

I-265 - ANÁLISES DE DESEMPENHO E DE CONFIABILIDADE DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Mariângela Dutra de Oliveira⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor do Instituto Federal do Espírito Santo

Juliana Freitas Ramos da Fonseca

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental no Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

Nestor Alcides Gorza Júnior

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo. Gerente de Projetos e Programas Estratégicos da Companhia Espírito Santense de Saneamento.

Marcelo Libânio

Engenheiro Civil pela. Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Pós-Doutor pela Universidade de Alberta. Professor da Universidade Federal de Minas Gerais.

Endereço⁽¹⁾: Av. Vitória, 1.729, Jucutuquara - Vitória - ES - CEP: 29040-780 - Brasil - Tel.: (27) 3331-2237 - e-mail: mariangeladutra@ifes.edu.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi demonstrar a aplicabilidade da análise de confiabilidade para avaliação de desempenho de estações de tratamento de água. Foram utilizados dados de monitoramento diário da qualidade das águas bruta e tratada, abrangendo os parâmetros turbidez, cor aparente, pH e cloro residual, no período de janeiro de 2009 a 2014. A análise de confiabilidade foi conduzida em três etapas: (i) Eficiência do tratamento em cada estação; (ii) Avaliação do atendimento aos padrões e metas de qualidade da água tratada por estação; (iii) Aplicação das técnicas para análise de confiabilidade das ETA, especificamente para o cálculo da turbidez média necessária, afluenta a ETA, para o cumprimento das metas e padrões da qualidade da água tratada. Os resultados mostraram que as ETA não estão estruturadas para atender às metas mais restritivas do parâmetro turbidez da água tratada. Quando analisados os parâmetros cor aparente, pH e cloro residual constata-se que as estações apresentam um desempenho confiável, em termos de cumprimento aos padrões. Estas análises podem se tornar ferramentas de apoio aos gestores das unidades de tratamento de água, permitindo a tomada de decisão quanto às ações de curto, médio e longo prazo, tanto quanto à preservação do manancial, tanto quanto à otimização das estações.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de confiabilidade, avaliação de desempenho, tratamento de água.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Falhas no processo de tratamento das águas de abastecimento expõem a comunidade a riscos à saúde, por meio das doenças intestinais e outras doenças de veiculação hídrica. Desta forma, para garantir com eficiência a função de proteger a população contra os riscos à saúde, é fundamental o adequado funcionamento em todas as etapas da estação de tratamento de água (ETA).

Uma das formas de assegurar a qualidade da água é avaliar a confiabilidade da estação na produção de água segundo padrões e metas pré-determinadas. Para determinar a concentração média de um parâmetro na água tratada que garanta que a sua concentração estará abaixo de certo padrão/meta, com um determinado nível de confiabilidade, Niku et al. (1979) desenvolveram um método baseando-se em análises probabilísticas. Este método tem sido muito utilizado para avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgotos e foi recentemente aplicado também para avaliação de desempenho de seis estações de tratamento de água (Melo et al., 2015). A análise de confiabilidade como ferramenta de avaliação de desempenho poderá ser utilizada como mecanismo de apoio à tomada de decisão, auxiliando os gestores na hierarquização das ações de melhoria, controle e manutenção dos sistemas de abastecimento de água.

Para o adequado desempenho três características da estação de tratamento fazem-se necessárias: robustez, resiliência e confiabilidade.. A primeira pode ser definida como a capacidade da estação de manter a produção de água tratada com qualidade estável, independente das variações que possam ocorrer nas características da água bruta. Esta característica explica – e em muitos cenários justifica – a prevalência da tecnologia convencional de potabilização no Brasil e no mundo. Já a resiliência expressa a velocidade com que a estação retorna ao seu desempenho normal após algum distúrbio, geralmente causado pela deterioração da qualidade da água bruta ou problemas operacionais como, por exemplo, interrupção da adição de coagulante. Por fim, a confiabilidade – no qual o cerne do artigo se insere - avalia a probabilidade com que a estação atinja as metas de qualidade em determinado período de tempo, metas impostas pela legislação vigente ou definidas pelo próprio prestador de serviço de abastecimento de água (ZHANG et al., 2012).

Neste contexto, o presente trabalho objetiva avaliar o desempenho e a confiabilidade de 11 estações convencionais de tratamento de água, utilizando dados operacionais diários referentes ao período de 2009 a 2014.

METODOLOGIA

Os 11 sistemas de abastecimento estão localizados em 19 municípios da Região Sudeste, operando 24h por dia com vazões médias captadas de 26L/s a 1952L/s. Foram utilizados para análise os parâmetros cor, turbidez e pH tanto da água bruta como da água tratada e cloro residual.

Os dados foram submetidos a uma análise de consistência para identificação de valores atípicos. As observações atípicas podem ser consideradas outliers ou dados inconsistentes. Esses dados são substancialmente diferentes do restante e sua ocorrência pode indicar características reais da população ou erros de medição ou registro, que podem distorcer seriamente os resultados dos testes estatísticos. Os dados fora da faixa de pH estabelecida pelas legislações e comumente observados na região ($5 \leq \text{pH} \leq 9$) foram excluídos da amostra. Os demais dados foram utilizados na íntegra, mesmo apresentando valores extremos, por serem considerados possíveis de ocorrer sob a influência de eventos pluviométricos, apresentando características pontuais e/ou sazonais.

Por fim, foi realizado a análise estatística dos dados, com as informações: número de dados disponíveis, a média, mediana, os valores máximo e mínimo, os percentis 10, 25, 75 e 90%, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Posteriormente foi avaliado a normalidade dos dados através dos testes de normalidade Shapiro Wilk e o teste gráfico “Normal Probability Plot” executados no software Statística (STATSOFT, 2007, LEVINI et al., 2008).

Avaliação de desempenho

A análise de desempenho das estações foi realizada com base nos parâmetros pH, cor aparente e residual de cloro, quanto ao atendimento aos padrões estabelecidos na portaria 2914/2011. Para turbidez da água tratada foi avaliado o atendimento às metas de 0,1; 0,3; 0,5; 1,0 uT. As metas das concessionárias de abastecimento de água, de um modo geral, são mais restritivas que os padrões de potabilidade, desta forma serão considerados para desenvolvimento deste estudo, o padrão nacional (Portaria 2914/11) e o internacional (WHO, 2011; USEPA, 2009) para turbidez da água filtrada como metas para a turbidez da água tratada.

Nesta etapa foi também avaliada a eficiência da estação quanto à remoção dos parâmetros em estudo nos períodos hidrológicos (seco e chuvoso).

Análise de Confiabilidade

Segundo Melo (2014), a confiabilidade permite a verificação do percentual do tempo em que os padrões de qualidade são atendidos e a estabilidade do processo. A análise de confiabilidade será efetuada utilizando a turbidez da água tratada e as metas de 0,1; 0,3; 0,5; 1,0 uT e cor aparente considerando o padrão estabelecido pela Portaria 2914/11.

Para estimar a confiabilidade da estação, é necessário calcular o coeficiente de confiabilidade que relaciona os registros do efluente médio das estações aos padrões/metras limites destes parâmetros em uma base

probabilística. Por exemplo, para se atingir a meta de turbidez efluente é 0,5 uT em 95% do tempo, o processo deve ser projetado de forma que mesmo com a variabilidade inerente à operação o objetivo seja alcançado. Desta forma, a média do constituinte (M_x) pode ser alcançado pela Equação 1.

$$M_x = CC X_s \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

M_x : Concentração média do constituinte;

CC: coeficiente de confiabilidade;

X_s : Meta/ padrão de qualidade a ser alcançado.

O coeficiente de confiabilidade pode ser obtido por meio da Equação 2:

$$CC = \sqrt{CV^2 + 1} \times \exp \left[- Z_{1-\alpha} \sqrt{\ln (CV^2 + 1)} \right] \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

CV: Coeficiente de variação;

$Z_{1-\alpha}$: variável normal central reduzida correspondente à probabilidade de não cumprimento da legislação.

RESULTADOS OBTIDOS

Avaliação de desempenho

Na análise de consistência dos dados referentes às estações amostradas (Tabela 1), foram excluídos os dias com pH fora do limite estabelecido pela legislação para água bruta e água tratada ($5,0 \leq \text{pH} \leq 9,0$), os demais dados foram utilizados na íntegra por serem considerados possíveis de ocorrer. O número de dados consolidados, para cada estação, é apresentado na Tabela 2.

Tabela 1- Estações de tratamento de água do tipo convencional

Estação de Tratamento de Água	Vazão Média (L/s)	Tipo de fonte de água
I	92	Lótico
II	43	Lótico
III	390	Lótico
IV	40	Lótico
V	42	Lótico
VI	51	Lótico
VII	185	Lótico
VIII	119	Lêntico
IX	26	Lótico
X	285	Lótico
XI	1952	Lótico

Tabela 2- Número de dados consolidados de cada Estações de tratamento de água analisada

Estação de tratamento de água		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Período de Monitoramento		2011 2014	2011 2014	2009 2014	2003 2014	2009 2013	2009 2014	2009 2014	2009 2014	2009 2014	2009 2014	2009 2014
Vazão Afluente (L/s)		713	1107	2129	1581	1559	1459	324	2118	2146	1884	2121
Água Bruta	Cor Aparente (uH)	869	1441	2131	1581	1559	1459	325	1864	1809	1870	2105
	Turbidez (uT)	869	1429	2131	1581	1558	1459	325	2131	2145	1882	2118
	pH	869	1126	2131	1581	1559	1459	325	2132	2144	1881	2118
Água Tratada	Cor Aparente (uH)	868	1315	2044	1083	1558	1459	325	1855	1811	1871	2103
	Turbidez (uT)	868	1428	2131	1580	1559	1459	325	2132	2141	1881	2119
	pH	720	1131	2072	1073	1559	1459	325	2132	2115	1884	2068
Dosagem	Cloro Residual (mg/L)	866	1442	2119	1580	1558	1459	325	2132	2146	1884	2066

Foi realizada a estatística descritiva dos mesmos. Como era de se esperar os dados não apresentaram uma normalidade sendo, portanto tratados a partir deste momento com estatística não paramétrica.

A eficiência de remoção de turbidez dos sistemas de tratamento é apresentada na Tabela 3, para o período seco e chuvoso. Pode-se observar remoção da turbidez acima 94,8% no período chuvoso, e acima de 95% no período seco. A ETA VIII, única estação abastecida integralmente por um sistema lântico (barragem de acumulação), apresentou os menores valores de eficiência com percentual de remoção de 85,7% no período chuvoso e de 89,3% no período seco. Esta análise não pode estar dissociada da avaliação no atendimento às metas e a magnitude da turbidez da água bruta. Neste caso específico, a turbidez afluente à ETA VIII consistentemente apresentou-se inferior a 5,0 uT.

Tabela 3- Eficiência de remoção de turbidez

Estação de Tratamento de água	EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ (%)	
	Período Chuvoso	Período Seco
I	96,7	96,5
II	96,4	97,3
III	94,8	95,0
IV	96,9	95,7
V	99,3	99,2
VI	99,2	99,1
VII	97,7	96,3
VIII	85,7	89,3
IX	97,3	97,4
X	98,0	97,8
XI	98,2	97,8

A avaliação de atendimento às metas e padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde e na USEPA é apresentada a seguir para a turbidez, cor aparente, pH e cloro residual da

água tratada. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 4, para o período chuvoso e na tabela 5 para o período seco.

Em relação à turbidez da água tratada, foi avaliado o atendimento às metas estabelecidas de 0,1uT, 0,3uT, 0,5uT e 1,0uT. Estes valores foram tomados como referência dos limites de turbidez da água filtrada estabelecidos pela legislação internacional (USEPA, 2009 e WHO, 2011) e legislação nacional (Portaria 518/2004 e 2914/2011). Já os parâmetros cor, pH e cloro residual foram analisados conforme a Portaria 2914/2011.

Tabela 4- Avaliação do percentual de atendimento às metas para as Estações no Período Chuvoso

Estação de Tratamento de água	ATENDIMENTO ÀS METAS						
	TURBIDEZ				COR	pH	CLORO RESIDUAL
	Meta 1,0 uT	Meta 0,5 uT	Meta 0,3 uT	Meta 0,1 uT			
I	91%	62%	34%	15%	100%	100%	100%
II	97%	74%	39%	1%	100%	100%	100%
III	92%	69%	49%	0%	100%	100%	100%
IV	55%	24%	15%	0%	99%	98%	90%
V	96%	83%	64%	0%	100%	94%	100%
VI	79%	72%	66%	0%	98%	100%	100%
VII	83%	29%	7%	0%	99%	100%	100%
VIII	97%	56%	16%	0%	100%	100%	100%
IX	85%	77%	57%	0%	100%	98%	100%
X	68%	40%	25%	8%	100%	100%	100%
XI	86%	16%	2%	0%	100%	100%	100%

Tabela 5- Avaliação do percentual de atendimento às metas para as Estações no Período Seco

Estação de Tratamento de água	ATENDIMENTO ÀS METAS						
	TURBIDEZ				COR	PH	CLORO RESIDUAL
	Meta 1,0 uT	Meta 0,5 uT	Meta 0,3 uT	Meta 0,1 uT			
I	97%	80%	54%	24%	100%	99%	100%
II	99%	86%	47%	13%	100%	100%	100%
III	99%	88%	63%	0%	100%	100%	100%
IV	72%	36%	18%	0%	100%	98%	91%
V	99%	96%	83%	0%	100%	99%	100%
VI	97%	95%	92%	0%	98%	100%	100%
VII	92%	46%	11%	0%	100%	100%	100%
VIII	100%	80%	29%	1%	100%	100%	99%
IX	95%	91%	71%	0%	100%	98%	99%
X	80%	47%	31%	11%	100%	100%	100%
XI	90%	21%	5%	1%	100%	100%	100%

Considerando o período de estudo pode-se observar que:

- Nenhuma estação amostrada apresentou melhor desempenho no período chuvoso em relação ao período de estiagem, em termos de atendimento às metas mencionadas para turbidez da água tratada. Esta constatação reforça a perspectiva de avaliação do desempenho de estações calcada no período chuvoso, quando as limitações hidráulicas e/ou operacionais se tornam mais evidentes. A exceção a

tal perspectiva se manifestaria quando a água bruta adviesse de mananciais lânticos com eventos de eutrofização no período de estiagem.

- Verificou-se maior dificuldade no atendimento das metas e padrões mais restritivos de turbidez da água tratada, para todas as estações amostradas;
- As estações com menor percentual de atendimento à meta de turbidez da água tratada igual a 1 uT, são as ETA IV e X que trabalham com sobrecarga;
- Quanto ao atendimento à meta 0,5uT, tem-se um percentual de atendimento variando de 16% a 83% no período chuvoso e 21% a 96% no período seco. As estações com menor percentual de atendimento a esta meta são as ETA IV e XI. Cabe ressaltar que a Portaria 2914/11 entrou em vigor em 2012 com metas progressivas de turbidez da água tratada. Todavia, parcela significativa do banco de dados foi gerada quando da vigência da portaria 518/04, que preconizava limite de turbidez de 1 uT.
- Segundo artigo 31 da Portaria 2914/2011, em mananciais superficiais quando identificada média geométrica anual maior ou igual a 1.000 **E. coli**/100mL, deve-se monitorar cisto **Giardia spp.** e oocistos de **Cryptosporidium spp.** e quando a média aritmética da concentração de oocisto de **Cryptosporidium spp.** for maior ou igual a 3,0 oocistos/L é recomendado manter a turbidez da água filtrada menor ou igual a 0,3uT em 95% das amostras mensais. A menção à média geométrica da densidade de **E.coli** na água bruta cresce em relevância devido aos diversos registros no afluente às estações amostradas superiores a 1.000 NMP/ 100 mL. Constatamos nos resultados, cuja avaliação foi realizada com base na qualidade da água tratada, que o percentual de atendimento a esta meta variou de 2% a 66% no período chuvoso e de 5% a 92% no período seco.
- A USEPA (2009) apresenta a meta de 0,1 uT, como condição de otimização dos sistemas. Dentre as estações com algum percentual de atendimento a esta meta destacamos: ETA I, II e X, no período chuvoso e seco.
- Avaliando o nível de atendimento aos padrões estabelecidos para cor, pH e cloro residual, na Portaria 2914/2011, constata-se um percentual de atendimento superior a 98% nos períodos chuvoso e seco. Chama a atenção o percentual de atendimento ao padrão do pH que ficou em 94% na ETA V no período chuvoso e o percentual de atendimento ao padrão cloro residual que ficou em 91% na ETA IV no período seco.

Análise de Confiabilidade

Foi adotado um nível de confiabilidade de 95%, para o cálculo do CC dos parâmetros de interesse, utilizando os coeficientes de variação efetivamente apresentados pelas estações. Abaixo apresenta-se a relação CC x CV para todos os sistemas considerando o parâmetros turbidez (gráficos 1 e 2) e cor aparente (gráfico 2 e 3).

Pode-se perceber que quanto maior o coeficiente de variação (CV), menor o valor do coeficiente de confiabilidade (CC), permitindo inferir que a estação apresenta um comportamento mais instável. A estação VI caracteriza bem esta situação, quanto analisado o parâmetro turbidez, tanto no período chuvoso quanto de estiagem. Por outro lado, quando analisado o parâmetro cor, a ETA VI ainda apresenta uma certa instabilidade no período chuvoso, entretanto já apresenta estabilidade no período seco. É fundamental para o bom desempenho de uma estação a manutenção da estabilidade da mesma ao longo da sua operação associado a uma boa eficiência e um atendimento adequado as metas e padrões estabelecidos para a mesma.

Gráfico 1- Comparação entre CC e CV da turbidez- período chuvoso

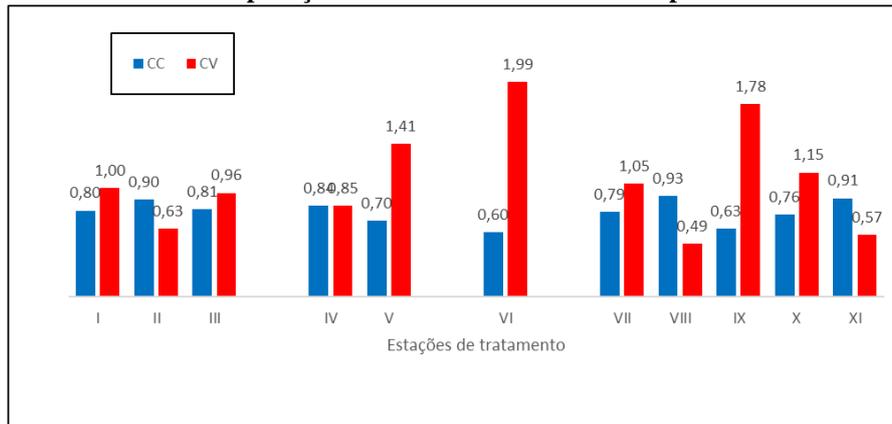


Gráfico 2- Comparação entre CC e CV da turbidez- período seco

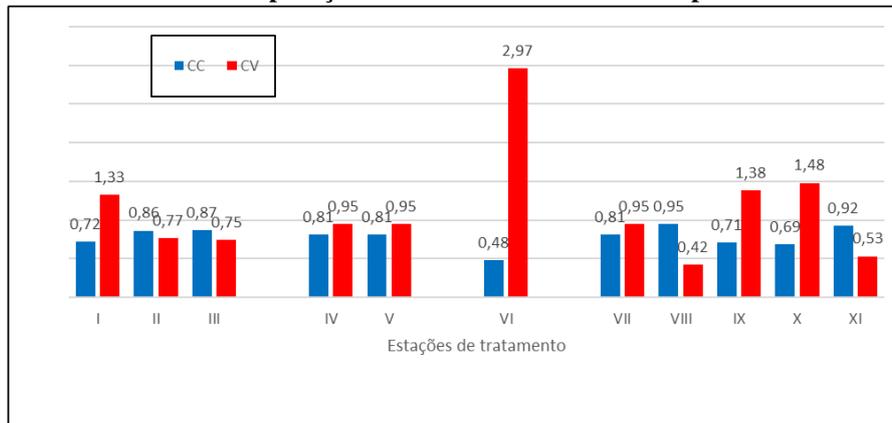


Gráfico 3- Comparação entre CC e CV da cor - período chuvoso

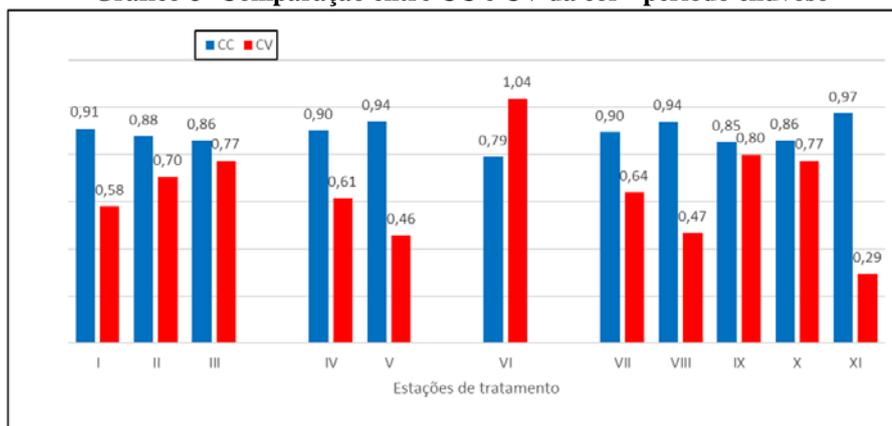
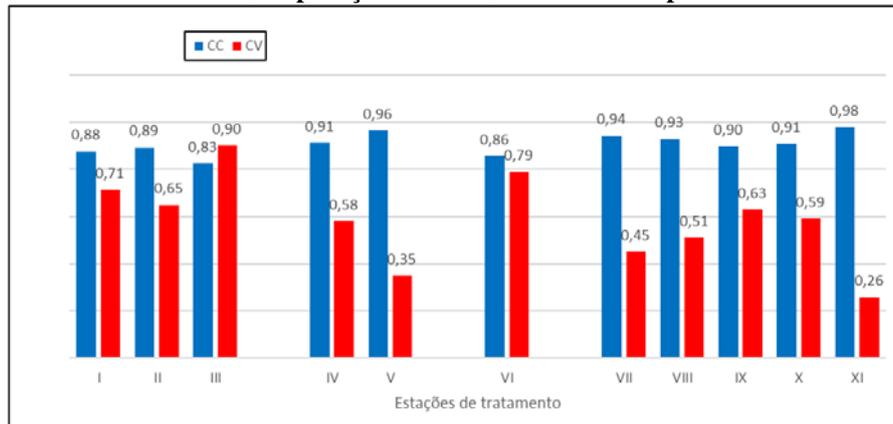


Gráfico 4- Comparação entre CC e CV da cor - período seco



A tabela 4, apresenta a média da turbidez da água tratada, e as médias de turbidez requeridas para que em 95% do tempo as metas estipuladas sejam atendidas pelos sistemas.

A partir do exame da Tabela 4, confirma-se pela análise de confiabilidade para turbidez da água tratada que nenhuma estação amostrada apresentou, melhor desempenho no período chuvoso em relação ao de estiagem. Igualmente, as estações não produzem efluente com turbidez média que atenda às metas de 0,3 e 0,1 uT, com exceção da ETA V que em 95% do tempo consegue atender a meta 0,3uT no período seco.

As estações IV e X não conseguem atender a meta 1,0 uT nos períodos chuvoso e seco e as únicas estações que atendem em 95% do tempo a meta 0,5uT no período chuvoso são as ETA II e V.

Tabela 6- Análise de confiabilidade em relação a turbidez dos sistemas ($\alpha = 95\%$) para o período seco e chuvoso

Estação de Tratamento de água	Período	Média Turbidez AT (uT)	Meta 1,0 (uT)	Meta 0,5 (uT)	Meta 0,3 (uT)	Meta 0,1 (uT)
I	Chuvoso	0,49	0,80	0,40	0,24	0,08
	Seco	0,33	0,72	0,36	0,22	0,07
II	Chuvoso	0,41	0,90	0,45	0,27	0,09
	Seco	0,33	0,86	0,43	0,26	0,09
III	Chuvoso	0,44	0,81	0,40	0,24	0,08
	Seco	0,27	0,87	0,43	0,26	0,09
IV	Chuvoso	1,21	0,84	0,42	0,25	0,08
	Seco	0,92	0,81	0,41	0,24	0,08
V	Chuvoso	0,33	0,70	0,35	0,21	0,07
	Seco	0,19	0,81	0,41	0,24	0,08
VI	Chuvoso	0,81	0,60	0,30	0,18	0,06
	Seco	0,22	0,48	0,24	0,14	0,05
VII	Chuvoso	0,83	0,79	0,39	0,24	0,08
	Seco	0,61	0,81	0,41	0,24	0,08
VIII	Chuvoso	0,51	0,93	0,47	0,28	0,09
	Seco	0,38	0,95	0,47	0,28	0,09
IX	Chuvoso	0,59	0,63	0,32	0,19	0,06
	Seco	0,31	0,71	0,35	0,21	0,07
X	Chuvoso	0,96	0,76	0,38	0,23	0,08
	Seco	0,85	0,69	0,34	0,21	0,07
XI	Chuvoso	0,77	0,91	0,46	0,27	0,09
	Seco	0,70	0,92	0,46	0,28	0,09

Na Tabela 5 apresentam-se a média de cor observada e a média de cor requerida para que o sistema contemple a meta estipulada em 95% do tempo. Todas as estações apresentaram valores médios de cor inferiores ao recomendado pela Portaria 2914, que define valores de cor inferior a 15uH.

Tabela 7- Análise de confiabilidade em relação a cor dos sistemas ($\alpha = 95\%$) para o período seco e chuvoso

Estação de tratamento de água	Período Chuvoso		Período Seco	
	Média de Cor Aparente AT (uH)	Meta 15 (uH)	Média de Cor Aparente AT (UH)	Meta 15 (uH)
I	3,14	7,13	2,38	6,41
II	2,32	6,45	2,04	6,75
III	3,18	6,15	1,71	5,66
IV	4,21	6,95	4,66	7,15
V	1,95	8,06	1,58	9,11
VI	3,43	5,30	1,93	6,09
VII	3,93	7,09	2,95	8,11
VIII	3,38	7,97	3,10	7,61
IX	2,23	6,05	1,50	6,87
X	6,35	6,15	5,58	7,09
XI	4,77	9,74	4,45	10,23

CONCLUSÃO

A qualidade da água bruta afluenta a estação possui variabilidade ao longo do ano, podendo ainda, ser influenciada de acordo com o seu período hidrológico, o que interfere o método de tratamento a ser empregado.

A análise de eficiência na remoção de turbidez é a mais frágil das ferramentas, pois pode apresentar resultados pouco representativos quando o sistema opera com baixos valores de turbidez afluenta.

As análises de atendimento às metas e confiabilidade indicaram que:

- nenhuma estação apresentou melhor desempenho no período chuvoso em relação ao período de estiagem, para turbidez da água tratada, condição esperada considerando o grande aporte de sólidos à estações que normalmente ocorre no período chuvoso.
- as estações apresentam maior dificuldade no atendimento das metas e padrões mais restritivos para a turbidez,
- as estações apresentam bom atendimento aos padrões de cor, pH e cloro residual;
- algumas estações ainda têm dificuldade de atender as metas 1,0uT e 0,5uT nos períodos chuvosos e demandam uma maior atenção, tais como as ETA IV e X

As avaliações de desempenho e confiabilidade de uma estação são ferramentas de apoio à tomada de decisão, auxiliando gestores na hierarquização das ações de melhoria, controle e manutenção dos sistemas de abastecimento de água, bem como indicando necessidade de preservação dos mananciais, entretanto não devem ser utilizadas isoladamente

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da SEAMA/FUNDÁGUA- Convenio SIGA 002/2013 e CNPQ e a CESAN pela disponibilização dos dados e parceria na análise e interpretação dos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da República da União. Poder Executivo: Brasília, DF 2004.
2. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da República da União. Poder Executivo: Brasília, DF 2011.
3. LEVINE, D. M. et al. Estatística: teoria e aplicações. Tradução Teresa Cristina Padilha de Souza. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 752 p.
4. MELO, L. D. V. (2014). Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de água. 2014. 110f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
5. MELO, L.D. V; OLIVEIRA, M.D; LIBANIO, M; OLIVEIRA, S.C. Applicability of statistical tools for evaluation of water treatment plants. Desalination and Water Treatment. V. 1, n. 10, p.1944-3994, 2015
6. NIKU, S., SCHROEDER, E.D., SAMANIEGO F.J. Performance of activated sludge process and reliability-based design. Journal Water Pollution Control Association, v. 51, n. 12, p. 2841 – 2857, 1979.
7. STATSOFT, INC. Statistica (Data Analysis Software System). Version 7. São Paulo: StatSoft, 2007.
8. United States Environmental Protection Agency. USEPA. National Primary Drinking Water Regulations. EPA 816-F-09-004 May 2009. Washington, D.C.: USEPA, 2009.
9. WHO. World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality. 4 ed. Geneva: WHO, 2011.
10. ZHANG, K.; ACHARI, G.; SADIQ, R.; LANGFORD, C. H.; DORE, M. H. I. An integrated performance assessment framework for water treatment plants. *Water Research*, v.46, n.6, p.1673-1683, 2012.