

## **I-073 - COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE GRANDE PORTE E DISTINTAS TECNOLOGIAS PARA O ATENDIMENTO AO PADRÃO DE POTABILIDADE BRASILEIRO**

**Gabriela Rodrigues Barroso<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Ana Luiza Cunha Soares<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade FUMEC. Mestre e doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Elizângela Pinheiro da Costa<sup>(3)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre e doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Lívia Duarte Ventura Melo<sup>(4)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira<sup>(5)</sup>**

Engenheira Eletricista, Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora Associada do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Escola de Engenharia - UFMG, Avenida Antônio Carlos – 6627 - Bloco 1 - Sala 4617 - Pampulha - Belo Horizonte - Minas Gerais - CEP: 31270901 - Brasil - Tel: (31) 988256576 - e-mail: [gabriela\\_r\\_barroso@hotmail.com](mailto:gabriela_r_barroso@hotmail.com)

### **RESUMO**

As estações de tratamento de água (ETA) tomam posição de destaque pela função primária de adequar a água bruta ao padrão de potabilidade, de forma que a água tratada não transmita qualquer malefício à população abastecida. Diversas técnicas podem ser empregadas no tratamento da água visando à potabilização a depender de fatores como qualidade da água bruta, custos de implantação, manutenção e operação, dentre outros. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo comparar a qualidade da água bruta e tratada de três estações de tratamento de água de grande porte, que empregam técnicas de tratamento distintas (filtração direta, ciclo completo com flotação e oxidação com filtração), assim como o atendimento ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde. Foram comparados dados secundários de monitoramento dos parâmetros turbidez e cor aparente da água bruta e tratada a partir do teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* seguido do teste de comparações múltiplas, quando aplicável, ao nível de significância de 5%. O percentual de atendimento ao padrão de potabilidade estabelecido na Portaria de Consolidação nº 5 foi analisado para o período de 2013 a 2016. Os resultados indicaram uma qualidade superior da água bruta na ETA de oxidação com filtração, com valores de turbidez e cor significativamente menores que os encontrados nas demais estações de tratamento. Tal fato, aliado a uma adequada operação da ETA, pode estar associado ao bom desempenho obtido pela mesma no tratamento, uma vez que essa estação apresentou menores valores de turbidez na água tratada em relação as outras duas estações e todos os valores de cor aparente abaixo do limite estabelecido na portaria de potabilidade brasileira. Em relação ao atendimento dos padrões de potabilidade, todas as ETA registraram valores de cor aparente abaixo do limite de potabilidade indicado na Portaria de Consolidação nº 5. Por sua vez, em termos do parâmetro turbidez, as estações de filtração direta e tratamento completo com flotação não atenderam ao padrão no ano de 2016 (apresentaram menos de 95% dos valores abaixo de 0,5 uT), apesar de alcançarem atendimento adequado nos demais anos avaliados. Portanto, a escolha adequada da tecnologia empregada nas estações de tratamento de água, associada a um controle operacional rigoroso, pode contribuir para o bom funcionamento e a produção de água dentro dos padrões de potabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de água, Estatística, Turbidez, Cor aparente, Padrão de potabilidade.

## **INTRODUÇÃO**

O fornecimento de água potável e segura à população é fundamental para a garantia da saúde pública e do desenvolvimento da sociedade (VIEIRA, 2013; GUZMÁN, NAVA, DÍAZ, 2015; OLIVEIRA, 2017). Nesse cenário, as estações de tratamento de água (ETA) assumem posição de destaque pela função primária de adequar a água bruta ao padrão de potabilidade, de forma que a água tratada não transmita qualquer malefício à população abastecida (MELO *et al.*, 2017).

Diversas são as técnicas que podem ser empregadas no tratamento da água visando à potabilização. A concepção da técnica de tratamento mais adequada depende de vários fatores, tais como: características da água bruta; tipo de manancial; custos de implantação, manutenção e operação; manuseio e confiabilidade dos equipamentos; flexibilidade operacional; localização geográfica e características da comunidade; disposição final do lodo; entre outros (LIBÂNIO, 2016). As principais técnicas de tratamento utilizadas no Brasil incluem o tratamento convencional e a filtração direta, sendo também encontradas, em um menor número de estações, a filtração lenta, a flotação e a separação por membrana (HELLER e PÁDUA, 2010). Outra opção de tratamento que vem sendo utilizada, mas não na mesma proporção, é a oxidação química.

Considerando a demanda crescente por água em quantidade e qualidade para suprir o abastecimento humano, assim como o estabelecimento de padrões de potabilidade cada vez mais restritivos, considera-se fundamental analisar o desempenho de ETA em funcionamento. Comumente a análise de desempenho de ETA pode ser feita de duas formas, a nível de etapa ou a nível de sistema. A análise a nível de etapa considera a eficiência de cada fase do tratamento, tendendo a ser empregada pelas prestadoras de serviço de saneamento. Já a análise a nível de sistema, considera apenas o afluente e o efluente da estação, sendo em geral empregada pelas agências reguladoras (MELO *et al.*, 2015).

Segundo Oliveira (2014), o desempenho de uma ETA é o resultado do efeito conjunto de variáveis internas e externas e das condições e padrões utilizados na mensuração, podendo assim ser avaliado sob a perspectiva da qualidade da água tratada, considerando o atendimento aos padrões de potabilidade. Ressalta-se que os estudos de desempenho de estações de tratamento de água, na grande maioria, são associados a testes de bancada e a testes laboratoriais de escalas reduzidas antes da implantação das ETA, sendo escassos os estudos que consideram dados secundários oriundos do monitoramento de ETA em funcionamento.

Os parâmetros turbidez e cor são rotineiramente monitorados e analisados em estudos de desempenho de estações de tratamento de água. A avaliação desses parâmetros, além da questão estética, é extremamente relevante em função do risco sanitário associado aos mesmos. Partículas responsáveis pela turbidez podem abrigar microrganismos patogênicos. Já a cor pode estar associada à matéria orgânica e possível formação de subprodutos da desinfecção (LIBÂNIO, 2016).

## **OBJETIVO**

O presente trabalho tem como objetivo comparar a qualidade da água bruta e tratada de três estações de tratamento de água de grande porte, que empregam técnicas de tratamento distintas, assim como o atendimento ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). A comparação foi feita por meio da análise estatística de dados secundários de turbidez e cor aparente.

## **METODOLOGIA**

### **DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

A pesquisa centrou-se na avaliação de desempenho de três ETA brasileiras que empregam tecnologias distintas de tratamento, a saber: filtração direta (ETA 01), ciclo completo com flotação (ETA 02) e oxidação com filtração (ETA 03). Todas as ETA são de grande porte (vazão acima de 500 L/s) e fazem a captação da água bruta em mananciais do tipo lântico. Tais semelhanças permitem comparar o desempenho das estações em função da tecnologia/técnica de tratamento empregada. A Tabela 1 a seguir apresenta as principais características das ETA estudadas.

**Tabela 1: Características das estações de tratamento de água.**

Estação	Tecnologia de tratamento	Perc. <sup>1</sup> 95% da Vazão tratada (L/s)	Porte	Classificação do Manancial
ETA 01	Filtração direta	2970	Grande	Lêntico
ETA 02	Ciclo completo com flotação	1450	Grande	Lêntico
ETA 05	Oxidação com filtração	855	Grande	Lêntico

<sup>1</sup> vazão considerada para determinação do porte da estação: 95% dos dados de vazão até 150 L/s = pequeno porte; acima de 150 até 500 L/s = médio porte; 95% dos dados de vazão acima de 500 L/s = grande porte.

## ORGANIZAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Os dados de monitoramento da qualidade da água das estações foram obtidos por meio de relatórios impressos disponibilizados pelos prestadores de serviços de saneamento. Cada ETA apresenta uma frequência específica de monitoramento, sendo que para a água bruta a frequência era no mínimo duas vezes ao dia, enquanto para a água tratada o monitoramento era realizado em intervalos de duas em duas horas. Os dados foram organizados e sistematizados em planilhas Microsoft Excel®, e no total foram analisados 114.650 dados de turbidez (água bruta e tratada) e 100.873 dados de cor aparente (água bruta e tratada), possibilitando uma avaliação mais próxima à realidade de funcionamento das ETA. O período de abrangência dos dados experimentais de monitoramento das ETA variou de janeiro de 2010 a junho de 2017.

## AValiação DE DESEMPENHO DAS ESTações POR MEIO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS

Inicialmente foi efetuada a identificação de *outliers* e falhas no banco de dados. Para a identificação dos *outliers* foi utilizada a técnica de amplitude interquartis (AIQ), dada pela diferença entre o terceiro (Q75) e o primeiro (Q25) quartis, ou seja, considerou-se como *outlier* superior todo valor maior que  $(Q75 + 1,5AIQ)$  e como *outlier* inferior todo valor menor que  $(Q25 - 1,5AIQ)$  (NAGHETTINI e PINTO, 2007; LEVINE *et al.*, 2008). Após essa análise, foi realizada a estatística descritiva com o cálculo do número de dados, média, mediana, mínimo, máximo, percentis 25% e 75%, desvio padrão e coeficiente de variação.

Em seguida, a fim de verificar a normalidade dos dados, que é pressuposto para a determinação dos testes de hipóteses a serem empregados, foi aplicado o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*, ao nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ), e o teste gráfico *Normal Probability Plot*. Os dados de água bruta e água tratada, de ambos os parâmetros, não apresentaram uma boa aderência à distribuição normal. Portanto, foram aplicados testes de hipóteses não paramétricos. Para determinar a existência ou não de diferenças significativas na turbidez e cor aparente da água bruta e tratada das estações, e conseqüentemente no desempenho das mesmas, foi aplicado o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* seguido do teste de comparações múltiplas (quando identificada diferença significativa no teste de *Kruskal-Wallis*), ao nível de significância de 5%. Os testes foram realizados no *software* Statistica® 10.0.

Por fim, foi analisado o percentual de atendimento ao padrão de potabilidade estabelecido na Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, a qual define o limite máximo de 0,5 uT para 95% das amostras de turbidez da água tratada e de 15 uH para as amostras de cor aparente, considerando o período de 2013 a 2016, comum a todas as estações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da estatística descritiva para os dados referentes aos parâmetros turbidez e cor aparente, da água bruta e tratada das três estações de tratamento de água analisadas neste estudo.

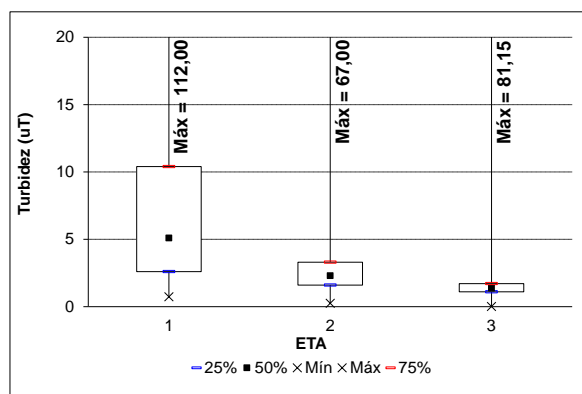
**Tabela 2: Estatística descritiva dos dados de turbidez e cor aparente, da água bruta e tratada para as ETA deste estudo.**

Parâmetro	Turbidez						Cor aparente					
	1		2		3		1		2		3	
ETA												
Descrição	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada
Nº dados	22.624	25.295	17.937	29.877	4.487	14.430	7.824	25.325	17.916	29.877	4.650	15.281
Média	9,33	0,31	2,97	0,28	1,51	0,18	37,36	1,01	15,67	1,04	5,46	2,23
Mediana	5,10	0,20	2,30	0,24	1,37	0,18	20,00	1,00	15,00	1,00	5,00	2,50
Mínimo	0,73	0,06	0,25	0,00	0,01	0,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Máximo	112,00	9,70	67,00	3,04	81,15	2,50	2000,00	15,00	165,00	15,00	803,70	5,00
Percentil 25%	2,60	0,16	1,60	0,19	1,10	0,14	12,50	1,00	10,00	1,00	5,00	2,50
Percentil 75%	10,40	0,25	3,30	0,33	1,71	0,21	40,00	1,00	20,00	1,00	5,00	2,50
DP	11,83	0,52	2,73	0,14	1,48	0,06	70,75	0,30	9,06	0,40	15,03	0,58
CV	1,27	1,70	0,92	0,51	0,98	0,34	1,89	0,29	0,58	0,38	2,75	0,26

DP - Desvio Padrão

CV - Coeficiente de Variação

Na Figura 1 e na Tabela 3 são apresentados, respectivamente, o gráfico *Box-Whisker* e os resultados dos testes não paramétricos para os dados de turbidez da água bruta para todas as ETA.



**Figura 1: Box-Whisker dos dados de turbidez da água bruta.**

**Tabela 3: Resultados do teste de comparações múltiplas para os dados de turbidez da água bruta, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ ).**

1	2	3	ETA
	↓	↓	1
↑		↓	2
↑	↑		3

= Grupo em negrito (linha superior) não difere significativamente do grupo em itálico (coluna à direita)

↑ Grupo em negrito (linha superior) é significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

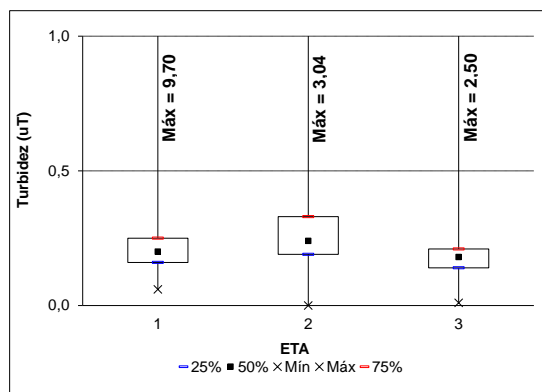
↓ Grupo em negrito (linha superior) é significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

ETA 1: Filtração Direta; ETA 2: Ciclo Completo com Flotação;

ETA 3: Oxidação seguida de Filtração

Observa-se na Tabela 2 e Figura 1 que, aproximadamente 50% dos dados de todas as ETA apresentaram turbidez da água bruta inferior a 5 uT, valor este já recomendado pela Organização Mundial da Saúde como padrão de potabilidade para turbidez da água tratada (WHO, 2011). O teste de *Kruskal-Wallis* seguido do teste de Comparações Múltiplas (Tabela 3) indicou diferença significativa na turbidez da água bruta referente às três tecnologias de tratamento, sendo a turbidez significativamente maior na ETA que emprega a filtração direta (ETA 1) em comparação às demais tecnologias. Já a estação que emprega oxidação seguida de filtração (ETA 3) foi a que apresentou menor valor de turbidez para a água bruta, o que condiz com esta tecnologia, a qual é indicada para baixos valores de turbidez. É importante ressaltar que, mesmo a ETA 1 (filtração direta) apresentando valores de turbidez da água bruta mais elevados, a mesma mostrou-se adequada para este tipo de tecnologia, considerando o percentil 75% dos dados monitorados (Tabela 2) e tendo em vista o limite indicado na literatura para o parâmetro turbidez da água bruta, de 20 uT (LIBÂNIO, 2016).

O gráfico *Box-Whisker* e os resultados dos testes não paramétricos dos dados de turbidez da água tratada pelas três ETA são apresentados na Figura 2 e na Tabela 4.



**Figura 2: Box-Whisker dos dados de turbidez da água tratada.**

**Tabela 4: Resultados do teste de comparações múltiplas para os dados de turbidez da água tratada, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ ).**

1	2	3	ETA
	↑	↓	1
↓		↓	2
↑	↑		3

= Grupo em negrito (linha superior) não difere significativamente do grupo em itálico (coluna à direita)

↑ Grupo em negrito (linha superior) é significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

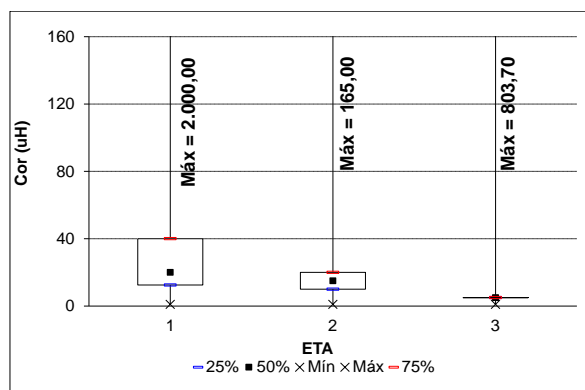
↓ Grupo em negrito (linha superior) é significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

ETA 1: Filtração Direta; ETA 2: Ciclo Completo com Flotação;

ETA 3: Oxidação seguida de Filtração

Em relação à turbidez da água tratada, o teste de *Kruskal-Wallis* também indicou diferença significativa para as três tecnologias de tratamento (Tabela 4). Observa-se que a ETA 2 (ciclo completo com flotação) apresentou turbidez mediana da água tratada superior as demais estações. Já a ETA 3, semelhante ao observado para a água bruta, também apresentou a menor turbidez na água tratada, indicando um ótimo desempenho. No geral, cabe ressaltar que todas as ETA apresentaram baixa amplitude interquartil para este parâmetro (pequenas diferenças nos percentis 25% e 75 %, apresentados na Tabela 2), indicando uma baixa variação e, consequente, maior capacidade de produzir água tratada com qualidade.

Na sequência, a Figura 3 e a Tabela 5 contêm o gráfico *Box-Whisker* e os resultados dos testes não paramétricos do parâmetro cor da água bruta.



**Figura 3-Box-Whisker dos dados de cor da água bruta.**

**Tabela 5: Resultados do teste de comparações múltiplas para os dados de cor da água bruta, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ ).**

1	2	3	ETA
	↓	↓	1
↑		↓	2
↑	↑		3

= Grupo em negrito (linha superior) não difere significativamente do grupo em itálico (coluna à direita)

↑ Grupo em negrito (linha superior) é significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

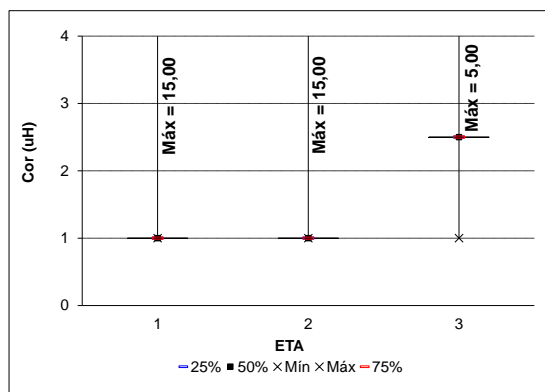
↓ Grupo em negrito (linha superior) é significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

ETA 1: Filtração Direta; ETA 2: Ciclo Completo com Flotação;

ETA 3: Oxidação seguida de Filtração

O parâmetro cor da água bruta apresentou comportamento semelhante ao apresentado para a turbidez da água bruta, com diferenças significativas para as três estações, sendo significativamente superior a cor na ETA de filtração direta (ETA 1) em comparação às demais. Já a ETA de oxidação-filtração (ETA 3), apresentou resultados significativamente inferiores às demais, registrando os menores valores para a maior parte dos dados analisados (Tabela 5). No entanto, diferentemente do observado para turbidez, a qualidade da água bruta da ETA 1 de filtração direta considerando o parâmetro cor aparente para a maioria dos dados analisados, mostrou-se inadequada tendo em vista que a literatura recomenda um limite máximo de 20 uH (LIBÂNIO, 2016) para emprego desta tecnologia.

Por fim, os resultados referentes ao gráfico *Box-Whisker* e aos testes não paramétricos da cor da água tratada das ETA aqui estudadas encontram-se na Figura 4 e na Tabela 6.



**Figura 4: Box-Whisker dos dados de cor da água tratada.**

**Tabela 6: Resultados do teste de comparações múltiplas para os dados de cor da água tratada, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ ).**

1	2	3	ETA
	↑	↑	1
↓		↑	2
↓	↓		3

= Grupo em negrito (linha superior) não difere significativamente do grupo em itálico (coluna à direita)

↑ Grupo em negrito (linha superior) é significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (linha superior) é significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

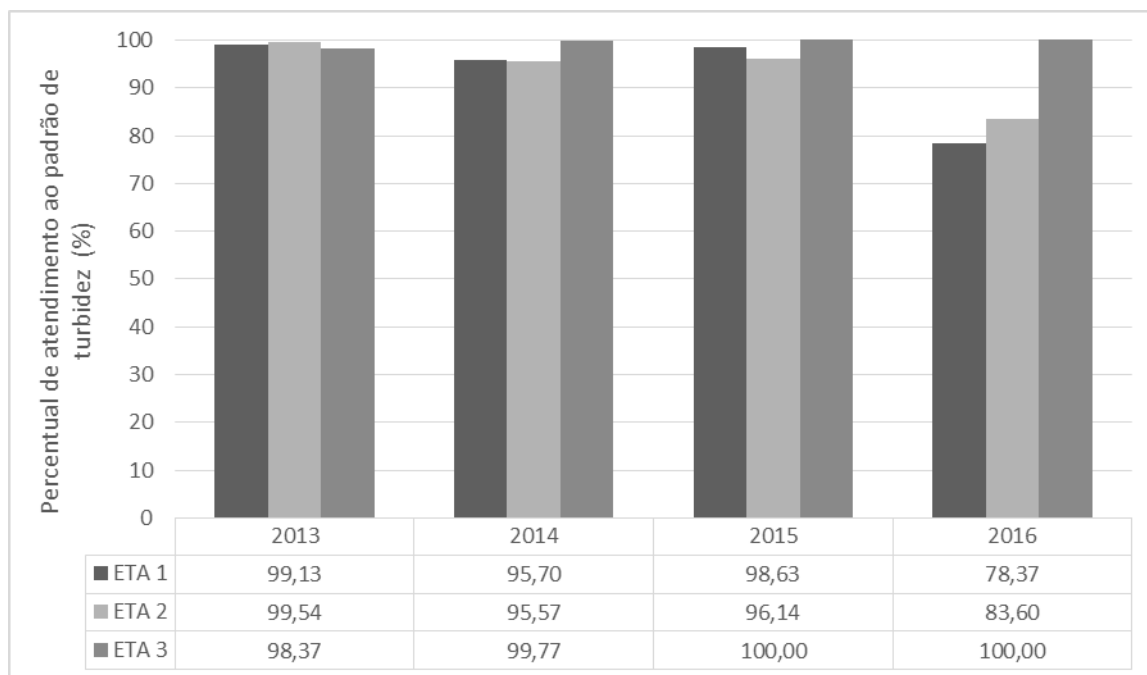
ETA 1: Filtração Direta; ETA 2: Ciclo Completo com Flotação; ETA 3: Oxidação seguida de Filtração

Em relação à cor da água tratada é possível notar uma amplitude interquartil muito pequena para todas as ETA (Tabela 2), não sendo possível diferenciar os percentis 25 e 75% (Figura 4), indicando baixa variação para a maioria dos dados de monitoramento. Todas as estações apresentaram 75% dos dados de cor da água tratada abaixo de 2,5 uT, indicando ótima qualidade da água tratada. Vale ressaltar o excelente desempenho de todas as tecnologias de tratamento, independente da qualidade da água bruta tratada, ainda que os testes estatísticos tenham indicado diferença significativa de desempenho entre elas.

Outro ponto que merece destaque é que, apesar da cor da água bruta ter se mostrado inadequada para o tratamento por filtração direta na ETA 1, tal estação se mostrou robusta, fornecendo água tratada com valores de cor aparente abaixo de 1 uH em 75% dos dados de monitoramento e com registro máximo de 15 uH, ainda em acordo com o padrão de potabilidade brasileiro. Segundo Libânio (2016), quando afluí água com maior cor aparente nas estações de filtração direta a realização de descargas de fundo intermediárias pode aumentar as carreiras de filtração sem prejuízo da qualidade da água filtrada. Isso demonstra a importância da operação no desempenho das estações de tratamento de água, conforme indicado em outros estudos (SADIQ *et al.*, 2010; CHOUDHURY e SAHA 2017; NAWAZ e ALI 2018).

A Figura 5 apresenta o percentual de atendimento ao padrão de potabilidade estabelecido na Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde para o parâmetro turbidez nos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016.





**Figura 5: Percentual de atendimento ao padrão de Turbidez de 0,5 uT para a água tratada nos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016.**

De acordo com a Figura 5, ao invés de se ter um aumento no percentual de atendimento ao padrão estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 para a turbidez da água tratada (0,5 uT em 95% das amostras) ao longo dos anos, houve um decréscimo. Nos anos 2013, 2014 e 2015 todas as ETA atenderam ao referido padrão com percentual mínimo de atendimento de 95%. Já o ano de 2016 apresentou a pior situação de atendimento, de forma que as ETA 1 e 2 (filtração direta e tratamento completo com flotação, respectivamente) não conseguiram atingir o padrão de 95% das amostras inferiores a 0,5 uT, o que pode estar relacionado a deterioração da qualidade da água bruta em função da crise hídrica registrada neste período, impactando o tratamento nas ETA. Em contrapartida, a ETA 3 que emprega o tratamento de oxidação seguida de filtração mais uma vez demonstrou desempenho superior em relação as outras duas estações analisadas, atingindo 100% de atendimento. Em relação ao parâmetro cor, todas as estações atenderam integralmente o padrão de 15 uH estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 no período estudado.

## CONCLUSÕES

As estações de tratamento de água avaliadas apresentaram, em geral, uma água bruta com qualidade compatível aos tipos de tecnologias empregadas nas mesmas, considerando os parâmetros turbidez e cor aparente. Destaca-se uma qualidade superior da água bruta na ETA 3 (oxidação – filtração), com valores de turbidez e cor significativamente menores que os encontrados nas demais estações de tratamento. Tal fato, aliado a uma adequada operação da ETA, pode estar associado ao bom desempenho obtido pela mesma no tratamento. Em termos de qualidade de água tratada, no período avaliado, todas as ETA atingiram valores de cor dentro do limite de potabilidade indicado na Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde. Por sua vez, em termos do parâmetro turbidez, o padrão de 0,5 uT em 95% das amostras previsto na Portaria não foi atingido nas ETA 1 (filtração direta) e 2 (tratamento completo com flotação) no ano de 2016, apesar de atingirem atendimento adequado nos demais anos avaliados.

Dessa forma é possível concluir que uma escolha adequada da tecnologia empregada nas estações de tratamento de água, associada a um controle operacional rigoroso, pode contribuir para o bom funcionamento e a produção de água dentro dos padrões de potabilidade. Ademais, ressalta-se a importância da avaliação contínua e aprofundada dos dados de monitoramento, tanto da água bruta quanto de água tratada, para o conhecimento das condições reais de operação das ETA e proposição de melhorias.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos prestadores do serviço de tratamento de água por terem disponibilizado os dados e viabilizado essa pesquisa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) pelo apoio permanente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. ANEXO XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 03 de outubro de 2017. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Origem: PRT MS/GM 2914/2011). *Diário Oficial da República da União*, Poder Executivo: Brasília, DF, 2017.
2. CHOUDHURY, S., SAHA, A. K. Prediction of Operation Efficiency of Water Treatment Plant with the Help of Multi-criteria Decision-making. *Water Conserv Sci Eng*, v.3, n.2, p.79–90, nov.2017.
3. GUZMÁN, B.L., NAVA, G., DÍAZ, P. La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica*, v.35, n.2, p. 177-90, mai.2015.
4. HELLER, L., PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo humano*. 2ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. ISBN 9788570418456.
5. LEVINE, D. M., STEPHAN, D. F., KREHBIEL, T. C., BERENSON, M. L. *Statistics for Managers Using Microsoft Excel*, 5<sup>th</sup>. ed., Person Education In, 2008. 858p.
6. LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 4ª. ed. Campinas: Átomo, 2016. ISBN 9788576702719.
7. MELO, L.V., OLIVEIRA, M. D., LIBÂNIO, M., OLIVEIRA, S. C. Applicability of statistical tools for evaluation of water treatment plants. *Desalination and Water Treatment*, v. 57, n. 30, p. 14024–14033, 2015.
8. MELO, L. D. V., SOARES, A. L. C., PINTO, C. C., COSTA, E. P., OLIVEIRA, J. C., CARVALHO, D. M., BARROSO, G.R., SOUZA, G.A., OLIVEIRA, S.M.C. Adequabilidade do tratamento convencional de água considerando a turbidez e a cor das águas naturais em ETAs de pequeno porte utilizando Análise de Cluster (AC). In: 3º Congresso Internacional RESAG 2017. Belo Horizonte, Minas Gerais, p. 1-11, 2017.
9. NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. CPRM, 2007. 552p.
10. NAWAZ, S., ALI, Y. Factors Affecting the Performance of Water Treatment Plants in Pakistan. *Water Conservation Science and Engineering*, p.1–13, mai. 2018.
11. OLIVEIRA, M. D. *Desenvolvimento, aplicação e avaliação de sistema de indicadores de desempenho de estações de tratamento de água*. Belo Horizonte, 2014. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
12. OLIVEIRA, C. M. Sustainable access to safe drinking water: fundamental human right in the international and national scene. *Rev. Ambient. Água*, vol. 12, n. 6, p. 985-1000, dez. 2017.
13. SADIQ, R., RODRÍGUEZ, M. J., TEFAMARIAM, S. Integrating indicators for performance assessment of small water utilities using ordered weighted averaging (OWA) operators. *Expert Systems with Applications*, v.37, n.7, p.4881–4891, 2010.
14. VIEIRA, J.M.P. Plano de segurança da água em mananciais de abastecimento de água para consumo humano. *Gesta*, v.1, n.1, p. 087-097, 2013.
15. WHO. *World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality*. 4 ed. Geneva: WHO, 2011.