Conama n° 357/2005 e n° 396, de 3 de abril de 2008.

3.1 Parâmetros físico-químicos

Os dados físico-químicos presentes na Tabela 2 são resultantes dos monitoramentos realizados entre os meses de dezembro de 2023 a abril de 2024 nos poços artesianos dos povoados Pé do Veado (P1), Roncador (P2), Serra (P3) e Terra Dura (P4). Por questões logísticas, no monitoramento do mês de dezembro, as amostras dos povoados Roncador (P2) e Terra Dura (P4) não foram coletadas e analisadas.

Nas análises realizadas, conforme indicado na Tabela 2, observou-se que as águas distribuídas dos poços artesianos apresentaram uma concentração de cloro residual livre (CRL) entre 0,0201 mg L⁻¹ e 0,2592 mg L⁻¹. Os valores apresentados não estão em concordância com a Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021, que estabelece um teor mínimo de 0,2 mg L⁻¹ de CRL em reservatórios e redes e um teor máximo de 2 mg L⁻¹ para qualquer ponto do sistema de abastecimento, exceto para o P4 no mês de fevereiro. O cloro residual livre é empregado na

desinfecção da água, atuando como agente oxidante, isto é, desativando os microrganismos patogênicos [9, 19]. Dessa forma, sua ausência, ou concentração abaixo do mínimo permitido, pode implicar na proliferação de microrganismos patogênicos, como bactérias heterotróficas e coliformes termotolerantes e fecais (*Escherichia coli*), podendo ser um causador de diferentes doenças, entre elas, destaca-se a diarreia, além de outras doenças provocadas por vetores como vírus (Rotavírus, Norovírus, Adenovírus, Sapovírus) e protozoários e helmintos (amebíase, ascaridíase, giardíase) [20, 21]. Por outro lado, a alta concentração de cloro residual livre torna a água desagradável ao paladar, além de provocar a formação de subprodutos, a exemplo dos Trihalometanos (THM), que apresenta um grande potencial cancerígeno, sendo de grande risco para saúde humana [22].

Tabela 2: Análises físico-químicas das amostras de água dos poços artesianos Pé do Veado (P1), Roncador (P2), Serra (P3) e Terra Dura (P4) entre dezembro de 2023 a abril de 2024. CRL: Cloro Residual Livre. T: Temperatura. pH: Potencial Hidrogeniônico. CE: Condutividade Elétrica. S: Salinidade.

Análises físico-químicas						
Meses	Poços	CRL (mg L ⁻¹)	T (°C)	pH	CE (µS cm ⁻¹)	S (%)
Dezembro	P1	0,0349	30,5	7,68	2670	1,4361
	P3	0,0541	28,0	6,94	517,0	0,2918
Janeiro	P1	0,1901	32,0	8,16	2650	1,4200
	P2	0,0673	32,0	9,35	41,50	0,0217
	P3	0,1916	28,5	7,39	505,0	0,2822
	P4	0,0740	29,5	8,19	429,0	0,2352
Fevereiro	P1	0,1416	31,0	7,18	2710	1,4440
	P2	0,0201	30,0	6,25	33,70	0,0183
	P3	0,1725	28,0	5,89	497,0	0,2805
	P4	0,2592	29,0	6,25	410,0	0,2270
Março	P1	0,0436	32,0	7,31	2610	1,3653
	P2	0,1740	30,5	7,05	42,70	0,0230
	P3	0,0475	34,0	7,53	537,0	0,2710
	P4	0,1666	29,5	7,12	405,0	0,2220
Abril	P1	0,0700	30,7	7,05	2650	1,4200
	P2	0,0314	30,0	5,82	23,90	0,0130
	P3	0,1347	30,0	5,91	483,7	0,2626
	P4	0,0372	28,5	7,20	405,3	0,2265

A Figura 3 representa graficamente, a partir dos valores da Tabela 2, as médias dos resultados obtidos para os pontos de coletas, ilustrando claramente a diferença entre os valores de cloro residual livre determinados em cada ponto a cada mês de monitoramento.

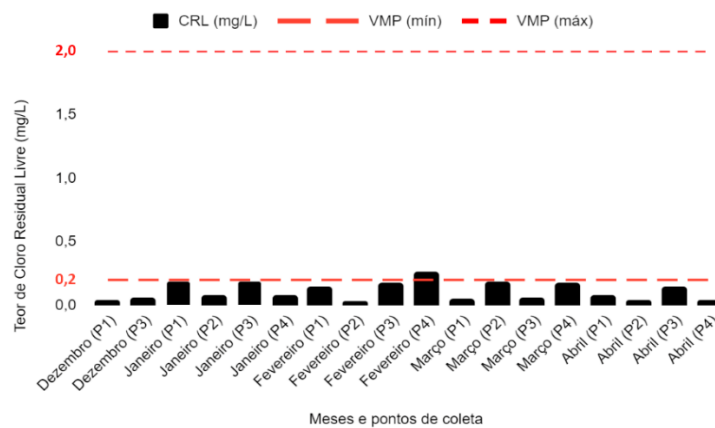


Figura 3: Concentração de cloro residual livre (CRL) da água dos poços artesianos Pé do Veado (P1), Roncador (P2), Serra (P3) e Terra Dura (P4) entre dezembro de 2023 a abril de 2024. VMP: valor máximo permitido e valor mínimo permitido.

Ao observar a Figura 3, é possível observar que o ponto P4, no monitoramento de fevereiro, apresentou um valor em concordância com o VMP (mínimo) estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888 [11], com uma concentração de cloro residual livre igual a $0,2592 \text{ mg L}^{-1}$. Embora o monitoramento de fevereiro em P4 tenha apresentado um valor em concordância com a portaria supracitada, detectou-se uma quantidade elevada de bactérias heterotróficas, superior a 6000 UFC mL^{-1} , bem como a presença de coliformes termotolerantes e fecais (*Escherichia coli*) em 100 mL de água, conforme resultados dispostos na Tabela 3. Sendo assim, o nível de contaminação elevado indica que a concentração de cloro residual livre não foi suficiente para eliminar os microrganismos presentes.

Em um trabalho realizado, Martins et al. (2017) [23], ao analisar a qualidade de água de fonte subterrânea de quatro poços artesianos na zona urbana de Lavras - MG, obteve valores entre $0,0$ e $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ de CRL, apresentando-se semelhante ao presente estudo. Campos et al. (2019) [24], numa análise da qualidade de água distribuída para consumo humano em Iguatama – MG, em quatro pontos de coleta, obtiveram valores entre $0,2$ a $1,1 \text{ mg L}^{-1}$ de CRL, apresentando discrepância com o presente trabalho, uma vez que esses resultados de concentração de CRL estão de acordo com portaria supracitada, o que não ocorre no presente trabalho. Nesse trabalho de Campos et al. (2019) [24] não houve a identificação de coliformes totais, fecais (*Escherichia coli*) e bactérias heterotróficas nas amostras de água dos poços analisados. Em paralelo com este trabalho, pode-se perceber uma relação entre a concentração de cloro residual livre e a desativação de microrganismos patogênicos.

No estudo realizado por Martins et al. (2017) [23] detectou valores abaixo de 300 UFC mL^{-1} e a presença de coliformes termoloterantes e fecais (*Escherichia coli*) em dois dos quatro poços analisados. Alves et al. (2017) [25], ao analisar a qualidade da água que abastece a população do município de Juazeiro do Norte, no estado do Ceará, observou concentrações de cloro residual livre abaixo de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$. No trabalho desenvolvido por Silva Júnior (2021) [19], em cinco áreas do estado do Ceará, identificou-se valores de cloro residual livre entre $0,19$ e $1,08 \text{ mg L}^{-1}$.

A temperatura também foi um dos parâmetros analisados, uma vez que influencia o corpo humano em suas atividades metabólicas, na solubilidade de substâncias, como gases e sais minerais, e na densidade e viscosidade da água [26, 27]. Os ambientes aquáticos brasileiros apresentam, em geral, temperaturas na faixa de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $30 \text{ }^\circ\text{C}$; em regiões mais frias, a temperatura da água pode apresentar valores entre $5 \text{ }^\circ\text{C}$ e $15 \text{ }^\circ\text{C}$ em períodos de inverno [15]. A seguir, a Figura 4 representa graficamente, a partir dos valores da Tabela 2, as médias dos resultados obtidos para os pontos de coletas, ilustrando claramente a diferença entre os valores de temperatura determinados em cada ponto a cada mês de monitoramento.

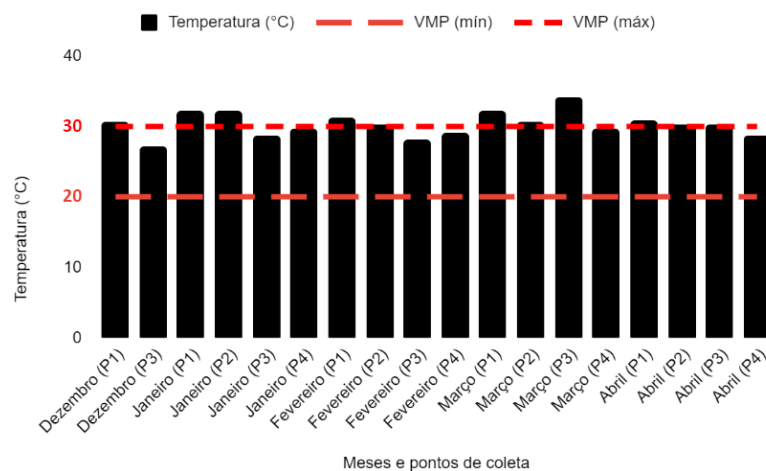


Figura 4: Parâmetro físico-químico de temperatura da água dos poços artesianos Pé do Veado (P1), Roncador (P2), Serra (P3) e Terra Dura (P4) entre dezembro de 2023 a abril de 2024. VMP: valor máximo permitido e valor mínimo permitido.

A partir dos resultados ilustrados na Figura 4, observou-se uma variação entre 28,5 °C a 34,0 °C nas amostras coletadas, nos meses que compreende entre dezembro de 2023 a abril de 2024. As águas coletadas no ponto P3 (com exceção de março), assim como as amostras do ponto P4 também estiveram em consonância com a faixa mencionada, entre 20 °C e 30 °C nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril. Por outro lado, entre dezembro e abril, todas as amostras coletadas no ponto P1 estiveram acima de 30 °C. As águas coletadas no ponto P2 estiveram entre 20 °C e 30 °C nos meses de fevereiro e abril, com valor acima do máximo na análise de janeiro. Cabe destacar que as amostras não foram coletadas diretamente do poço artesiano, mas do sistema de distribuição de água do poço. Por estar localizado na superfície, o sistema de distribuição sofre diretamente as implicações da alta radiação solar. A superfície do solo não armazena calor e, dessa forma, pode aquecer ou resfriar a água subterrânea em razão da transferência de calor por condução na direção vertical [28].

A diferença temperatura das águas subterrâneas acompanha as variações sazonais e diurnas, de acordo com a região geográfica, interferindo diretamente nos valores desse parâmetro. Tanto fontes naturais, quanto fontes antropogênicas influenciam temperatura em diferentes regiões geográficas [13]. O trabalho realizado por Luciano et al. (2024) [27] em Lobito, município da província angolana de Benguela, obteve valores para a temperatura entre 26,5 e 28,9 °C, que apresenta similaridade com os resultados obtidos do presente trabalho.

O parâmetro de potencial hidrogeniônico (pH) analisado indica e identifica o grau de acidez e alcalinidade a partir da concentração de íons hidrônio (H_3O^+) em determinada solução e influência na desinfecção e corrosividade da água [26, 29]. Embora a acidez e a alcalinidade não tenham um significado sanitário, condições ácidas e alcalinas, podem tornar a água desagradável ao paladar, pois, provocam a corrosão de tubulações e materiais, aumentando a quantidade de sólidos dissolvidos [30]. De acordo com Santos e Mohr (2013) [31] e Nematollahi et al. (2018) [32], altos valores de pH acima de 9,5 podem estar associados à formação de carbonatos de cálcio e magnésio, enquanto valores inferiores a 6,5 indicam processos de corrosão de materiais, como concreto e certos metais. A seguir, será apresentada a Figura 5, que representa graficamente, a partir dos valores da Tabela 2, as médias dos resultados obtidos para os pontos de coletas, ilustrando claramente a diferença entre os valores de pH determinados em cada ponto a cada mês de monitoramento.

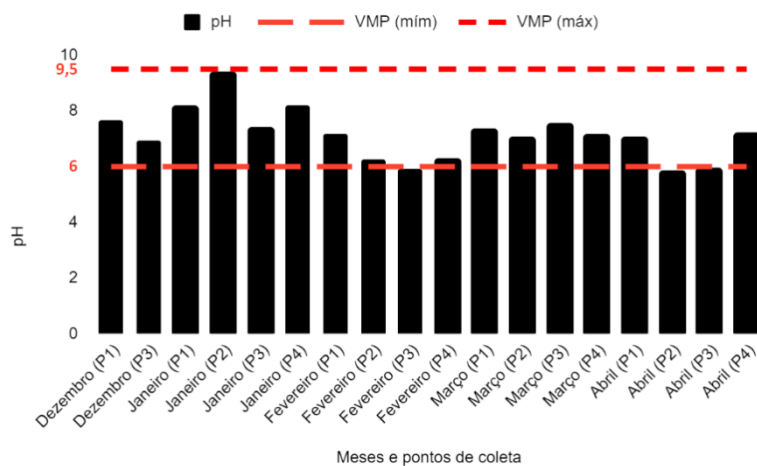


Figura 5: Parâmetro físico-químico de pH da água dos poços artesianos Pé do Veado (P1), Roncador (P2), Serra (P3) e Terra Dura (P4) entre dezembro de 2023 a abril de 2024. VMP: valor máximo permitido e valor mínimo permitido.

O valor de potencial hidrogeniônico (pH) das amostras coletadas e analisadas variou entre 5,89 e 9,35 como ilustrado na Figura 5. De acordo com a Portaria nº 888, a faixa de valor permitido é entre 6,0 e 9,5; sendo observado que as amostras coletadas estão em concordância com a portaria supracitada, aproximadamente.

Ao analisar alguns trabalhos na literatura, destaca-se o trabalho de Sousa e Cunha (2023) [33], em uma análise realizada nos povoados do município de Penafort, no estado do Ceará, que obteve valores de pH entre 7,5 e 8,0. Cunha et al. 2020 [34], ao analisar a qualidade da água de sete poços em Rolim de Moura do Guaporé, em Rondônia, observou valores entre 4,96 e 6,23. Saikrishna et al. (2023) [35] identificou valores de potencial hidrogeniônico (pH) entre 7,22 e 8,6 numa análise feita em diferentes poços de Suryapet, cidade indiana localizada no estado de Telangana. Em um estudo conduzido em Bagua, cidade peruana situada na região amazônica, Ferro (2024) [36] obteve valores de pH entre 6,5 e 8,5 em seis pontos de coleta.

Os valores de pH abaixo de 6,0 podem ser resultados da corrosão de materiais, como relatado por Santos e Mohr (2013) [31] e Chaudhary et al. (2024) [37], ocasionando problemas gastrointestinais e corrosão de componentes metálicos, liberando metais perigosos como chumbo, zinco, cobre e cádmio. Além disso, a formação de carbonatos de cálcio e magnésio contribuem para a absorção de sódio e, conseqüentemente, para a redução da permeabilidade do solo, provocando uma diminuição no potencial hidrogeniônico (pH) [32].

Por fim, o parâmetro físico-químico analisado foi a condutividade elétrica, a qual pode ser compreendida como a capacidade que a água possui em transmitir corrente elétrica, sendo dependente, portanto, da quantidade de sais dissolvidos, como sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) [23, 38]. A Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, assim como a Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro 2011, não estabelecem um valor máximo permitido para a condutividade elétrica. Contudo, segundo Brasil (2013) [15], as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto ambientes poluídos podem chegar a 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$. A seguir, a Figura 6 apresenta graficamente, a partir dos valores da Tabela 2, as médias dos resultados obtidos para os pontos de coletas, ilustrando claramente a diferença entre os valores de condutividade elétrica determinados em cada ponto a cada mês de monitoramento.

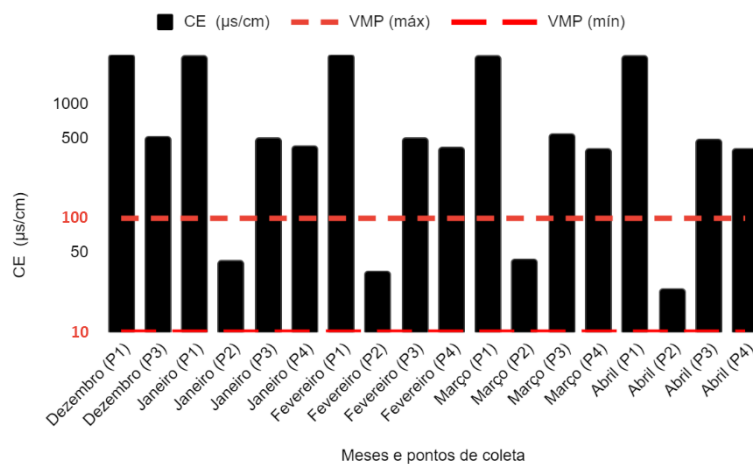


Figura 6: Parâmetro físico-químico de condutividade elétrica da água dos poços artesanais Pé do Veado (P1), Roncador (P2), Serra (P3) e Terra Dura (P4) entre dezembro de 2023 a abril de 2024. VMP: valor máximo permitido e valor mínimo permitido.

Ao observar a Figura 6, é possível perceber que os pontos P1, P3 e P4 estão com valores acima de 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$, que é o máximo valor estipulado, apresentando uma alta condutividade elétrica (CE), indicando uma forte presença de íons nas águas. Esses altos valores quantificados podem ser originados a partir de sais dos lixiviados das rochas, da decomposição da matéria orgânica, sendo indicativo também de presença de efluentes industriais ou domésticos, resultando na contaminação dos aquíferos [39]. Por outro lado, devido ao dessalinizador instalado, as amostras do ponto P2, apresentaram baixa condutividade elétrica, com valores abaixo de 50 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Numa análise de cinco amostras de poços artesanais em condomínios no município de Vitória da Conquista - BA, Barbosa et al. (2022) [26] obteve valores de condutividade elétrica entre 227 a 421 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Vitó et al. (2016) [40], obteve resultados semelhantes, em alguns pontos do

presente trabalho, entre 92 a 616 $\mu\text{S cm}^{-1}$, numa análise feita em poços artesianos na região noroeste fluminense. Uma análise feita em 10 poços no município de Timbiras, no estado do Maranhão, identificou valores para a condutividade elétrica entre 67 a 540 $\mu\text{S cm}^{-1}$ [41].

Outro estudo, realizando em Suryapet, cidade do estado indiano de Telangana, apresentou valores para a condutividade elétrica entre 630 a 5370 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em trinta pontos de inúmeros poços [35]. Um estudo conduzido em Dois Riachos, zona rural do município de Catu - BA apresentou valores de condutividade elétrica entre 149,87 e 160,17 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em três amostras coletadas em um mesmo ponto [42].

A salinidade, estimada a partir da condutividade elétrica das amostras ajustadas a 25°C, também foi um dos parâmetros analisados. De acordo com resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), águas com salinidade igual ou inferior a 0,5% são classificadas como águas doces. As águas salobras apresentam salinidade superior a 0,5% e inferior a 30% [43]. A seguir, a Figura 7 apresenta graficamente, a partir dos valores da Tabela 2, a estimativa da salinidade para os pontos de coletas a cada mês de monitoramento.

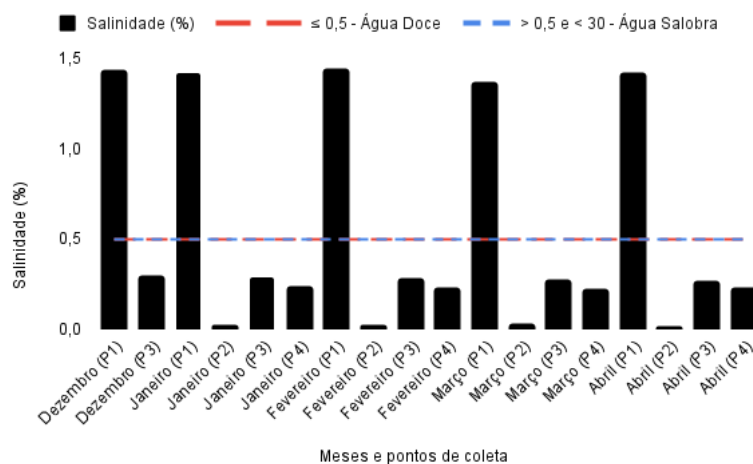


Figura 7: Parâmetro físico-químico de salinidade da água dos poços artesianos Pé do Veado (P1), Roncador (P2), Serra (P3) e Terra Dura (P4) entre dezembro de 2023 a abril de 2024.

Ao observar os valores dispostos para salinidade (Figura 7), e dispendo da resolução mencionada anteriormente, as amostras analisadas dos poços P2, P3 e P4 foram classificadas como águas doces, pois apresentaram salinidade inferior a 0,5%. Por outro lado, por apresentar salinidade superior a 0,5% e inferior a 30%, as amostras coletadas e analisadas do poço P1 foram classificadas como águas salobras.

Como evidenciado por Nascimento et al. (2021) [44], as transformações naturais ou a contaminação por efluentes podem ser um dos fatores que ocasionam os altos níveis de salinidade em águas subterrâneas. Além disso, Nascimento et al. (2021) [44] também indica que a condutividade elétrica está diretamente relacionada à alta salinidade da água, assim corroborando com os valores apresentados no presente trabalho. Dessa forma, a alta salinidade da água analisada no poço P1, classificada como água salobra, é justificada pela alta concentração iônica.

Estimativas de salinidades apresentam valores semelhantes, a título de exemplo, Nascimento et al. (2021) [44], ao analisar 32 amostras de águas subterrâneas da microrregião do Baixo Jaguaribe, no estado do Ceará (CE), constatou e classificou 80% das águas analisadas como águas doces, com valores de salinidade inferior a 0,5%, e 20% como águas salobras, com valores de salinidade superior a 0,5% e inferior a 30%. Outro estudo, como o de Silva et al. (2023) [45], numa análise realizada nas águas subterrâneas de Vitória da Conquista, no estado da Bahia (BA), apresentou classificação das águas subterrâneas como 53,3% água doce, 33,3% água salobra e 13,3% água salina.

3.1 Parâmetros microbiológicos

Os dados microbiológicos presentes na Tabela 3 são resultantes dos monitoramentos realizados entre os meses de dezembro de 2023 a abril de 2024, nos poços artesianos dos povoados Pé do Veado, Roncador, Serra e Terra Dura, localizados no município de Itabaiana, agreste de Sergipe. Por questões logísticas não houve coleta e análise microbiológica, no monitoramento dos pontos P2 e P4 nos meses de dezembro e janeiro.

Tabela 3: Análise microbiológica das amostras de água dos poços artesianos Pé do Veado (P1), Roncador (P2), Serra (P3) e Terra Dura (P4) entre dezembro de 2023 a abril de 2024. UFC: Unidades Formadoras de Colônias.

Mês	Poços	Bactérias heterotróficas (UFC mL ⁻¹)	Coliformes termotolerantes e <i>Escherichia coli</i>	Consumo humano
Dezembro	P1	740,0	Presente	Inadequada
	P3	277,0	Presente	Inadequada
Fevereiro	P1	1060	Presente	Inadequada
	P2	3585	Presente	Inadequada
	P3	1100	Presente	Inadequada
	P4	6320	Presente	Inadequada
Março	P1	1426	Presente	Inadequada
	P2	3481	Presente	Inadequada
	P3	276,0	Presente	Inadequada
	P4	3585	Presente	Inadequada
Abril	P1	2885	Presente	Inadequada
	P2	2887	Presente	Inadequada
	P3	7132	Presente	Inadequada
	P4	1325	Presente	Inadequada

A análise microbiológica da água fornece informações sobre a sua potabilidade e, sendo assim, a contagem de bactérias heterotróficas e a identificação da presença de coliformes termotolerantes e fecais (*Escherichia coli*) torna-se necessária na análise da qualidade da água [46]. Os coliformes totais são bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5$ °C em 24 - 48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase. Os coliformes termotolerantes são um subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a $44,5 \pm 0,2$ °C em 24 horas. Além de ocupar habitats secundários, como a água, sedimentos e o solo, a *Escherichia coli* está presente na região gastrointestinal dos mamíferos. [15, 47].

Os resultados microbiológicos constataam a presença de coliformes termotolerantes e fecais (*Escherichia coli*) em todas as amostras dos poços analisados. Para este parâmetro, a Portaria GM/MS n° 888/21 estabelece que esse grupo de bactérias devem estar ausentes em 100 mL de água. Além da Portaria GM/MS n° 888/21, a Resolução Conama n° 396, de 3 de abril de 2008, a qual classifica e designa o padrão de qualidade de águas subterrâneas, também estabelece a ausência de coliformes termotolerantes e fecais (*Escherichia coli*) em 100 mL de água [48]. Sendo assim, as águas coletadas e analisadas são inadequadas para o consumo humano. A presença desses microrganismos patogênicos nas águas coletadas pode estar associada à contaminação fecal, à infiltração de águas superficiais, ao comprometimento do sistema de distribuição, ao crescimento de biofilmes e à manutenção inadequada do poço ou da rede de abastecimento [29]. A Figura 8 representa uma análise microbiológica realizada para o parâmetro de coliformes.



Figura 8: Análises microbiológicas de coliformes termotolerantes e fecais (*Escherichia coli*) através do método da membrana filtrante.

Em uma análise feita por Siqueira et al. (2022) [2] acerca da potabilidade da água de poços artesanais em comunidades rurais do agreste sergipano, observou-se a presença de coliformes totais e fecais (*Escherichia coli*) nos poços dos povoados Pé do Veado, Serra e Terra Dura. Além disso, Siqueira (2022) também analisou dois poços na comunidade rural Roncador, observando a presença de coliformes totais e fecais (*Escherichia coli*) em um dos poços. Uma análise a fim de determinar a qualidade da água em escolas de Badin, cidade do Paquistão, apresentou coliformes fecais (*Escherichia coli*) em 50% das vinte amostras coletadas [49]. Oliveira et al. (2018) [41], ao analisar dez poços no município de Timbiras, no estado do Maranhão, identificou a presença de coliformes termotolerantes em 100 mL em 50% dos poços analisados.

Além dos coliformes, analisou-se o parâmetro de bactérias heterotróficas, a qual segundo a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro 2011, em 100 mL de água considerada potável, deve-se ter um valor máximo de 500 UFC mL⁻¹. A seguir, será apresentada a Figura 9, que representa uma análise microbiológica realizada para o parâmetro de bactérias heterotróficas.

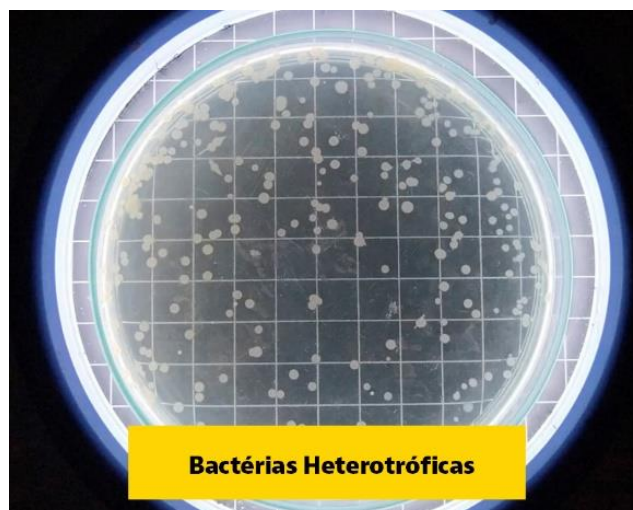


Figura 9: Análises microbiológicas das bactérias heterotróficas através do método de semeadura por esgotamento.

A Figura 10 apresenta os resultados obtidos para os pontos de coletas, a partir da Tabela 3, ilustrando claramente a diferença entre os valores de bactérias heterotróficas determinados em cada ponto a cada mês de monitoramento, respectivamente.

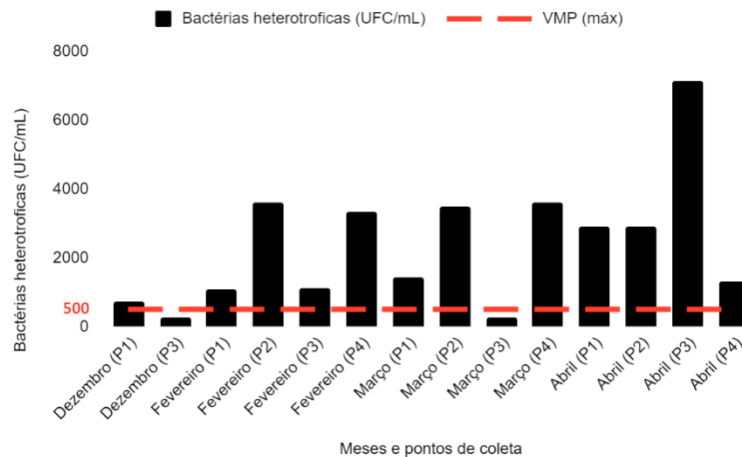


Figura 10: Parâmetro microbiológico de bactérias heterotróficas da água dos poços artesianos Pé do Veado (P1), Roncador (P2), Serra (P3) e Terra Dura (P4) entre dezembro de 2023 a abril de 2024. VMP: valor máximo permitido.

A partir da Figura 10, é possível observar que nas análises realizadas entre dezembro de 2023 a abril 2024, apenas o ponto P3 apresentou-se em concordância com a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro 2011, nos meses de dezembro e março, que apresentaram valores de 277 e 276 UFC mL⁻¹, respectivamente. Contudo, nesses pontos, observa-se a presença de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*. Para os demais pontos analisados, todas as amostras apresentaram valores superiores ao estabelecido pela portaria supracitada, estando entre 1060 a 7132 UFC mL⁻¹. A quantidade de comunidades microbianas está diretamente relacionada à presença de matéria orgânica na água, uma vez que as bactérias heterotróficas atuam no processo de decomposição [50].

Ao analisar a qualidade microbiológica de poços artesianos em comunidade rurais do município de Porto Rico do Maranhão, Louzeiro et al. (2023) [51] constatou a presença de bactérias heterotróficas, com valores acima de 1080 UFC mL⁻¹. Numa análise feita em três poços da Finlândia, Lyon (2023) [52] detectou bactérias heterotróficas na água coletada, com valores entre 600 a e 3100 UFC mL⁻¹. Controlar a quantidade de bactérias heterotróficas torna-se necessário, uma vez que, embora nem todas sejam patogênicas, algumas são responsáveis por causar quadros infecciosos de diarreia, cólera e hepatite [51].

Ao observar os resultados obtidos no presente trabalho, correlacionados aos trabalhos realizados no Brasil, tem-se um perfil preocupante das águas subterrâneas, pois os parâmetros microbiológicos apresentam, em sua maioria, discordância com as legislações vigentes no país. Esse cenário coloca o Brasil em uma situação longe de alcançar a agenda de 2030 estabelecida pela ONU, que se refere aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), no qual, em seu objetivo seis, garante acesso à água potável para todos.

4. CONCLUSÃO

Ao analisar os resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que todas as águas coletadas e analisadas dos poços artesianos demonstraram inadequadas para o consumo humano, pois apresentaram contaminação microbiológica, apesar de alguns pontos apresentarem valores de pH, temperatura, condutividade elétrica e salinidade dentro dos valores exigidos por órgãos regulamentadores no intervalo de estudo. Sendo assim, o trabalho observou e indicou que a baixa concentração de cloro residual livre presente nas águas coletadas, inferior ao limite mínimo permitido pela legislação vigente, resulta na proliferação de microrganismos patogênicos, tornando a água inadequada para o consumo humano na região em estudo.

Através desses resultados, é possível constatar a necessidade da vistoria dos pontos de coleta do presente estudo pelos órgãos competentes, bem como uma constância na análise dessas águas e a busca por tratamentos eficientes para torná-las potável. Com isso, sendo os poços analisados

construídos pelo órgão municipal, torna-se necessário empreender esforços, através de políticas públicas, que sejam capazes de modificar o atual cenário dos poços artesianos, realizando manutenções no sistema de cloração e na sua estrutura física.

5. AGRADECIMENTOS

Aos Departamentos de Química de (DQCI) e Biociências (DBCI), Laboratório de Análises Químicas Ambientais e de Alimentos (LAQA) e ao Laboratório de Microbiologia, localizados no Campus Prof. Alberto Carvalho, Universidade Federal de Sergipe, pelo suporte prestado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília (DF): MMA; 2007.
2. Siqueira CG, Lima TM, Santos M. Potabilidade da água de poços artesianos em comunidades rurais do agreste sergipano. *Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnica*. 2022;35(3):1-9. doi: 10.14295/ras.v35i3.30112
3. Diniz CC, Rios EN, Iasbik EN, Oliveira EP, Monte-Mor RC. Desafios na gestão das águas subterrâneas no município de Sete Lagoas – MG. *Research, Society and Development*. 2023;12(4):1-12. doi: 10.33448/rsd-v12i4.40887
4. Rebouças AC. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. 1997;11(29):127-54.
5. Vasconcelos MB. O que são poços? Um panorama das terminologias utilizadas para captações de águas subterrâneas. *Águas Subterrâneas*. 2017;31(2):44-57. doi: 10.14295/ras.v31i2.28666
6. Marques VS, Almeida EE, Pessoa RS. Política hídrica no cerrado piauiense e o uso de águas subterrâneas como alternativa ao desenvolvimento econômico do estado do Piauí. *Arquivo Jurídico - Revista Jurídica Eletrônica da UFPI*. 2023;10(1):143-59.
7. Giatti LL, Cutolo SA. Acesso à água para consumo humano e aspectos de saúde pública na Amazônia Legal. *Ambiente & Sociedade*. 2012;15(1):93-109. doi: 10.1590/S1414-753X2012000100007
8. Soares FL, Gomes FI. Democratização socioespacial de políticas públicas no semiárido nordestino: o caso das cisternas e da interiorização do ensino técnico/superior - um olhar geográfico e educacional. *International Journal Semiarid*. 2024;7(7):98-114.
9. Rezende CR, Campos JC, Melo VR, Machado CS, Senhuk AP, Ferreira DC. Groundwater quality in the Uberaba-MG urban area: health risk assessment. *Scientia Plena*. 2023;19(02):1-19. doi: 10.14808/sci.plena.2023.024301
10. Chaudhary R, Gaur N, Yadav M. Hydrogeochemical analysis of groundwater quality during the pre-monsoon season of Manipur, India. *Water Science*. 2024;38(1)274-92. doi: 0.1080/23570008.2024.2341369
11. Brasil. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 2021. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html
12. Brasil. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 2011. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html
13. Agência Nacional de Águas (ANA). Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil. Brasília (DF): ANA; 2012. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detalhe/5955
14. Organização das Nações Unidas. Transformando nosso mundo: A Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável [Internet]; 2015 [acesso em 11 set 2024]. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>
15. Brasil. Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água. 4. ed. Brasília (DF): Funasa; 2013.
16. Fraga LE, Anderson MA, Beatriz ML, Paschoal FM, Romão LP, Zanoni MV. Evaluation of the photoelectrocatalytic method for oxidizing chloride and simultaneous removal of microcystin toxins in surface waters. *Electrochimica Acta*. 2009;54:2069-76. doi: 10.1016/j.electacta.2008.08.060
17. Lewis EL. The practical salinity scale 1978 and its antecedents. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. 1980;5(1)3-8.

18. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). Standard methods for the examination of water and wastewater. 23. ed. Washington (US): American Public Health Association; 2017.
19. Silva Júnior AB, Gama MF, Figueiredo LA, Vergara CM. Análises físico-químicas e microbiológicas de água de poços utilizada na produção alimentícia em um complexo turístico do Estado do Ceará. *Research, Society and Development*. 2021;10(10):1-8. doi: 10.33448/rsd-v10i10.18839
20. Pintanel SR, Ceconello ST, Centeno LN. Análise da correlação entre os indicadores de saneamento básico e as doenças de veiculação hídrica em municípios do sul do Rio Grande do Sul Correlation. *Revista Ambientale*. 2021;13(2):41-52. doi: 10.48180/ambientale.v13i2.292
21. Vitor GA, Lando GA, Duarte CA, Marques DA, D'Angelo IB. Title health and sanitation in Brazil: a narrative review on the association of basic sanitation conditions with waterborne diseases. *Research, Society and Development*. 2021;10(15):1-12. doi: 10.33448/rsd-v10i15.22913
22. Rodrigues HV, Oliveira CS. Água para consumo humano: um levantamento sobre artigos publicados. *Visão Acadêmica*. 2022;23(2):212-21. doi: 10.5380/acd.v23i2.82652
23. Martins IP, Piccoli RH, Vilela NM, Thebaldi MS. Qualidade de água de fonte subterrânea utilizada em instituições localizadas na zona urbana de Lavras/MG. 2017;12(1):126-30. doi: 10.24862/cco.v12i1.486
24. Campos LM, Thebaldi MS, Silva YF, Silva ML, Nogueira VH. Qualidade da água destinada ao consumo humano em Iguatama, MG, Brasil. *Enciclopédia Biosfera - Centro Científico Conhecer*. 2019;16(29):2446-56. doi: 10.18677/EnciBio_2019A187
25. Alves WS, Silva TI, Marrom DA, Santos TM, Santos HR. Avaliação da qualidade da água do abastecimento público do município de Juazeiro do Norte - CE. *Revista Desafios*. 2017;4(2):1-8. doi: 10.20873/uft.2359-3652.2017v4n2p112
26. Barbosa EC, Eça MA, Portela FS, Santos TA, Silva RM, Amorim AT. Análise físico-química e microbiológica da água de poços artesianos em condomínios no município de Vitória da Conquista - BA. *Research, Society and Development - Health Sciences*. 2022;11(7):1-10. doi: 10.33448/rsdv11i7.30380
27. Luciano BH, Capingana IN, Costa EC, Manuel MN, Xixi JG, Chimuco AP, et al. Qualidade da água para o abastecimento público no município do Lobito. *Brazilian Journal of Business*. 2024;6(1):321-37. doi: 10.34140/bjbv6n1-024
28. Taylor CA, Stefan HG. Shallow groundwater temperature response to climate change and urbanization. *Elsevier*. 2009;375(3):601-12. doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.07.009
29. Pereira NC, Azevedo Filho RL, Souza LT, Gadelha MD, Santos AK, Cavalcante RM. Avaliação microbiológica da qualidade da água em uma comunidade do município de Manacapuru - AM. *Revista da Aninter-SH*. 2024;1:139-50.
30. Sperling MV. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgostos. 2. ed. Belo Horizonte (MG): Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; 1996.
31. Santos RS, Mohr T. Saúde e qualidade da água: análises microbiológicas e físico-químicas em águas subterrâneas. *Revista Contexto & Saúde*. 2013;13(24/25):46-53.
32. Nematollahi MJ, Clark MJ, Ebrahimi P, Ebrahimi M. Preliminary assessment of groundwater hydrogeochemistry within Gilan, a northern province of Iran. *Environ Monit Assess*. 2018;190:242. doi: 10.1007/s10661-018-6543-4
33. Sousa FC, Cunha ML. Análise físico-química e microbiológica de águas subterrâneas de povoados do município de Penaforte (Ceará). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*. 2023;11(1):215-26. doi: 10.5281/zenodo.8023354
34. Cunha GD, Castro DV, Santos AV, Caramello ND, Stachiw R, Tronco KM. Qualidade da água de poços em Rolim de Moura do Guaporé, Rondônia. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*. 2020;9(2)1-9. doi: 10.47209/2317-5729.v.9.n.2.p.1-9
35. Saikrishna K, Purushotham D, Sunitha V, Reddy YS, Brahmaiah T, Reddy BM, et al. Deciphering groundwater quality, mechanisms controlling groundwater chemistry in and around Suryapet, Telangana, South India. *Total Environment Research Themes*. 2023;6:1-12. doi: 10.1016/j.totert.2023.100035
36. Ferro P, Morales E, Ticona E, Ferró-Gonzales P, Oblitas A, Ferró-González AL. Water quality and phenotypic antimicrobial resistance in isolated of *E. coli* from water for human consumption in Bagua, under One Health approach. *Heliyon*. 2024(10):1-9. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e23961
37. Chaudhary R, Gaur N, Yadav M. Hydrogeochemical analysis of groundwater quality during the pre-monsoon season of Manipur, India. *Water Science*. 2024;38(1)274-92. doi: 0.1080/23570008.2024.2341369
38. Macedo TL, Rempel C, Maciel MJ. Análise físico-química e microbiológica de água de poços artesianos em um município do Vale do Taquari - RS. *Tecno-Lógica*. 2018;22(1):58-65. doi: 10.17058/tecnolog.v22i1.10447

39. Lima AG, Lourenço AMG. Potabilidade da água de diferentes fontes de abastecimento na zona rural de Princesa Isabel - PB. Revista de Agroecologia no Semiárido (RAS). 2021;5(3):16-30. doi: 10.35512/ras.v5i3.4700
40. Vitó CV, Silva LJ, Oliveira KM, Gomes AT, Nunes CR. Avaliação da qualidade da água: determinação dos possíveis contaminantes da água de poços artesianos na região noroeste fluminense. Revista Acta Biomedica Brasiliensia. 2016;7(2):59-75. doi: 10.18571/acbm.111
41. Oliveira MM, Lima AS, Mouchrek AN, Marques PR, Marques CV. Análise físico-química e microbiológica de águas de poços artesianos de uso independente. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental. 2018;7(3):624-39. doi: 10.19177/rgsa.v7e32018624-639
42. Mendonça FC, Almeida RS, Oliveira DF, Santos AG. Avaliação da qualidade de água para consumo humano em fonte subterrânea na região do recôncavo da Bahia. Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas. 2019;33(4):1-8. doi: 10.14295/ras.v33i4.29751
43. Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Resolução Conama n° 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. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf
44. Nascimento FJ, Barroso AA, Santos HO, Lima PF. Hidrogeoquímica das águas subterrâneas da microrregião do Baixo Jaguaribe, Ceará, Brasil. Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnica. 2021;35(1):1-11. doi: 10.14295/ras.v35i3.30112
45. Silva LS, Monteiro RG, Silva PS, Santos JW. Caracterização hidrogeoquímica das águas de poços subterrâneos no município de Vitória da Conquista, Bahia. Brazilian Journal of Development. 2023;9(6):19239-58. doi: 10.34117/bjdv9n6-036
46. Almada CP, Texeira EF, Felix AM, Silva MS, Siqueira AS. Análise da qualidade microbiológica da água de escolas públicas da cidade de Belém, Estado do Pará (PA). Research, Society and Development. 2024;13(2):1-19. doi: 10.33448/rsd-v13i2.45153
47. Rabiu AG, Marcus AJ, Olaitan MO, Falodun OI. Systematic review and meta-analyses of the role of drinking water sources in the environmental dissemination of antibiotic-resistant *Escherichia coli* in Africa. International Journal of Environmental Health Research. 2024;1-16. doi: 10.1080/09603123.2024.2320934
48. Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Resolução 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. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 2008. Disponível em: <https://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>
49. Talpur HA, Talpur SA, Mahar A, Rosatelli G, Baloch MY, Ahmed A, et al. Investigating drinking water quality, microbial pollution, and potential health risks in selected schools of Badin city, Pakistan. HydroResearch. 2024;7:248-56. doi: 10.1016/j.hydres.2024.04.004
50. Cui G, Su X, Zheng S, Tong S, Jiang M. Hydrological and biogeochemical processes controlling riparian groundwater quantity and quality during riverbank filtration. Environmental Pollution. 2024;350:1-9. doi: 10.1016/j.envpol.2024.124020
51. Louzeiro AL, Penha MS, Melo NA, Bittencourt JA, Ribeiro EC, Sabbadini PS, et al. Análise microbiológica de poços artesianos das propriedades rurais de Porto Rico do Maranhão. Revista Interfaces. 2023;11(3):2846-52. doi: 10.16891/2317-434X.v11.e1.a2023.pp1764-1767
52. Lyons KJ, Ikonen J, Hokajärvi AM, Räsänen T, Pitkänen T, Kauppinen A, et al. Monitoring groundwater quality with real-time data, stable water isotopes, and microbial community analysis: A comparison with conventional methods. Science of the Total Environment. 2023;864:1-15. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.161199