

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA USANDO O SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) NO MUNICÍPIO DE BELÉM, PARÁ, BRASIL

* Fábio Sérgio Lima Brito ¹
Karoline da Costa Barros ²
Claudinei Rodrigues de Aguiar ³

SURVEILLANCE OF TREATED WATER QUALITY USING THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) IN THE MUNICIPALITY OF BELÉM, PARÁ, BRAZIL

Recibido el 29 de enero de 2024. Aceptado el 9 de abril de 2024

Abstract

Safe drinking water is an essential human right for all segments of society. In this sense, the water quality surveillance program for human consumption (VIGIAGUA) aims to promote the collective and preventive health of the population in order to reduce the aggravation of diseases related to water transmission, through the management of risks related to the water supply system. In this context, the present study aimed to specialize and analyze the quality data of treated water in the municipality of Belém-PA-Brazil, located in the Amazon region of the State of Pará, using the Geographic Information System (GIS) tool. The methodology was divided into three main stages: initially, data from the Water Quality Surveillance Information System (SISAGUA) were consulted; subsequently, the service goals were evaluated with the coverage of the water supply system and verification of compliance with the sampling plan required by VIGIAGUA. In addition, thematic maps were prepared comparing the results with the potability standards required by current legislation. The results for the basic parameters indicated that the turbidity was in accordance with the value of 5 uT for waters from surface water abstraction and 1 uT for groundwater as required by Ordinance n. 888, of May 4, 2021, of the Ministry of Health (MS). On the other hand, the variables of free residual chlorine, total coliforms and *Escherichia coli* showed "VERY POOR" performance due to the alteration of the water distributed to the population. Therefore, this scenario of vulnerability puts the health of the population at risk due to the physical, chemical and microbiological contamination of the water in the public supply system of the municipality of Belém, pointing to the need for emergency public policies so that the potability standard is met.

Keywords: public water supply, treated water, water quality, fulfillment goals, VIGIAGUA.

¹ Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

² Universidade Federal do Pará, Câmpus Belém, Brasil.

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, Brasil.

* Autor correspondente: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA). Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-010 – Brasil. Email: fabiobrito@ufmg.br

Resumo

A água potável e segura é um direito humano imprescindível para todos os segmentos da sociedade. Nesse sentido, o programa de vigilância da qualidade da água para consumo humano (VIGIAGUA) visa promover a saúde coletiva e preventiva da população de forma que se diminuam os agravos de doenças relacionadas à transmissão hídrica, por intermédio da gestão de riscos referentes ao sistema de abastecimento de água. Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo espacializar e analisar os dados de qualidade da água tratada do município de Belém, situada na região amazônica do Estado do Pará-Brasil, usando a ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG). A metodologia foi dividida em três principais etapas: inicialmente, foram consultados os dados do Sistema de Informação de Vigilância de Qualidade da Água (SISAGUA); posteriormente, foi avaliada as metas de atendimento com a cobertura do sistema de abastecimento de água e verificação do cumprimento ao plano de amostragem exigidos pelo VIGIAGUA. Além disso, foram elaborados mapas temáticos comparando os resultados com os padrões de potabilidade exigidos pela legislação vigente. Os resultados para os parâmetros básicos apontaram que a turbidez estava em conformidade com o valor de 5 uT para águas provenientes de captação de águas superficiais e 1 uT para águas subterrâneas, conforme o requerido pela Portaria de nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde (MS). Por outro lado, as variáveis de cloro residual livre, coliformes totais e *Escherichia coli* apresentaram desempenho “PÉSSIMO” em virtude da alteração da água distribuída à população. Portanto, esse cenário de vulnerabilidade coloca em risco a saúde da população devido à contaminação física, química e microbiológica da água do sistema de abastecimento público do município de Belém, apontando a necessidade de políticas públicas emergenciais para que o padrão de potabilidade seja atendido.

Palavras-chave: água de abastecimento público, água tratada, qualidade da água, metas de atendimento, VIGIAGUA.

Introdução

A Organização das Nações Unidas (ONU) reconheceu em 2010 o direito humano à água e ao saneamento como um elemento básico a toda população mundial, independentemente do país, da política, da religião, da cultura ou da economia, todos devem ter acesso a um suprimento adequado de água (Aleixo *et al.*, 2019). Todavia, de acordo com a ONU (2020), aproximadamente 2.1 mil milhões de pessoas não têm acesso aos serviços de água potável e 4.5 mil milhões carecem de serviços de saneamento.

Em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, aproximadamente 84.9% da população é atendida com água tratada. Ao analisar as regiões do país, constata-se que são grandes as disparidades, pois os maiores déficits são para as regiões Norte e Nordeste que obtêm índice de atendimento com abastecimento de água de 64.2% e 76.9%, enquanto as regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste obtêm cobertura de 89.8%, 91.6% e 90.9%, respectivamente (Sinisa, 2022).

Nesse sentido, além dos serviços de abastecimento de água potável não serem universalizados, ainda existe uma enorme preocupação com a qualidade da água distribuída à população por parte dos gestores, pois as doenças de veiculação hídrica ainda são uma das principais causadoras de internações hospitalares (Ferreira *et al.*, 2021).

Segundo o Instituto de Geografia e Estatística – IBGE (2021), as doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI) são: diarreia, hepatite A, febres entéricas, dengue, febre amarela, filariose linfática, leishmanioses, malária, doença de chagas, esquistossomose e leptospirose. Segundo o Trata Brasil (2020), mais de 273 mil casos de internações foram ocasionados devido à falta de acesso aos serviços de saneamento básico.

A água para consumo humano deve ser potável e não apresentar riscos à saúde, de forma que se evite a ocorrência de doenças à população (De Queiroz de Oliveira, 2018; De Souza et al., 2018). Segundo Brito *et al.*, (2021-a) quando a água não recebe os tratamentos adequados e sua potabilidade não é avaliada corretamente, micro-organismos podem acabar se proliferando, promovendo o aparecimento de várias doenças.

Para Brito *et al.*, (2019), as Estações de Tratamento de Água (ETAs) e os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) correspondem a uma das principais obras de engenharia para promoção da saúde e do bem-estar da população no contexto do saneamento básico. Assim, nesses sistemas, a água passa por tratamento garantindo os padrões estéticos e sanitários, para que, posteriormente, sejam distribuídas à população com o objetivo de melhorar a salubridade ambiental.

De Queiroz de Oliveira (2018) ressaltam que, nos aglomerados urbanos, a infraestrutura é mínima, ocasionando um cenário de falta de água encanada e/ou tratada. Essa é uma realidade do cotidiano de várias cidades, onde o fornecimento do serviço é intermitente ou insuficiente, levando os usuários a realizarem o racionamento compulsório ou procurar fontes de águas inseguras.

A contaminação da água tratada nos SAA pode ocorrer no sistema de distribuição, armazenamento ou na rede geral (AKHTAR *et al.*, 2019). Assim, a sua qualidade deve ser avaliada por uma ampla variedade de parâmetros físico-químicos e microbiológicos (De Morales *et al.*, 2020). Sabendo disso, o governo brasileiro criou em 2005, o programa VIGIAGUA, o qual consiste em ações contínuas realizadas pelas autoridades de saúde pública para garantir a qualidade da água potável e o cumprimento dos padrões estabelecidos na legislação vigente para avaliar os riscos que a água de fontes públicas e/ou alternativas pode representar para a saúde humana (Faria *et al.*, 2021).

A principal ferramenta do VIGIAGUA é o Sistema de Informações de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) que é um banco de dados disponibilizado pelo Ministério da Saúde (MS) do Brasil. O foco é criar uma ferramenta capaz de auxiliar no gerenciamento de riscos à saúde relacionado ao abastecimento de água disponível para consumo humano no país (Oliveira Júnior *et al.*, 2019).

No Brasil, o padrão de potabilidade é regulamentado pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, do MS, a qual dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Brasil, 2021). Logo, é um marco legal importante, pois foram regulamentadas políticas institucionais para promoção da saúde pública.

De acordo com Queiroz *et al.*, (2012), são poucos os estudos que analisaram as informações geradas pelo SISAGUA. Apesar dessa constatação pretérita, o número de publicações vem crescendo paulatinamente. Vasconcelos *et al.*, (2016) avaliou água potável na Amazônia Legal (Amapá, Amazonas e Maranhão); Santana *et al.*, (2021) analisou a qualidade da água no Estado do Amazonas. Faria *et al.*, (2021) verificou a potabilidade das águas distribuídas na região metropolitana do Rio de Janeiro. Por sua vez, Gomes *et al.*, (2022) propôs uma metodologia para análise estatística de dados de monitoramento do SISAGUA.

Nesse contexto, faz-se necessário avaliar a potabilidade da água distribuída à população de Belém-PA, visando melhorar o sistema de gestão e vigilância da sua qualidade. Dessa maneira, o Sistema de Informação Geográfica (SIG), é uma ferramenta de geoprocessamento que pode auxiliar no sistema de informação, uma vez que facilita a representação dela ao resumir uma grande quantidade de dados por meio da elaboração de mapas temáticos espaciais, tabelas e imagens digitais que retratam uma determinada realidade (Ramadan *et al.*, 2019).

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo espacializar os dados de qualidade da água tratada no município de Belém, utilizando a ferramenta SIG, com base no banco de dados do SISAGUA, analisando os parâmetros básicos de turbidez, cloro residual livre, coliformes totais e *Escherichia coli* (*E.coli*). Esse estudo pode auxiliar ainda na gestão dos recursos hídricos tornando-se um importante instrumento para a tomada de decisões dentro das políticas públicas de saneamento da cidade.

Metodologia

Caracterização da área de estudo

O município de Belém, capital do Estado do Pará (Figura 1) está localizado na Mesorregião Metropolitana de Belém (PMB, 2020). O município tem uma população estimada de 1,303,403 para o ano de 2023, uma densidade demográfica de 1,315.26 hab/km² e uma área territorial equivalente a 1,059.458 Km², com índice de desenvolvimento humano (IDH) de 0.746, considerado alto (IBGE, 2023).

De forma geral, Belém se caracteriza como clima quente e úmido devido a sua baixa altitude, topografia plana e vegetação densa. O tipo climático é classificado como tropical úmido de

floresta e tem temperatura entre 26° e 28°C, além de alto índice pluviométrico, com média anual de 2.889 mm nas proximidades do rio Amazonas. Situa-se nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 01° 23' 06" ao sul e longitude 48° 29' 05" a oeste de Greenwich (PMB, 2020).

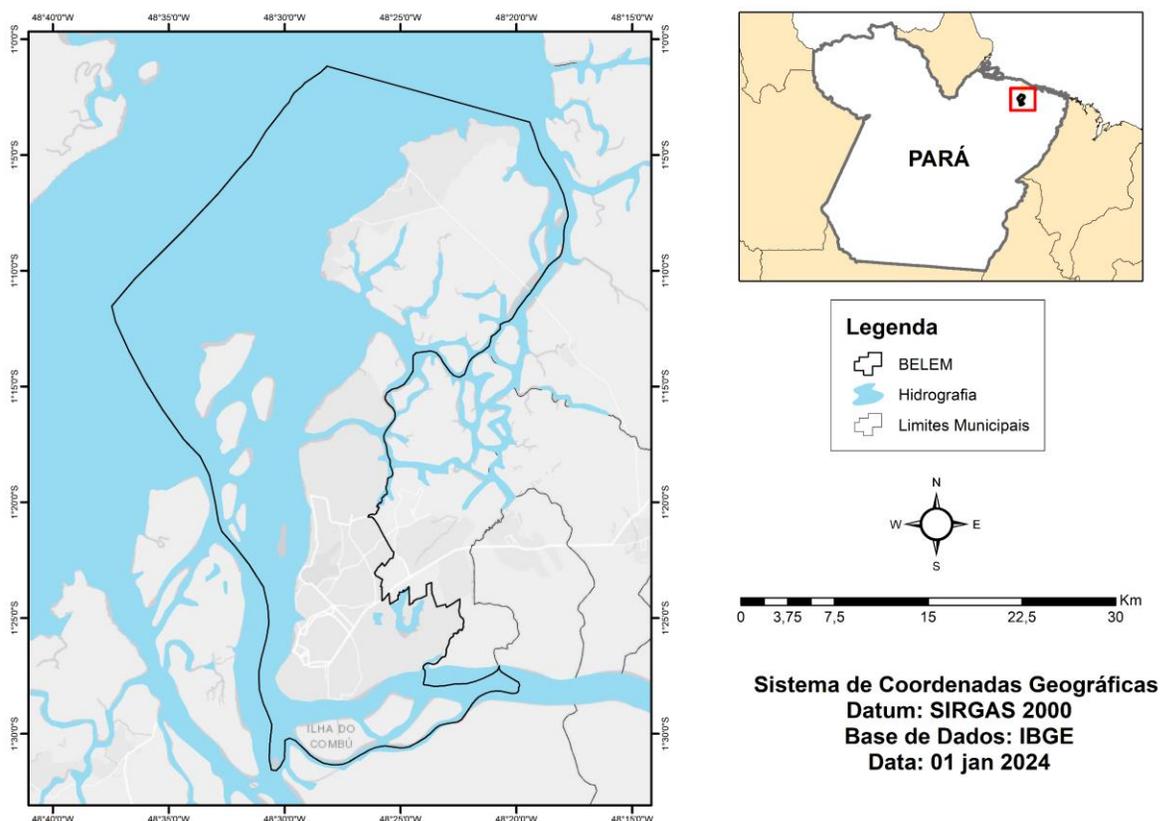


Figura 1. Mapa de localização do Município de Belém, Estado do Pará, Brasil. Fonte: Autores, 2024.

Base de dados

Os dados da cobertura com abastecimento de água foram extraídos da série histórica do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) para os anos de 2014 a 2022, com análise para cada dois anos visando identificar as mudanças nos índices de atendimento do serviço prestado à população. Na tabela 1, estão as informações relacionadas à zona de localização, os bairros e os tipos de captação que os abastecem, segundo o plano municipal de saneamento do município de Belém (2020).

Tabela 1. Zonas de localização, bairros e seus respectivos tipos de captação

Zonas	Bairros	Tipo de captação
Central	Batista Campos, Campina, Canudos, Castanheira, Cidade Velha, Condor, Cremação, Curió-Utinga, Fátima, Guamá, Jurunas, Marambaia, Marco, Nazaré, Pedreira, Reduto, Sacramenta, São Brás, Souza, Telégrafo, Terra Firme e Umarizal.	Superficial
Expansão	Águas Lindas, Águas Negras, Agulha, Benguí, Cabanagem, Coqueiro, Mangueirão, Maracangalha, Paracurí, Parque Guajará, Parque Verde, Pratinha, Souza, Tapanã, Tenoné e Val-de-Cães.	Subterrânea

Fonte: PMSB, 2020.

Os dados de qualidade da água foram oriundos do SISAGUA, que é público e de livre acesso, disponível no portal de dados abertos. O endereço eletrônico: <https://dados.gov.br/home> disponibilizado pelo Governo Federal brasileiro. O período escolhido foi de 2014 a 2022, pois correspondem aos anos que possuem dados. O programa VIGIAGUA recomenda uma avaliação em termos de indicadores institucionais, ou seja, é necessário verificar o número de amostras realizadas e o número mínimo de amostras obrigatórias exigidas pelo setor de saúde. Essa análise visa identificar se o programa é efetivo para o monitoramento da vigilância da qualidade da água na localidade em questão.

Ademais, os dados para a cidade de Belém foram extraídos, uma vez que a base de dados contempla todo o Brasil. Os parâmetros básicos analisados foram: turbidez, cloro residual livre, coliformes totais e *E.coli* por apresentarem maior periodicidade no monitoramento. Assim, foram contabilizados 10.426 (dez mil, quatrocentos e vinte e seis) análises realizadas com mais de 5.000 (cinco mil) pontos de coleta e amostragem que foram catalogados e transferidos para o *software* Excel para realização do tratamento das informações.

Análise dos dados

Cada parâmetro físico-químico e microbiológico, coletado no banco de dados, foi analisado mediante as faixas de classificação que variam com pontuação 0 (zero), a qual retrata a pior situação, e 100 (cem) como a melhor, de acordo com a metodologia de Braga *et al.*, (2022), disposto na Tabela 2.

Os parâmetros de qualidade da água foram categorizados não somente pela pontuação, mas também foram catalogados conforme o desempenho, que variou de péssimo a excelente, os quais foram representados por cores conforme a tabela 3, para melhor visualização dos dados. Além disso, utilizou-se o *software* QGIS versão 3.34.2 para a elaboração dos mapas temáticos para uma melhor visualização dos resultados.

Tabela 2. Qualidade da água de acordo com parâmetros físico-químico e microbiológico

Parâmetro	Fórmula	Pontuação
Turbidez	$\frac{\text{Número de amostras dentro do padrão}}{\text{Número total de amostras}} * 100$	Amostra = 100% - Pontuação 100
Cloro residual	$\frac{\text{Número de amostras dentro do padrão}}{\text{Número total de amostras}} * 100$	Amostra= 95% a 100% - pontuação 80
Coliformes totais	$\frac{\text{Número de amostras com ausência de coliformes}}{\text{Número total de amostras}} * 100$	Amostra= 85% a 95% - pontuação 60
<i>E. Coli</i>	$\frac{\text{Número de amostras com ausência de E. Coli}}{\text{Número total de amostras}} * 100$	Amostra= 70% a 85% - pontuação 40
		Amostra= 50% a 70% - pontuação 20
		Amostra= < 50% - pontuação 0

Fonte: Braga et al. (2022).

Tabela 3. Avaliação da qualidade da água dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Pontuação	Classificação	cor
20	Péssimo	
40	Ruim	
60	Regular	
80	Bom	
100	Excelente	

Fonte: adaptado de (Veiga, 2010).

Resultados e discussão

Cobertura com abastecimento de água

Na Figura 2, estão dispostos os dados referentes à cobertura com o serviço de abastecimento de água no município de Belém. Nesse contexto, constatou-se que, no ano de 2014, o atendimento era de 90.89% com bom progresso com vista à universalização em virtude do alto índice com rede de abastecimento de água tratada. Nos anos posteriores, houve um decaimento no fornecimento do serviço para 74% e em 2022 o índice de atendimento voltou a aumentar progressivamente para 95.52%.

A redução na cobertura do serviço pode estar relacionada a dois principais fatores: (i) aumento populacional, o que demanda por mais água potável; (ii) constantes reparos na ETA Bolonha desde o ano de 2018, o que provoca um cenário de vulnerabilidade ao acesso à água. Portanto, observa-se que são necessários recursos técnicos, econômicos e de gestão para universalização do serviço de abastecimento no município.

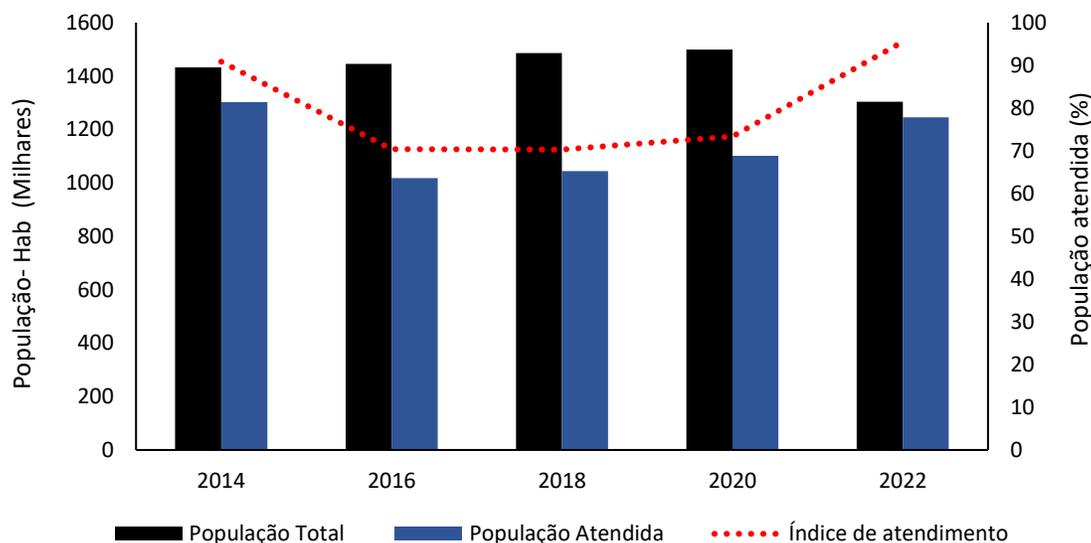


Figura 2. Índice de cobertura com abastecimento de água no município de Belém, PA, BR. *Fonte: Adaptado de Sinisa, 2022.*

Na pesquisa de Rodrigues e Szlafsztajn (2021), foi constatado que, entre os anos de 2014 e 2020, foram 587 registros de falta de água na cidade de Belém-PA. O índice de insegurança hídrica proposto pelos autores revelou que os principais problemas estavam relacionados a vazamentos nas tubulações, problemas elétricos e manutenção na rede de abastecimento de água, ocasionando uma frequência de falta de água de até um dia nos domicílios.

Ademais, é oportuno mencionar que, segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém – (PMSB) - (2020), é difícil quantificar expressamente o percentual de abastecimento, visto que há inconsistência nas informações. Logo, o percentual pode ser superior, devido a existência de muitas ligações irregulares nas áreas periféricas da cidade.

Metas de atendimento ao programa VIGIAGUA

O VIGIAGUA é regimentado pela diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância da qualidade da água para consumo humano. Nesse documento, são abordados os parâmetros a serem analisados, a frequência de amostragem e o quantitativo mínimo de amostras, bem como as orientações para a seleção dos pontos de coleta em cada cidade (Brasil, 2016). Essas ações visam a prevenção e a promoção da saúde da população utilizando a ferramenta de vigilância em saúde ambiental.

Nesse sentido, é importante verificar se o número de análises exigidas pela legislação, considerando o número de habitantes, é atendida pelo município de Belém. Ao analisar a Figura 3, verificou-se

que somente no ano de 2014 e 2018 a meta de atendimento não foi alcançada, pois o percentual foi de 46.35% e 52.99%, respectivamente, uma vez que a quantidade de amostras exigidas não foi cumprida pelo órgão de saúde, que é o responsável pela vigilância da qualidade da água. Nos anos consecutivos, o percentual foi acima de 90%, apresentando uma boa performance, em virtude do adequado monitoramento da qualidade da água distribuída à população.

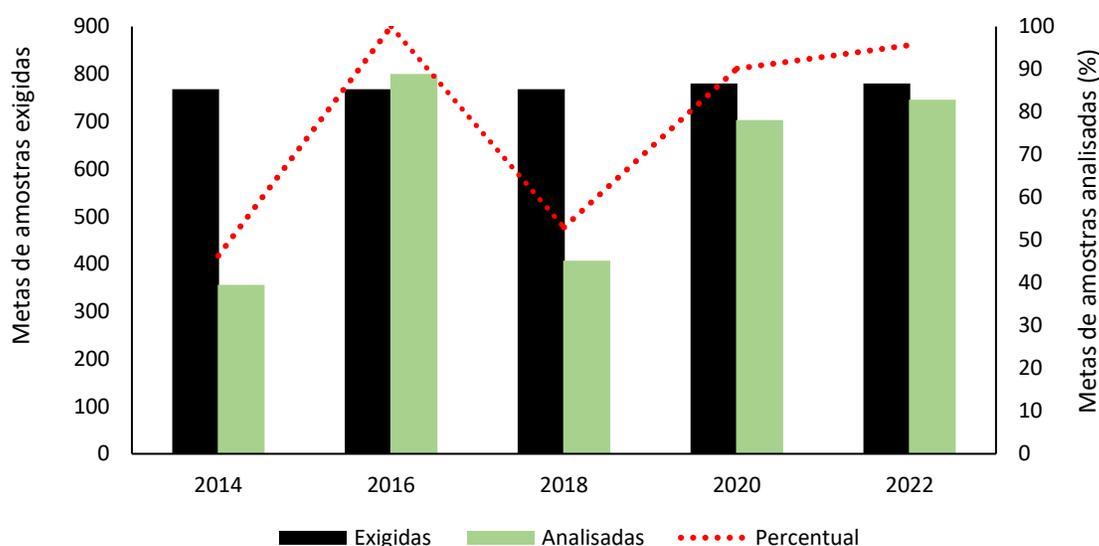


Figura 3. Metas de atendimento ao programa VIGIAGUA no município de Belém. *Fonte: Autores, 2024.*

Vale ressaltar, que a verificação do cumprimento do número de análises realizadas em função da quantidade exigida, possibilita que os gestores responsáveis pela vigilância em saúde ambiental façam uma avaliação da atual conjuntura dos municípios e possam traçar estratégias para aperfeiçoar o monitoramento da qualidade da água, aumentando, conseqüentemente, a capacidade do VIGIAGUA em inferir sobre a qualidade da água consumida pela sociedade (Brasil, 2019-a).

Um importante aspecto observado foi que os pontos de coleta e amostragem da qualidade das águas do sistema de distribuição foram principalmente em estabelecimentos de ensino, unidades básicas de saúde (UBS) e condomínios. O que é positivo, pois mostra que o procedimento de amostragem é representativo ao priorizar os sistemas coletivos com maior circulação de pessoas, além de seguir as recomendações do plano de amostragem do MS.

No banco de dados do SISAGUA, constatou-se que o monitoramento da vigilância da qualidade da água tem dois principais focos: o primeiro é preventivo e rotineiro, visando avaliar os riscos à saúde humana por meio da construção de uma ferramenta epidemiológica. O segundo é garantir que a água consumida pela população atenda ao padrão de potabilidade exigida pela regulamentação vigente.

Um dos objetivos do programa VIGIAGUA é manter a população informada sobre a qualidade da água distribuída em decorrência dos riscos à saúde pela ingestão de água contaminada (Brasil, 2020). Dessa maneira, as informações referentes à qualidade da água tratada deveriam ser disponibilizadas pela secretaria do município de Belém ou pelo órgão estadual de saúde pública. No entanto, não existe boletim analítico com os resultados da qualidade da água, o que impede a sociedade de tomar possíveis medidas preventivas, além de impossibilitar a participação social da população no processo de melhoria da democratização da água potável.

Qualidade da água distribuída nos bairros de Belém, PA, Brasil

O Programa VIGIAGUA tem como foco garantir à população o acesso à água com qualidade condizente com os valores de potabilidade instituídos na regulamentação vigente. Além disso, o programa visa direcionar a operacionalização da vigilância de maneira abrangente, considerando a execução das ações de forma descentralizada (Mata, 2022). Nesse sentido, a vigilância é feita pelo órgão de saúde municipal, estadual ou federal para identificar as fragilidades do sistema de abastecimento de água para que, posteriormente, possam ser tomadas as medidas corretivas.

Com relação a turbidez, constatou-se que houve uma variação na performance situacional, mas, de modo geral, foi verificado que a grande maioria dos bairros obteve um “BOM” desempenho por conta da alta pontuação, acima de 80% de amostras dentro dos padrões de potabilidade (Figura 4). A regulamentação de nº 888 de 2021, do Ministério da Saúde, determina que o Valor Máximo Permitido (VMP) para turbidez é de 5 uT na rede de distribuição e 1 uT para água proveniente de manancial subterrâneo. Portanto, as amostras atendem as exigências dos limites estabelecidos pela legislação.

Apesar desse resultado positivo, houve bairros como os do Coqueiro, Tenoné e Benguí que apresentaram performance variando de “REGULAR” para “PÉSSIMO” desempenho. Esse resultado significa dizer que os valores dos pontos monitorados pelo VIGIAGUA estão acima do valor referência estipulado pela legislação. Além disso, foi verificado que todos os bairros apresentaram pontos críticos e/ou vulneráveis, apontando que o tratamento empregado é inadequado e/ou ineficiente.

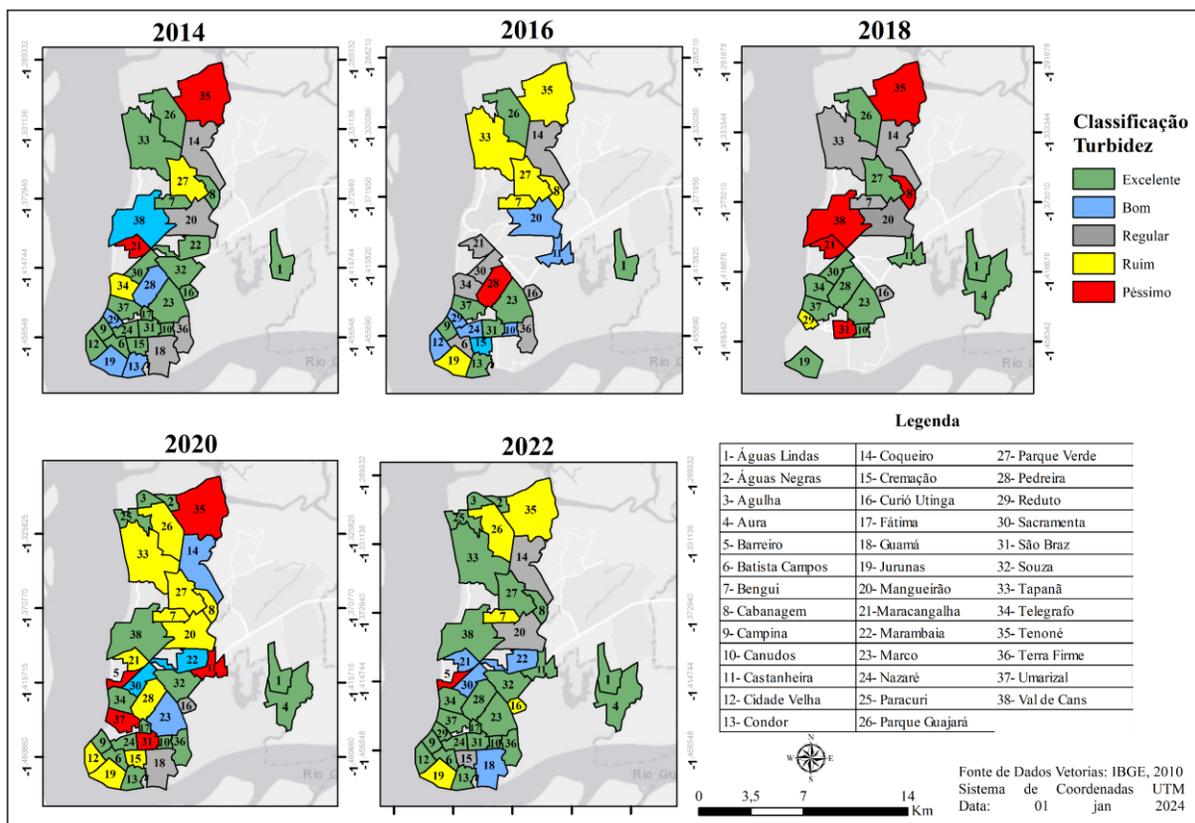


Figura 4. Mapa da distribuição espacial de turbidez nos bairros do município de Belém (2014-2022). Fonte: Autores, 2024.

É válido mencionar que a turbidez é uma variável estética, mas também pode ser um indicador sanitário e padrão organoléptico, visto que, em altas concentrações, indicam falhas no seu tratamento. Além disso, pode afetar o processo de desinfecção da água, porque os micro-organismos patogênicos podem ficar protegidos nessas partículas causadoras de turbidez, impedindo o contato com o agente desinfetante (Brito *et al.*, 2019).

Na pesquisa de Santana *et al.*, (2021), os autores constataram que o aumento da turbidez pode ser provocado por falhas na rede de distribuição da água, ocasionada por rompimentos na tubulação e formação de biofilmes que propiciam um ambiente favorável para proliferação de patógenos como *Legionella*, *Pseudomonas* e *micobactérias*. Por isso, é fundamental que as redes de abastecimento de água apresentem baixa turbidez visando assegurar que a água distribuída à população seja adequada para o consumo humano.

Nesse viés, a água potável é um direito humano preconizado pela ONU para toda a população. Assim, o percentual de violação ao padrão de qualidade da água requerida foi calculado nos bairros do município de Belém. Na Figura 5, estão os resultados do percentual de violação aos padrões de qualidade da água para turbidez.

Nesse sentido, foi constatada uma baixa variação nos dados, indicada pelas baixas amplitudes interquartis, sendo que houve algumas exceções nos bairros Parque Guajará, Tenoné e Val-de-Cães, que apresentaram as maiores variações (Figura 5). Um importante aspecto é que a água tratada com valores acima de 0,3 uT pode conter oocistos de *Cryptosporidium* (Melo *et al.*, 2021).

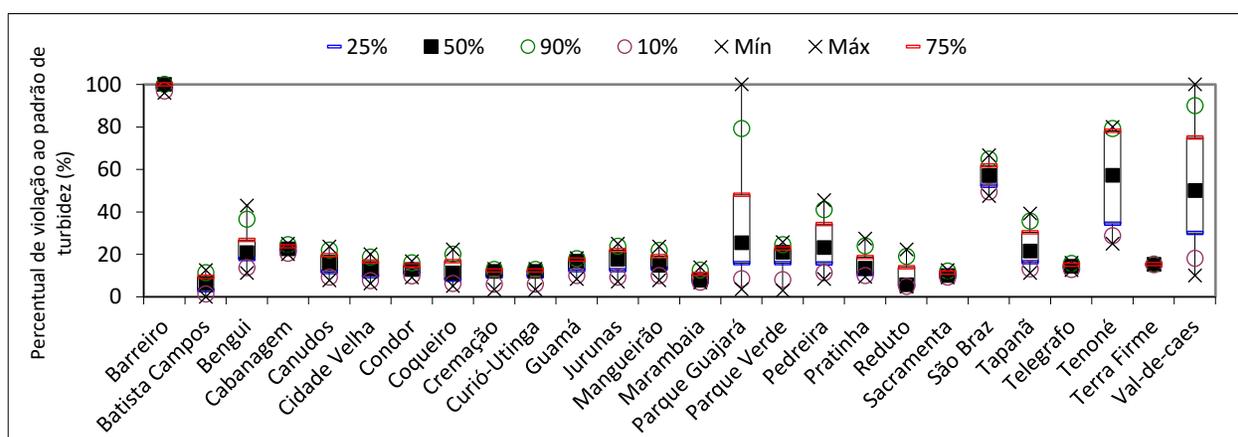


Figura 5. Box-plot do percentual de violação ao padrão de turbidez nos bairros de Belém (2014 a 2022).
Fonte: Autores, 2024.

Outrossim, protozoários como *Giardia* e *Cryptosporidium* são causadores de infecções intestinais e possuem alta resistência à cloração. Assim, a turbidez pode ser um indicador da eficiência de remoção desse patógeno (Andreoli Sabogal-Paz, 2019). Portanto, todos os bairros apresentaram riscos, uma vez que todas as amostras com desconformidade estavam acima de 5 uT para água proveniente de captação superficial e 1 uT para água subterrânea.

Em relação ao parâmetro de cloro residual livre, essa variável mede a quantidade de cloro presente na rede de distribuição, após o processo de desinfecção da água. A Portaria n° 888 de 2021 estabelece o valor máximo permitido de 2 mg/L e mínimo de 0,2 mg/L (Brasil, 2021). Dessa maneira, ao observar o mapa de distribuição de cloro livre residual nos bairros da cidade de Belém-PA, constatou-se que a classificação foi de “PÉSSIMO” desempenho em virtude de mais de 50% das amostras apresentarem ausência de cloro no sistema de distribuição (Figura 6).

Além disso, no ano de 2014 e 2016, os bairros ainda apresentavam de 20% a 40% de cloro residual livre na rede de água da companhia de saneamento nos bairros do Souza, Marambaia e Umarizal. Vale ressaltar que esses bairros são considerados economicamente como de classe média, e como a concessionária de saneamento possui redes constituídas de diferentes materiais, tais como: polietileno de alta densidade (PEAD) e amianto reforçado com ferro, o decaimento do cloro pode apresentar variações. Além disso, a distância do reservatório até o local de consumo e o diâmetro da tubulação também ocasionam variações nas concentrações de cloro residual livre.

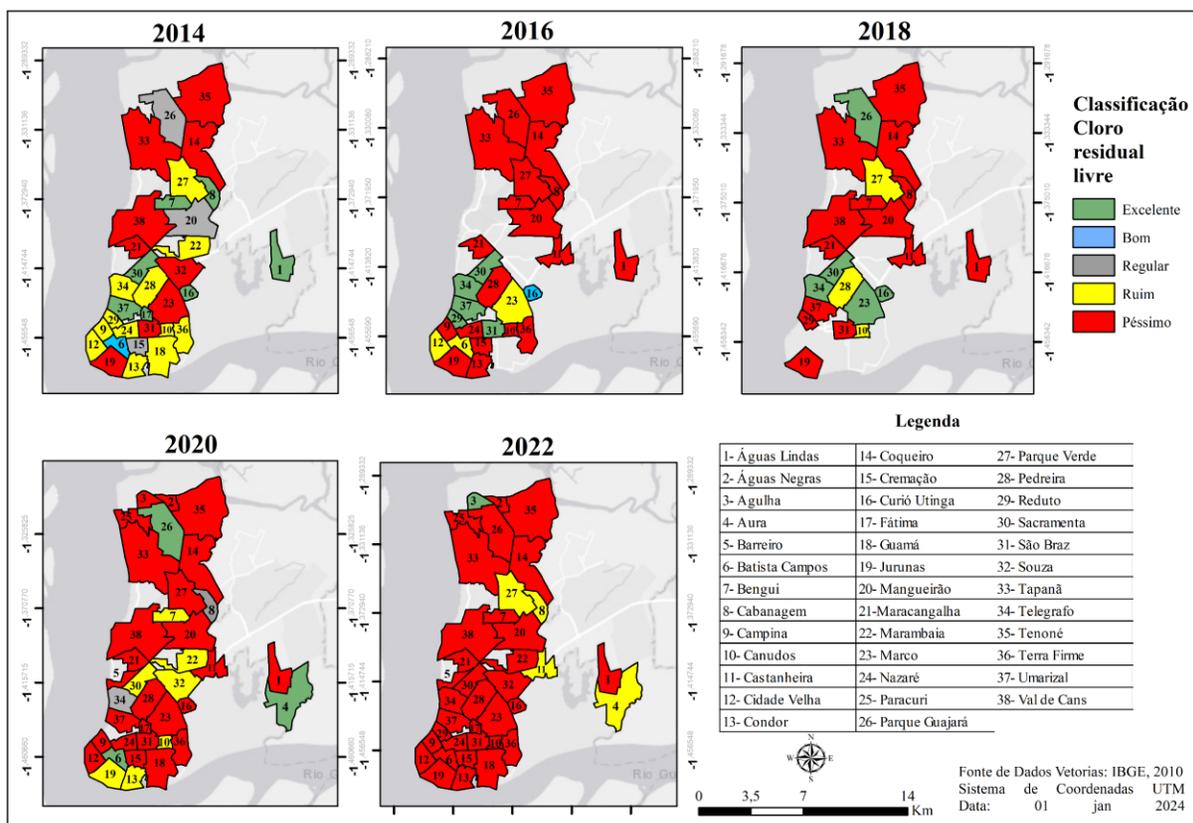


Figura 6. Mapa da distribuição espacial de cloro residual livre nos bairros do município de Belém (2014-2022).
Fonte: Autores, 2024.

De maneira geral, constatou-se que a menor violação ao padrão de cloro residual foi evidenciada nos bairros da Sacramento e de Nazaré, enquanto os maiores percentuais de violação foram nos bairros das

Águas Negras e Castanheira, ou seja, os bairros com maior vulnerabilidade socioeconômica são os que mais sofrem com a precariedade do serviço público de abastecimento de água (Figura 7).

Os bairros de Águas Lindas, Benguí, Águas Negras, Castanheira, Coqueiro, Mangueirão, Maracangalha e Pratinha apresentaram pelo menos 75% dos dados fora dos padrões estipulados pela legislação. Ressalta-se que a grande maioria desses bairros estão localizados na zona de expansão do município e possuem tratamento simplificado com aplicação de cloro.

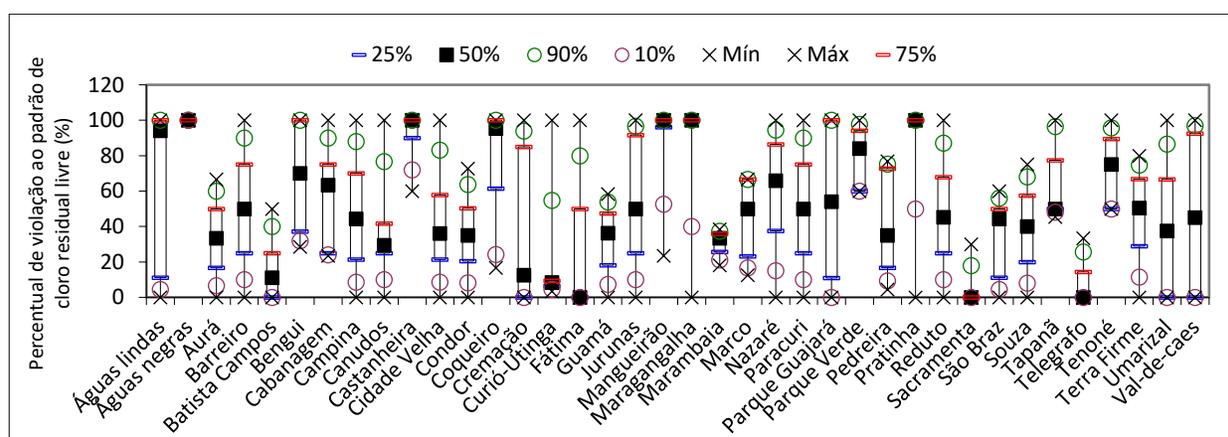


Figura 7. Box-plot do percentual de violação ao padrão de cloro residual livre nos bairros de Belém (2014 a 2022).
Fonte: Autores, 2024.

O padrão de cloro residual livre é importante para garantir a desinfecção da água, uma vez que grande parte dos micro-organismos potencialmente patogênicos são eliminados pela sua ação desinfetante. Um grande problema das redes de abastecimento de água do município de Belém são as ligações clandestinas (Brito *et al.*, 2021-b). Vale dizer que essas ligações ilegais comprometem a qualidade da água distribuída pela companhia de saneamento devido a contaminação por compostos orgânicos e inorgânicos. Desse modo, como as águas apresentaram alto percentual de violação, a quantidade de cloro residual na rede está fora dos padrões preconizados pela Portaria do MS.

No que diz respeito à distribuição espacial da qualidade da água para o padrão de coliformes totais, a legislação de nº 888 de 2021, determina ausência em amostras com 100 mL de água. Desse modo, ao analisar a Figura 8, constatou-se que houve uma piora na qualidade da água tratada ao longo dos anos, o que pode estar relacionado com o melhor monitoramento e efetivação do programa VIGIAGUA no município de Belém, uma vez que em 2014 o programa estava em fase de consolidação e não cumpriu as metas estabelecidas no plano de amostragem.

Além disso, os reparos na ETA Bolonha durante os anos de 2017 a 2020 podem ter contribuído para o cenário de deterioração da qualidade da água nos bairros abastecidos por captação superficial. Um outro importante aspecto a ser analisado é que a tubulação de distribuição de água da companhia de saneamento da cidade é de material de amianto reforçado com aço e, devido à falta de manutenção das redes ao longo dos anos, a tubulação entra em oxidação ocasionando alterações na qualidade da água que chega aos usuários.

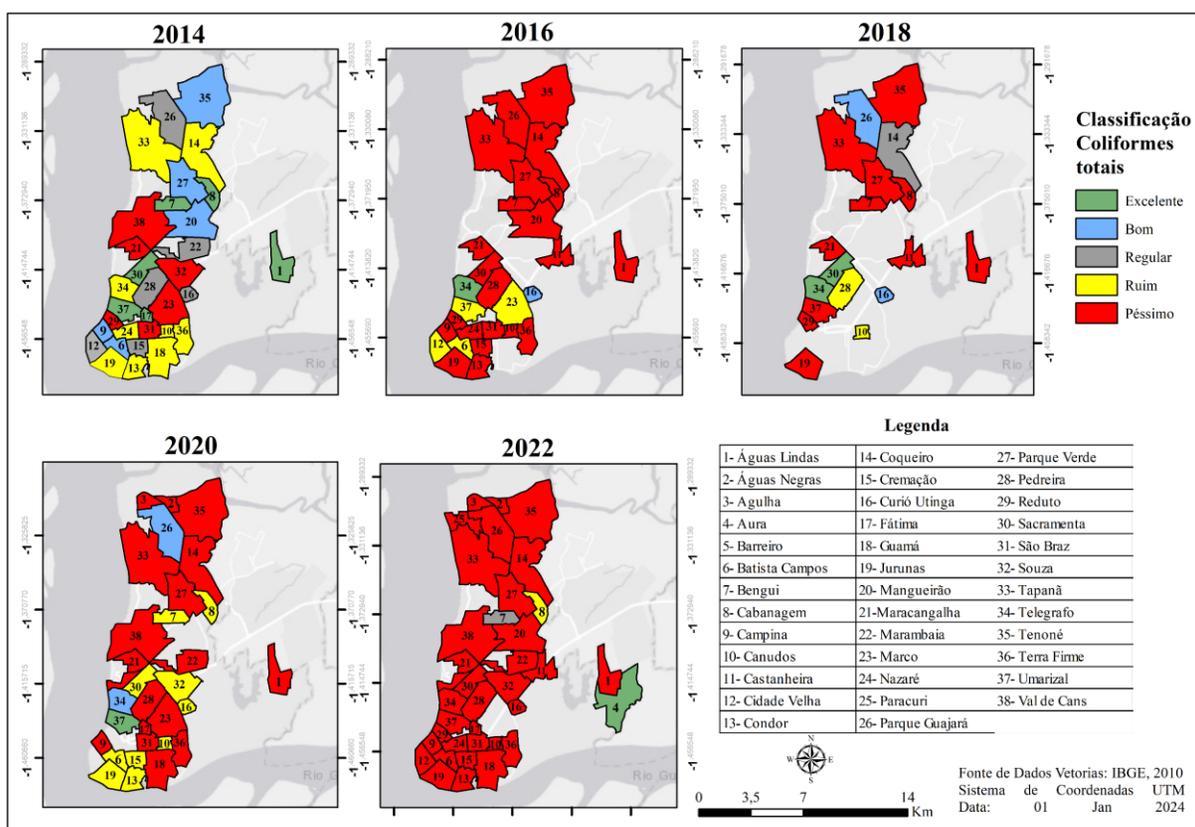


Figura 8. Mapa da distribuição espacial de coliformes totais nos bairros do município de Belém (2014-2022).
Fonte: Autores, 2024.

Na pesquisa De Moraes *et al.*, (2018), os autores destacaram que a presença de coliformes totais indica condições higiênico-sanitárias inadequadas e tem como consequência o alto risco de transmissão de doenças de veiculação hídrica. Essas bactérias abrangem ainda os seguintes gêneros: *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Escherichia*, que causam infecções agudas por

conta da contaminação da água tratada (Alves *et al.*, 2018). Portanto, essa pode ser uma explicação plausível para o cenário de vulnerabilidade da água nos bairros da cidade de Belém.

No tocante a violação ao padrão de qualidade para coliformes totais, foi evidenciada uma discrepância de resultados na maioria dos bairros (Figura 9). Nos Bairros do Aurá e Barreiro, os resultados mostram que todos os dados atingiram o percentual de violação ao padrão de potabilidade. Além disso, bairros como Batista Campos e Telégrafo obtiveram uma redução de informações em desacordo com os valores apresentados pela regulamentação vigente.

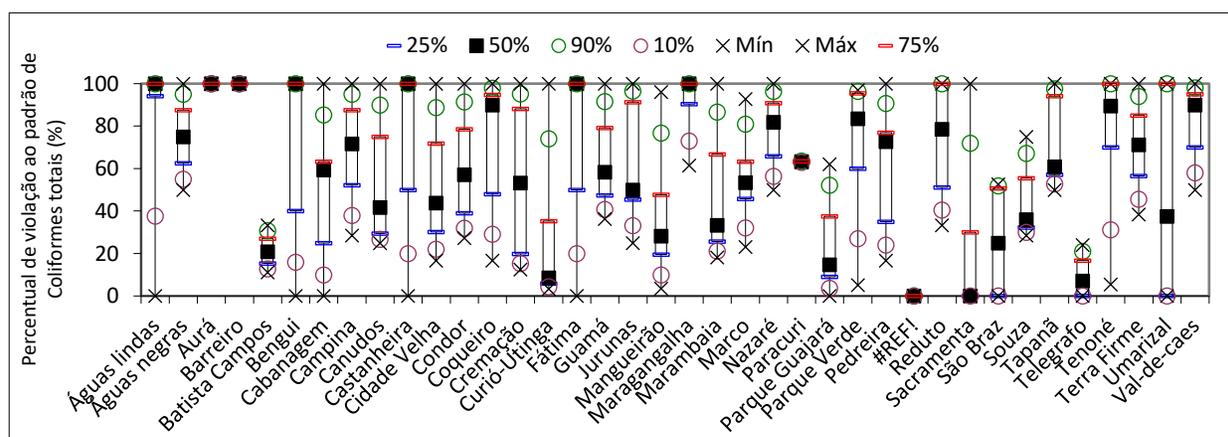


Figura 9. Box-plot do percentual de violação ao padrão de coliformes totais nos bairros de Belém (2014 a 2022).
Fonte: Autores, 2024.

No estudo de Reitter *et al.*, (2021), foi analisado que os coliformes totais se apresentam de forma natural no meio ambiente como na água, no solo e nas excretas de humanos ou de animais. Desse modo, somente a presença de coliformes totais não revela que a água está contaminada, mas pode indicar atuação de bactérias potencialmente patogênicas. Assim, Silva *et al.*, (2019) afirmou que “os coliformes totais não são úteis como indicadores de contaminação fecal, mas a sua presença na água pode ser utilizada para revelar a eficácia do tratamento, bem como evidenciar a limpeza e a integridade dos sistemas de distribuição”.

Além disso, quando forem detectadas amostras com resultados positivos, medidas corretivas devem ser tomadas pelo gestor do SAA e amostras devem ser coletadas em dias consecutivos até apresentar resultados de acordo com padrão exigido pela legislação (Brasil, 2021). Sendo assim, foi possível observar que, em alguns locais, houve resultados positivos para coliformes totais de modo a questionar se as ações corretivas para mudança de situação foram realmente implementadas.

Com relação ao parâmetro de *E.Coli*, constatou-se uma performance média classificada como “REGULAR” para o ano de 2014, enquanto que em 2022 a média foi de “PÉSSIMO” desempenho para qualidade da água (Figura 10). Logo, constatou-se que as águas consumidas pela sociedade, nesse período estavam contaminadas, ou seja, impróprias para o consumo humano. Esse fato pode comprometer seriamente a saúde da população, além de aumentar os agravos de possíveis surtos de doenças de veiculação hídrica na cidade.

Ainda é oportuno mencionar que o mapeamento dos bairros apontou um panorama de vulnerabilidade da água potável. Esse cenário diagnosticado demonstra que são necessárias intervenções públicas emergenciais para melhorar as condições sanitárias do município. Dessa forma, faz-se necessário que os gestores dos órgãos públicos em vigilância em saúde ambiental, juntamente com o corpo técnico da companhia de saneamento, se reúnam para traçar metas a curto, médio e longo prazo para solucionar os problemas dos sistemas de abastecimento do município.

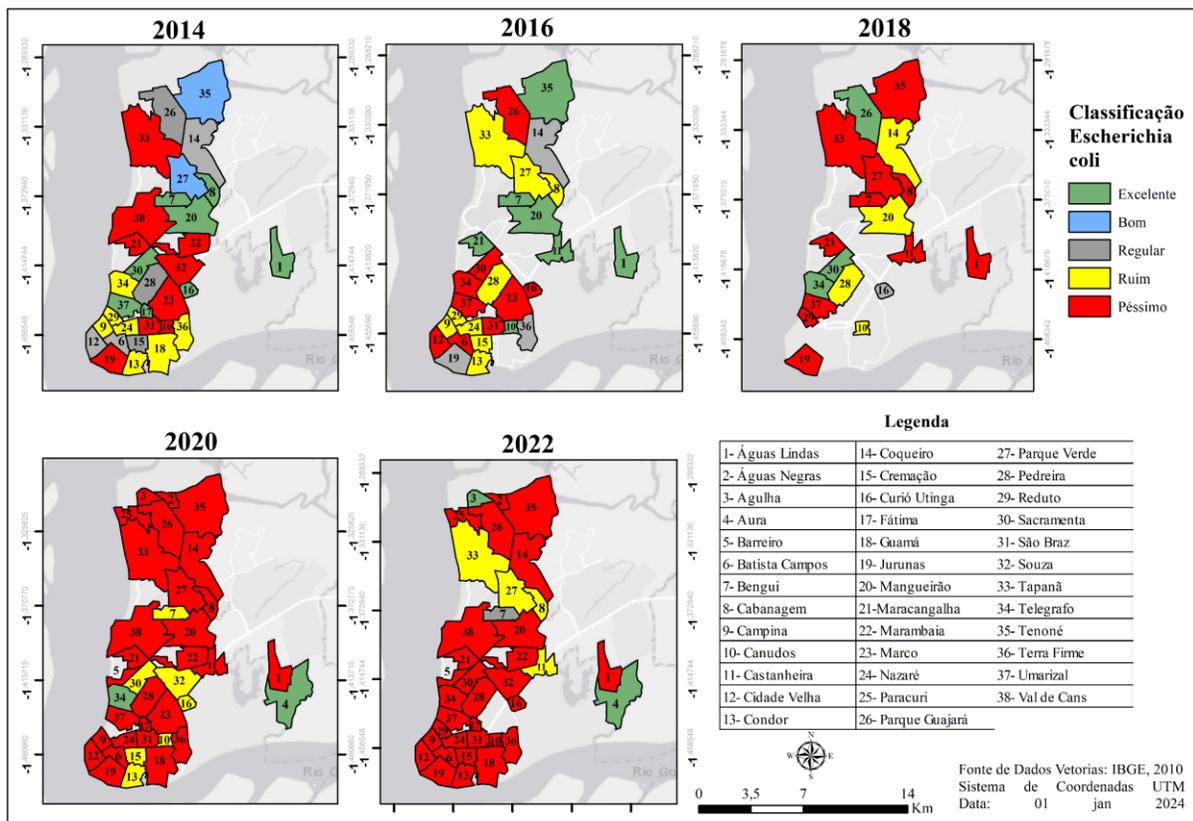


Figura 10. Mapa da distribuição espacial de *Escherichia coli* nos bairros do município de Belém (2014-2022).
Fonte: Autores, 2024.

De acordo com Brasil (2019-b), micro-organismos patogênicos devem estar ausentes na água tratada, além disso, não devem conter bactéria indicadora de contaminação fecal. Nesse caso, a *E. coli* é considerada indicador específico de contaminação fecal recente, sendo sua presença altamente prejudicial à saúde humana.

Nesse contexto, a vigilância e a avaliação microbiológica da água destinada ao consumo humano é um instrumento primordial para assegurar a qualidade e a segurança da saúde pública, já que os micro-organismos são os principais causadores de surtos de doenças, como a cólera, a diarreia, a disenteria, a hepatite A, a febre tifóide e a poliomielite (Colet *et al.*, 2021).

Nesse íterim, no gráfico de Box-plot para *E. coli*, verificou-se uma alta variação nos dados, indicado pelas altas amplitudes interquartis, sendo que houve algumas exceções nos bairros Águas Negras, Barreiro, Aurá, Paracuri, Val-de-caes que apresentaram as menores variações (Figura 11). Nota-se também que os bairros Águas Negras e Reduto possuem conjunto de dados semelhantes ao gráfico box-plot de coliformes totais.

Na pesquisa de Silva *et al.*, (2019), foi alertado que um considerável número de *E.coli* são classificadas não patogênicas, porém, existem algumas cepas de bactérias que adquiriram fatores de virulência no processo mutação e ocasionam um sério risco à saúde humana. Assim sendo, constatou-se que ainda há uma quantidade significativa de bairros do município de Belém que estão em violação aos padrões estabelecidos pelo MS colocando em risco a saúde dos consumidores.

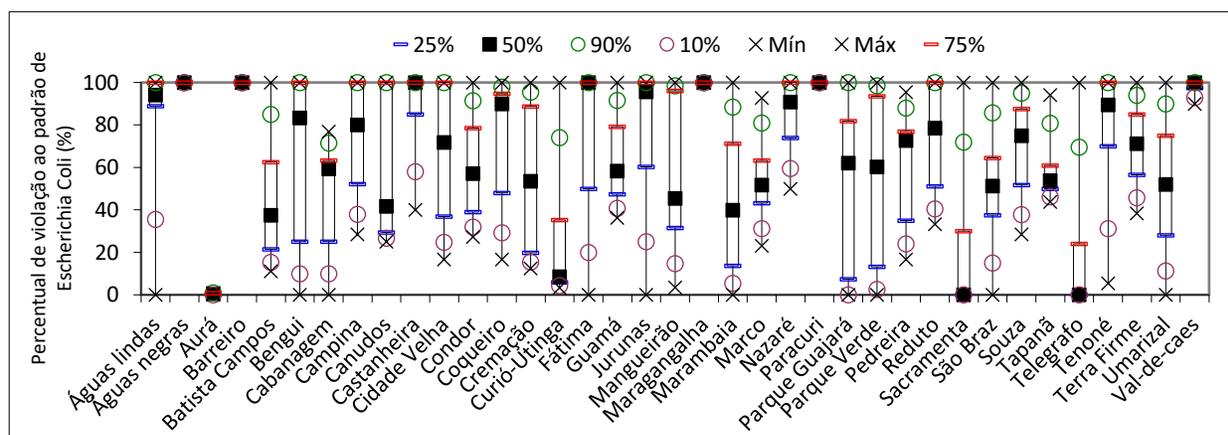


Figura 11. Box-plot do percentual de violação ao padrão de *Escherichia coli* nos bairros de Belém (2014 a 2022).
Fonte: Autores, 2024.

Conclusão

O programa VIGIAGUA do Ministério da Saúde é um mecanismo de monitoramento da qualidade da água potável que pode ser utilizado como um instrumento norteador para o melhoramento das políticas públicas em sistemas de abastecimento de água. Nesse contexto, por meio da utilização da ferramenta SIG, foi possível realizar a espacialização dos dados do SISAGUA para o município de Belém, localizado na região amazônica do Estado do Pará, Brasil.

Na avaliação dos parâmetros de qualidade da água, constatou-se uma melhora na Turbidez, enquanto as variáveis de Cloro residual livre, Coliformes Totais, e *E.Coli* evidenciaram-se um declínio, o que ficou classificado como “PÉSSIMO” desempenho situacional da água tratada, apontando comprometimento no tratamento da etapa de desinfecção. Além disso, os bairros vulneráveis socialmente mostraram-se, em maioria, com grande desacordo aos padrões estabelecidos pela Portaria nº 888 de 2021 do MS, indicando a precariedade na rede do sistema de distribuição dessas localidades.

Ademais, embora o VIGIAGUA recomende que os dados do SISAGUA sejam disponibilizados para comunicar a população sobre a situação da água distribuída nos domicílios. Na cidade de Belém-PA, não existem boletins informativos à população, essa lacuna pode estar relacionada a ausência de capacitação e/ou de corpo técnico para realizar tal atividade. Portanto, os dados deste trabalho servem como um instrumento de diagnóstico, gestão e planejamento do gerenciamento de risco da água do sistema de abastecimento.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências bibliográficas

- Akhtar, S., Fatima, R., Soomro, Z. A., Hussain, M., Ahmad, S. R., Ramzan, H. S. (2019) Bacteriological quality assessment of water supply schemes (WSS) of Mianwali, Punjab, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, **78**(15), 458. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8455-1>
- Aleixo, B., Pena, J. L., Heller, L., Rezende, S. (2019) Infrastructure is a necessary but insufficient condition to eliminate inequalities in access to water: Research of a rural community intervention in Northeast Brazil. *Science of the Total Environment*, **652**, 1445–1455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.202>
- Alves, S.G.S., Ataíde, C.D.G., Silva, J.X (2018) Análise microbiológica de coliformes totais e termotolerantes em água de bebedouros de um parque público de Brasília, Distrito Federal. *Rev. Cient. Sena Aires*, **7**(1), 12-17.
- Andreoli, F. C., Sabogal-Paz, L. P. (2019) Coagulation, flocculation, dissolved air flotation and filtration in the removal of *Giardia* spp. and *Cryptosporidium* spp. from water supply. *Environmental Technology (United Kingdom)*, **40**(5), 654–663. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1400113>

- Braga, L. D., Bezerra, N. R., Scalize, P. S. (2022) Proposition and application of an environmental salubrity index in rural agglomerations. *Revista de Saúde Pública*, **56**. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2022056003548>
- Brasil (2016) *Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano*. Brasília: Ministério da Saúde, 53 pp. Acesso em 10 jan. 2024. Disponível em: <https://sisagua.saude.gov.br/sisagua/paginaExterna.jsf>.
- Brasil (2019-a) *Indicadores institucionais do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para consumo humano – 2019*. Brasília: Ministério da Saúde, 37 pp. Acesso em 08 jan. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/cartilhas>.
- Brasil (2019-b) *Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento*. Brasília, 5 ed. 547 pp. Acesso em 02 jan. 2024. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detalhe/91837?returnUrl=/sophia_web/Home/Index&guid=1705104006424.
- Brasil (2020) *Curso básico de vigilância da qualidade da água para consumo humano*. Brasília: Ministério da Saúde. 39 pp. Acesso em 02 jan. 2024. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/bvsmis/resource/pt/mis-40896>.
- Brasil (2021) *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. Brasília: DOU 2021. Acesso em 02 jan. 2024. Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html
- Brito, F. E. da S., Brito, C. A. R. de S., Carvalho, R. M. de, Shinya, T. Y. (2021-a) Análise microbiológica da qualidade da água do povoado Barra Nova, Cocal de Telha – Piauí, Brasil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, **6**(3), 174–182. <https://doi.org/10.24221/jeap.6.3.2021.3606.174-182>
- Brito, F. S. L., Norat, M. D. V. C., Ribeiro, E. I. S. (2019) Utilização de diferentes metodologias para avaliação do consumo e qualidade da água dos bebedouros da Universidade Federal do Pará-UFPA. *Revista Gestão Sustentabilidade Ambiental*, **8**(1), 1043. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v8e120191043-1061>
- Brito, F. S. L., Pimentel, B. A., Duarte, J. M., Rabelo, M. F., Gomes, N. C. da R., Ferreira, R. da S., Braga, R. L. (2021-b) Aplicação do Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) nos municípios de Belém e Ananindeua, região amazônica do estado do Pará, PA - 2000 a 2017. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, **12**(3), 283–298. <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.003.0024>
- Colet, C., Pieper, M., Kaufmann, J. V., Schwambach, K., Pletsch, M. (2021) Microbiological quality and sensitivity profile to antimicrobials in artesian well waters in a municipality in the northwest of Rio Grande do Sul. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, **26**(4), 683–690. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200078>
- de Moraes, M. S., Moreira, D. A. da S., Santos, J. T. de L. A., de Oliveira, A. P., Salgado, R. L. (2018) Microbiological evaluation of water fountains of public and private schools from Santa Rita city (PB), Brazil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, **23**(3), 431–435. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018159099>
- De Queiroz, T. M., de Oliveira, L. C. P. (2018) Water quality in vão grande quilombola communities, municipality of barra do bugres (MT) *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, **23**(1), 173–180. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018166375>
- De Souza, L., Lopes, C., Zeferino, S., Serbent, M. P., Goetten, W. J. (n.d.) *Qualidade da água das escolas públicas de ensino fundamental de Ibirama (SC)/BRASIL*. **4**, 563–587. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e42018563-587>
- Faria, C. P., Almendra, R., Dias, G. S., Santana, P., do Céu Sousa, M., de Freitas, M. B. (2021) Evaluation of the drinking water quality surveillance system in the metropolitan region of Rio de Janeiro. *Journal of Water and Health*, **19**(2), 306–321. <https://doi.org/10.2166/wh.2021.217>
- Ferreira, D. C., Grazielle, I., Marques, R. C., Gonçalves, J. (2021) Investment in drinking water and sanitation infrastructure and its impact on waterborne diseases dissemination: The Brazilian case. *Science of The Total Environment*, **779**, 146279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146279>
- Gomes, F. B. R., Assunção, T. de O. G. de, Nicolau, G. B., Cordeiro, P. F., Castro, S. R., Pereira, R. de O., Brandt, E. M. F. (2022) Occurrence of chemical substances in water supply systems of Brazil: a nonparametric approach for statistical analysis of Sisagua data. *Ciência e Natura*, **44**, (24) <https://doi.org/10.5902/2179460x63368>

- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2024) *Panorama das cidades*. Acesso em 10 jan. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). *Organização do território*. Acesso em: 10 jan. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2024) *Atlas de saneamento: Saneamento básico e saúde pública*. Rio de Janeiro: IBGE: 2021. 190 pp. Acesso em 12 jan. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_saneamento/#/home
- Mata, R. N da (2022) *Avaliação do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua)*, Brasil, 2014-2020. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva), Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, 166 pp.
- Melo, D. V. L., Barroso, R. G., Santos, F. R., Pinheiro, C. E., Oliveira, C. M.S. (2021) Applicability of statistical analysis for performance and reliability evaluation of large-scale water treatment plants with direct filtration systems. *Environmental Science And Pollution Research*, **28**(18), 22427-22438. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12288-5/Published>
- Morales, D., Molares, S., Epele, L., Ladio, A., Manzo, P., Alday, G. (2020) An interdisciplinary approach to perception of water quality for human consumption in a Mapuche community of arid Patagonia, Argentina. *Science of the Total Environment*, **720**, 137508. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137508>
- Oliveira Júnior, A., de Brito M. T., da Mata, R. N., dos Santos, F. S. G., de Oliveira, D. C., de Carvalho, J. L. B., de Araújo, W. N. (2019) Drinking Water Quality Surveillance Information System (SISAGUA): Characteristics, evolution and applicability. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, **28**(1) <https://doi.org/10.5123/S1679-49742019000100024>
- ONU, Organização das Nações Unidas (2021) *Mais de 4,2 bilhões de pessoas vivem sem acesso a saneamento básico*. Acesso em 10 jan. 2024. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/11/1733352>.
- PMB, Prefeitura Municipal de Belém (2020) *Plano municipal de saneamento básico de Belém*. Acesso em 10 jan. 2024. Disponível em: <https://arbel.belem.pa.gov.br/legislacao/pmsb-plano-municipal-de-saneamento-basico/>
- Queiroz, A. C. L., Cardoso, L. S. M., Silva, S. C. F da., Heller, L., Cairncross, S. (2012) Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua): lacunas entre a formulação do programa e sua implantação na instância municipal. *Saúde e Sociedade*, **21**(2), 465-478. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902012000200019>
- Ramadan, E. M., Fahmy, M. R., Nosair, A. M. M., Badr, A. M. (2019) Using geographic information system (GIS) modeling in evaluation of canals water quality in Sharkia Governorate, East Nile Delta, Egypt. *Modeling Earth Systems and Environment*, **5**(4), 1925–1939. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00618-7>
- Reitter, C., Petzoldt, H., Korth, A., Schwab, F., Stange, C., Hamsch, B., Tiehm, A., Lagkouvardos, I., Gescher, J., Hügler, M. (2021) Seasonal dynamics in the number and composition of coliform bacteria in drinking water reservoirs. *Science of the Total Environment*, **787**. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147539>
- Rodrigues, T. C. N. F., Szlafsztajn, C. F. (2022) medidas adaptativas autônomas diante a falha no abastecimento de água em Belém – PA. *Revista Geoamazonia*, **9**(18), 99. <http://dx.doi.org/10.18542/geo.v9i18.12816>.
- Santana, B. C., Forster, L. A., Mendes, A. P., Yamaguchi, K. L, Y. (2021) Análise de dados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua) no estado do Amazonas, 2016-2020. *Vigilância Sanitária Em Debate: Sociedade, Ciência Tecnologia*, **9**(4), 25–34. <https://doi.org/10.22239/2317-269x.01936>
- Silva, R. C., Silva S. M., Milhim, H. G.A, B., Rocha, P. D. S., Pelayo, S. J. (2019) Avaliação da presença e quantificação de coliformes totais e Escherichia coli em amostras de água destinada ao consumo humano proveniente de poços artesianos. *Ciências Biológicas e da Saúde*, **40**(2), 129–140. <https://doi.org/10.5433/1679-0367.2019v40n2p129>
- SINISA, Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (2022) *SNIS divulga os indicadores de saneamento com ano base de 2020*. Acesso em 15 jan. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel>.



- Trata Brasil (2020) *Novo estudo do Trata Brasil demonstra como a falta de saneamento afeta diretamente na saúde da população*. Acesso em 20 jan. 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/novo-estudo-do-itb-demostra-como-a-falta-de-saneamento-afeta-diretamente-na-saude-da-populacao/>
- Vasconcelos, C. H., Andrade, R. C. de, Bonfim, C. V., Resende, R. M. de S., Queiroz, F. B. de, Daniel, M. H. B., Grigoletto, J. C., Cabral, A. R., Redivo, A. L., Lacerda, J. C. V., Rohlf, D. B. (2016) Surveillance of the drinking water quality in the Legal Amazon: analysis of vulnerable areas. *Cadernos Saúde Coletiva*, **24**(1), 14–20. <https://doi.org/10.1590/1414-462x201500040142>
- Veiga, A. J. P. (2010) *Sustentabilidade urbana, avaliação e indicadores: um estudo de caso sobre Vitória da Conquista - BA*. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal da Bahia – UFBA: Salvador. 283 pp.