

I-071 - ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA CONVENCIONAIS DE DISTINTOS PORTES PARA O ATENDIMENTO AO PADRÃO DE POTABILIDADE BRASILEIRO

Gabriela Rodrigues Barroso⁽¹⁾

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⁽²⁾

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⁽³⁾

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⁽⁴⁾

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⁽⁵⁾

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⁽¹⁾: 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

RESUMO

A análise de desempenho de estações de tratamento de água (ETA) é fundamental ao se considerar a crescente demanda de água para abastecimento humano em quantidade e qualidade adequada. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar estatisticamente o desempenho de três estações convencionais de tratamento de água de diferentes portes - pequeno, médio e grande - a partir da comparação da qualidade da água bruta e tratada assim como da eficiência de remoção para os parâmetros turbidez e cor aparente. Para isso, foram analisados dados secundários de monitoramento dos parâmetros entre o período de janeiro de 2010 a junho de 2017. A comparação da qualidade da água bruta e tratada das estações foi feita a partir da estatística descritiva e da aplicação do teste de hipóteses não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, seguido do teste de comparações múltiplas, quando aplicável, ao nível de significância de 5%. Também foi verificado o atendimento aos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde ao longo de todo período de monitoramento analisado. Os resultados indicaram que a ETA de grande porte apesar de ter registrado os maiores valores para a turbidez da água bruta, apresentou turbidez da água tratada significativamente inferior às demais estações, demonstrando robustez. O parâmetro cor aparente da água bruta apresentou diferenças significativas para as estações dos três portes. No entanto, a cor da água tratada em todas as estações apresentou baixa variação, com mais de 75% dos dados com valores até 2,5 uH, bem abaixo do limite de 15 uH estabelecido no padrão de potabilidade brasileiro. Em relação a eficiência de remoção, a ETA de médio porte apresentou o pior desempenho para turbidez e cor aparente, com valor mediano de aproximadamente 84 e 94%, respectivamente. Já as estações de pequeno e grande porte apresentaram eficiência mediana de remoção de aproximadamente 99% para turbidez e de 97% para cor aparente. Em termos do atendimento ao padrão de potabilidade, todas as ETA atingiram valores de cor dentro do limite indicado na Portaria de Consolidação nº 5, para a maioria dos dados. Por sua vez, em relação ao parâmetro turbidez, o limite previsto na portaria não foi atingido nas ETA de pequeno e médio porte, representando um risco para a saúde da população abastecida. Dessa forma é possível concluir que a ETA de grande porte apresentou um melhor desempenho em relação às demais, o que era esperado já que estações de grande porte, em geral, apresentam maior rigor relacionado aos aspectos operacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, Tratamento convencional, *Kruskal wallis*, Padrão de potabilidade

INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) assumem papel primordial em tornar a água bruta adequada ao consumo humano. Desta forma, as ETA devem ser capazes de adequar a água captada no manancial de abastecimento aos padrões de potabilidade e torná-la isenta de riscos à população abastecida (LIBÂNIO, 2016). No entanto, devido ao aumento da demanda, a deterioração da qualidade da água dos mananciais e o estabelecimento de metas progressivas cada vez mais restritivas para padrões de potabilidade, a distribuição de água com qualidade satisfatória tem se tornado um desafio cada vez maior para as prestadoras de serviços de saneamento (OLIVEIRA *et al.*, 2014; NAWAZ e ALI, 2018; SOUZA, 2018).

Neste contexto, se torna relevante a avaliação de desempenho das ETA que abastecem as populações. Segundo Zhang *et al.* (2012), esta análise de desempenho torna-se um problema complexo na medida em que a qualidade da água bruta varia e o comportamento de uma unidade dentro da própria estação afeta a performance das etapas seguintes. Tal análise pode ser feita tanto em nível de etapa, considerando a eficiência de cada fase do tratamento, quanto em nível de sistema, com a análise apenas da água bruta e tratada da estação. O primeiro aspecto tende a ser empregado pelas prestadoras de serviço de saneamento, principalmente para controle do tratamento, enquanto a análise global tende a ser empregada pelas agências reguladoras (OLIVEIRA *et al.*, 2014; MELO *et al.*, 2015).

Portanto, pode-se dizer que 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 ser avaliado, por exemplo, sob a perspectiva da qualidade da água tratada (OLIVEIRA, 2014). Nesse caso, os valores de referência e metas são estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Vale destacar que dentre os diversos tipos de tratamento empregados nas ETA, o tratamento convencional é o mais utilizado no Brasil (HELLER e PÁDUA, 2010). Esse tipo de tratamento predomina no país devido, principalmente, às características da água bruta, a qual é influenciada fortemente pela variação sazonal, demandando um processo mais robusto. Em um levantamento realizado em 2011 no Brasil, 69,5 % das ETA correspondia à tecnologia convencional de tratamento de água (LIBÂNIO, 2016). Desta forma, se torna relevante analisar o desempenho de ETA convencionais em funcionamento, não só pela predominância desse tratamento, mas também por muitos estudos de desempenho de ETA estarem associados a testes de bancada e a testes laboratoriais de escalas reduzidas antes da implantação, sendo escassos os estudos que consideram dados secundários oriundos do monitoramento de ETA em funcionamento.

OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo avaliar estatisticamente o desempenho de três estações convencionais de tratamento de água de diferentes portes - pequeno, médio e grande - a partir da caracterização da qualidade da água bruta e tratada assim como da eficiência de remoção para os parâmetros turbidez e cor aparente, amplamente difundidos como parâmetros de monitoramento e análise de desempenho de ETA.

METODOLOGIA

ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA CONVENCIONAIS ANALISADAS

Este trabalho buscou avaliar o desempenho de três estações convencionais em operação no Brasil. Todas as ETA realizam a captação da água em mananciais do tipo lótico. Por empregarem a mesma tecnologia de tratamento e captarem água em mananciais do mesmo tipo é possível comparar o desempenho das estações considerando o porte das mesmas.

A vazão prevista em projeto para classificação do porte apresentava grande discrepância quando confrontada com a vazão efetivamente tratada pelas estações. Desta forma, visando uma homogeneidade e distribuição dos dados de acordo com o porte, para esse estudo, foram considerados intervalos de dados de vazão até o percentil 95%, sendo desconsiderados os 5% maiores que o limite superior. Assim, quando o percentil 95%, ou

seja, quando 95% dos dados de vazão apresentavam valores até 150 L/s, as estações foram consideradas de pequeno porte. Já as estações cujo percentil 95% da vazão estava entre 150 L/s e 500 L/s, foram consideradas de médio porte, por fim, estações que possuíam percentil 95% da vazão superior a 500 L/s, grande porte.

A Tabela 1 a seguir apresenta as principais características das ETA estudadas.

Tabela1: Características das estações de tratamento de água.

Estação	Tecnologia de tratamento	Perc. 95% da Vazão tratada (L/s)	Porte	Classificação do Manancial
ETA 01	Convencional	53	Pequeno	Lótico
ETA 02	Convencional	153	Médio	Lótico
ETA 03	Convencional	7750	Grande	Lótico

DADOS DE MONITORAMENTO

Os dados de monitoramento de qualidade da água bruta e tratada das estações foram disponibilizados pelos prestadores de serviços de saneamento, abrangendo o período de janeiro de 2010 a junho de 2017. Optou-se por analisar os parâmetros turbidez e cor verdadeira, por serem largamente utilizados em estudos de avaliação de ETA e rotineiramente monitorados pela quase totalidade das estações de tratamento no Brasil e no mundo.

A frequência de monitoramento dos parâmetros turbidez e cor aparente é específica em cada ETA, sendo que para a água bruta a frequência foi de no mínimo duas vezes ao dia, enquanto as de água tratada em intervalos de duas em duas horas. Os dados foram organizados e sistematizados em planilhas Microsoft Excel®, e no total foram analisados 93.476 dados de turbidez e 84.111 dados de cor aparente, considerando água bruta e tratada, possibilitando uma avaliação mais próxima à realidade de funcionamento das ETA.

EMPREGO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS ESTAÇÕES

Inicialmente foi efetuada a identificação de valores extremos (*outliers*), dados inconsistentes ou falhas de preenchimento, além da execução do teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*, ao nível de significância de 5%, e do teste gráfico *Normal Probability Plot*. A identificação de *outliers* foi feita a partir da técnica de amplitude interquartis (AIQ), dada pela diferença entre o terceiro (Q75) e o primeiro (Q25) quartis, sendo considerado *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).

Posteriormente, foi analisado o desempenho das ETA a partir da estatística descritiva (número de dados, média, mediana, mínimo, máximo, percentis 25% e 75%, desvio padrão e coeficiente de variação) e da aplicação do teste de hipóteses não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, uma vez que os dados não apresentaram uma boa aderência à distribuição normal, seguido do teste de comparações múltiplas (quando identificada diferença significativa no teste de *Kruskal-Wallis*), ao nível de significância de 5%, por meio do *software* Statistica® 10.0. Tal análise foi feita considerando a água bruta e a água tratada, levando em consideração o porte das estações. Também foi calculada a eficiência de remoção dos parâmetros mencionados. Por fim, foi verificado o atendimento aos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (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) ao longo de todo período de monitoramento analisado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da estatística descritiva de turbidez e cor aparente da água bruta (AB) e da água tratada (AT) referente as três estações de tratamento de água avaliadas neste estudo. Em seguida são apresentados os gráficos *Box-Whisker* e as tabelas com os resultados dos testes de *Kruskal-Wallis* e comparações múltiplas para a turbidez da água bruta (Figura 1 e Tabela 3) e tratada (Figura 2 e Tabela 4).

Tabela 2: Estatística descritiva dos dados de turbidez e cor aparente da água bruta (AB) e da água tratadas (AT) das ETA.

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	6.585	19.862	5.506	23.349	8.295	29.879	6.092	19.862	5.425	17.180	5.644	29.908
Média	78,4	0,5	38,4	1,64	178,3	0,19	301,1	2,5	134,7	2,7	228,0	1,0
Mediana	32,4	0,46	8,7	1,4	52,0	0,17	87,5	2,5	40,0	2,5	45,0	1,0
Mínimo	0,27	0,15	1,16	0,32	1,0	0,0	1,0	2,5	1,5	2,5	1,0	1,0
Máximo	2300,0	1,1	2870,0	7,3	4000,0	8,9	4000,0	5,0	4000,0	15,0	4000,0	15,0
Perc. 25%	21,7	0,38	4,3	0,99	13,35	0,13	62,5	2,5	20,0	2,5	20,0	1,0
Perc. 75%	72,0	0,59	28,0	2,0	198,0	0,23	250	2,5	110,0	2,5	175,0	1,0
DP	137,2	0,17	122,2	0,9	337,06	0,12	510,66	0,11	295,03	0,77	479,58	0,09
CV	1,75	0,34	3,18	0,55	1,89	0,61	1,7	0,04	2,19	0,28	2,1	0,09

DP – Desvio Padrão

CV – Coeficiente de Variação

A análise estatística dos dados de turbidez da água bruta (Figura 1 e Tabela 3) indicou diferenças significativas para este parâmetro em todas as estações de tratamento de água (valor-p do teste de *Kruskal-Wallis* e comparações múltiplas < 0,05). A turbidez da água bruta foi significativamente superior na ETA de grande porte. Isso pode ser justificado pelo fato das estações de tratamento de água de grande porte atenderem grandes comunidades que, em geral, estão localizadas em regiões nas quais a deterioração da qualidade da água bruta por ações antrópicas manifesta-se de forma mais aguda, conforme tendência indicada por Libânio (2016). Já a estação de médio porte foi a que apresentou menor mediana para a turbidez da água bruta.

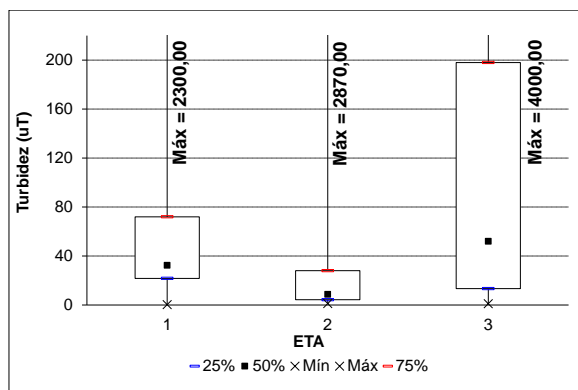


Figura 1: Box-Whisker dos dados de turbidez da água bruta.

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: Pequeno porte; ETA 2: Médio porte; ETA 3: Grande porte

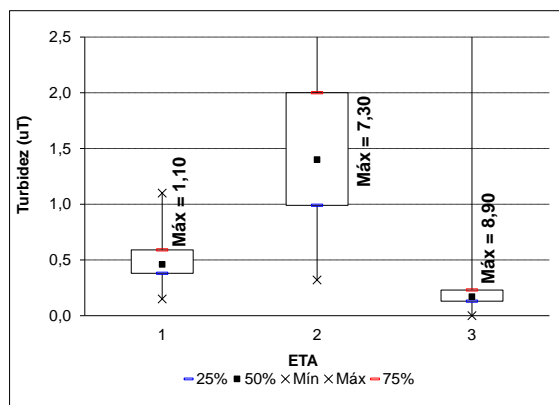


Figura 2: Box-Whisker dos dados de turbidez da água tratada.

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: Pequeno porte; ETA 2: Médio porte; ETA 3: Grande porte

No entanto, ao se analisar a qualidade da água tratada através da Tabela 4 e Figura 2 observa-se comportamento contrário do registrado para a água bruta. A estação de grande porte apresentou turbidez da água tratada significativamente inferior às demais ETA (valor-p do teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas $< 0,05$). Tal resultado indica a robustez da ETA 3 (grande porte), tendo em vista que conseguiu garantir menores valores para a turbidez da água tratada mesmo tendo registrado maiores valores para a turbidez da água bruta. Zang *et al.*, (2012) denota a robustez como uma característica fundamental da ETA para favorecer a produção de água de qualidade para a população.

Em relação à eficiência de remoção de turbidez, a ETA de médio porte apresentou a menor eficiência, o que era de se esperar uma vez que a turbidez afluente a esta estação é menor. A eficiência mediana de remoção de turbidez da ETA 2 (médio porte) foi cerca de 84%, enquanto as outras duas ETA apresentaram para mais de 75% dos dados eficiência de remoção de turbidez superior a 99%, indicando um ótimo desempenho.

Em seguida, são apresentados os gráficos Box-Whisker e as tabelas com os resultados dos testes de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas para a cor da água bruta (Figura 3 e Tabela 5) e tratada (Figura 4 e Tabela 6).

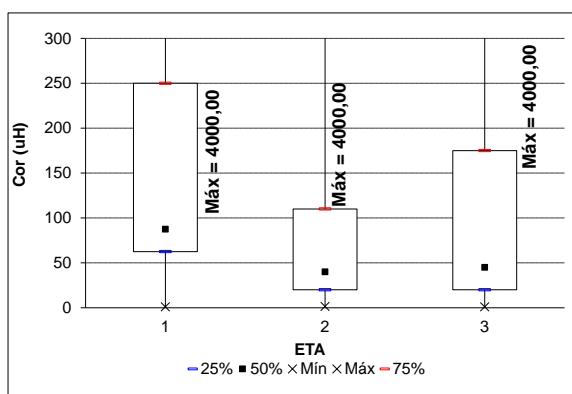


Figura 3: Box-Whisker dos dados de cor da água bruta.

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: Pequeno porte; ETA 2: Médio porte; ETA 3: Grande porte

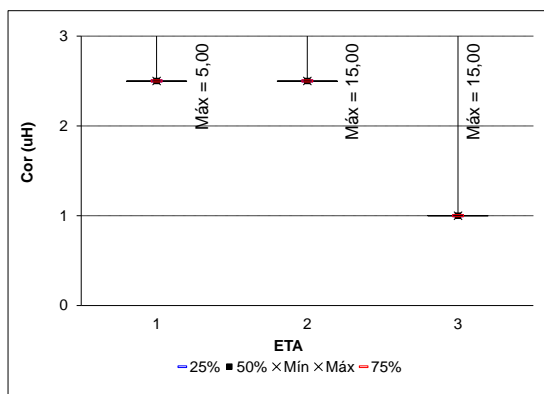


Figura 4: Box-Whisker dos dados de cor da água tratada.

Tabela 6: Resultados dos testes de *Kruskal-Wallis* de Comparações Múltiplas dos dados de cor da água tratada.

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: Pequeno porte; ETA 2: Médio porte; ETA 3: Grande porte

O parâmetro cor da água bruta também apresentou diferenças significativas para as três estações (valor-p do teste de *Kruskal-Wallis* e comparações múltiplas $< 0,05$), sendo inferior na ETA 2 (médio porte), seguida da ETA 3 (grande porte) e da ETA 1 (pequeno porte), respectivamente, conforme Tabela 5 e Figura 3. Já na água tratada (Figura 4 e Tabela 6), é possível observar uma baixa amplitude interquartil para a cor em todas as estações indicando uma baixa variação e consequente capacidade de produzir água tratada com qualidade, considerando a maior parte dos dados analisados. Tal assertiva é comprovada ao observar que mais de 75% dados de cor da água tratada das três ETA apresentaram valores até 2,5 uH, bem abaixo do limite de 15 uH estabelecido no padrão de potabilidade brasileiro.

Assim como para o parâmetro turbidez, a ETA 2 de médio porte apresentou novamente o pior desempenho em relação à eficiência de remoção da cor aparente, com valor mediano de aproximadamente 94%. Já as ETA 1 (pequeno) e 3 (grande) apresentaram eficiência mediana de remoção para este parâmetro superior a 97%.

Por fim a Figura 5 apresenta o gráfico com o percentual de atendimento aos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde para os parâmetros turbidez e cor aparente (BRASIL, 2017).

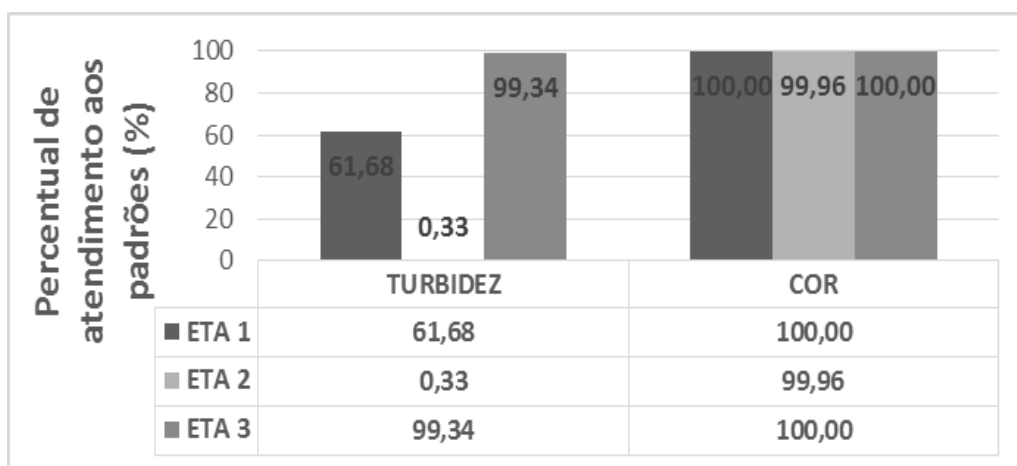


Figura 5: Percentual de atendimento aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5 para os parâmetros turbidez e cor aparente.

O pior desempenho da ETA 2 (médio porte) também é constatado ao se analisar o percentual de atendimento aos padrões. Para o parâmetro turbidez este percentual foi crítico (0,33%), podendo representar um risco à população abastecida, uma vez que partículas responsáveis pela turbidez podem abrigar microrganismos patogênicos. A ETA 1 também ficou distante de conseguir atender ao padrão de potabilidade de turbidez por completo, registrando um percentual de 61,68%, situação também não favorável. Já a ETA 3 (grande porte) mostrou supremacia em relação às demais, com quase 100% de atendimento ao padrão de potabilidade deste

parâmetro. O percentual de atendimento ao padrão de potabilidade de cor foi total para as ETA 1 e 3 e próximo do total para a ETA 2 (99,96%), indicando melhor situação para este parâmetro.

Portanto, no geral, a ETA de grande porte apresentou um melhor desempenho em relação às demais, o que pode estar relacionado ao maior rigor operacional em estações de tratamento de água deste porte. Além disso, muitas ETA de grande porte possuem sistemas automatizados, o que reduz a probabilidade de erros ou desvios na operação, conforme relatado por Melo (2014) e Libânio (2016).

CONCLUSÕES

A ETA 3 (grande porte) apresentou maiores valores de turbidez e menores valores de cor na água bruta em relação às demais estações de tratamento. O desempenho desta ETA foi superior às demais em termos da qualidade da água tratada, o que pode estar relacionado a melhores condições operacionais. Ao considerar a eficiência de remoção, a estação de médio porte (ETA 2) apresentou o pior desempenho para ambos os parâmetros. Em termos do atendimento ao padrão de potabilidade, no período avaliado, todas as ETA atingiram valores de cor dentro do limite indicado na Portaria de Consolidação n.º 5 do Ministério da Saúde, para a maioria dos dados. Por sua vez, em termos do parâmetro turbidez, o limite previsto na portaria não foi atingido nas ETA 1 (pequeno porte) e 2 (médio porte), representando um risco para a saúde da população abastecida.

Dessa forma é possível concluir que a ETA de grande porte apresentou um melhor desempenho em relação às demais, o que já era esperado, uma vez que estações de grande porte, em geral, apresentam maior rigor relacionado aos aspectos operacionais como o manuseio de equipamentos, a frequência e a confiabilidade do monitoramento. Ressalta-se a importância da avaliação contínua e aprofundada dos dados de monitoramento, tanto da água bruta quanto da 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 n.º 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. HELLER, L.; PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo humano*. 2ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. ISBN 9788570418456.
3. LEVINE, D. M., STEPHAN, D. F., KREHBIEL, T. C., BERENSON, M. L. *Statistics for Managers Using Microsoft Excel*, 5th. ed., Person Education In, 2008. 858p.
4. LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 4ª. ed. Campinas: Átomo, 2016. ISBN 9788576702719.
5. MELO, L. D. V. *Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de água*. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
6. 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.
7. NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.
8. NAWAZ, S.; ALL, Y. Factors Affecting the Performance of Water Treatment Plants in Pakistan. *Water Conservation Science and Engineering*, p.1–13, 2018.

9. OLIVEIRA, M. D., MELO, L. D. V., QUEIROGA, L. L., OLIVEIRA, S. M. A. C., LIBANIO, M. Applying reliability analysis to evaluate water treatment plants. *Water Science & Technology: Water Supply*, v.14, n.4, p. 634-642, 2014.
10. 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.
11. SOUZA, G.A. *Aplicação de gráficos de controle estatístico de processo para avaliação de desempenho de estações de tratamento de água*. Belo Horizonte, 2018. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.
12. ZHANG, K.; ACHARI, G.; SADIQ, R.; LANGFORD, C. H.; DORE, M. H. I. An integrated performance assessment framework for water. *Water Research*, v. 46, n. 6, p. 1673-1683, 2012.