

Fossas rudimentares e a contaminação de poços rasos: Um estudo no Semiárido Brasileiro

Rudimentary septic systems and shallow well contamination: A study in the Brazilian Semi-Arid region

Fosas rudimentarias y la contaminación de pozos poco profundos: Un estudio en el Semiárido Brasileño

Recebido: 16/01/2025 | Revisado: 20/01/2025 | Aceitado: 20/01/2025 | Publicado: 23/01/2025

Ronildo Carvalho de Jesus

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3709-2444>

Universidade do Estado da Bahia, Brasil

E-mail: nildosgc@hotmail.com

Taiara Aguiar Caires

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1422-3702>

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil

E-mail: taiara.caires@uesb.edu.br

Resumo

As fossas rudimentares são uma alternativa que cumpre a finalidade de separar o homem de seus dejetos, evitando possíveis proliferações de doenças, mas, ao mesmo tempo, traz uma possível fonte de contaminação para as águas subterrâneas, principalmente onde o lençol freático é pouco profundo, restringindo os usos dessa água para o consumo humano sem tratamento apropriado. O presente estudo teve como objetivo analisar a qualidade da água de poços rasos a fim de identificar possível contaminação pela proximidade de fossas rudimentares em três poços (P1, P2 e P3) em São Gonçalo dos Campos, semiárido brasileiro, durante os períodos seco e chuvoso. Observou-se que as fossas não possuíam a distância mínima de 45 metros dos poços como recomendado pelas normas técnicas, situação em que as duas estruturas se mantêm próximas entre si, podendo acarretar em contaminações. Dentre os parâmetros analisados, pH e salinidade não apresentaram variações relevantes nos poços entre os períodos amostrados. Para turbidez, Demandas Bioquímica e Química de Oxigênio, e Sólidos Totais houve alterações evidentes em dois poços (P1 e P3) entre os períodos analisados, evidenciando a influência da pluviosidade sobre estes parâmetros. Quanto aos parâmetros biológicos (*Escherichia coli* e bactérias heterotróficas), ocorreu um decréscimo nos valores em todos os poços no período chuvoso. A maioria dos parâmetros apresentou valores acima dos limites permitidos pela legislação para a potabilidade da água, evidenciando uma possível relação entre a ocorrência de alterações dos fatores físico-químicos e a contaminação da água dos poços analisados pela presença de fossas rudimentares em perímetro próximo.

Palavras-chave: Águas subterrâneas; Análise de água; Perímetro urbano.

Abstract

Rudimentary septic systems are an alternative that serves the purpose of separating humans from their waste, preventing potential disease outbreaks, however, they also pose a potential source of groundwater contamination, particularly in areas where the water table is shallow, restricting the use of this water for human consumption without appropriate treatment. The present study aimed to analyze the water quality of shallow wells to identify possible contamination caused by the proximity of rudimentary septic systems in three wells (P1, P2, and P3) in São Gonçalo dos Campos, located in the Brazilian semi-arid region, during the dry and rainy seasons. It was observed that the septic systems did not maintain the minimum recommended distance of 45 meters from the wells, as specified by technical standards. This proximity between the two structures could result in contamination. Among the analyzed parameters, pH and salinity showed no significant variations in the wells between the sampled periods. However, for turbidity, Biochemical and Chemical Oxygen Demand, and Total Solids, there were notable changes in two wells (P1 and P3) across the analyzed periods, highlighting the influence of rainfall on these parameters. Regarding biological parameters (*Escherichia coli* and heterotrophic bacteria), a decrease in values was observed in all wells during the rainy season. Most of the parameters presented values above the limits established by legislation for potable water, indicating a possible relationship between alterations in physicochemical factors and contamination of the analyzed well water by the presence of rudimentary septic systems in nearby areas.

Keywords: Groundwater; Water analysis; Urban perimeter.

Resumen

Las fosas rudimentarias son una alternativa que cumple con el propósito de separar al ser humano de sus desechos, evitando posibles proliferaciones de enfermedades. Sin embargo, al mismo tiempo, representan una posible fuente de contaminación para las aguas subterráneas, especialmente en áreas donde el nivel freático es poco profundo, restringiendo el uso de esta agua para consumo humano sin un tratamiento adecuado. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la calidad del agua de pozos poco profundos con el fin de identificar una posible contaminación debido a la proximidad de fosas rudimentarias en tres pozos (P1, P2 y P3) en São Gonçalo dos Campos, semiárido brasileño, durante los períodos seco y lluvioso. Se observó que las fosas no respetaban la distancia mínima de 45 metros de los pozos, como lo recomiendan las normas técnicas, situación en la que ambas estructuras se mantienen muy cercanas entre sí, lo que podría causar contaminaciones. Entre los parámetros analizados, el pH y la salinidad no presentaron variaciones relevantes en los pozos entre los períodos muestreados. Sin embargo, en cuanto a la turbidez, las demandas bioquímica y química de oxígeno, y los sólidos totales, hubo alteraciones evidentes en dos pozos (P1 y P3) entre los períodos analizados, evidenciando la influencia de la pluviosidad en estos parámetros. En relación con los parámetros biológicos (*Escherichia coli* y bacterias heterótrofas), se observó una disminución en los valores en todos los pozos durante el período lluvioso. La mayoría de los parámetros presentó valores superiores a los límites permitidos por la legislación para la potabilidad del agua, lo que evidencia una posible relación entre las alteraciones de los factores físico-químicos y la contaminación del agua de los pozos analizados debido a la presencia de fosas rudimentarias en áreas cercanas.

Palabras clave: Aguas subterráneas; Análisis de agua; Perímetro urbano.

1. Introdução

Segundo a Lei nº 11.445 de 2007, o saneamento básico é um conjunto de serviços que inclui o abastecimento de água, a coleta de esgoto, a limpeza, a drenagem urbana, o manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais. Os princípios fundamentais dessa lei sugerem que esses serviços devem ser ofertados com adequação à saúde pública, conservação dos recursos naturais e proteção do meio ambiente (Brasil, 2007). Apesar da legislação vigente, nas últimas décadas, o aumento populacional contribuiu para a aceleração do crescimento urbano e, em muitos casos, sem o devido planejamento das estruturas urbanísticas e de saneamento. Em função desse cenário, surgiram situações como o aumento da demanda por água potável, a geração de práticas inadequadas quanto à disposição de resíduos sólidos, e o alto volume de esgoto em cidades desprovidas de esgotamento sanitário eficiente para a coleta do mesmo (Cappi et al., 2012).

Nesse contexto, os mananciais subterrâneos são recursos naturais aos quais se recorre para abastecer grande parte da população brasileira, tanto rural quanto urbana, quando não há acesso à rede pública de abastecimento ou quando o abastecimento é irregular. De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), em 2022, 29,7% da população brasileira se abasteciam em poço profundo ou artesiano. A problemática em torno da construção de poços a partir desses mananciais está em não levar em consideração critérios técnicos adequados que permitam o acesso à água nos parâmetros de potabilidade adequados para consumo humano. A locação para perfuração em local inadequado coloca em risco a qualidade das águas subterráneas, uma vez que há conexão das águas mais rasas com as mais profundas (ANA, 2007).

Na maioria dos casos, quando o abastecimento requer pequena vazão, é comum optar-se pela escavação de poços do tipo raso, os quais são caracterizados por atenderem vazão pequena, terem diâmetro de 1 metro ou mais e serem cavados manualmente, sendo imediatamente após, revestidos com tijolos ou anéis de concreto (Gianpá & Gonçalves, 2005). Esse tipo de captação explora os aquíferos que têm proximidade com a superfície e, portanto, estão mais suscetíveis às fontes de contaminação antropogênicas, como as fossas rudimentares (Fenzl et al., 2018).

As fossas rudimentares consistem em buracos na terra, com profundidade entre três (3) e quatro (4) metros, que recebem dejetos líquidos e sólidos das residências sem nenhum tipo de tratamento (Souza, 2019). Uma das características do processo de construção desse tipo de fossa ainda inclui a ausência ou apenas a presença parcial de camadas impermeabilizantes (Brasil, 2015). Apesar da ausência de normas técnicas para reger a construção dessas estruturas, o processo baseia-se na NBR 7229 que trata do projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, e na NBR 13969, que trata dos tanques sépticos abarcando as unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Adicionalmente, a construção destas fossas

difícilmente seguem estes parâmetros, inclusive pelos custos associados.

Esse tipo de alternativa sanitária é considerada como um serviço deficiente para um domicílio, dado que esse tipo de fossa causa poluição ambiental e surgimento de doenças que podem ocasionar absenteísmo no trabalho e nas escolas, além de aumentar os gastos com saúde pública e elevar os casos de hospitalizações (Cruz et al., 2018). Essa consideração também é reafirmada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB (Brasil, 2019), contudo, esse tipo de serviço é reconhecido nacionalmente (Brasil, 2015) e internacionalmente (WHO et al., 2017) por representar uma barreira higiênica entre pessoas e seus excretas. Para tanto, sugere-se que esse tipo de fossa seja construída a uma distância mínima de 45 metros dos poços utilizados para abastecimento humano (RECESA, 2009), com o intuito de evitar a contaminação dos poços pelos dejetos.

De acordo com Figueredo e Wolf (2009), o impacto das fossas rudimentares está relacionado à sua localização na propriedade, ao contexto ambiental local e à densidade demográfica. Com relação à sua eficiência, esse sistema pode se configurar como uma solução adequada em determinadas situações socioambientais. De acordo com a Política Nacional de Saneamento Rural (PNSR, 2018), a utilização da tecnologia das fossas rudimentares é uma solução para áreas rurais, desde que o lençol freático seja profundo, pois um dos impactos gerados por esse tipo de sistema é a contaminação do solo e do lençol freático por patógenos e nitrato.

Em 2010, a Organização das Nações Unidas (ONU) elencou a importância do alcance do saneamento básico em nível global, destacando para este fim o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) de número 6, que visa garantir o acesso à água potável e ao saneamento básico para todos. Contudo, de acordo com dados da PNAD (2022), as fossas rudimentares eram a opção de destino do esgoto doméstico para cerca de 39,1 milhões de pessoas, representando 19,4% da população brasileira. Em São Gonçalo dos Campos, situado no semiárido da Bahia (IBGE, 2022), os dados fornecidos pela Secretaria de Infraestrutura do município evidenciam que a cidade é atendida por essa alternativa mesmo na sua zona urbana, a exemplo do bairro João Durval Carneiro. Este bairro possui seu lençol freático baixo, apresentando níveis em que há sobreposição com a profundidade dos poços perfurados e das fossas. Desta forma, o presente estudo teve por objetivo evidenciar, através de análises de qualidade da água, a provável relação entre a contaminação de águas subterrâneas de poços rasos e a presença de fossas rudimentares situadas no seu entorno no bairro João Durval Carneiro em São Gonçalo dos Campos, Bahia.

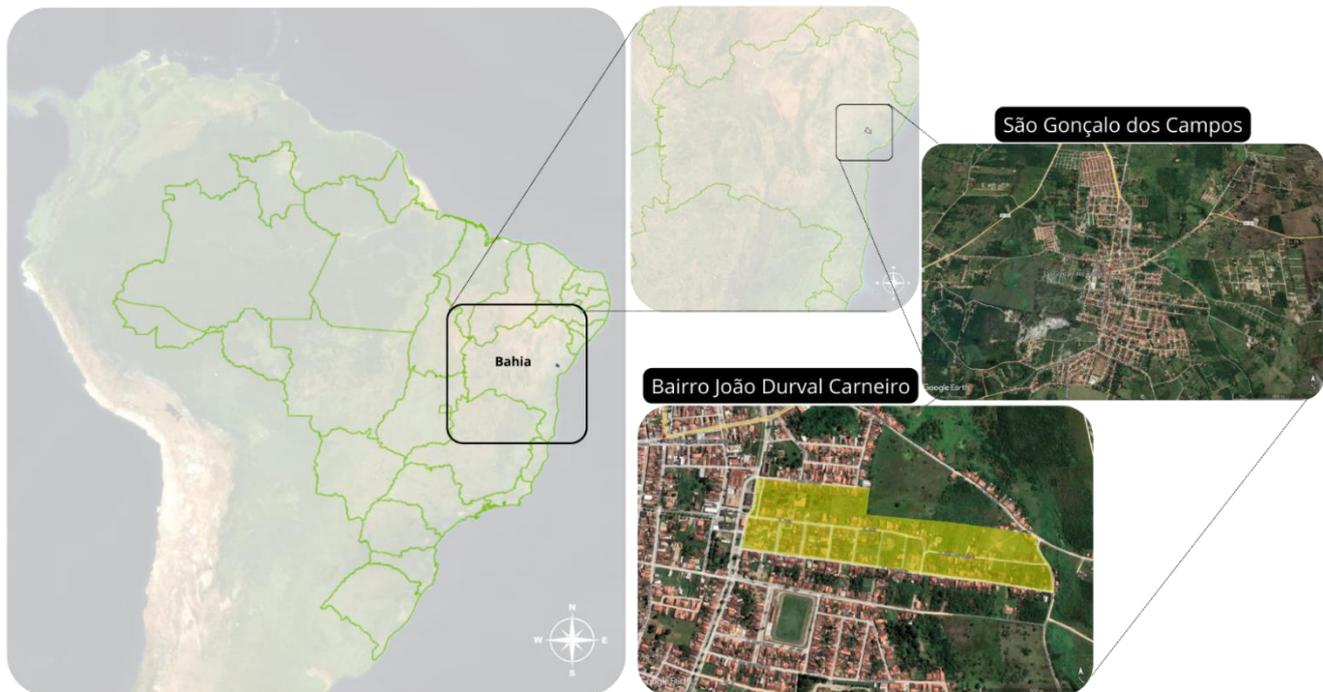
2. Metodologia

Esta proposta se baseou em um estudo de campo, por meio de uma pesquisa experimental, de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018; Toassi & Petry, 2021) na qual se fez análises físico-químicas e microbiológicas das amostras coletadas nos poços. A execução da presente pesquisa envolveu duas etapas: (i) consultas presenciais em órgãos públicos, como as Secretarias de Infraestrutura, de Vigilância Sanitária e Epidemiológica do município de São Gonçalo dos Campos, Bahia; e (ii) Pesquisa de campo, com amostragens nos períodos seco e chuvoso no bairro João Durval Carneiro nesse mesmo município.

2.1 Área de Estudo

São Gonçalo dos Campos é um município situado no estado da Bahia, localizado na região Metropolitana de Feira de Santana, no semiárido brasileiro (Figura 1). Seu Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e sua densidade demográfica informados pelo IBGE (2022) eram de 0,627 e 134,05 hab/km², respectivamente. Em São Gonçalo dos Campos a estação considerada quente possui tempo médio de 5 meses, ocorrendo de outubro a abril, com temperatura média diária acima de 33°C, sendo fevereiro o mês com maior elevação de temperatura. A estação considerada fria perdura de junho a agosto, com temperatura máxima diária abaixo de 30°C, sendo o mês de julho aquele com os menores valores médios (Weather Spark, 2022).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo no bairro João Durval Carneiro situado no município de São Gonçalo dos Campos, Bahia.



Fontes: IBGE (2023); Google Earth (2025).

A ocorrência de precipitação nesse município é mais intensa de abril a agosto, caracterizando o período chuvoso. Maio apresenta-se como o mês com maior número de dias com precipitação, com média de 13,1 dias com pelo menos 1 milímetro de precipitação, sendo considerado o mês mais chuvoso, com média de 94 milímetros. O período seco ocorre entre setembro e março, sendo outubro o mês do ano que contém o menor número de dias com precipitação, com média de 5,5 dias com pelo menos 1 milímetro de precipitação (Weather Spark, 2022).

Em São Gonçalo dos Campos, o sistema de distribuição de água é atendido pela Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A (EMBASA), com coleta de resíduos sólidos realizada pela prefeitura municipal. Segundo dados de 2022 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), essa cidade possui 39.513 habitantes, sendo 28.814 (72,92%) vivendo na área urbana e 10.699 (27,08%) na zona rural, dos quais apenas 6,25%, equivalendo a 2.468 habitantes, possuem serviços de esgotamento sanitário, enquanto 25.611 residentes (64,84%) recolhem seus esgotos através de fossa rudimentar. De acordo com a Secretaria Epidemiológica do município, o bairro de João Durval Carneiro possui 215 domicílios com 125 fossas rudimentares para destinação do esgotamento sanitário.

Os poços escolhidos para análise estão localizados em área urbana completamente povoada, possuindo um lençol freático baixo pouco profundo, onde é possível encontrar água a partir de quatro (4) metros no período seco, enquanto no período chuvoso esses poços chegam a transbordar, ocorrendo o mesmo com as fossas rudimentares. Para avaliar a possível contaminação da água dos poços rasos pela presença de fossas rudimentares foram realizadas coletas de água em três poços nos dias 03 de março de 2021 para o período seco, e no dia 16/05/2022, representando o período chuvoso. Os três poços foram identificados como P1, P2 e P3, respectivamente, enquanto as fossas rudimentares estão representadas como fossa A, B e C. Na Figura 2 estão dispostos os poços localizados nas ruas Ferroviária, Alfa e das Laranjeiras no bairro João Durval Carneiro, assim como a localização das fossas rudimentares mais próximas a eles, além da vista superficial dessas estruturas.

Figura 2 – Disposição espacial dos poços 1, 2 e 3 utilizados para a coleta de amostras de água, e das fossas rudimentares A, B e C, situados no bairro João Durval Carneiro, São Gonçalo, Bahia.



Fontes: Google Earth, 2025 (esquerda); Autoria própria (direita).

2.2 Procedimento Experimental

A coleta das amostras da água dos poços ocorreu adotando-se os procedimentos descritos no Manual Técnico para Coleta de Água (2009), elencados a seguir:

1. Recipiente de alumínio para coleta de água:
 - a. Descontaminação do recipiente com água sanitária, na proporção de 100 mL de água sanitária para 5 litros de água, mantendo-se o mesmo imerso na solução com volume total de 10L por 10 segundos;
 - b. Em seguida, foi realizada a aplicação de álcool 70% com borrifador no recipiente, sendo então isolado do meio externo através de manutenção em recipiente plástico.
2. Corda de náilon para coleta de água utilizada para direcionar o recipiente de alumínio até o fundo do poço:
 - a. Descontaminação através de imersão em água sanitária na mesma proporção da solução descrita no item 1, sendo mantida nessa por 30 minutos;
 - b. Após esse período, foi realizada a lavagem com água corrente e aplicado álcool 70% com o auxílio de um borrifador, sendo isolada em recipiente plástico.
3. Após a realização da coleta da água em cada poço, o frasco de polietileno estéril de 250 mL utilizado para o armazenamento da água foi colocado numa caixa térmica com gelo e encaminhado ao laboratório para análise.

A partir das amostras de água coletadas nos poços P1, P2 e P3 foram realizadas análises para os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, turbidez, salinidade, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Totais. Também foram realizadas análises microbiológicas para detectar a presença de microrganismos componentes dos coliformes totais, como *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas. Todas as análises foram realizadas no laboratório da empresa DELTALAB (CNPJ: 19.539.800/0001-03). Na Tabela 1 estão descritos os métodos químicos, bem como os tipos de análises realizadas pela DELTALAB com as amostras de água coletadas nos poços P1, P2 e P3 amostrados.

Tabela 1 – Métodos Laboratoriais para análise da qualidade da água dos poços P1, P2 e P3 amostrados no estudo.

Métodos	Parâmetros	Observações
SM 4500 HB ¹	pH	
SM 2130 B ²	Turbidez	
SM 2520 B ³	Salinidade	
SM 5210 B ⁴	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) SM 5220 D ⁵	
	Demanda Química de Oxigênio (DQO) SM 2540 B ⁶	
	Sólidos Totais	
SM 9221 F ⁷	<i>Escherichia coli</i>	Determinação quantitativa SM 9215 B ⁸
	Bactérias Heterotróficas	Determinação quantitativa

Legenda:

¹ *Electrometric method* - tem como princípio básico a medição eletrométrica do pH, sendo a determinação da atividade dos íons de hidrogênio por mediação potenciométrica usando um eletrodo de hidrogênio;

² Determinação da turbidez por método nefelométrico;

³ Método de condutividade elétrica (possui alta sensibilidade e precisão);

⁴ DBO - teste com carbono orgânico total;

⁵ DQO - demanda química de oxigênio definida como quantidade;

⁶ Determinação de sólidos dissolvidos em suspensão na água;

⁷ *Escherichia coli*, com determinação quantitativa pela técnica de tubos múltiplos (NMP);

⁸ Método da placa de despejo.

Fonte: DELTALAB (2021).

3. Resultados e Discussão

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras coletadas nos poços estudados durante os períodos seco e chuvoso estão elencados na Tabela 2. Cada variável é discutida individualmente em sequência abaixo.

Tabela 2 – Análises físico-químicas e microbiológicas da água coletada nos poços amostrados no bairro João Durval Carneiro, São Gonçalo dos Campos, Bahia, durante os períodos seco e chuvoso.

Parâmetros/ Períodos	Período Seco			Período Chuvoso			LQ ¹	Referências Metodológicas
	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 1	Poço 2	Poço 3		
Análises físico-químicas								
pH	6,44	5,1	6,20	6,29	5,37	5,82	1,0	SM 4500 HB
Turbidez (uT) ²	16,80	<0,30	166,00	0,64	<0,30	408,00	0,30	SM 2130 B
Salinidade (ppt) ³	0,33	0,22	0,56	0,37	0,28	0,54	0,01	SM 2520 B
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (mgO ₂ /L) ⁴	36,60	22,50	34,50	<3,00	28,82	35,60	3,00	SM 5210 B
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mgO ₂ /L) ⁴	64,91	46,63	92,24	28,24	42,21	172,18	20,0000	SM 5220 D
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg/L) ⁵	800,00	350,00	875,00	430,00	325,00	1140,00	1,0000	SM 2540 B
Análises microbiológicas								
<i>Escherichia coli</i> (UFC/mL) ⁶	640	80	2320	400	<1	480	-	SM 9221 F
Bactérias heterotróficas (UFC/mL) ⁷	1088	193	896	167	47	247	1,0000	SM 9215 B

Legenda:

¹ Limite de Quantificação

² Unidade de Turbidez

³ Partes por trilhão

⁴ Miligrama de oxigênio por litro

⁵ Miligrama por litro

⁶ Unidade Formadora de Colônia por mililitro

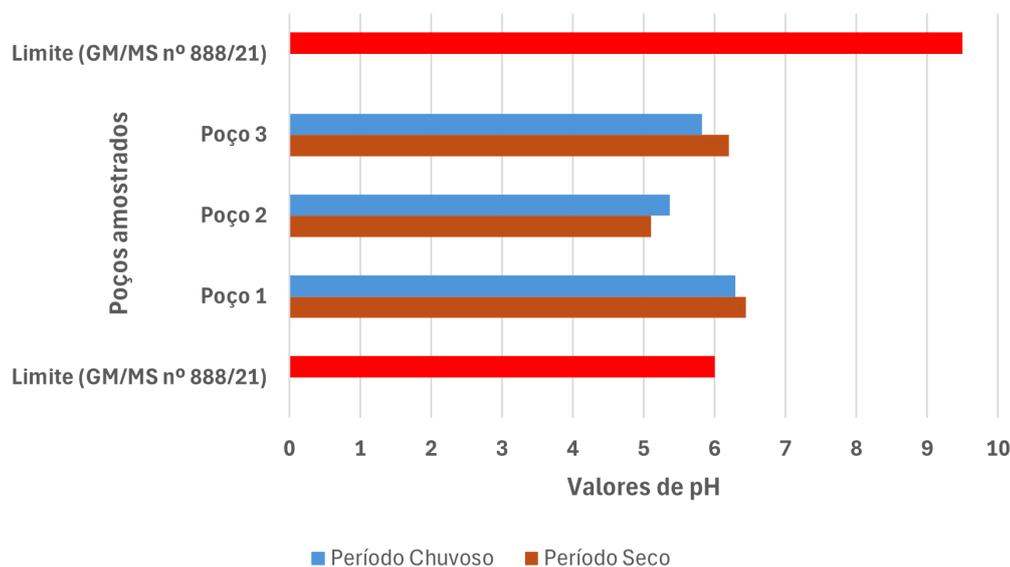
⁷ Unidade Formadora de Colônia por mililitro

Fonte: DELTALAB (2021).

3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH, variável que serve como parâmetro para atribuir a uma solução aquosa a condição de acidez ($\text{pH} \leq 7$), neutralidade ($\text{pH} = 7$) ou alcalinidade ($\text{pH} \geq 7$), tem o limite mínimo de 6,0 e limite máximo de 9,5 para as águas destinadas ao abastecimento público de acordo com a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021). Para o período seco, o poços P1 e P3 apresentaram valores dentro do limite aceitável pela Portaria GM/MS Nº 888, enquanto o poço P2 exibiu valores fora do limite requerido pela portaria supracitada, apresentando maior acidez. No período chuvoso, apenas P1 se enquadrou nos limites da legislação, enquanto P2 e P3 ficaram abaixo, também com redução do pH (Tabela 1). Quando comparado entre os períodos, P1 e P3 apresentaram decréscimo no valor de pH de 2,3% no período chuvoso, enquanto em P2 aconteceu acréscimo de 5,02% nesse mesmo período, mas ainda apresentando característica ácida (Figura 3). O decréscimo no valor de pH em P1 e em P3 possivelmente deve-se ao fato de que, no período chuvoso, em que o índice pluviométrico é maior, especialmente no mês de maio quando a coleta foi realizada, a acidez aumenta devido aos processos de lixiviação dos solos ácidos e grande concentração de matéria orgânica dissolvida (Dickow et al., 2009). O consumo de água com pH de 5,13, encontrado em P2 no período seco, gera um alerta à saúde, pois pode causar lesões erosivas nos dentes (Silva, 2008), prejudicando a saúde dos indivíduos que fazem uso dessa água.

Figura 3 – Valores de pH para a água coletada nos poços P1, P2 e P3 durante a amostragem nos períodos seco e chuvoso no bairro João Durval Carneiro, São Gonçalo dos Campos, Bahia. Os limites mínimo e máximo de pH da água para consumo humano (barras vermelhas) baseiam-se na Portaria GM/MS Nº 888/2021.



Fonte: Autoria própria.

3.2 Turbidez

O parâmetro turbidez para água subterrânea, pós-desinfecção, submetida à análise com frequência semanal, tem seu limite máximo de 1,0 uT em 95% das amostras, e 5 uT no restante das amostras mensais coletadas de acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021. A turbidez representa a dificuldade de um feixe de luz atravessar certa quantidade de água devido à presença de materiais sólidos na água, como: silte, argila, sílica, entre outros, tendo como consequência o impedimento da passagem de um feixe de luz padrão de acordo com a medição do turbidímetro (Correia et al., 2008).

Para P1, ocorreu uma redução de 16,80 uT no período seco para 0,64 uT no período chuvoso. O poço P2 manteve o mesmo resultado nos dois períodos ($<0,30$ uT) e, no P3, houve um aumento de 166,00 (seco) para 408,00 uT (chuvoso) (Tabela

1). Observa-se que ocorreu significativo aumento no valor de turbidez durante o período chuvoso em P3, enquanto em P1 ocorreu o oposto. Dessa forma, apenas P1, durante o período chuvoso, e P2, em ambos os períodos, exibiram valores que se mantiveram nos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

Vale ressaltar que, quanto maior a turbidez, maior a aparência enevoada da água, tornando-a inadequada para o consumo humano (Netto & Richter, 2013), como ocorreu no poço P3. Dentre os fatores que causam aumento da turbidez, pode-se citar o próprio aspecto construtivo dos poços rasos (Silva & Gomes, 2021), que possivelmente pode ter interferido nos valores opostos observados nos poços P3 e P1 para o período chuvoso, e o tipo de solo brasileiro, considerado erosivo (Libânio, 2010), a exemplo do solo caracterizado como arenito argiloso conglomerático presente na região de estudo, o qual é rapidamente desgastado pela ação das chuvas (Miranda, 2018).

3.3 Salinidade

Viana (2020) discorre que os sais totais dissolvidos na água compõem o parâmetro de qualidade conhecido como salinidade. O sal é um ânion que pode se apresentar nas águas de poços rasos pela ausência de saneamento, pois é excretado através da urina (Sezerino & Bento, 2005). Conforme ocorre o aumento na concentração de sais, a capacidade da água em conduzir corrente elétrica também eleva-se. Essa elevação ocorre principalmente na presença dos sais formados a partir dos elementos sódio (Na), cloro (Cl) e magnésio (Mg) (Ribeiro et al., 2010). Com base na salinidade, a água é classificada de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), como consta na Tabela 3 abaixo.

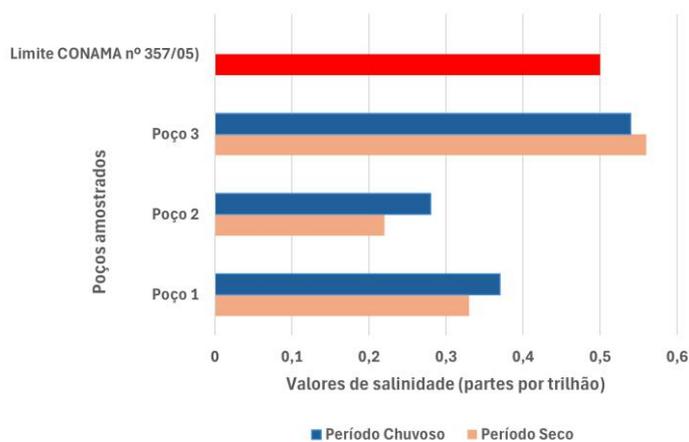
Tabela 3 – Classificação da água quanto à salinidade de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005.

Classificação	Salinidade
Doce	$\leq 0,5\%$
Salobra	Entre 0,5% e 30%
Salina	$\geq 30\%$

Fonte: Autoria própria.

Os resultados evidenciaram que P1 e P2 possuem águas que podem ser classificadas como doce, tanto em período seco quanto em período chuvoso. A água de P3, tanto em período seco quanto em período chuvoso, foi classificada como salobra (Figura 4). A ingestão desse tipo de água em seres humanos implica em um consumo maior de sal, podendo afetar a pressão arterial e promover o desenvolvimento de litíase renal (cálculo renal) (Costa, 2015). A interpretação destes dados ainda permite concluir que houve aumento no valor de salinidade durante o período chuvoso nos três poços analisados, correspondendo a 10,81%, 21,43% e 3,45%, para P1, P2 e P3, respectivamente, o que pode ser decorrente da lixiviação do solo do entorno dos poços.

Figura 4 – Salinidade da água coletada nos poços P1, P2 e P3 durante os períodos seco e chuvoso. O limite máximo de salinidade para água doce de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 está indicado pela barra vermelha.

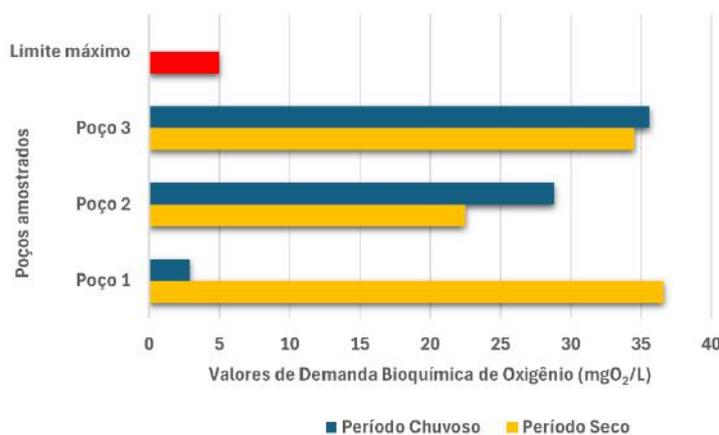


Fonte: Autoria própria.

3.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO é utilizada para caracterizar a presença de material orgânico na água (Jordão, 2011), correspondendo à quantidade de oxigênio necessária para oxidação deste material através da ação de bactérias que catabolizam a matéria orgânica em substâncias mais simples, como NH_3 , CO_2 , H_2O e sais minerais (Derísio, 2012). Segundo Bahia (2008), a DBO com valores abaixo de $5 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ indica a ausência de matéria orgânica na água. Para os poços analisados, P1 se enquadrou neste limite apenas no período chuvoso, ultrapassando este limiar no período seco, assim como os poços P1 e P3 em ambos os períodos (Figura 5), o que pode ser um possível indicativo da contaminação desses poços pela presença das fossas rudimentares próximas. Especificamente para P2, que não possui tampa de proteção e encontra-se com árvores ao redor (Figura 2), o aumento desse parâmetro pode ser decorrente da queda e decomposição de folhas no período chuvoso.

Figura 5 – Valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para a água coletada nos poços P1, P2 e P3 nos períodos seco e chuvoso. O limite máximo de DBO para ausência de matéria orgânica (barra vermelha) segue o disposto em Bahia (2008).



Fonte: Autoria própria.

3.5 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O indicador Oxigênio Dissolvido (OD) representa a quantidade de oxigênio molecular (O_2) dissolvido na água que provém naturalmente de processos de dissolução, aeração das águas e como produto das reações de fotossíntese. A quantidade

de oxigênio presente na água em condições normais depende da temperatura, da quantidade de sais e da pressão atmosférica. Considera-se que, para este parâmetro, valores a partir de $6 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ são adequados para águas destinadas ao consumo humano (Esteves, 2011). A Portaria GM/MS nº 888/2021 cita em seu Artigo 42 a Demanda Química de Oxigênio como um dos parâmetros importantes para análise da qualidade da água, porém, não traz valores de referência. Sua medida se torna necessária para entendimento de processos químicos e bioquímicos que ocorrem nos aquíferos, além de ser um indicativo de atividade bacteriológica (Esteves, 2011). Na Figura 6 pode-se observar os valores de DQO das amostras analisadas nos períodos seco e chuvoso. De acordo com Mohr (2020), as águas subterrâneas possuem valores entre 0 e $5 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ para este parâmetro. Percebe-se que todos os poços, com exceção do P1 no período chuvoso, apresentaram valores muito acima de $5 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$, indicando possível atividade bacteriana e, conseqüentemente, contaminação da água, tendo como possível fonte a proximidade com as fossas.

Figura 6 – Valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO) para a água coletada nos poços P1, P2 e P3 nos períodos seco e chuvoso. O limite máximo de DQO para ausência de matéria orgânica (barra vermelha) segue o disposto em Mohr (2020).



Fonte: Autoria própria.

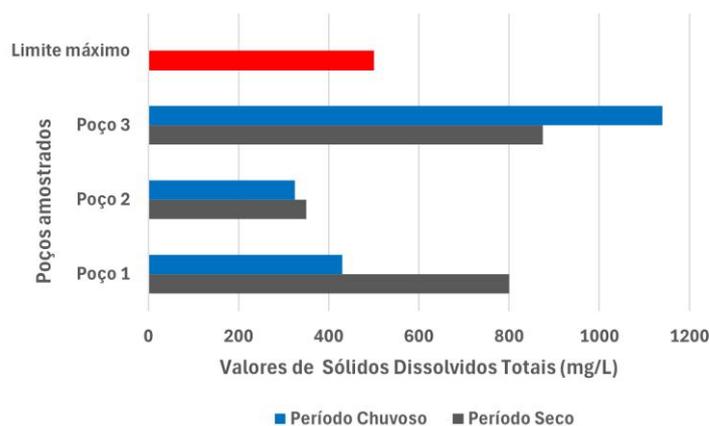
3.6 Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

Os Sólidos Dissolvidos Totais dizem respeito às partículas com diâmetro inferior a $10^{-3} \mu\text{m}$ que ainda são encontradas na solução mesmo após o processo de filtração. A entrada desses sólidos na água dos poços pode ter decorrido de formas variadas, podendo ter ocorrido de forma natural, devido aos processos erosivos, atuação de organismos e detritos orgânicos carreados do entorno do poço, ou por processos antropogênicos, como o lançamento de resíduos e esgotos (Silva et al., 2019). A Portaria GM/MS nº 888/2021 determina que os SDT presentes na água de poço não exceda 500 mg/L . A ocorrência de sólidos dissolvidos totais na água em quantidade superior ao valor estabelecido na portaria pode, por exemplo, desencadear alteração no seu sabor (Brasil, 2011).

O P1 apresentou resultado inadequado para consumo humano durante o período seco, com valor superior em 60% ao recomendado pela Portaria GM/MS nº 888/2021, diferindo do período chuvoso, quando ocorreu uma redução desse valor e enquadramento no limite indicado. O P2 obteve valores de SDT em suas amostras de período seco e período chuvoso inferiores a 500 mg/L , estando de acordo com a portaria supracitada e adequado ao consumo humano. Os resultados para P3 demonstraram valores de SDT com percentuais de 54,3% (seco) e 56,1% (chuvoso) acima do limite recomendado pela supracitada portaria, demonstrando que a água desse poço não encontrava-se adequada para consumo humano (Figura 7). O aumento nos valores de SDT observados em P3 para o período chuvoso deve-se, possivelmente, ao aumento pluviométrico na região (Mohr, 2020). Em

contrassenso, houve relevante registro de SDT no período seco nos poços P1 e P3, o que pode ser decorrente da evaporação da água neste período, concentrando os sólidos presentes no corpo hídrico.

Figura 7 – Valores de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) para a água coletada nos poços P1, P2 e P3 nos períodos seco e chuvoso. O limite máximo de SDT (barra vermelha) para água potável está baseado na Portaria GM/MS nº 888/2021.



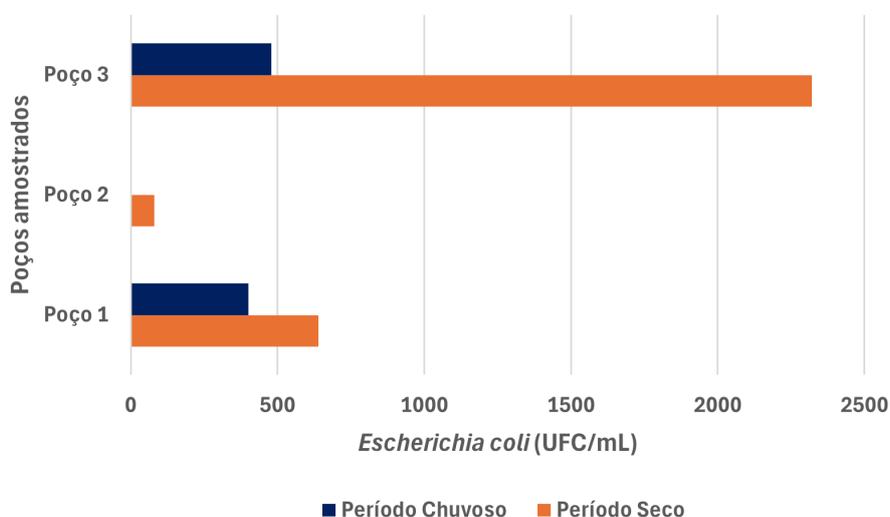
Fonte: Autoria própria.

3.7 *Escherichia coli*

A bactéria Gram-negativa *Escherichia coli* é enquadrada na subdivisão de coliforme fecal, grupo de bactérias provenientes do material fecal de humanos e outros animais homeotérmicos (de sangue quente). Existe uma relação direta entre os níveis de *E. coli* e a distância das instalações sanitárias em relação a um poço, assim como a contaminação por fezes está relacionada à possível infiltração nas águas subterrâneas e no lençol freático mais próximo à superfície (Tekpor et al., 2017). Na Figura 8 estão elencados os resultados das análises para o parâmetro *E. coli* para os períodos seco e chuvoso nos poços amostrados. Uma das hipóteses para a redução quantitativa do número de bactérias quando comparado o período seco com o chuvoso é o possível aumento da vazão do poço observado *in loco*. Segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008 (Brasil, 2008), que trata da classificação das águas subterrâneas, para o consumo humano é obrigatória a ausência de *E. coli* para cada 100 mL da amostra analisada. Dessa forma todos os poços, em ambos os períodos, foram considerados impróprios para o consumo humano levando-se em consideração este parâmetro.

Assim como na Resolução CONAMA nº 396/2008, a Portaria GM/MS nº 888/2021 também inclui o parâmetro bacteriológico *E. coli* para a água destinada ao consumo humano, estabelecendo a sua ausência em 100 mL de amostra analisada. Com base nesta referência, percebe-se a possível contaminação fecal em todos os poços analisados (Figura 8). De acordo com os proprietários, a profundidade dos poços em relação ao lençol freático está em torno de 1,5 m, estando os poços a uma profundidade de 4 m, enquanto a fossa encontra-se com 3 m. Assim, é possível que haja a contaminação quanto aos aspectos sanitário e ambiental de acordo com a NBR 13969 (NBR, 1997). De acordo com a Norma NBR 7229, a qual é utilizada como referência para a construção de fossa rudimentar, os tanques sépticos devem observar as seguintes distâncias horizontais mínimas: 1,50 m de construções, limites de terreno, sumidouros, valas de infiltração e ramal predial de água; e 15,0 m de poços freáticos e de corpos de água de qualquer natureza. Para todas as fossas analisadas, há uma distância horizontal de 1,60 m de construções, enquanto em perímetro próximo aos poços utilizados pelas residentes, consistindo em uma possível fonte de contaminação fecal.

Figura 8 – Valores de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) para *Escherichia coli* para a água coletada nos poços P1, P2 e P3 nos períodos seco e chuvoso.



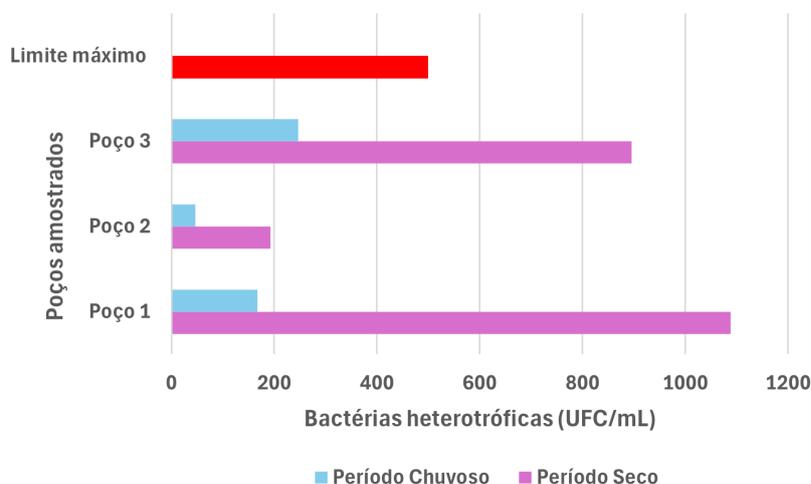
Fonte: Autoria própria.

3.8 Bactérias Heterotróficas

Segundo Specian et al. (2021), a análise de bactérias heterotróficas, microrganismos encontrados em locais com pouca movimentação de água, torna-se de grande relevância devido à sua capacidade de formar biofilmes, o que possibilita o reaparecimento de bactérias em valores elevados mesmo após o tratamento da água, evidenciando redução na eficiência desse processo. De acordo com Santos et al. (2021), o crescimento de bactérias heterotróficas decorre do excesso de fosfato na água oriundo dos resíduos domésticos provenientes da ação metabólica humana ou de detergentes polifosfatados. Como consequência, a presença dessas bactérias causa alteração nas características físico-químicas, redução dos níveis de oxigênio dissolvido e a eutrofização do corpo hídrico.

De acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, o limite máximo permitido para este parâmetro é 500 UFC/mL para água utilizada para consumo humano. Os valores observados neste estudo evidenciaram que os poços P1 e P3 no período seco apresentaram a presença de bactérias heterotróficas acima do limite máximo permitido pela legislação (Figura 9). Esses dados sugerem a presença de matéria orgânica ou nutrientes nos poços que pode ser advinda das fossas, tanto da própria propriedade quanto das circunvizinhas, possibilitando a ocorrência deste grupo de organismos, demonstrando um potencial comprometimento da qualidade microbiológica da água.

Figura 9 – Valores de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) para bactérias heterotróficas para a água coletada nos poços P1, P2 e P3 nos períodos seco e chuvoso.



Fonte: Autoria própria.

Os resultados observados neste estudo evidenciam que cada poço apresenta um comportamento distinto em relação aos parâmetros analisados, como também quanto aos períodos amostrados. Adicionalmente, características peculiares da estrutura/métodos de construção de cada poço também podem ter influência direta sobre os valores obtidos, destacando a importância de estudos com maior amplitude temporal para verificação de fatores diretamente atrelados às variações dos parâmetros em análise. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o sistema individual, como a fossa rudimentar, é comumente utilizado em áreas com pouca densidade de ocupação e em áreas rurais, como pode ser observado para o município de São Gonçalo dos Campos.

Vale ainda destacar que, de acordo com as metas intermediárias do PLANSAB, até o fim de 2023, o Brasil já deveria ter 98,2 % da população com acesso à água potável, 84,8% com esgotamento sanitário e 98,7% com manejo adequado de lixo. Contudo, a partir dos dados fornecidos pelo PNAD (2022), cerca de 8 milhões de brasileiros ainda não possuem acesso a esgotamento sanitário, recorrendo às fossas rudimentares como mecanismo de destino do esgoto doméstico.

4. Considerações Finais

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos a partir da análise comparativa da água dos poços entre os períodos seco e chuvoso apresentaram, em conjunto, valores impróprios para o consumo humano, especialmente pela constatação da presença de bactérias indicadoras de contaminação fecal nesse manancial decorrente de ações antrópicas. Dentre os valores observados para as variáveis físico-químicas, como o aumento da turbidez e alteração no pH, salinidade e sólidos dissolvidos totais, quando comparados com a legislação vigente, evidenciou-se o não enquadramento da água dos poços dentro dos limites aceitáveis para a classificação de água potável utilizada para consumo humano. As variações observadas entre os poços e os períodos amostrados salientam a necessidade de um acompanhamento de longo prazo para corroborar a real interferência promovida pela presença das fossas no entorno dos poços rasos estudados com relação à qualidade da sua água. Vale destacar ainda que este estudo poderá subsidiar a elaboração de políticas públicas voltadas ao saneamento básico municipal, assim como possibilita aos próprios municípios o acesso à informações sobre a qualidade da água que consomem dos poços rasos.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos moradores do bairro João Durval Carneiro do município de São Gonçalo dos Campos que possibilitaram o acesso e coleta de água dos seus poços para a realização desse estudo.

Referências

- ANA - Agência Nacional de Águas. (2007). Agenda de águas subterrâneas. <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1993). NBR 7229: *Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. 15 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). NBR 13969: *Tanques sépticos-unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos-projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro. 15 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). NBR 14724: *Informação e documentação — apresentação de citações em documentos*. Rio de Janeiro. 9 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). *Substitui a Ref. ABNT (2005). BRASIL. Fundação Nacional de Saúde FUNASA. Manual de Saneamento*. Rio de Janeiro. 15 p.
- Brasil. (2005). *Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. <https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-357-de-17-de-marco-de-2005/view>
- Brasil. (2008). *Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008*. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. <https://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>
- Brasil. (2007). *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Casa Civil, Diário Oficial da União, Seção 1, p. 3, 2007.
- Brasil. (2019). *Plano Nacional de Saneamento Básico – PLAN SAB*. Decreto nº 8.141 de 20 de novembro de 2013 e Portaria Interministerial nº 571 de 05 de dezembro de 2013. <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab>
- Brasil. (2021). *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 e seu padrão de potabilidade. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html
- Cappi, N. et al. (2012). Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). *Geografia Ensino & Pesquisa*, 16(3), 77–92.
- Correia, A., Barros, E., Silva, J. & Ramalho, J. (2008). Análise da turbidez da água em diferentes estados de tratamento. *8º Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional*, 10, 1-5.
- Costa, T. S. (2015). *Monitoramento da qualidade de águas de cisternas e suas consequências para a saúde da comunidade Santa Luzia, município de Picuí-PB*. Universidade Federal de Campina Grande, 81 p.
- Cruz, L. M. O., Tonetti, A. L. & Gomes, B. G. L. A. (2018). Association of septic tank and sand filter for wastewater treatment: full-scale feasibility for decentralized sanitation. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 8(2), 268–277.
- Derísio, J. C. (2012). *Introdução ao controle da poluição ambiental*. (4. ed.). Editora: Oficina de Textos.
- Dickow, K. M. C., Marques, R. & Pinto, C. B. (2009). Lixiviação de nutrientes da serapilheira recém-depositada em sucessão ecológica na floresta atlântica, litoral do Paraná. *Floresta*, 39(1), 1-12.
- Esteves, F. A. (2011). *Fundamentos de Limnologia*. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 826 p.
- Fenzl, N., Mendes, R. L. R. & Fernandes, L. L. (2018). A sustentabilidade do sistema de abastecimento de água: da captação ao consumo de água em Belém. Núcleo de Meio Ambiente-NUMA/UFPA, 153 p.
- Figueredo, A. J. & Wolf, P. S. A. (2009). Assortative pairing and life history strategy - a cross-cultural study. *Human Nature*, 20, 317-330.
- Gianpá C. & Gonçalves, V. G. (2005). *Orientações para a utilização de águas subterrâneas no estado de São Paulo*. São Paulo: FI-ESP/ABAS, 40 p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Censo 2022*. <https://censo2022.ibge.gov.br/>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). *Malha Municipal*. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>.
- Jordão, E. P. (2011). *Tratamento de Esgoto Domésticos*. (8a ed.)
- Libânio, M. (2010). Índices de Qualidade de Água. In: *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*. (3a ed.). Editora Átomo.
- Maia, A. C. (1999). *Água: Microbiologia e Tratamento*. Ed. UFC.

- Miranda, L. D. S. (2018). *Estudo de aquífero em São Gonçalo dos Campos-Ba utilizando medidas do método very low frequency e caminhamento elétrico*. Departamento de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 13 p.
- Mohr, A. F. R. (2020). *Análise da qualidade da água dos poços artesanais que abastecem o distrito de Capo-Erê, município de Erechim/RS*. Universidade Federal da Fronteira Sul, 52 p.
- Netto, J. M. A. & Richter, C. A. (2013). *Tratamento de água: tecnologia atualizada*. Editora Blucher, 332 p.
- ONU – Organização das Nações Unidas. (2010). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)*. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>
- Pereira A. S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [free e-book]. Editora UAB/NTE/UFMS.
- PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua. *PNAD Contínua*. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html?edicao=37087>.
- PNSR - Programa Nacional de Saneamento Rural. (2018). *Consulta pública Programa Nacional de Saneamento Rural*. Capítulo 5: Eixos estratégicos.
- RECESA. (2009). *Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental*. 88 p.
- Sezerino, P. H. & Bento, A. P. (2005). *Qualidade da água e controle de poluição*. Florianópolis: UFSC.
- Silva, J. Y. B. (2008). Mudanças do pH salivar em crianças após a ingestão de suco de frutas industrializado. *Revista Sul-Brasileira de Odontologia*, 5(2), 7-11.
- Silva, A. B., Silva, J. D. C., De Melo, B. F., Nascimento, R. F., Duarte, J. D. S. & Da Silva Filho, E. D. (2019). Diagnóstico físico-químico da água de bebedouros nas escolas públicas da cidade de Esperança/PB. *DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, 6(4), 75-90. <https://doi.org/10.20873/uftv6-6476>
- Silva, F. L. & Gomes, É. R. (2021). Qualidade da água de poços do povoado alegria, Teresina-PI. *Revista da Academia de Ciências do Piauí*, 2 (2).
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2022). *Serviços públicos de esgotamento sanitário*. <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis>
- Souza, G. S. (2019). *Melhoria de Saneamento Básico na Zona Rural e Redução na Degradação dos Lençóis Freáticos a Partir de Fossas Sépticas*. Engenharia de Produção, UNICESUMAR, Maringá - PR.
- Specian, A. M. et al. (2021). Ocorrência de bactérias heterotróficas, coliformes totais e escherichia coli em amostras de água de abastecimento público de dois municípios do estado de São Paulo. *BEPA - Boletim Epidemiológico Paulista*, 18(205), 13-22.
- Tekpor, M., Akrong, M. O., Asmah, M. H., Banu, R. A. & Ansa, E. D. O. (2017). Bacteriological quality of drinking water in the Atebubu-Amantin district of the Brong-Ahafo region of Ghana. *Applied Water Science, Springer*, 7(5), 2571–2576.
- Toassi, R. F. C. & Petry, P. C. (2021). *Metodologia científica aplicada à área da Saúde*. (2a ed.). Editora da UFRGS.
- Weather Spark. (2022). *O clima todo ano em qualquer lugar da terra*. <https://weatherspark.com/>.
- WHO - World Health Organization. (2017). *United nations children's fund (Unicef)*. Progress on drinking water, sanitation and hygiene, p. 140, 2017.