

Avaliação microbiológica da água bruta de poços artesianos urbanos e determinação do grau de risco à saúde no consumo

Microbiological assessment of the raw water from urban artesian wells and determination of the health risk level in consumption


- **Data de entrada:**
31/01/2023
- **Data de aprovação:**
17/05/2023

Rhuan Felipe Jeranoski^{1*} | Giovana Katie Wiecheteck¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.030>

ORCID ID

Jeranoski RF  <https://orcid.org/0000-0001-5023-2801>

Wiecheteck GK  <https://orcid.org/0000-0003-2147-5040>

Resumo

A água destinada ao consumo deve atender ao padrão de potabilidade estabelecido na legislação vigente, uma vez que, se contaminada, pode causar doenças. Este estudo utilizou dados abertos do Programa VIGIAGUA de Ponta Grossa (PR), onde foram realizadas análises estatísticas de 296 amostras de nove poços artesianos localizados na área urbana entre os anos de 2016 e 2021, verificando a conformidade com os padrões para o consumo humano segundo parâmetros básicos de coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*), estipulados pela Portaria GM/MS n. 888/2021. Também foi realizada análise qualiquantitativa dos riscos de contaminação microbiológica dos poços por meio de inspeções sanitárias definidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Os resultados apontaram a contaminação da água bruta por CT (34%) e *E. coli* (7%) das amostras avaliadas, além de atestar que a ocorrência de deficiências estruturais e sanitárias influenciou no aumento da contaminação da água por CT ($p = 0,002$) e *E. coli* ($p = 0,011$), afetando diretamente a saúde dos consumidores.

Palavras-chave: Abastecimento de água. Qualidade da água. Saúde ambiental. Doenças transmitidas pela água. Água subterrânea.

Abstract

*Water intended for consumption must meet the potability standard established in current legislation, since it can carry a large number of microbiological contaminants that cause disease. This study used open data from the VIGIAGUA Program of the municipality of Ponta Grossa, Paraná, where statistical analyses were carried out on 296 samples from nine artesian wells located in the urban area from 2016 to 2021, verifying compliance with the standards for human consumption according to basic parameters of total coliforms (TC) and *Escherichia coli* (*E. coli*), stipulated by Ordinance GM/MS 888/2021. A quali-quantitative analysis of the risks of microbiological contamination of the artesian wells was also carried out with sanitary inspections defined by the World Health Organization (WHO). The results showed that the raw water was contaminated by TC (34%) and *E. coli* (7%) in the samples evaluated, and that structural and sanitary deficiencies influenced the*

¹ Universidade Estadual de Ponta Grossa – Ponta Grossa – Paraná – Brasil

* **Autor correspondente:** rhuanjeranoski@gmail.com

increase in water contamination by TC ($p = 0,002$) and *E. coli* ($p = 0,011$). These results reflect the precariousness of some of the wells studied, presenting risk indexes that can lead to damage to groundwater resources and consequent waterborne diseases, directly affecting the health of consumers.

Keywords: Water supply. Water quality. Environmental health. Waterborne diseases. Groundwater.

1 INTRODUÇÃO

Água e saneamento básico são componentes indispensáveis na garantia de qualidade de vida da população, sendo que o acesso à água potável é importante quando se trata de saúde pública e desenvolvimento local e regional. Além disso, investimentos no abastecimento de água e saneamento podem produzir benefícios econômicos, uma vez que possibilitam a diminuição de surgimento de doenças de transmissão hídrica e consequente redução de gastos com cuidados médicos primários (WHO, 2011; 2015).

Quando levantadas as informações sobre as fontes de abastecimento da água no Brasil, projeções realizadas em 2018 e 2019 indicaram a existência de até 2,5 milhões de poços tubulares no país, porém apenas cerca de 300 mil desses poços são cadastrados junto aos órgãos competentes de fiscalização, mostrando a defasagem de dados de exploração e monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos (Brasil, 2018; Hirata *et al.*, 2019).

O controle da qualidade da água para consumo humano é essencial, pois os recursos hídricos podem ser contaminados por uma extensa variedade de microrganismos que são encontrados no meio ambiente, incluindo os patogênicos e os não patogênicos (WHO, 2012). Nesse enquadramento, a contagem padrão de bactérias de coliformes totais (CT) é muito importante para a avaliação da qualidade da água. Embora a maioria dessas bactérias não sejam agentes patógenos, podem indicar riscos à saúde, como também deteriorar a qualidade da água, provocando odores e sabores desagradáveis (Brasil, 2013). No entanto, a simples

presença de CT em uma dada amostra pode não garantir relação com poluição da água por material fecal. Esse fato não deve ser negligenciado, servindo como alerta a uma possível exposição da fonte a focos de contaminação (Brasil, 2016).

Em contrapartida, a *Escherichia coli* (*E. coli*) é um parâmetro microbiológico utilizado no monitoramento de possível contaminação fecal da água para consumo humano, sendo usado como indicador para determinar o potencial da água em transmitir doenças (Brasil, 2013). Esse parâmetro é relevante para acusar despejos de esgotos domésticos e efluentes de criações animais capazes de comprometer os usos da água (Khan *et al.*, 2021).

As doenças transmitidas pela água tornaram-se uma das maiores preocupações de saúde pública a nível mundial, pois são principalmente causadas pela contaminação, causando vários tipos de doenças diarreicas, tais como cólera e disenteria (Ahmad *et al.*, 2020). De acordo com WHO (2017), os grupos com maior risco de doenças transmitidas pela água são bebês, crianças pequenas, pessoas debilitadas e idosos, especialmente quando vivem em condições de falta de saneamento básico.

Desse modo, evidencia-se a necessidade de garantir a segurança microbiana do abastecimento de água sendo baseada na utilização de parâmetros qualiquantitativos, incluindo tanto as análises de qualidade da água realizadas em laboratório como os levantamentos de riscos locais por meio de inspeções sanitárias (Ahmad *et al.*, 2020; Brasil, 2005; WHO, 2012), sendo que essa avaliação conjunta visa a eliminação ou redução do risco de contaminação da água

potável a níveis não prejudiciais para a saúde humana (WHO, 2014).

No Brasil, as águas subterrâneas distribuídas por soluções alternativas coletivas (SACs) são monitoradas por meio do Programa de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) do Ministério da Saúde, em que os municípios brasileiros realizam análises rotineiras de parâmetros mínimos para consumo humano e fornecem esses dados periodicamente aos órgãos responsáveis em nível Estadual e Federal, Secretaria de Saúde e Ministério da Saúde, respectivamente, com o objetivo de promover a saúde e prevenir a contaminação de doenças de veiculação hídrica (Oliveira *et al.*, 2019).

A legislação vigente, Portaria GM/MS n. 888/2021, define critérios de potabilidade e recomenda a análise laboratorial periódica de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano. A literatura apresenta a necessidade de avaliar as condições da estrutura construtiva dos poços, caracterizando e identificando potenciais problemas e alterações na qualidade da água potável de maneira visual, desempenhando um papel fundamental na garantia de um fornecimento consistente e seguro de água potável aos consumidores (Ahmad *et al.*, 2020; WHO, 2012). Essa avaliação qualitativa é indispensável, pois as variações, principalmente no regime de chuvas, influenciam possíveis carregamentos de contaminantes superficiais aos corpos hídricos, vindo a atingir as águas subterrâneas por infiltrações no solo ou por fissuras em poços mal protegidos (Edam; Abdelgalil, 2022; Elisante; Muzuka, 2016; Pitkänen *et al.*, 2011; Pujari *et al.*, 2011).

Levantamentos bibliográficos apontados por Kløve *et al.* (2017) e Almeida *et al.* (2019) indicaram contaminações na água subterrânea para consumo humano ocasionadas por deficiências na construção dos poços e carregamento superficial de poluentes pela precipitação pluviométrica, eviden-

ciando a necessidade de melhoria dos sistemas de exploração, proteção e tratamento da água subterrânea, corroborando que a água destinada ao consumo humano deve ser periodicamente submetida a análises laboratoriais para verificar sua integridade e adequação para uso.

Características físicas da água, tais como temperatura, sabor, cor e odor podem indicar um certo nível de qualidade da água. Entretanto, mesmo a água parecendo visualmente potável, a presença de contaminação bacteriana não é visível a olho nu, o que pode causar riscos à saúde humana devido ao seu consumo indiscriminado (Brasil, 2016). Por conseguinte, este estudo visa identificar a qualidade da água das SACs provenientes de 296 análises de nove poços artesianos instalados na área urbana de Ponta Grossa (PR), utilizando os indicadores microbiológicos de CT e *E. coli* descritos na Portaria GM/MS n. 888/2021 (Brasil, 2021) para avaliar as características sanitárias e a influência do entorno dos poços, indicando níveis de vulnerabilidade baseados na metodologia de matriz de risco de contaminação (WHO, 2011). Busca-se, também, avaliar se os resultados das análises microbiológicas da água bruta subterrânea estão atendendo aos padrões de potabilidade para consumo humano definidos na Portaria GM/MS n. 888/2021, evitando a possibilidade de transmissão de doenças de veiculação hídrica.

2 METODOLOGIA

Trata-se de um estudo observacional descritivo-analítico realizado a partir da coleta de dados secundários de qualidade microbiológica de água do Programa VIGIAGUA, no período de 2016 a 2021 em nove poços artesianos coletivos localizados na área urbana da cidade de Ponta Grossa que atendem cerca de 3.133 pessoas. O município está localizado no Segundo Planalto do Estado do Paraná, em uma altitude média de 985 m acima do nível do mar, apresenta uma extensão territorial de 2055 km² com densidade demográfica de cerca

de 172,3 habitantes/km² e clima, segundo classificação de Köppen, subtropical úmido mesotérmico (cfb). Contém precipitação média anual de 1422,8 mm, sendo o mês de janeiro o período de maior índice de precipitação e agosto o de menor índice, tendo médias de 164,4 mm e 71,2 mm, respectivamente (Maack, 2002; Ponta Grossa, 2018).

Os dados secundários dos poços artesianos analisados foram escolhidos conforme a representatividade de número de amostragens anuais, sendo definido no mínimo três coletas por ano, posto que não foram considerados os dados de 2020 devido à falta de amostragens significativas no período de pandemia da covid-19.

A qualidade microbiológica da água foi avaliada por meio da análise quantitativa das bactérias indicadoras CT e *E. coli*. Essas bactérias são usualmente consideradas como indicadores de poluição, sendo a *E. coli* a mais fiável indicadora de substâncias de origem fecal, detectando contaminação da água com possibilidade de transmissão de doenças de veiculação hídrica quando consumida sem desinfecção adequada (Brasil, 2013; 2016; WHO, 2017). Para a realização dos exames bacteriológicos, as amostras de água foram coletadas em garrafas estéreis de 100 mL de poliuretano, colocadas em caixas térmicas com gelo para manter a temperatura em torno de 4 °C e transportadas para o laboratório de recursos hídricos da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Todas as amostras foram entregues e examinadas no prazo de 12 horas após a coleta e as unidades de formação de colônias (UFC) de CT e *E. coli* foram analisadas com base no Método Padrão Substrato Cromogênico/Enzimático - 9223 B (Eaton; Clesceri; Greenberg, 2017).

Entre os meses de junho e setembro de 2022 foram realizadas avaliações visuais das condições de construção e entorno dos poços selecionados com base no formulário de inspeção sanitária para poços artesianos adaptado de WHO (2012). O formulário consiste em um conjunto de perguntas com

respostas “sim” ou “não” para auxiliar a encontrar os fatores de risco mais importantes que podem contribuir para a contaminação da água para consumo humano. Algumas das questões indicam deficiências estruturais na construção dos poços, distância entre a fonte de água até fossas sépticas e redes de saneamento, além da existência de cercas para evitar a entrada de animais e pessoas mais próximas da fonte de água.

Ao somar as respostas indicadas como “sim” o número total de riscos de contaminação foi obtido em uma grade de pontuação de 0 a 10, sendo os resultados categorizados em diferentes escalas de risco como baixo, intermediário, alto e muito alto. O levantamento de dados de quantidade média de coliformes termotolerantes (UFC *E. coli*/100mL de amostras) apresenta categorização de risco para a saúde da ingestão de água contaminada por *E. coli*, com base nos parâmetros de qualidade de água potável recomendada por WHO (2011), sendo: 0 UFC/100mL o valor ideal para consumo humano, caracterizado como nível seguro, de 1 a 10 UFC/100 mL representam risco intermediário (provavelmente seguro), de 11 a 100 UFC/100 mL representam alto risco (provavelmente inseguro) e contagens de colônias acima de 100 UFC/100 mL representam altíssimo risco (inseguro).

Por meio da combinação das pontuações do nível de risco individual da inspeção sanitária foi possível indicar quais os poços que precisam de ações corretivas e que estão mais suscetíveis à transmissão de doenças de veiculação hídrica por meio de uma matriz de prioridade de risco. A avaliação dos dados foi realizada com auxílio do software JAMOVI v2.2.5, usado para analisar a estatística descritiva dos dados e inferir se existe alguma associação significativa entre a pontuação de risco sanitário e a contaminação microbiológica da água por meio da aplicação da correlação de Spearman em nível de 5% de probabilidade, com base nos seguintes coeficientes descritos por Baba, Vaz e Costa (2014): 0,00 a 0,19 = muito

fraca; 0,20 a 0,39 = fraca; 0,40 a 0,69 = moderada; 0,70 a 0,89 = forte; e 0,90 a 1,00 = muito forte.

3 RESULTADOS

Um total de 296 amostras de água foram coletadas no período de 2016 a 2021 em nove poços artesianos distintos. Por meio do teste de nor-

malidade de Shapiro-Wilk, determinou-se que as concentrações de CT e *E. coli* não apresentam distribuição normal (p -valor < 0,001) devido a sua alta variabilidade sazonal. Os resultados das análises microbiológicas são apresentados em termos de porcentagens de amostras de água fora do padrão de potabilidade na Tabela 1.

Tabela 1 – Porcentagem de amostras anuais fora do padrão de qualidade para consumo humano.

Parâmetro Avaliado	VMP ¹	2016%	2017%	2018%	2019%	2021%	Média geral%
Número de Amostras anuais		54	52	50	66	74	296
CT	0	42,59%	28,84%	36,00%	19,70%	40,54%	33,53%
<i>E. coli</i>	0	12,96%	11,54%	4,00%	4,55%	2,70%	7,15%

Notas: ¹Portaria GM/MS n. 888/2021; CT = coliformes totais (UFC/100 mL); *E. coli* = *Escherichia coli*; VMP = valor máximo permitido

Observa-se na Tabela 1 que o parâmetro com maior porcentagem de amostras em desacordo com a legislação é o de CT, chegando a atingir 42,59% das análises em 2016, e 40,54% em 2021. Com relação à *E. coli* observam-se maiores valores em 2016 e 2017, 12,96% e 11,54%, res-

pectivamente. Nota-se uma redução gradativa do quantitativo de *E. coli* durante o período avaliado, com valores acima do valor máximo permitido (VMP) estabelecido pela Portaria GM/MS n. 888/2021, variando de 12,96% em 2016, a 2,70% em 2021.

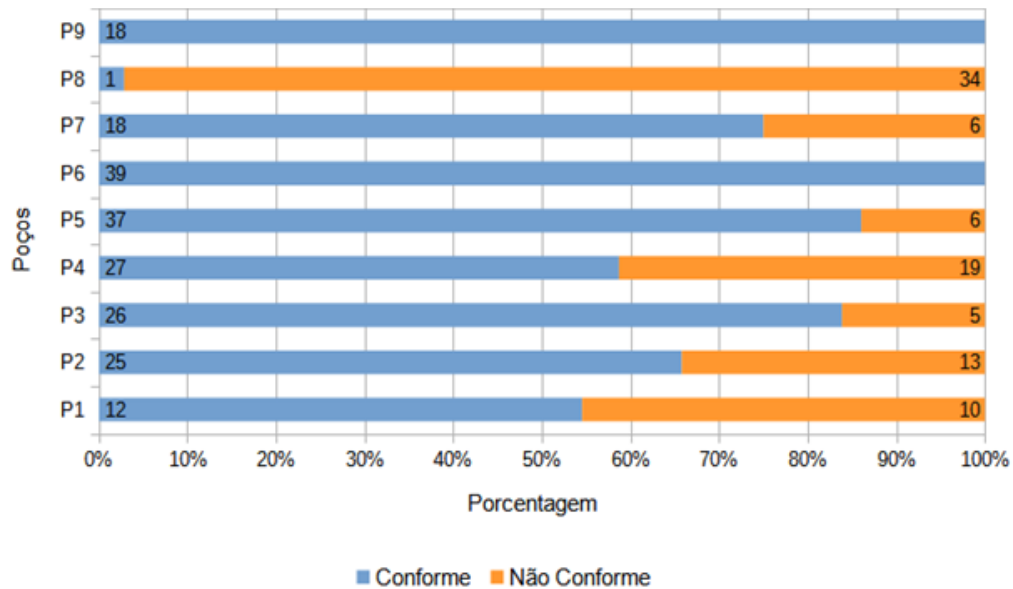


Figura 1 – Número de amostras realizadas durante o período estudado em cada poço e porcentagem de resultados em conformidade com o padrão de qualidade para consumo humano.

De acordo com as avaliações individuais realizadas com base no formulário de inspeção sanitária, foi definido o risco de contaminação de cada poço, sendo classificados com potencial baixo, médio, alto e muito alto de vulnerabilidade.

Na Tabela 2 apresenta-se o diagnóstico de risco de contaminação dos poços para cada tipo de condicionante, a pontuação de risco sanitário e o índice de risco de contaminação das águas subterrâneas.

Tabela 2 – Diagnóstico individualizado de risco de contaminação dos poços estudados a partir das respostas do formulário de inspeção sanitária.

Poço	Itens condicionantes de risco de contaminação										Pontuação de Risco Sanitário	Índice de Risco
	RE	FS	FP	PR	CD	CP	PB	AE	RS	RC		
P1	x				x	x	x	x			5/10	Médio
P2	x		X		x	x	x			x	6/10	Alto
P3	x				x	x	x				4/10	Médio
P4	x								x		2/10	Baixo
P5	x										1/10	Baixo
P6	x				x					x	3/10	Médio
P7	x				x	x				x	4/10	Médio
P8	x		X		x	x	x		x		6/10	Alto
P9	x						x				2/10	Baixo

Notas: presença de rede de esgoto no entorno (RE), presença de fossa séptica no raio de 10 m (FS), presença de fontes de poluição no entorno (FP), presença de poços rasos no entorno (PR), inconformidade no canal de drenagem (CD), ausência de cerca de proteção (CP), permeabilidade na base do mecanismo de bombeamento (PB), presença de água estagnada no entorno (AE), presença de resíduos sólidos no entorno (RS) e presença de rachaduras na cimentação da laje do poço (RC).

Pode-se identificar que as condicionantes que menos atendem o padrão estabelecido pelo formulário de inspeção sanitário são: presença de rede de esgoto no entorno (9/9), inconformidade no canal de drenagem (6/9), ausência de cerca de proteção (5/9) e permeabilidade na base do mecanismo de bombeamento (5/9). Além disso, os únicos itens que estão conformes em 100% dos poços são: presença de fossa séptica no raio de 10 m e presença de poços rasos no entorno.

Para avaliar a carga potencial de contaminação microbiológica individual de cada poço foi preenchido o sistema de classificação da matriz de prioridade de ações corretivas (Tabela 3) baseado na contagem média microbiana de *E. coli* (UFC/100mL) e na pontuação obtida no formulário de inspeção sanitária.

Com base na Tabela 3 é possível identificar que os poços P4, P5 e P9 estão em boas condições de uso e não apresentam suscetibilidade à contaminação da água, sendo segura para consumo humano, diferentemente dos poços P2 e P8 (Figura 2) que estão enquadrados no nível elevado de vulnerabilidade à contaminação microbiológica por *E. Coli*. Os demais poços P1, P3, P6 e P7 enquadram-se no nível intermediário de risco.

Considerando as médias das amostragens dos parâmetros microbiológicos de CT e *E. coli* em cada poço, foi calculada a matriz de correlação de Spearman com as pontuações de risco sanitário, com intuito de verificar se existe relação entre as análises quantitativas e os índices de risco qualitativos definidos por meio de formulário de inspeção sanitária.

Tabela 3 – Matriz de prioridade de ações corretivas baseada na contagem microbiana e na pontuação do formulário de inspeção sanitária.

Contagem de <i>E. coli</i> (UFC / 100 mL)	Escala de risco da inspeção sanitária (susceptibilidade à contaminação por fezes humanas e animais)			
	0 – 2	3 – 5	6 – 8	9 – 10
< 1	P4; P5; P9	P6; P7	P2	
1 – 10	P1	P3		
11 – 100			P8	
> 100				

Notas: Níveis de risco: 0-2 Baixo; 3-5 Intermediário; 6-8 Elevado; e 9-10 Muito elevado. Prioridade de ação: Verde – nenhuma ação necessária; Amarelo – ação simplificada; Laranja – ação prioritária; e Vermelho – ação urgente.

Fonte: Adaptado de WHO (2011).



Figura 2 – Caracterização das condições construtivas e de conservação do entorno dos poços enquadrados como risco elevado de vulnerabilidade (P2 e P8).

Foi possível identificar que existe correlação estatisticamente significativa entre as pontuações de risco e a quantidade média de microrganismos nas amostras de água coletadas durante os anos, tanto para CT (p-valor = 0,002) quanto para *E. coli* (p-valor = 0,011), resultando coeficientes de correlação altos de 0,75 e 0,79, respectivamente.

4 DISCUSSÃO

Em relação à qualidade da água bruta para consumo humano em um contexto geral, os poços apresentaram 195 amostras “conformes” (66%), de acordo com a Portaria GM/MS n. 888/2021. Na média geral, foi possível identificar que os parâmetros microbiológicos apresentaram grande porcentagem de amostras “não conformes”, sendo 34% para CT e 7% para *E. coli*, refletindo a possível ocorrência de risco à saúde com a ingestão da água contaminada, visto que índices elevados de CT e *E. coli* em águas para consumo humano podem causar doenças de veiculação hídrica (Ahmad *et al.*, 2021; WHO, 2017).

Sete poços apresentaram mais que 13% das amostras acima do VMP permitido pela Portaria GM/MS n. 888/2021, com destaque negativo para os poços P1, P4 e P8 que apresentaram, respectivamente, 45,45%, 41,30% e 97,14% das amostras de água contaminada por CT e *E. coli*. Essa constatação, quando interpretada de acordo com a Portaria GM/MS n. 888/2021, sugere o possível comprometimento do consumo das águas subterrâneas sem adequado tratamento, considerando minimamente desinfecção/cloração da água bruta (Brasil, 2021).

Considerando que a técnica de coleta de amostra de água foi executada de forma padrão durante todo o período avaliado, a existência de concentrações variáveis de microrganismos nas amostras pode estar relacionada a fatores externos que corroboram as observações de campo relacionadas às condições estruturais e de conservação dos poços artesianos avaliados.

Assim como descrito por Lutterodt *et al.* (2022) e Kelly *et al.* (2021), os fatores que sugerem uma explicação para elevada presença de contaminação microbiológica consideram a ausência de proteção adequada dos poços, presença de animais próximos aos pontos de captação, estruturas físicas em mau estado de conservação, falta de manutenção e limpeza do entorno e possível ocorrência de grandes volumes de precipitação nos dias anteriores às coletas.

Quando comparados os resultados da média geral de amostras não conformes de *E. coli* (7,15%) com o panorama de qualidade de indicadores de água para consumo humano (Brasil, 2020) nas regiões Sudeste (2,46%), Norte (4,03%) e Centro-Oeste (2,31%), os resultados das análises microbiológicas deste estudo mostram uma elevada porcentagem de amostras contaminadas por *E. coli*, indicando que a qualidade da água bruta dos poços tubulares de Ponta Grossa é inadequada e acima da média dessas regiões. Porém, quando defrontado com resultados da região Sul e Nordeste, os resultados seguem abaixo da média do número de amostragens fora do padrão, 12,36% e 9,81%, respectivamente. Além disso, quando levados em consideração os 955 municípios brasileiros que realizaram levantamento quantitativo de análises e seus percentuais acima do VMP para o parâmetro microbiológico de *E. coli*, pode-se inferir que os poços urbanos analisados estão abaixo da média nacional de 8,91%.

Referente à matriz de prioridade de ações corretivas após as análises visuais dos poços, salienta-se que são necessárias a tomada de ações prioritárias na melhoria do sistema de exploração e da conscientização dos usuários na proteção, limpeza do entorno, desinfecção da água bruta, além do monitoramento da qualidade da água semanalmente para os poços enquadrados como risco elevado. Para os poços que se enquadram no nível intermediário de risco são indicados

treinamentos aos consumidores sobre condições higiênico-sanitárias, desinfecção da água bruta e manutenções do sistema.

Destaca-se que a inspeção sanitária e a análise da qualidade da água devem ser trabalhadas como ferramentas complementares, visto que a poluição fecal bacteriana está relacionada aos riscos sanitários identificados pelas pontuações de risco sanitário dos poços, destacando o fato de que quanto maior o tempo de instalação dos poços, maior a probabilidade de identificação de contaminação microbiológica por *E. coli* (Ercumen *et al.*, 2017; Lutterodt *et al.*, 2022; Mushi *et al.*, 2012). Além disso, nos poços privados geralmente ocorrem dificuldades técnicas e logísticas na realização do controle da qualidade da água com a frequência recomendada pela legislação vigente, muitas vezes por falta de equipamentos ou pessoal habilitado. Sendo assim, no que diz respeito à prevenção, a inspeção sanitária deve ser utilizada como meio de identificar e dar prioridade à reparação de sistemas de proteção dos poços, garantindo a qualidade da água consumida (Kelly *et al.*, 2021).

A contaminação identificada na água explotada torna-se um problema de saúde pública, visto que existe probabilidade de incidência de doenças de veiculação hídrica associadas à má condição dessa água consumida e a precariedade ou inexistência de estruturas de distribuição de água, o que pode afetar, principalmente, os indicadores de mortalidade infantil (Bicudo; Tundisi; Scheuenstuhl, 2010). Portanto, recomenda-se um estudo detalhado da relação entre consumo de água contaminada nos poços analisados com doenças de veiculação hídrica, não sendo possível essa análise pois não há informações detalhadas e suficientes de vigilância epidemiológica nos postos de saúde próximos aos poços artesianos avaliados.

O estudo revelou que existe correlação estatisticamente significativa entre as pontuações de risco

e a quantidade média de microrganismos nas amostras de água coletadas durante o período avaliado, tanto para CT quanto para *E. coli*, resultando coeficientes de correlação altos de 0,75 e 0,79, respectivamente. Os resultados são próximos aos destacados por Mushi *et al.* (2012), que indicam a associação estatisticamente significativa do aumento da poluição fecal com a falta de estrutura e proteção de poços instalados em zonas periurbanas. A intensidade das chuvas, os transbordos de córregos, as erosões hídricas, danos e prejuízos nas redes de esgoto e pluviais, o vazamento de efluentes no solo e a vulnerabilidade natural do aquífero contribuem para o aumento dos riscos de vulnerabilidades ambientais, que podem acarretar lixiviação de poluentes físicos, químicos e biológicos nos poços de águas subterrâneas, contaminações precursoras de doenças de veiculação hídrica.

5 CONCLUSÕES

Os níveis de poluição microbiológica excederam os VMP definidos pela Portaria GM/MS n. 888/2021 sobre a potabilidade da água para consumo humano, oferecendo ameaça à saúde dos consumidores, em particular nos poços enquadrados na categoria de alto risco (P2 e P8) conforme o preenchimento do formulário de inspeção sanitária, necessitando de melhorias estruturais e de instalação ou manutenção quando já instalados. Com intuito de bloquear as vias de contaminação, também foi identificada a importância de garantir práticas de higiene em torno dos poços e medidas de gestão abrangentes para proteger a água proveniente dos poços sujeitos às atividades antropogênicas.

Além disso, confirma-se a importância da água bruta ser submetida a tratamentos específicos antes do consumo, como a desinfecção e filtração, buscando cumprir os padrões microbiológicos de potabilidade. Alguns poços foram comprovadamente indicados como vulneráveis ao risco de consumo humano da água, fato revelado pelos

índices elevados do parâmetro *Escherichia coli*, indicador associado a material fecal, sendo que o consumo dessa água sem o adequado tratamento pode constituir um fator crítico de risco na transmissão de agentes patogênicos transportados por ela, criando vias de acesso para doenças de veiculação hídrica.

A inspeção sanitária dos poços – utilizando a pontuação de risco de contaminação conforme formulário estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) – indicou uma capacidade de prever a poluição fecal bacteriana dos poços estudados. Assim, a classificação de risco torna-se uma ferramenta útil e rentável para apoiar a gestão da qualidade da água subterrânea nesses locais, sendo um complemento para as análises quantitativas.

Dessa forma, sabendo que as águas subterrâneas de alguns poços privados se encontram vulneráveis pelas ações antrópicas, recomenda-se a realização de avaliações preliminares adequadas para emissão de outorga dos poços, garantindo que estejam de acordo com as normas para construção; o desenvolvimento de programas de reparação e manutenção apropriada da infraestrutura dos poços já instalados; a definição de perímetros imediatos de proteção sanitária no entorno dos poços; e a promoção de campanhas orientativas à população quanto à desinfecção da água bruta, com o intuito de preservar a saúde humana.

Por fim, com a adoção das medidas supracitadas, espera-se proteger os recursos hídricos subterrâneos, garantindo a preservação ambiental e da saúde da população local, reduzindo possíveis incidências de doenças de veiculação hídrica, sendo demonstrada a importância da avaliação prévia antes do consumo de água bruta sem o adequado tratamento.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Resumo: Jeranoski RF; **Introdução:** Jeranoski RF, Wiecheteck GK; **Materiais e Métodos:** Jeranoski RF,

Wiecheteck GK; **Resultados:** Jeranoski RF; **Discussão:** Jeranoski RF; **Conclusões:** Jeranoski RF; **Supervisão e Revisão:** Wiecheteck GK.

7 REFERÊNCIAS

AHMAD, M. *et al.* Assessing Potable Water Quality and Identifying Areas of Waterborne Diarrheal and Fluorosis Health Risks Using Spatial Interpolation in Peshawar, Pakistan. *Water*, [S. l.], v. 12, n. 8, p. 1-14. <http://dx.doi.org/10.3390/w12082163>

ALMEIDA, A. B. B. *et al.* Concentração de ferro e manganês em águas de abastecimento no município de Crato, Ceará: caracterização e proposta de tratamento. *Águas Subterrâneas*, São Paulo, v. 33, n. 2, 2019. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i2.29520>

BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. da. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, v. 29, n. 4, p. 515-526, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130611>

BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. *Águas do Brasil: análises estratégicas*. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2005.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Água e Desenvolvimento Sustentável: Recursos Hídricos Fronteiriços e Transfronteiriços do Brasil, 2013**. Brasília, DF: Secretaria de Assuntos Estratégicos, 2013. Disponível em: http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2013/pjc/imagens/noticias/publicacao_agua_sae.pdf. Acesso em: 21 mar. 2022

BRASIL. Ministério da Saúde. **Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretriz_nacional_plano_amostragem_agua.pdf. Acesso em: 21 maio 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Brasília, DF: ANA, 2018. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf>. Acesso em: 20 maio 2021

BRASIL. Ministério da Saúde. **Indicadores institucionais do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para consumo humano – 2018**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS n. 888, de 04 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n. 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da

água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, Ministério da Saúde, 2021.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. (Eds.). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. Washington, DC: APHA; AWWA; WEF, 2017.

EDAM, W.; ABDELGALIL, E. E. Seasonal quality of water sources indicated by *Escherichia coli*: a case of Elobied, North Kordofan state, Sudan. **Applied Water Science**, Amsterdam, v. 12, n. 50, p. 1-8, 2022. <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-022-01578-7>

ELISANTE, E.; MUZUKA, A. N. N. Sources and seasonal variation of coliform bacteria abundance in groundwater around the slopes of Mount Meru, Arusha, Tanzania. **Environmental Monitoring and Assessment**, Amsterdam, v. 188, n. 365, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-016-5384-2>

ERCUMEN, A. *et al.* Can Sanitary Inspection Surveys Predict Risk of Microbiological Contamination of Groundwater Sources? Evidence from Shallow Tubewells in Rural Bangladesh. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, Arlington, v. 96, n. 3, p. 561-568, 2017. <http://dx.doi.org/10.4269/ajtmh.16-0489>

HIRATA, R. *et al.* **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil**: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/bitstream/e7d9e125-7b22-4706-915b-a397f8a91784>. Acesso em: 27 de set. 2021.

KELLY, E. *et al.* Sanitary inspection, microbial water quality analysis, and water safety in handpumps in rural sub-Saharan Africa. **npj Clean Water**, Amsterdam, v. 4, n. 3, p. 1-7, 2021. <http://dx.doi.org/10.1038/s41545-020-00093-z>

KHAN, M. H. *et al.* Assessment of Drinking Water Sources for Water Quality, Human Health Risks, and Pollution Sources: A Case Study of the District Bajaur, Pakistan. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, Nova York, v. 80, n. 1, p. 41-54, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00801-3>

KLØVE, B. *et al.* Overview of groundwater sources and water-supply systems, and associated microbial pollution, in Finland, Norway and Iceland. **Hydrogeology Journal**, Amsterdam, v. 25, n. 4, p. 1033-1044, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1552-x>

LUTTERODT, G. *et al.* Groundwater pollution assessment in a coastal aquifer in Cape Coast, Ghana. **Heliyon**, Philadelphia,

v. 7, n. 4, p. 1-10, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06751>

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: Imprensa Oficial do Paraná, 2002.

MUSHI, D. *et al.* Sanitary inspection of wells using risk-of-contamination scoring indicates a high predictive ability for bacterial faecal pollution in the peri-urban tropical lowlands of Dar es Salaam, Tanzania. **Journal of Water and Health**, London, v. 10, n. 2, p. 236-243, 2012. <http://dx.doi.org/10.2166/wh.2012.117>

OLIVEIRA, A. de *et al.* Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua): características, evolução e aplicabilidade. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, DF, v. 28, n. 1, p. 1-14, 2019. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742019000100024>

PITKÄNEN, T. *et al.* Microbial Contamination of Groundwater at Small Community Water Supplies in Finland. **AMBIO**, Amsterdam, v. 40, p. 377-390, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-010-0102-8>

PONTA GROSSA. **Revisão do Plano Diretor de Ponta Grossa**: Relatório 03 - Análise Temática Integrada - Parte 1. Ponta Grossa: URBTEC, junho de 2018. Disponível em <https://iplan.pontagrossa.pr.gov.br/plano-diretor-participativo-2018/>. Acesso em: 2 jan. 2023.

PUJARI, P. R. *et al.* Assessment of the impact of on-site sanitation systems on groundwater pollution in two diverse geological settings - a case study from India. **Environmental Monitoring and Assessment**, Amsterdam, v. 184, p. 251-263, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-011-1965-2>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. 4 ed. Geneva: WHO, 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Rapid assessment of drinking-water quality a handbook for implementation**. Geneva: WHO, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Progress on sanitation and drinking water**: 2014 update. Geneva: WHO, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Water, sanitation and hygiene in health care facilities**: status in low and middle income countries and way forward. Geneva: WHO, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum**. Geneva: WHO, 2017.