

## Avaliação da qualidade da água de um sistema de abastecimento no município de Itabaiana-SE: uma análise utilizando escalas de monitoramento

### *Evaluation of the water quality of a supply system in the municipality of Itabaiana-SE: an analysis using monitoring scales*

Anderson de Jesus Lima<sup>1</sup>, Augusto César Rezende Azevedo<sup>2</sup>, Maria Carolina Carvalho Santos<sup>3</sup>, Denise Conceição de Gois Santos Michelin<sup>4</sup>, Luciano Evangelista Fraga<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Sergipe, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-1804-5958>. E-mail: [andersoncivil2014@gmail.com](mailto:andersoncivil2014@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Sergipe, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-1049-648X>. E-mail: [augusttocezarrezende@gmail.com](mailto:augusttocezarrezende@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Sergipe, Brasil. <https://orcid.org/0000-0003-2014-8179>. E-mail: [carol\\_a\\_ata@hotmail.com](mailto:carol_a_ata@hotmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Sergipe, Brasil. <https://orcid.org/0000-0003-0091-8826>. E-mail: [denise\\_gois@yahoo.com.br](mailto:denise_gois@yahoo.com.br)

<sup>5</sup> Universidade Federal de Sergipe, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-4287-3817>. E-mail: [lucianofraga2004@yahoo.com.br](mailto:lucianofraga2004@yahoo.com.br)

#### Palavras-chave

Água potável  
Padrão de potabilidade  
Saúde pública  
Vigilância

Tão importante quanto tratar a água direcionada ao consumo humano é monitorar sua qualidade em uma rede de abastecimento, de modo a reduzir os riscos sanitários associados à distribuição de água contaminada. Assim, este trabalho objetivou avaliar a qualidade da água fornecida à população do município de Itabaiana/SE, Brasil, a partir dos parâmetros de monitoramento como cor aparente, turbidez, pH, cloro residual livre (CRL), coliformes totais e *Escherichia coli* em duas escalas: uma relacionada ao município (escala Sede) e outra relativa à parte de um bairro do município (escala Distrital). A partir deste estudo constatou-se alterações na qualidade da água entre as escalas; que diferenças entre a qualidade da água entre as estações seca e chuvosas só foram constatadas no parâmetro cor; houve forte correlação positiva entre cor e turbidez em ambas escalas e negativa fraca entre a distância do ponto do reservatório e a qualidade da água; que 75% das amostras possuíram pH adequado (6,0-9,5); que ambas escalas atenderam ao padrão de potabilidade para CRL em torno de 90%, para turbidez esse índice foi de 76% na Sede e 84% no Distrito e para cor foram de 48% e 20% para a Sede e o Distrito, respectivamente; e que nenhuma amostra da Sede possuía presença de coliformes totais e *E. coli*. Ainda que a água distribuída seja segura sob o ponto de vista sanitário, é inegável a necessidade de melhorias no sistema de abastecimento para que se atenda também ao padrão organoléptico para aumentar a satisfação entre os consumidores.

#### Keywords

Drinking water  
Drinking standard  
Public Health  
Surveillance

As crucial as treating water intended for human consumption is monitoring its quality in a supply network, in order to reduce the health risks associated with the distribution of contaminated water. Thus, this study aimed to evaluate the quality of water supplied to the population of the municipality of Itabaiana/SE, Brazil, from monitoring parameters such as apparent color, turbidity, pH, free residual chlorine (FRC), total coliforms and *Escherichia coli* in two scales: one related to the municipality (Seat scale) and another related to part of a neighborhood in the municipality (Neighborhood scale). From this study, changes in water quality were found between scales; that differences between water quality between the dry and rainy seasons were only found in the color parameter; there was a strong positive correlation between color and turbidity in both scales and a weak negative one between the distance from the reservoir point and the water quality; that 75% of the samples had an adequate pH (6.0-9.5); that both scales met the potability standard for CRL around 90%, for turbidity this index was 76% for the Seat and 84% for the Neighborhood and for color they were 48% and 20% for Seat and Neighborhood, respectively; and that no sample from Seat had the presence of total coliforms and *E. coli*. Although distributed water is safe from a sanitary point of view, the need for improvements in the supply system is undeniable, so that the organoleptic standard is also met in order to increase consumer satisfaction.

## INTRODUÇÃO

Apesar de ser um direito universal, o acesso ao saneamento básico é uma realidade distante de parte da população mundial. A exemplo, em 2015, aproximadamente 30% da população mundial não possuíam acesso à água potável gerenciada e segura, e 2,3 bilhões de pessoas necessitavam de serviço de saneamento básico (WHO; UNICEF, 2017). A implicação disso é a disseminação de doenças de veiculação hídricas como febre tifoide, cólera e

diarreia bacteriana, que resultam em perdas econômicas e humanas. Em se tratando somente de diarreia, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que morreram, em 2012, quase 1,5 milhões de pessoas em virtude dessa doença, sendo que 58% das mortes poderiam ter sido evitadas caso houvesse medidas sanitárias adequadas (WHO, 2014).

Com o intuito de promover o saneamento básico e melhorar as condições de saúde da população, o governo brasileiro sancionou a Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que instituiu a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), cujo principal objetivo é a universalização de acesso

ao saneamento básico (BRASIL, 2007). Apesar desse importante marco regulatório, foram registrados mais de 45.000 mortes por diarreias infecciosas desde sua promulgação até o ano de 2018 (BRASIL, 2018a), o que demonstra haver longo caminho até a universalização do saneamento básico, principalmente no que diz respeito ao abastecimento rural, redução de perdas no abastecimento, coleta e tratamento de esgotos.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), para o ano de 2019, 16,5% da população ainda não era atendida por sistemas de abastecimento de água. Além disso, em média, 39,2% do total de água potável produzida foi perdida durante a distribuição. Por fim, apenas 54,1% do esgoto gerado é coletado, e somente 75,9% desse montante é tratado, o que significa dizer que somente 49,1% de todo esgoto gerado é tratado (BRASIL, 2018b). Neste contexto, a maior parte dos esgotos gerados são encaminhados para corpos hídricos, nos quais promovem sua contaminação e contribuem com a propagação de doenças.

Diante do cenário de contaminação, é cada vez mais necessário que, antes de ser destinadas para consumo humano, a água passe por tratamento. Para que seja considerada potável, a água deve ser livre de substâncias nocivas à saúde humana e de características como odor e sabor imprópria ao consumo humano (VIANNA, 1997). Para o caso específico do Brasil, a água potável deve atender ao Padrão de Potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde (MS) por meio da Portaria do Gabinete do Ministro (GM) nº 888, de 04 de maio de 2021, (BRASIL, 2021). A portaria indica, dentre outros parâmetros, que a água para consumo humano deve apresentar cor aparente inferior a 15 uH, turbidez menor que 5 uT, concentração de cloro residual livre de 0,2 a 2,0 mg L<sup>-1</sup> (sendo permitido até 5 mg L<sup>-1</sup>) e pH entre 6,0 e 9,5, além de ausência, em 100 mL, de coliformes totais, *Escherichia coli* (*E. coli*) e bactérias heterotróficas, em qualquer ponto da rede (BRASIL, 2017). No Brasil, na maioria das vezes, para obter água potável, o tratamento da água é realizado em Estações de Tratamento de Água (ETA) de ciclo completo.

Quando as ETAs são denominadas de ciclo completo, submetem a água captada à processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (RICHTER, 2009). As unidades que antecedem a desinfecção objetivam a remoção ou redução da concentração de impurezas na água, ao passo que a desinfecção visa inativação de microrganismos potencialmente causadores de doenças. Na maioria das ETAs, a desinfecção é feita através da adição de compostos clorados (cloro gasoso, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio etc.) à água filtrada (LIBÂNIO, 2016).

Quando adicionado à água, o cloro atua na destruição ou inativação de bactérias patogênicas a partir da formação de ácido hipocloroso e ácido clorídrico, danoso à esses organismos (CIRTINA; CAPATINA, 2017). Além de sua capacidade desinfetante, o cloro é amplamente empregado devido ao seu potencial oxidativo, baixo custo, facilidade de operação e capacidade de manter concentração residual durante período de tempo adequado.

A concentração residual de desinfetante na água da rede de abastecimento é necessária para prevenir possíveis contaminações por patógenos, seja esses presentes no biofilme da tubulação ou oriundo da intrusão de contaminantes na rede (SCORSALFAVA *et al.* 2011; BENSOLTANE *et al.*, 2018). A presença de desinfetante residual na rede é medida a partir da concentração de Cloro Residual Livre (CRL).

Além da concentração de CRL, parâmetros de qualidade como turbidez, cor aparente, pH, coliformes totais, *Escherichia coli* (*E. coli*) e bactérias heterotróficas são frequentemente avaliados para conhecimento da qualidade da água ofertada. De acordo com a PRC nº 5/2017 (BRASIL, 2017), a vigilância da qualidade da água para consumo humano é uma atribuição do Ministério da Saúde juntamente com as Secretarias Estaduais e Municipais de saúde. Na prática, o monitoramento da qualidade da água é realizado pela Concessionária responsável pela distribuição ou pela Vigilância Sanitária do município, podendo contar com monitoramento independentes de cunho técnico ou científico.

Relativo aos monitoramentos independentes, diversos pesquisadores têm avaliado a qualidade da água fornecida para consumo humano nas mais variadas localidades. Dovidauskas *et al.* (2017) monitoraram a qualidade da água em 88 municípios localizados no nordeste do estado de São Paulo, durante o período de um ano, e demonstraram que dois municípios precisavam de ações corretivas no seu sistema de abastecimento, em virtude da grande quantidade de amostras indicadoras da presença de *E.coli* e com elevada concentração de nitratos. Moraes *et al.* (2016) avaliaram a qualidade da água distribuída em três bairros da cidade de Rio Verde-GO, em dois deles a concentração de CRL estava em desacordo com o padrão de potabilidade, o que indica a importância de monitoramentos independentes em escalas menores. Já Alves *et al.* (2017), Soares *et al.* (2018) e Palmeira *et al.* (2019) usaram dados municipais para qualificar a água fornecida nas cidades de Juazeiro do Norte-CE, Picos-PI e na região centro-oeste do estado de São Paulo, respectivamente. Demonstrando a viabilidade da utilização de dados públicos para a análise da qualidade da prestação do serviço de abastecimento de água.

Ainda em relação à qualidade da água para consumo humano, na Sede do município de Itabaiana, situado no agreste de Sergipe, o abastecimento de água é realizado de forma convencional. A água é captada em mananciais superficiais, tratada em ETA convencional, e direcionada a reservatórios elevados situados nos principais bairros da cidade, os quais alimentam a rede de distribuição de água até as ligações de águas nas edificações/economias. Tanto o abastecimento como o monitoramento da qualidade da água que chega aos consumidores é de desempenhado pela Companhia de Saneamento Estadual.

O monitoramento da Companhia é realizado em pontos para amostragem espalhados pela cidade, escolhidos preferencialmente em edificações públicas ou de grande circulação de pessoas, como escolas, igrejas, empresas etc. No entanto, apesar da Companhia alegar que a qualidade da

água fornecida atende ao Padrão de Potabilidade, alguns moradores reclamam da qualidade da água que recebem. Principalmente os que residem em regiões mais periféricas da cidade. É o caso do bairro Porto, no qual existe relatos de baixa qualidade da água no que diz respeito ao excesso de cor aparente, turbidez e, principalmente, cloro residual livre.

Apesar de ser fundamental na minimização dos riscos sanitários associados à contaminação da água de abastecimento, a concentração de CRL deve ser objeto de monitoramento, visto que, quando em excesso, pode ocasionar problemas de odor e sabor, além da formação de subprodutos carcinogênicos, que ocorre quando compostos clorados livres reagem com matéria orgânica presente na rede de distribuição, principalmente no biofilme aderido às tubulações (AL-ZAHRANI, 2016; BINDU; REDDY; PRASAD, 2018a).

Assim, a fim de verificar a qualidade da água distribuída no município e a legitimidade das queixas sobre a água do bairro, norteado pela importância do monitoramento da qualidade da água fornecida para consumo humano como ferramenta de controle sanitário de doenças e promoção da saúde pública, este trabalho objetivou avaliar a qualidade da água distribuída à população do município de Itabaiana - SE a partir de duas escalas de análises: escala municipal – considerando a sede do município; e escala distrital – englobando parte do bairro Porto, na qual as queixas eram mais frequentes.

## MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa de campo aplicada, de abordagem quantitativa e cunho descritivo e experimental, desenvolvida a fim de averiguar possíveis discrepâncias entre a qualidade da água fornecida para a sede do município de Itabaiana e a efetivamente recebida em regiões periféricas da cidade, mais especificamente em uma parte do bairro Porto. Assim, foi analisada a qualidade da água de abastecimento sob o aspecto de duas escalas de monitoramento, municipal e distrital, no período de fevereiro a setembro de 2019.

A escala municipal referiu-se à água distribuída na sede da cidade – escala Sede, distribuída a partir da ETA, não sendo considerados pontos localizados na área rural. Para essa escala utilizou-se dados dos relatórios de monitoramento de qualidade cedidos pela Companhia de Saneamento Estadual, no qual constavam resultados das análises de cor aparente,

turbidez, cloro residual livre, coliformes totais e *E. coli*, em 26 pontos amostrais distribuídos na sede do município.

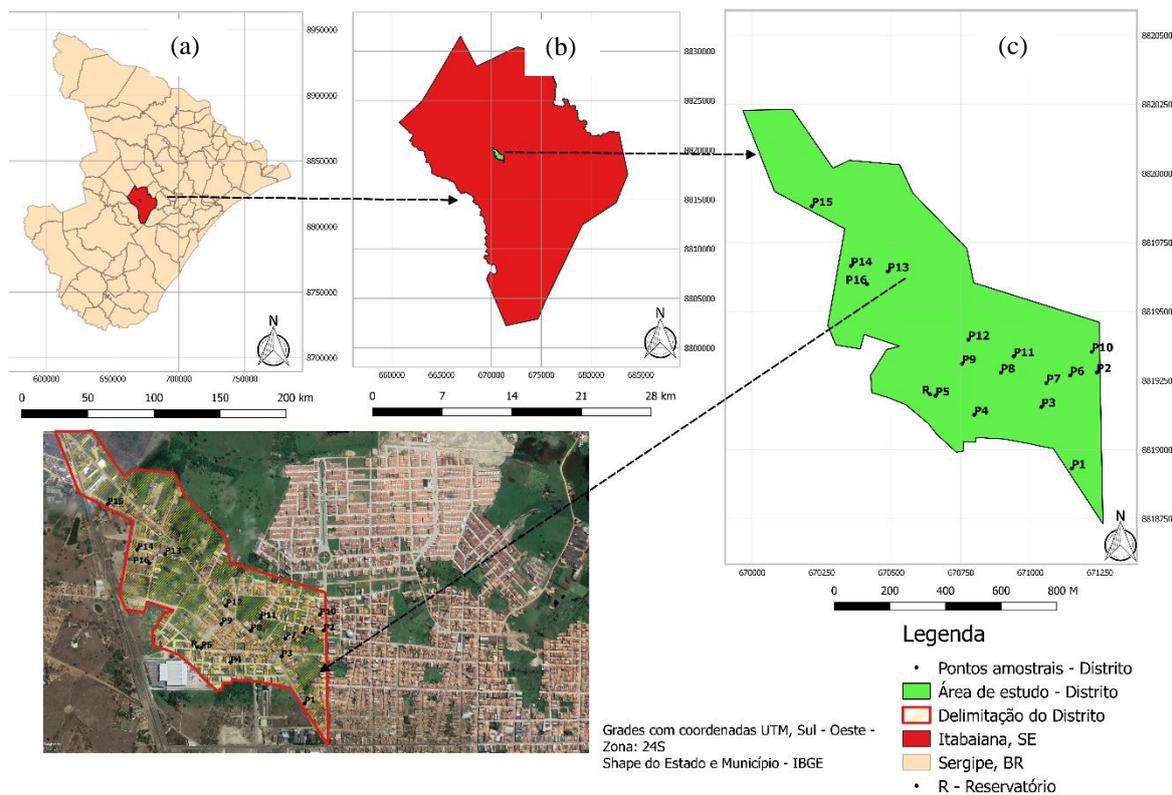
Para avaliação da qualidade da água em escala restrita (Distrital) pertencente à rede de distribuição, mais especificamente logo após o hidrômetro da edificação, foi executado monitoramento independente, no qual se analisou os parâmetros físico-químicos cor aparente (uH), turbidez (uT), potencial hidrogeniônico (pH) e Cloro Residual Livre (mg L<sup>-1</sup>).

## ÁREA DE ESTUDO, TAMANHO DA AMOSTRA E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS

O município de Itabaiana (escala Sede) com área de 337.295 km<sup>2</sup>, está localizado no agreste Sergipano, é a quarta cidade mais populosa do Estado, sendo 96.839 habitantes a população estimada em 2021 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2021). Economicamente, o município de Itabaiana se destaca pela sua consolidada vocação comercial e de prestação de serviços, de onde advém a maior contribuição para as riquezas geradas, se notabilizando como um dos maiores polos comerciais do Estado. No campo, se destacam a agricultura familiar que fornecem produtos como hortaliças, raízes e oleaginosos para diversas regiões do Estado. No âmbito industrial se sobressai a indústria de joias e semijoias e a cadeia produtiva de implementos para caminhões. Em razão do primeiro o município é conhecido como a “Cidade do Ouro”, e em virtude da segunda razão recebeu, através da Lei nº 13.044 (BRASIL, 2014), o título de “Capital Nacional do Caminhão”.

A área de estudo da escala Distrital correspondeu a parte mais antiga do bairro Porto, abrangendo área de aproximadamente 1.420 km<sup>2</sup>. Trata-se de uma área predominantemente residencial, potencializada com a implantação do Compus “Professor Alberto Carvalho” da Universidade Federal de Sergipe em sua proximidade. Nesse distrito, a distribuição de água é feita a partir de um mesmo reservatório elevado. O traçado de rede de abastecimento da área de estudo é constituído de um polígono fechado, o que garante que a água que chega em qualquer ponto amostral vem do mesmo reservatório, possibilitando a execução do estudo sem que haja interferências pela contribuição de outros reservatórios da rede de distribuição.

**Figura 1.** Estado de Sergipe (a), município de Itabaiana (escala Sede) (b), indicação da escala Distrital e localização dos seus pontos amostrais (c) e do reservatório elevado.



Fonte: adaptado de IBGE (2020) e Google Earth (2020).

Como não havia estudo a respeito do total de habitantes da área Distrital, obteve-se o perfil do bairro a partir de levantamento de campo, com definição da tipologia das edificações e suas respectivas quantidades (Tabela 1), e a

partir disso estimar sua população.

**Tabela 1.** Caracterização da área de estudo Distrital.

| Tipologias da edificação                          | Quantidade | Tipologias da edificação                     | Quantidade  |
|---|------------|--|-------------|
| Residências simples                               | 884        | Estabelecimentos comerciais                  | 75          |
| 2 Pavimentos residenciais                         | 51         | Estabelecimentos públicos                    | 10          |
| 2 Pavimentos misto (residencial e comercial)      | 46         | Residências desocupadas ou ligações inativas | 68          |
| 3 Pavimentos residencial ou misto                 | 10         | Garagens                                     | 22          |
| <b>Número total de ligações de água/economias</b> |            |  | <b>1215</b> |

A partir do número de edificações da área Distrital se estimou a população atendida na região, considerando que cada edificação abastecia cinco pessoas, o que estima a população em 6.075 habitantes. Com base nesse número e de acordo com a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano seriam necessárias, no mínimo, nove amostras para o correto monitoramento de área (BRASIL, 2016).

Por critérios de segurança, estabeleceu-se 16 pontos amostrais para coleta de água para análises dos parâmetros de qualidade. Os pontos foram escolhidos considerando os

critérios estabelecidos na referida Diretriz: edificações com fluxo de pessoas como mercearias (P8 e P11) e igrejas (P2); de população vulnerável – Posto de Saúde (P3); ligações no início da rede (ponto mais próximo ao reservatório, sendo neste trabalho representado por P5, localizado ao lado do reservatório elevado); pontos nas extremidades do sistema (P1, P10 e P12). Os demais pontos amostrais (4, 6, 7, 9, 13, 14 e 15) foram distribuídos de modo a homogeneizar espacialmente a distribuição amostral.

## PROCEDIMENTOS DE COLETA, TRANSPORTE E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Seguindo o que recomenda a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (BRASIL, 2016) e o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB; ANA, 2011), as amostras de água foram coletadas em torneira existente imediatamente após o hidrômetro da edificação e armazenadas em garrafas de Politereftalato de etileno (PET), previamente higienizadas com lavagem em solução  $\text{HNO}_3$  a 10 % v/v e água destilada. Antes da coleta, as torneiras eram abertas por dois/três minutos, procedendo, então, com a triple lavagem do recipiente e posterior coleta das amostras. Imediatamente, as amostras foram armazenadas em caixas térmicas com bolsas de gelo, (temperatura de acondicionamento de  $4^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ , aferida em Termômetro digital infravermelho de mira laser) e transportadas ao Laboratório de Pesquisa Química II (LAPEQ II) da Universidade Federal de Sergipe, Campus Professor Alberto Carvalho, Itabaiana/SE, para análise do teor de CRL e  $\text{pH}^*$  e ao Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente (SAMA) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe, Campus Professor José Aloiso Campos, São Cristóvão/SE, para as análises de cor aparente, turbidez e  $\text{pH}$  (denominado de  $\text{pH}^{**}$ ).

Como pode ser observado, a mensuração do parâmetro químico  $\text{pH}$  ocorreu em dois momentos ( $\text{pH}^*$  e  $\text{pH}^{**}$ ), com intuito de acompanhar de forma mais realística a possível variação do parâmetro supracitado, ambos referentes à amostragem de monitoramento do Distrito. Analisou-se este parâmetro em dois momentos, a fim de se verificar se o tempo entre as análises de  $\text{pH}$  influenciava de forma significativa esse parâmetro.

Todas as análises seguiram os métodos padrões estabelecidos por APHA (2017). As análises de cor aparente e turbidez foram realizadas em duplicata, a partir do Colorímetro Hach DR/890. Para determinação das concentrações de CRL utilizou-se o método colorimétrico DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamina) a partir de Espectrofotômetro de Absorção Molecular UV/Vis da marca UV 1800 e cubeta de quartzo de 1,0 cm de caminho ótico (Hellma e Beckmann), realizando as análises em triplicata, sendo registrados espectros de absorção molecular na região de 200 a 800 nm,

com destaque na absorção máxima de 515 nm para o produto da reação entre o CRL e o DPD. Todos os reagentes utilizados apresentavam grau de pureza, ocorrendo que o valor de referência adotado foi a média aritmética dos resultados das análises. Ambas as análises de  $\text{pH}$  foram processadas em pHmetro Orion 210A.

## ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Na análise e tratamento dos dados foi utilizado estatística descritiva (média e desvio padrão) e testes estatísticos como U de Mann-Whitney, Kruskal-Wallis, Correlação de Spearman, mediante uso do software *IBM SPSS*, todos com Nível de Confiança de igual a 95%, ou seja, nível de significância (p-valor de referência) de 5%. Antes da definição dos testes a serem aplicados para inferências e comparação entre os dados, realizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, a fim de verificar se as séries de dados avaliadas seguiam a distribuição normal ou não, podendo então, a partir dessa conclusão, discernir entre testes paramétricos e não-paramétricos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### DIFERENÇAS NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA MONITORADOS

#### (a) Quanto à escala de monitoramento

A avaliação da qualidade da água em escala menor (escala Distrital) do que adotada pela Companhia de Saneamento ajuda a compreender se os resultados do monitoramento Sede representam bem qualquer área do município. Da avaliação das diferenças entre as características físico-químicas da água monitorada nas escalas Sede e Distrital consideradas neste estudo como cor aparente, turbidez e CRL constatou-se resultados semelhantes nos dois locais monitorados. A Tabela 2 apresenta a média e desvio-padrão dos parâmetros observados em todos os pontos amostrais para as escalas, em cada mês e para todo período de monitoramento.

**Tabela 2.** Valores médios e desvio padrão da cor aparente, turbidez e CRL para as escalas Sede e Distrital no período de fevereiro a setembro de 2019.

|                  | Sede              |                   |                            | Distrito          |                 |                            |
|------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|-----------------|----------------------------|
|                  | Cor aparente (uH) | Turbidez (uT)     | CRL ( $\text{mg L}^{-1}$ ) | Cor aparente (uH) | Turbidez (uT)   | CRL ( $\text{mg L}^{-1}$ ) |
| <b>Fevereiro</b> | 14,00 $\pm$ 4,62  | 7,43 $\pm$ 8,04   | 2,95 $\pm$ 1,06            | 24,93 $\pm$ 9,87  | 2,10 $\pm$ 2,96 | 1,01 $\pm$ 0,31            |
| <b>Março</b>     | 46,40 $\pm$ 48,04 | 4,71 $\pm$ 3,54   | 2,58 $\pm$ 0,85            | 64,71 $\pm$ 27,74 | 5,25 $\pm$ 3,20 | 0,66 $\pm$ 0,38            |
| <b>Abril</b>     | 19,80 $\pm$ 6,76  | 2,90 $\pm$ 2,64   | 3,00 $\pm$ 0,87            | 31,29 $\pm$ 22,36 | 1,33 $\pm$ 1,22 | 0,42 $\pm$ 0,26            |
| <b>Mai</b>       | 27,20 $\pm$ 24,37 | 3,50 $\pm$ 2,88   | 2,71 $\pm$ 1,19            | 60,00 $\pm$ 45,08 | 6,64 $\pm$ 6,00 | 0,57 $\pm$ 0,21            |
| <b>Junho</b>     | 16,33 $\pm$ 10,12 | 6,40 $\pm$ 4,50   | 3,16 $\pm$ 0,85            | 36,56 $\pm$ 30,94 | 3,33 $\pm$ 2,45 | 0,66 $\pm$ 0,25            |
| <b>Julho</b>     | 31,00 $\pm$ 33,27 | 13,33 $\pm$ 11,58 | 2,89 $\pm$ 1,11            | 17,50 $\pm$ 9,09  | 2,60 $\pm$ 0,89 | 0,57 $\pm$ 0,14            |
| <b>Agosto</b>    | 23,50 $\pm$ 32,14 | 7,50 $\pm$ 6,82   | 2,89 $\pm$ 0,90            | 8,18 $\pm$ 6,35   | 0,00 $\pm$ 0,00 | 0,62 $\pm$ 0,21            |

|                              |               |             |             |               |             |             |
|------------------------------|---------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| <b>Setembro</b>              | 18,13 ± 6,50  | 6,13 ± 3,38 | 2,78 ± 1,00 | 30,25 ± 9,78  | 1,67 ± 0,58 | 0,47 ± 0,16 |
| <b>Média ± Desvio padrão</b> | 26,74 ± 30,18 | 6,87 ± 7,45 | 2,86 ± 0,99 | 33,88 ± 31,24 | 2,97 ± 3,72 | 0,62 ± 0,30 |

O desvio padrão dos parâmetros analisados são mais próximos das médias para o monitoramento Distrital. Isso se deve ao fato que, para a escala Distrital, tal grandeza foi calculada considerando os resultados das análises em duplicata, ou seja, mede a variabilidade dos resultados das análises de uma mesma amostra. Já no caso da escala Sede, o desvio padrão foi calculado a partir de resultados de monitoramentos de amostras distintas, pois para o mesmo ponto existiam dados para mais de uma campanha no mesmo mês, o que justifica maior variação.

Ainda sob o ponto de vista global, considerando as médias obtidas no monitoramento, a cor aparente da água que abastecia o Distrito apresentou valor superior a observada na Sede. Porém, os parâmetros turbidez e CRL apresentaram médias inferiores para esta região. A fim de se avaliar estatisticamente estas diferenças aplicou o teste U de Mann-Whitney. O teste demonstrou haver diferenças entre as distribuições estatísticas das séries de dados formadas por todos os valores de cor aparente, turbidez e cloro residual, em escala Sede e Distrital. Para cor aparente e CRL, com p-valor=0, e para turbidez p-valor= 0,003. Logo, considerando todas as análises monitoradas, a água distribuída na Sede apresentou menor valor para cor aparente e maior valor para turbidez e concentração de CRL.

Relativo à análise mensal foi observado que as médias mensais para os parâmetros cor aparente, turbidez e CRL seguem, de modo geral, o comportamento observado na análise global: menores valores de cor aparente na Sede e menor turbidez e concentração de cloro residual livre no Distrito. Frente à existência de diferenças nas médias mensais entre as escalas de monitoramento, foi empregado os testes

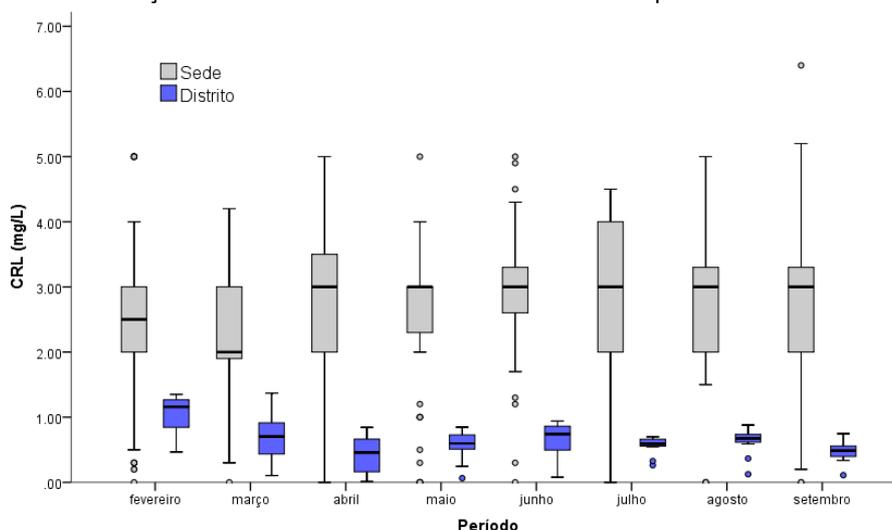
de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para determinar em quais meses essas diferenças foram estatisticamente significativas e para quais parâmetros.

Com relação à cor aparente, o teste demonstrou que somente nos meses de março, abril e junho este parâmetro diferiu estatisticamente entre as escalas. De modo que, conforme a Tabela 2, a cor aparente das amostras de água coletadas no Distrito apresentou valores maiores que as coletadas na Sede. Relativo à turbidez, foram constatadas diferenças estatisticamente significativas nos meses de março e agosto, sendo que, para ambos os casos a média na Sede foi superior à do Distrito.

As diferenças observadas para a cor aparente e turbidez em março podem ter origem no fato de que, no momento das coletas, o fornecimento havia começado a ser retomado depois de uma interrupção no dia anterior, o que pode ter comprometido a qualidade da água. Segundo Medri *et al.* (2012), a intermitência do sistema de abastecimento gera pressão negativa na rede, que, por sua vez, possibilita a entrada de água contaminada ou impurezas a partir de trechos da rede não efetivamente estanques.

A concentração de CRL foi o parâmetro que apresentou comportamento mais discrepante entre as escalas, como demonstra a Figura 2. Somente nos meses de março e abril, as séries de dados foram estatisticamente próximas. Nos demais meses, a concentração de CRL das amostras coletadas no Distrito era estatisticamente menor do que a observada nas amostras da Sede.

**Figura 2.** Variação da concentração de CRL entre as escalas Sede e Distrital no período de fevereiro a setembro de 2019.



A respeito do exposto, algumas ressalvas podem ser feitas. A primeira refere-se a forma como foram feitas as análises: nas campanhas para o monitoramento da qualidade da água na Sede, as análises de CRL foram processadas em campo, já no

monitoramento do Distrito as amostras foram acondicionadas para serem analisadas em laboratório. Sabidamente, a concentração de cloro residual livre apresenta propriedade de decaimento, frequentemente

caracterizado por um modelo cinético de primeira ordem, de maneira que, devido à sua natureza reativa, a concentração de cloro residual livre varia ao longo do tempo, e de um local para outro (GOYAL; PATEL, 2017; ROTH; CORNWELL, 2018).

Silva *et al.*, (2019) realizaram testes de garrafa para avaliar o decaimento da concentração de CRL após a sua coleta. Para a temperatura média de 26,6°C os autores obtiveram redução média inferior a 0,5 mg.L<sup>-1</sup> na concentração de CRL após 75 minutos. Dessa forma, o tempo transcorrido entre a coleta e as análises das amostras coletadas no Distrito pode não ter sido relevante no sentido de levar a concentração de CRL elevada – conforme relata moradores, à concentrações médias de CRL abaixo de 1,0 mg.L<sup>-1</sup>. Outrossim, o próprio monitoramento da concessionária não apresentou tendências de altas concentrações de CRL.

Outro aspecto a se considerar foi que as coletas das amostras do Distrito foram realizadas no início da manhã, antes do horário de pico, ou seja, em horário de pouca demanda. Desse modo, é plausível a hipótese de que a água coletada estivesse parada ou com velocidade reduzida, ocorrendo o decaimento da concentração de cloro durante seu período de inércia. De acordo com Mirel *et al.* (2015), em regiões onde o consumo é pequeno, a água tende a ficar parada, favorecendo a diminuição da concentração de cloro residual. Isso vem ao encontro da afirmação de Kim e Kim (2017) que a concentração de cloro residual tende a diminuir mais rapidamente em condições estáveis, ou seja, pouco fluxo hídrico, do que em condições instáveis.

Por fim, fatores como a concentração inicial do cloro na rede, material das tubulações, características química da água,

composição biológica da água e do biofilme das paredes dos tubos; condições de fluxo e temperatura na rede influenciaram na concentração de cloro residual livre (SAVANE *et al.*, 2019). Ademais, é provável que as reclamações quanto ao CRL no Distrito na realidade estejam associadas a percepção dos moradores quando sente o cheiro de cloro na água, e ao seu aspecto embranquecido ao sair da torneira, que na verdade são bolhas de ar aeradas pela pressão da rede, não tendo relação com a concentração de cloro.

### (b) Quanto à sazonalidade

Nas análises dos efeitos da sazonalidade na qualidade da água de abastecimento, por se tratar de uma cidade localizada na região nordeste do país, convencionou-se como estação chuvosa os meses de abril a julho, e estação seca o período que compreende os meses de fevereiro, março, agosto e setembro, considerando o intervalo do monitoramento.

Na Tabela 3 são apresentadas as médias dos parâmetros cor aparente, turbidez e CRL, nos períodos seco e chuvoso, para o monitoramento em escala Sede e Distrital. Enquanto que a Tabela 4 demonstra os resultados do teste de Kruskal-Wallis pelo qual comparou-se, estatisticamente os valores obtidos para os parâmetros cor aparente, turbidez, cloro residual livre e pH (sendo esse somente para amostras do Distrito), tomando como base a sazonalidade e as escalas de monitoramento.

**Tabela 1.** Média e desvio padrão dos parâmetros cor aparente, turbidez e CRL, monitorados nos períodos chuvoso e seco, para as escalas Sede (S) e Distrito (D).

| Escala   | Período | Cor aparente (uH) | Turbidez (uT) | CRL (mg L <sup>-1</sup> ) |
|----------|---------|-------------------|---------------|---------------------------|
| Sede     | chuvoso | 21,52 ± 16,16     | 4,44 ± 5,54   | 2,77 ± 1,17               |
|          | seco    | 20,47 ± 19,16     | 4,87 ± 6,93   | 2,62 ± 1,11               |
| Distrito | chuvoso | 45,56 ± 39,48     | 3,63 ± 3,64   | 0,55 ± 0,23               |
|          | seco    | 36,27 ± 30,47     | 2,82 ± 3,05   | 0,70 ± 0,34               |

**Tabela 2.** Resultados de p-valor das diferenças estatísticas para os parâmetros cor aparente, turbidez, CRL e pH, entre os períodos chuvoso (abril a julho) e seco (fevereiro, março, agosto e setembro), interescalas e entre escalas (p-valor de referência = 0,05).

|               |                           | Cor aparente | Turbidez | CRL   | pH*   | pH**  |
|---------------|---------------------------|--------------|----------|-------|-------|-------|
| Interescalas  | chuvosa (S) x seca (S)    | 0,027        | 0,523    | 0,860 | -     | -     |
|               | chuvosa (D) x seca (D)    | 1,000        | 1,000    | 0,698 | 0,000 | 0,488 |
| Entre escalas | chuvosa (S) x chuvosa (D) | 0,000        | 0,851    | 0,000 | -     | -     |
|               | seca (S) x seca (D)       | 0,003        | 0,072    | 0,002 | -     | -     |

pH\* - refere-se à leitura de pH imediatamente antes das análises de CRL.

pH\*\* - refere-se à leitura de pH imediatamente antes das análises de cor aparente e turbidez.

Semelhantemente ao verificado por Asgharia *et al.* (2019) houve aumento da turbidez na estação seca na escala Distrital. No entanto, esse aumento não foi estatisticamente significativo, a partir da qual se percebe que a turbidez da água não sofreu influência estatística significativa da sazonalidade, tanto interescalas quanto entre escalas.

No tocante à concentração de cloro residual livre, a Tabela 3 ilustra que, na escala Sede, a maior foi alcançada no período chuvoso. Ao avaliar a variação temporal da CRL em um rede de abastecimento, Mortula *et al.* (2019) também concluíram que a concentração desse parâmetro era mais expressiva durante o inverno, possivelmente associada aos efeitos das

temperaturas mais amenas na cinética de decaimento da concentração de cloro.

Apesar das médias de CRL serem distintas, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os períodos, nem na escala Sede (p-valor = 0,860) nem na Distrital (p-valor = 0,698), uma vez que o p-valor calculado através do teste estatístico foi superior a 5%. Na realidade, para esse parâmetro, só foi verificada diferenças estatisticamente significativas na comparação das estações entre as escalas. De maneira que a concentração de CRL no período seco (p-valor = 0,002) e chuvoso (p-valor = 0) do Distrito diferiram dos seus pares na Sede. Provavelmente, essas divergências têm origem nas próprias diferenças mês a mês.

Com relação à cor aparente, mesmo tendo apresentado médias praticamente iguais no período seco e chuvoso, na Sede, foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre as médias (p-valor = 0,027), o que não ocorreu para cor aparente do Distrito. O exposto assinala que a qualidade da água em regiões menores pode não sofrer influência da sazonalidade quanto à cor aparente. Além disso, os dados indicam haver diferenças estatisticamente significativas entre as escalas quanto aos períodos seco (p-valor = 0,003) e chuvoso (p-valor = 0), ratificando as diferenças mensais atestadas anteriormente.

Foram constatados efeitos da sazonalidade sob os valores de pH medidos no primeiro momento (pH\*) apresentou p-

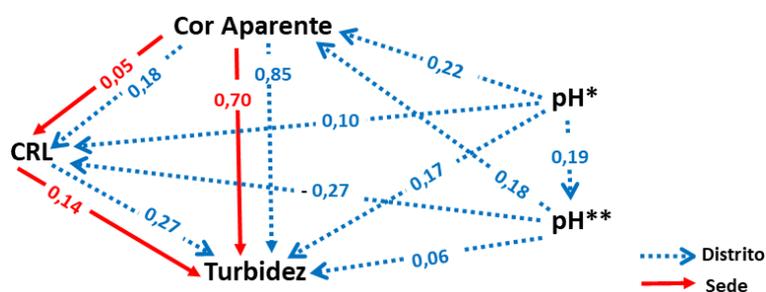
valor = 0, contudo, o mesmo não ocorreu para as medições no segundo momento (pH\*\*), p-valor = 0,488. Isso pode ser devido ao fato de que os dados observados na primeira condição retratam melhor a situação de campo, uma vez que o pH da água pode ter sido alterado até que fosse realizado sua análise na segunda situação, principalmente, em decorrência das reações de consumo de cloro na água. Dandadzi, Hoko e Nhiwatiwa (2019) sugerem que a água tende a se tornar mais alcalina com o decréscimo da concentração de cloro.

Ao aplicar o teste de Kruskal-Wallis para realizar comparações mês a mês das medidas de pH na primeira e segunda situação (pH\* e pH\*\*, respectivamente), para identificar quais meses podem ter contribuído com a influência sazonal, foram encontradas diferenças estatisticamente significativas somente no mês de junho, apresentando p-valor igual a zero.

### (c) Correlações e análise espacial da área Distrital

Avaliou-se a correlação entre os parâmetros monitorados na Sede e no Distrito, aplicando o teste de correlação não-paramétrico de Spearman (Figura 3).

**Figura 3.** Coeficientes de correlação de Spearman da comparação entre os parâmetros monitorados nas escalas Sede e Distrito no município de Itabaiana, Sergipe no período de fevereiro a setembro de 2019



Foram constatadas correlação positiva de magnitude forte (0,70 – 0,89) somente entre os parâmetros cor aparente e turbidez, nas duas escalas de monitoramento. Os demais parâmetros apresentaram correlação positiva de magnitude fraca (0,20 – 0,39) e muito fraca (0,00 – 0,19) respectivamente. Destaca-se que, apesar do traçado da rede de abastecimento ser fechado, no qual se garante que todos os pontos estudados receberam água proveniente do reservatório (situado nas proximidades aos P5), verificou-se a relação entre a distância do ponto amostral ao reservatório e os valores dos parâmetros monitorados através da correlação de Spearman.

A partir do teste, constatou-se que houve baixa correlação entre a distância do ponto ao reservatório e seus resultados amostrais para os parâmetros cor aparente, turbidez, CRL e pH. Contudo, ainda que tenha apresentado valores baixos nos

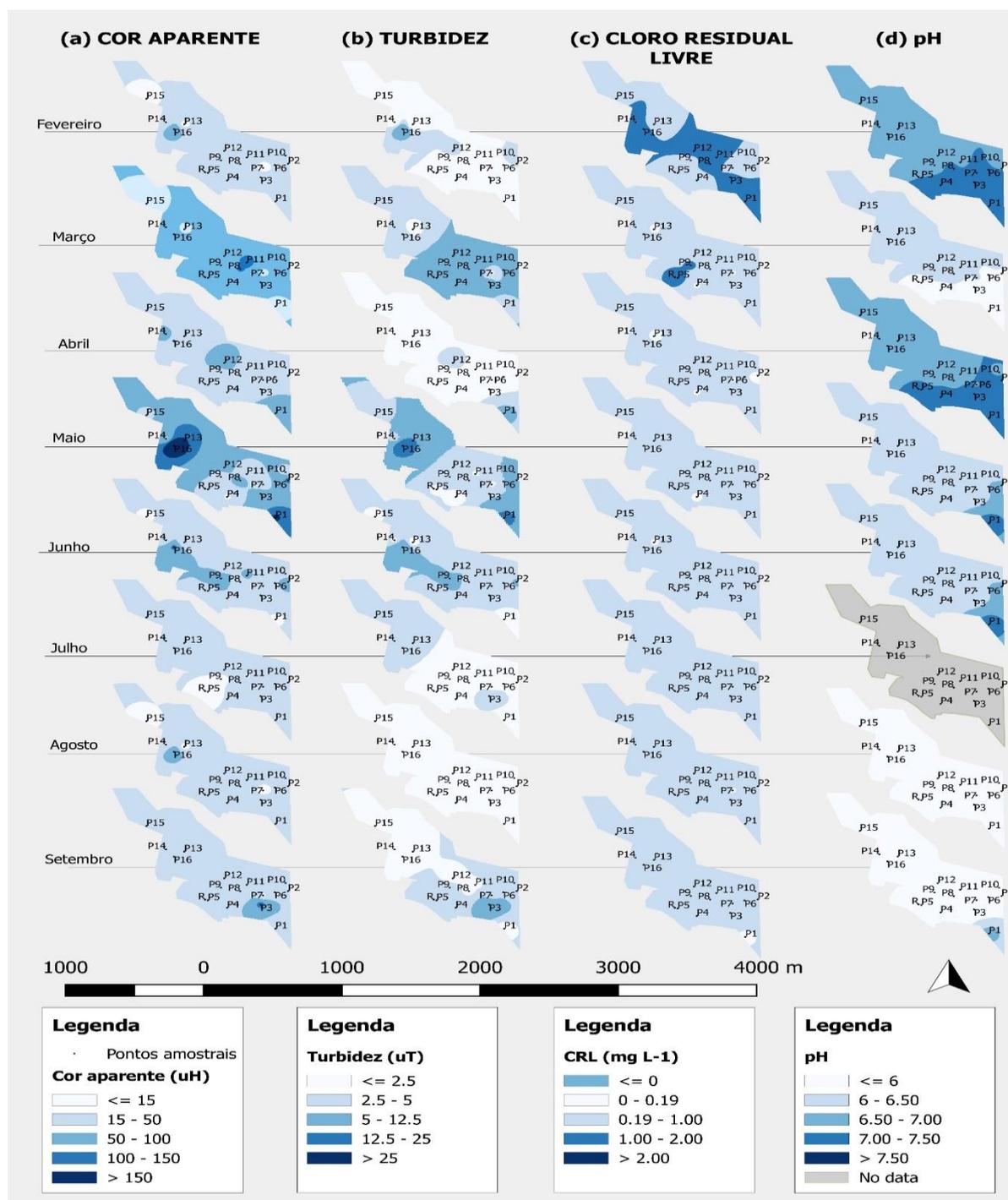
coeficientes de correlação, foram constatadas correlação negativa entre a posição do ponto na rede, quanto a sua origem, e os parâmetros de qualidade da água, sendo os coeficientes de correlação para cor aparente, turbidez e CRL igual a -0,14, -0,05 e -0,24 respectivamente. Em geral, quanto mais próximo um ponto está da fonte de suprimento maior sua concentração de cloro (BINDU; REDDY; PRASAD, 2018b).

Todavia, para este trabalho, o consenso de que quanto mais distante da origem pior a qualidade da água ou menor é a concentração de cloro não é válida para todas as situações. Visto que, tomando a análise de referência a Figura 4, a qual apresenta a distribuição espacial e temporal dos valores de cor aparente, turbidez, CRL e pH (na primeira situação), nota-se que não necessariamente os pontos mais distantes do ponto P5 (vizinho ao reservatório) apresentavam menores valores de cor aparente e turbidez ou maior concentração de

cloro residual livre. Isso significa que não é possível generalizar a relação de distância *versus* concentração, conforme exposto por Bindu, Reddy e Prasad (2018b). Fatores hidráulicos (pressão, vazão, velocidade etc.), particularidades dos tubos condutores de água (diâmetro, rugosidade associada ao tempo de uso etc.), podem favorecer o consumo do CRL ao longo da rede de distribuição de água.

Ao aplicar a mesma ferramenta, Gutierrez *et al.* (2017) constataram correlação de magnitude moderada entre os parâmetros cor aparente e turbidez ( $\rho=0,63$ ), enquanto que Ribeiro *et al.* (2017) obtiveram o coeficiente  $\rho$  igual a 0,96, demonstrando haver correlação de magnitude muito forte entre eles.

Figura 4. Distribuição espacial e temporal dos parâmetros cor aparente, turbidez, CRL e pH.



## ATENDIMENTO AO PADRÃO DE POTABILIDADE

O Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde decompõe o padrão de potabilidade em três componentes: padrão microbiológico, padrão para substâncias químicas e padrão organoléptico. O primeiro diz respeito a microrganismos capazes de promover danos à saúde humana como cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.* ou organismos que indicam a presença de patógenos como *Escherichia coli (E. coli)*, bactérias heterotróficas e coliformes totais. O segundo se refere às substâncias químicas nocivas à saúde quando em

concentrações acima dos limites máximos permitidos (VMP). E o terceiro trata de parâmetros de qualidade capaz de provocar estímulos sensoriais que interferem na aceitação por parte dos consumidores, a exemplo os parâmetros pH, CRL, cor aparente e turbidez.

Para observar se dentre os parâmetros estudados na escala Sede tiveram amostras em desacordo com os padrões de potabilidade citados em Brasil (2017), elaborou-se a Tabela 5 com informações de número total de amostras analisadas mensalmente e o número e percentual de amostras que não atenderam ao padrão de potabilidade, para os parâmetros cor aparente, turbidez e CRL monitorados na escala Sede.

**Tabela 5.** Número de amostras fora do padrão de potabilidade – Sede.

| Mês              | n   | Cor aparente | Turbidez     | CRL                   |                       |
|------------------|-----|--------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
|                  |     | >15uH        | >5uT         | <0,2mgL <sup>-1</sup> | >2,0mgL <sup>-1</sup> |
| <b>Fevereiro</b> | 75  | 22 (29,33%)  | 9 (12,00%)   | 1 (1,33%)             | 42 (56,00%)           |
| <b>Março</b>     | 72  | 68 (94,44%)  | 15 (20,83%)  | 1 (1,38%)             | 35 (48,61%)           |
| <b>Abril</b>     | 69  | 54 (78,26%)  | 9 (13,04%)   | 1 (1,45%)             | 48 (69,57%)           |
| <b>Mai</b>       | 61  | 45 (73,77%)  | 7 (11,48%)   | 5 (8,20%)             | 47 (77,05%)           |
| <b>Junho</b>     | 58  | 20 (34,48%)  | 14 (24,14%)  | 1 (1,72%)             | 51 (87,93%)           |
| <b>Julho</b>     | 80  | 39 (48,75%)  | 35 (43,75%)  | 4 (5,00%)             | 59 (73,75%)           |
| <b>Agosto</b>    | 99  | 30 (30,30%)  | 34 (34,34%)  | 3 (3,03%)             | 73 (73,74%)           |
| <b>Setembro</b>  | 81  | 31 (38,27%)  | 22 (27,16%)  | 2 (2,47%)             | 59 (72,84%)           |
| <b>Total</b>     | 595 | 309 (51,93%) | 145 (24,37%) | 18 (3,03%)            | 414 (69,58%)          |

No total, 51,93% das amostras medidas na Sede para cor aparente não atendiam o padrão de potabilidade, sendo março o mês mais crítico, em que 94,44% das amostras possuíram cor aparente superior a 15 uH. Com relação à turbidez, 24,37% das amostras analisadas não estavam de acordo com o padrão de potabilidade, sendo o mês de julho o que apresentou pior desempenho, 43,75% das amostras estavam fora do padrão.

Em geral, os parâmetros cor aparente e turbidez são associados ao padrão organoléptico de potabilidade, que está relacionado à aceitação da água por parte de quem a consome (DANIEL; CABRAL, 2011). Mesmo não sendo parâmetros intrinsecamente relacionados à segurança sanitária da água, são responsáveis por acionar o “sinal de alerta” quanto à qualidade da água, sugerindo a necessidade de averiguação da existência de contaminantes microbiológicos patogênicos. No caso deste trabalho, mesmo apresentando altos percentuais de amostras fora dos padrões conferidos pela legislação vigente acerca dos parâmetros cor aparente e turbidez, não se pode afirmar que a qualidade da água estivesse comprometida do ponto de vista sanitário, uma vez que, todas as amostras analisadas durante o monitoramento da Sede estavam livres da presença de coliformes totais e *E. coli*, notáveis indicadores de contaminação. Dessa forma, os valores elevados de turbidez e cor aparente podem estar associados à aspectos estruturais e operacionais do sistema de abastecimento, como tubulações antigas ou pressões negativas na rede.

A respeito da concentração de cloro residual livre, a Tabela 5 exibiu o número de amostras cuja concentração foi inferior a 0,2 mg L<sup>-1</sup> e a quantidade de amostras com concentração superior a 2,0 mg L<sup>-1</sup>. Nenhuma amostra apresentou concentração de CRL superior ao valor máximo permitido (5,0 mg L<sup>-1</sup>), no entanto, em muitas ocasiões os valores de CRL superaram o valor recomendado (2,0 mg L<sup>-1</sup>), motivo pelo qual se dedicou uma coluna a essas informações.

À rigor, pouco mais de 3,00% das amostras estavam em desconformidade com o padrão de potabilidade. No entanto, quando se considera o limite recomendado (0,2 a 2,0 mg L<sup>-1</sup>), este percentual sobe para 72,61%, influenciado pelo número de amostras com concentração maior que 2,0 mg L<sup>-1</sup>, responsáveis por praticamente 70,00% do total de amostras.

Considerando o cenário de elevada cor aparente e turbidez, que podem estar associadas à presença de matéria orgânica dissolvida ou em suspensão, há de se preocupar com concentrações elevadas de CRL, uma vez que doses excessivas pode induzir a formação de subprodutos de desinfecção, como trihalometanos, passíveis de favorecer o desenvolvimento de doenças como o câncer (AL-ZAHRANI, 2016). Face a isso, recomenda-se a avaliação da presença de subprodutos de desinfecção na rede de abastecimento hídrico.

Uma vez detectados teores excessivos dessas substâncias, deve-se realizar redução nas dosagens de cloro na ETA. A redução da dosagem deve ser cuidadosamente estudada para que não ocorra pontos na rede em que a concentração de CRL

seja inferior a 0,2 mg L<sup>-1</sup>. Caso isso seja inevitável, pode-se fazer o uso de estações de cloração ou reforço, desde que economicamente viável, em pontos críticos. As estações de reforço permitem que seja mantida concentrações de cloro aceitáveis em toda rede, além de possibilitar a redução de custos com cloração na ETA e dos riscos de formação de subprodutos (ISLAM; SADIQ; RODRIGUEZ, 2017; GOYAL; PATEL, 2018).

Assim como ocorreu para escala Sede, constam na Tabela 6 o número total de amostras em desconformidade com o padrão de potabilidade, percentual equivalente e o número total de amostras analisados no monitoramento em escala Distrital para cada parâmetro. Os valores de pH ausentes no mês de julho foram decorrentes de defeitos no aparelho de medição que inviabilizaram as análises.

**Tabela 6:** Número de amostras fora do padrão de potabilidade – Escala Distrital.

| Mês              | n   | Cor aparente | Turbidez    | CRL                   |                       | pH*          | pH **        |
|------------------|-----|--------------|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------|
|                  |     | >15uH        | >5uT        | <0,2mgL <sup>-1</sup> | >2,0mgL <sup>-1</sup> | <6,00        | <6,00        |
| <b>Fevereiro</b> | 13  | 9 (69,23%)   | 1 (7,69%)   | 0 (0,00%)             | 0 (0,00%)             | 0 (0,00%)    | 0 (0,00%)    |
| <b>Março</b>     | 14  | 14 (100,00%) | 7 (50,00%)  | 3 (21,43%)            | 0 (0,00%)             | 5 (35,71%)   | 0 (0,00%)    |
| <b>Abril</b>     | 14  | 14 (100,00%) | 1 (7,14%)   | 4 (28,57%)            | 0 (0,00%)             | 0 (0,00%)    | 0 (0,00%)    |
| <b>Mai</b>       | 14  | 13 (92,86%)  | 4 (28,57%)  | 1 (7,14%)             | 0 (0,00%)             | 1 (7,14%)    | 2 (14,29%)   |
| <b>Junho</b>     | 14  | 11 (78,57%)  | 3 (21,43%)  | 1 (7,14%)             | 0 (0,00%)             | 0 (0,00%)    | 6 (42,86%)   |
| <b>Julho</b>     | 12  | 9 (75,00%)   | 0 (0,00%)   | 0 (0,00%)             | 0 (0,00%)             | -            | -            |
| <b>Agosto</b>    | 11  | 2 (18,18%)   | 0 (0,00%)   | 1 (9,09%)             | 0 (0,00%)             | 11 (100,00%) | 11 (100,00%) |
| <b>Setembro</b>  | 12  | 11 (91,67%)  | 1 (8,33%)   | 1 (8,33%)             | 0 (0,00%)             | 10 (83,33%)  | 0 (0,00%)    |
| <b>Total</b>     | 104 | 83 (79,81%)  | 17 (16,35%) | 11 (10,58%)           | 0 (0,00%)             | 27 (25,96%)  | 19 (18,27%)  |

O percentual de amostras fora do padrão de potabilidade, para cor aparente, no Distrito, foi superior ao obtido na Sede, havendo campanhas em que a totalidade das amostras apresentaram cor aparente superior a 15 uH, como nos meses de março e abril. Em contraponto, a turbidez da água no Distrito só superou o estabelecido pela legislação em 16,35% das amostras, índice inferior ao observado na Sede. Nos meses de julho e agosto, todas as amostras do Distrito atenderam ao padrão de potabilidade quanto à turbidez.

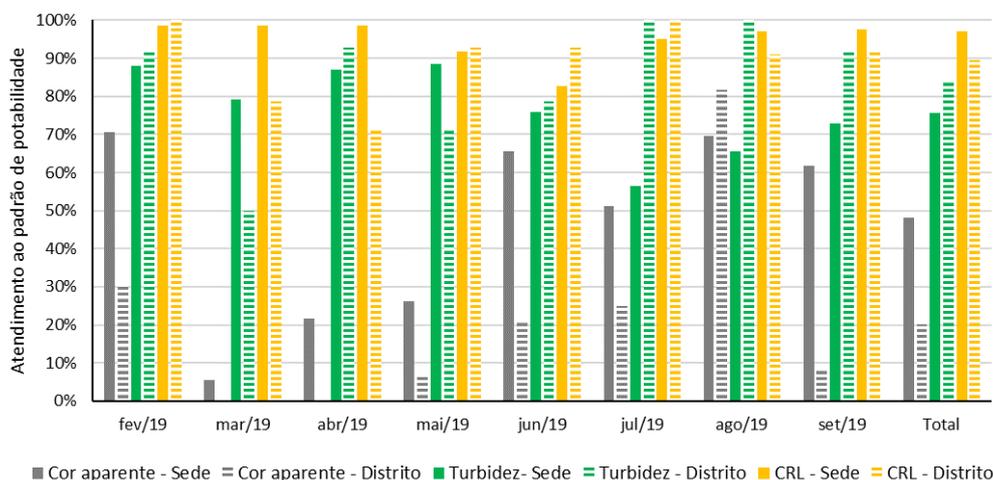
No que diz respeito ao pH, tanto nas medições na primeira situação quanto na segunda, ao menos em três meses, 100,00% das amostras atendiam ao padrão de potabilidade. Para amostras analisadas na primeira situação, 25,96% divergiam do requerido pela legislação, ao passo que na segunda situação, 18,27% das amostras apresentaram desconformidade. Convém salientar que todos as falhas no

atendimento ao padrão de potabilidade ocorreram no sentido de pH ser menor do que 6,0, ou seja, nenhuma amostra apresentou pH maior do que 9,5.

Ademais, o pH também está ligado a aceitação do usuário, principalmente quanto à percepção de sabor. Além disso, como afirmam Senhoras (2020) e Viana, Leite e Silva (2016), águas com baixo pH podem acelerar o processo de corrosão dos tubos da rede, paralelamente, águas com elevado pH possibilita o aparecimento de incrustações.

Finalmente, a Figura 4 apresenta o percentual de amostras que atendiam ao padrão de potabilidade, em cada mês, na Sede e no Distrito, para a cor aparente, turbidez e concentração de cloro residual livre.

**Figura 4.** Percentual de amostras conformes com o padrão de potabilidade.



Como pode ser observado, os índices de atendimento ao padrão de potabilidade para os parâmetros turbidez e cloro residual livre são semelhantes entre a Sede e o Distrito. Contudo, com relação à cor aparente, em geral, o Distrito apresentou índice de atendimento significativamente menor do obtido na Sede. O que demonstra a necessidade de se averiguar quais os problemas de qualidade da água estão associados a problemas estruturais como tubos envelhecidos, não estanques, com corrosão ou incrustação. Bem como problemas operacionais como falta de limpeza de dos reservatórios e regime de pressões negativas. Para assim realizar ações necessárias para distribuição de água com qualidade satisfatória.

## CONCLUSÕES

A partir das análises dos dados de vigilância da qualidade da água em Itabaiana-SE, considerando duas escalas de monitoramento, Sede e Distrito, e as discussões realizadas neste trabalho, conclui-se que:

- Em média, a cor aparente da água no Distrito apresentou valor superior à direcionada a Sede. Enquanto que os valores mais significativos de turbidez e cloro residual livre foram identificados na Sede.
- Na comparação entre as escalas de monitoramento, foram constatadas existências de diferenças estatisticamente significativas entre os parâmetros cor aparente, turbidez e CRL medidos na Sede e no Distrito, sendo os meses de março, abril e junho que apresentaram diferenças na cor aparente, em março e abril na turbidez, e para CRL somente os dois primeiros meses (março e abril) apresentaram resultados estatisticamente semelhantes.
- Ao analisar os efeitos da sazonalidade sob a qualidade da água, foi possível constatar que não houve efeito da sazonalidade sob a turbidez e concentração de CRL da água tanto na Sede quanto no Distrito. E que isso ocorreu somente para a cor aparente na Sede e o pH no Distrito. Ademais, da comparação entre os períodos chuvosos e secos das escalas se verificou que os valores de cor aparente e CRL na escala Sede, para os períodos chuvoso e seco, foram diferentes dos observados na escala Distrital. Por fim, sugere-se que o efeito da sazonalidade é mais sensível em escalas maiores de monitoramento.
- Foram identificadas correlações significativas entre os valores de cor aparente e turbidez em ambas as escalas, o que não ocorreu para os demais parâmetros. Considerando a escala Distrital, também não foram constatadas correlações significativas entre a distância do ponto amostral ao reservatório e sua respectiva qualidade da água, contudo, os coeficientes de correlação sugerem que a distância da origem interfere negativamente na qualidade da água.

- Na Sede, o padrão de potabilidade foi atendido parcialmente. Mais da metade das amostras analisadas para cor aparente não atenderam ao padrão de potabilidade, situação enfrentada por aproximadamente 1/4 das amostras de turbidez. Relativo à concentração de CRL, pouco mais de 95% das amostras estavam de acordo com a legislação, todavia, 70% do total de amostras possuíam concentração de CRL superior a  $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ , máximo recomendado pelo Ministério da Saúde. Quanto aos parâmetros microbiológicos, 100% das amostras mostraram-se livres de patógenos.
- No Distrito, o padrão de potabilidade foi atendido em parte. Somente 20% das amostras possuíam cor aparente dentro do limite estabelecido, situação adversa ao limite de turbidez o qual foi atendido em mais de 75% das amostras. Para o pH medido antes das análises de CRL (pH\*) somente 26% das amostras não pertenciam ao intervalo normativo 6,0 – 9,5, já nas amostras cujo pH foi medido durante as análises de cor aparente e turbidez (pH\*\*), essa situação representou mais de 18% do total de amostras.

Os valores de cor aparente identificados nas duas escalas associado ao excesso de concentração de cloro residual livre na maioria das amostras suscita e ratifica a importância do monitoramento de subprodutos de desinfecção, a fim de se reduzir riscos à saúde pública.

As falhas no padrão organoléptico, apesar de não representarem riscos sanitários, sugerem a necessidade de diagnóstico estrutural da rede de abastecimento não só no Distrito como também na Sede, para que se identifique as possíveis origens dos problemas, de modo a melhorar a qualidade do serviço prestado.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a ampliação do número de amostras e parâmetros, bem como o aumento da frequência das campanhas associados a obtenção de dados de pressão durante as coletas. Priorizando as análises ainda em campo, se possível em pontos simultâneos, de modo a se ter um diagnóstico instantâneo da rede, facilitando a identificação de problemas pontuais.

Por fim, o trabalho se mostra relevante por demonstrar que o monitoramento em escala municipal pode esconder problemas pontuais na qualidade da água em regiões mais periféricas das cidades. De modo que os autores recomendam que, dentro do possível, monitoramentos da qualidade da água em bairros específicos em sistema de rodízio, de maneira a identificar falhas e aprimorar a prestação do serviço.

## REFERÊNCIAS

ALVES, W. S.; SILVA, T. I. D.; MARRON, D. A. da S.; SANTOS, T. M. Dos; SANTOS, H. R. Dos. Avaliação da qualidade da água do abastecimento público do município de Juazeiro do Norte, CE. **Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 4, n. 2, p. 112–119, 2017.

- AL-ZAHRANI, M. A. Optimizing Dosage and Location of Chlorine Injection in Water Supply Networks. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 41, n. 10, p. 4207–4215, 2016.
- APHA, A. P. H. A. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 23<sup>th</sup> ed. Washington: Apha, 2017.
- ASGHARIA, F. B.; PAKDEL, M.; MOHAMMADI, A. A.; YOUSEFI, M. Spatial and temporal variation of physicochemical and microbial quality of drinking water for the distribution network in Maku, Iran. **Desalination and Water**, v. 142, p. 82–89, 2019.
- BENSOLTANE, M. A.; ZEGHADNIA, L.; DJEMILI, L.; GHEID, A.; DJEBBAR, Y. Enhancement of the free residual chlorine concentration at the ends of the water supply network: Case study of Souk Ahras city – Algeria. **Journal of Water and Land Development**, v. 38, n. 1, p. 3–9, 2018.
- BINDU, H.; REDDY, K. R.; PRASAD, G. V. K. S. V. Evaluation of variations in quality of water in distribution networks using epanet. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 9, n. 4, p. 1246–1252, 2018. a.
- BINDU, H.; REDDY, K. R.; PRASAD, G. V. K. S. V. Influence of booster chlorination on balance in quality of water distribution networks. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 9, n. 8, p. 239–246, 2018. b.
- BRASIL. Palácio do Planalto. **Lei 11445/2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília. 2007.
- BRASIL. Palácio do Planalto. **Lei 13044/2014**. Confere ao Município de Itabaiana no Estado de Sergipe o título de Capital Nacional do Caminhão. Brasília. 2014.
- BRASIL. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em: <<https://www.saude.gov.br/images/pdf/2016/junho/06/dir-etrix-nacional-plano-amostragem-agua.pdf>>. Acesso em: 25 maio. 2020.
- BRASIL. 888/2021. Portaria do Gabinete do Ministro (GM) do Ministério da Saúde (MS) nº 888, de 04 de maio de 2021. Brasília. 2021.
- BRASIL. **DATASUS**. Site Institucional. 2018a. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/obt10.uf.def>>. Acesso em: 20 maio. 2020.
- BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - Ministério das Cidades, 2018. b. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>>. Acesso em: 21 abr. 2018.
- CETESB; ANA. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo; Brasília: CETESB; ANA, 2011. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>>. Acesso em: 25 maio. 2020.
- CIRTINA, D.; CAPATINA, C. Assessment of Drinking Water Quality of Targu Jiu City by Analyzing Physical and Chemical Quality Parameters. **Revista de Chimie**, v. 68, n. 3, p. 439–446, 2017.
- DANDADZI, P.; HOKO, Z.; NHIWATIWA, T. Investigating the quality of stored drinking water from the Harare water distribution system, Zimbabwe. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 9, n. 1, p. 90–101, 2019.
- DANIEL, M. H. B.; CABRAL, A. R. A vigilância da qualidade da água para consumo humano (Vigiagua) e os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM). **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 19, n. 4, p. 6, 2011.
- DOVIDAUSKAS, S.; OKADA, I. A.; IHA, M. H.; CAVALLINI, Á. G.; OKADA, M. M.; BRIGANTI, R. D. C.; BERGAMINI, A. M. M.; DE OLIVEIRA, M. A. Mapeamento da qualidade da água de abastecimento público no nordeste do estado de São Paulo (Brasil). **Vigilância Sanitária em Debate**, v. 5, n. 2, p. 53, 2017.
- GOOGLE EARTH. **Área Distrital - parte do Bairro Porto em Itabaiana-SE**, 2020.
- GOYAL, R. V.; PATEL, H. M. Optimal location and scheduling of booster chlorination stations for drinking water distribution system. **Journal of Applied Water Engineering and Research**, v. 5, n. 1, p. 51–60, 2017.
- GOYAL, R. V.; PATEL, H. M. Optimal location and scheduling of booster chlorination stations using EPANET and PSO for drinking water distribution system. **ISH Journal of Hydraulic Engineering**, v. 24, n. 2, p. 157–164, 2018.
- GUTIERREZ, C. B. B.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GUTIERREZ, D. M. G.; SANTOS, L. S. Dos; PAULA, M. T. De. Analysis spatiotemporal use and land cover within the APA Bethlehem and correlation with the water parameters of their sources. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, 2017. Disponível em: <<http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1984-2295.20170033>>. Acesso em: 28 maio. 2020.
- IBGE. **IBGE - Portal Cidades**. Site Institucional. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/itabaiana/panorama>>. Acesso em: 27 ago. 2021.
- ISLAM, N.; SADIQ, R.; RODRIGUEZ, M. J. Optimizing Locations for Chlorine Booster Stations in Small Water Distribution Networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 143, n. 7, p. 04017021, 2017.
- KIM, H.; KIM, S. Evaluation of chlorine decay models under transient conditions in a water distribution system. **Journal of Hydroinformatics**, v. 19, n. 4, p. 522–537, 2017.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4<sup>o</sup> ed. Campinas: Átomo, 2016.
- IBGE. **Malha Municipal**. Brasília. 2020.

- MEDRI, W.; SOEIRO, J. da C.; YOTSUMOTO, A. S.; DALMAS, J. C.; NOBREGA, M. M. Amostragem probabilística no controle da qualidade da água para o consumo humano. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 33, n. 1, p. 49–56, 2012.
- MIREL, I.; FLORESCU, C.; GIRBACIU, A.; GIRBACIU, C.; DUMITRU, P.; DAN, S.; POPOVICI, R. A.; IONESCU, G.-L. Effects of Quantitative Changes on Drinking Water Quality Indicators of Urban Distribution Networks. **Materiale Plastice**, n. 4, p. 6, 2015.
- MORAIS, W. A.; SALEH, B. B.; ALVES, W. dos S.; AQUINO, D. S. Qualidade sanitária da água distribuída para abastecimento público em Rio Verde, Goiás, Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 24, n. 3, p. 361–367, 2016.
- MORTULA, M. M.; ALI, T. A.; SADIQ, R.; IDRIS, A.; AL MULLA, A. Impacts of Water Quality on the Spatiotemporal Susceptibility of Water Distribution Systems. **CLEAN – Soil, Air, Water**, v. 47, n. 5, p. 1800247, 2019.
- PALMEIRA, Á. R. de O. A.; DA SILVA, V. A. T. H.; DIAS JÚNIOR, F. L.; STANCARI, R. C. A.; NASCENTES, G. A. N.; ANVERSA, L. Physicochemical and microbiological quality of the public water supply in 38 cities from the midwest region of the State of São Paulo, Brazil. **Water Environment Research**, v. 91, n. 8, p. 805–812, 2019.
- RIBEIRO, T. G.; BOAVENTURA, G. R.; CUNHA, L. S. Da; PIMENTA, S. M. Estudo da qualidade das águas por meio da correlação de parâmetros físico-químicos, bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns. **Geochimica Brasiliensis**, v. 30, n. 1, p. 84–94, 2017.
- RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo, SP: Blucher, 2009.
- ROTH, D. K.; CORNWELL, D. A. DBP Impacts From Increased Chlorine Residual Requirements: DBP Impacts From Increased Chlorine Residual Requirements. **Journal - American Water Works Association**, v. 110, n. 2, p. 13–28, 2018.
- SAVANE, O. S.; KHAN, E.; FREUD, S.; MURPHY, A.; TEFARGIOGOS, K.; MURRAY, V. Persistent Pockets of Low Chlorine Residual in New York City's Drinking Water Distribution System: A Case Study. **Journal - American Water Works Association**, v. 111, n. 10, p. 40–50, 2019.
- SCORSAFAVA, M. A.; SOUZA, A.; SAKUMA, H.; STOFER, M.; NUNES, A.; MILANEZ, T. V. Evaluation of the quality of water supplied in the period of 2007-2009. **Romanian Journal of Physics**, v. 62, p. 9, 2011.
- SENHORAS, E. M. (ED.). **A Produção do Conhecimento Interdisciplinar nas Ciências Ambientais 3**. 1. ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2020. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/post-ebook/3035>>. Acesso em: 30 maio. 2020.
- SILVA, G. A. B. Da; MEIRA, C. M. B. S.; SANTANA, C. F. D. De; COURA, M. de A.; OLIVEIRA, R. De; NASCIMENTO, R. S. Do; SANTOS, W. B. Dos. Simulação do decaimento de cloro residual livre em reservatórios de distribuição de água. **Revista DAE**, v. 67, n. 218, p. 92–103, 2019.
- SOARES, T. da C.; MORAIS, A. B. De; SOARES, T. da C.; OLIVEIRA, V. A. De; MEDEIROS, S. R. A.; CARNEIRO, T. B. Perfil da água para o consumo humano e notificação de doenças em uma macrorregião do Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 12, n. 2, 2018. Disponível em: <<http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1981-2965.20180020>>. Acesso em: 31 mar. 2020.
- VIANA, M. S.; LEITE, M. V.; SILVA, S. F. Da. Qualidade físico-química das águas para abastecimento humano no município de Manhumirim (MG). **Revista Científica da FAMINAS**, v. 6, n. 3, 2016. Disponível em: <<http://periodicos.faminas.edu.br/index.php/RCFaminas/article/view/259>>. Acesso em: 30 maio. 2020.
- VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. 3<sup>o</sup> ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 1997.
- WHO. **Preventing diarrhoea through better water, sanitation and hygiene: exposures and impacts in low- and middle-income countries**. Geneva: World Health Organization, 2014.
- WHO; UNICEF. **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines**. Geneva: World Health Organization, 2017. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/lanc-nch-version-report-jmp-water-sanitation-hygiene.pdf?ua=1>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

---

Submissão: 05/07/2021

Aprovado para publicação: 24/09/2021