

I-243 - USO DE MODELAGEM ESTATÍSTICA NA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NO SUDESTE DO BRASIL

Juscelino Alves Henriques ⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor do Instituto Federal do Espírito Santo – IFES Campus Ibatiba.

Marcelo Libânio

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP). Professor da UFMG.

Veber Afonso Figueiredo Costa

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora da UFMG.

Mariangela Dutra de Oliveira

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora do Instituto Federal do Espírito Santo – IFES Campus Vitória.

Endereço⁽¹⁾: Av. Sete de Novembro, 40 - Centro - Ibatiba - ES - CEP: 29395-000 - Brasil - Tel: (28) 3543-5500 - e-mail: juscelino.henriques@ifes.edu.br

RESUMO

Avaliar o desempenho dessas estações é primordial, particularmente para os entes responsáveis pela etapa de controle da qualidade da água, tendo em vista que a ETA deve apresentar e operar com condições mínimas necessárias que atendam aos padrões de potabilidade. O presente trabalho tem por objetivo analisar o desempenho de três estações de tratamento de água de pequeno porte localizadas na região sudeste do Brasil, a partir da aplicação de ferramentas estatísticas (regressão linear múltipla). Para o seu desenvolvimento foi elaborado um modelo em regressão linear múltipla para ETAs de pequeno porte de um estado do sudeste do Brasil. Os dados utilizados se referem a ETAs que operam com vazões de até 50 L.s⁻¹. Os sistemas que estão sendo utilizados para a realização desta pesquisa são estações de tratamento de água que realizam tratamento convencional (agitação rápida, floculação, decantação, filtração rápida e desinfecção). Esta escolha se deve ao fato deste tipo de tratamento ser o mais utilizado na maioria das ETAs de todo o país. Foram utilizados 2.691 dados de 21 parâmetros distintos, conforme anteriormente descritos, totalizando 56.511 observações de três estações de tratamento de água, de apenas uma empresa de saneamento. Quando analisado o atendimento dos parâmetros de qualidade da água tratada (pH, cor aparente e turbidez) ao Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017, foi verificado que a ETA 3 apresentou maior frequência de violação ao longo do período analisado. Os resultados apresentados pelo modelo dão indícios de que o mesmo apresenta relação entre os preditores e a variável predita com valor de R² de 0,78. Esse corrobora com a necessidade de se investir em pesquisas nessa linha, que sejam capazes de apresentar resultados realísticos sobre o desempenho das estações de tratamento de água. O modelo desenvolvido em regressão linear múltipla foi capaz de responder as expectativas da pesquisa, sendo necessária a adoção de outras variáveis e/ou metodologias que possam corroborar a otimização do modelo.

PALAVRAS-CHAVE: Estações de tratamento de água, Ferramentas estatísticas, Análise de desempenho de ETAs.

INTRODUÇÃO

A oferta de água para as populações humanas é um desafio que ainda deveremos enfrentar nas próximas décadas para que possamos alcançar a Meta nº 6, estabelecida pela Organização das Nações Unidas, sendo de fundamental importância que esta água atenda a padrões básicos de qualidade ou padrões de potabilidade.

A potabilização da água é uma tarefa de extrema importância quando da necessidade da oferta de um produto com quantidade, e particularmente qualidade necessários aos anseios da população, tendo em vista o fato que este não seja nocivo a saúde humana. Para tanto, as estações de tratamento de água requerem singular atenção, notadamente pelo fato da mesma ser o principal instrumento utilizado para a potabilização da água de abastecimento humano.

Nas ETAs que operam em ciclo completo ou convencionais ocorrem as operações de coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração e desinfecção, podendo ou não apresentar as operações de correção de pH e fluoretação (LIBÂNIO, 2008; DI BERNARDO & PAZ, 2008).

Um dos importantes aspectos relacionados ao tratamento da água é a qualidade e confiabilidade dos sistemas. O desempenho de cada sistema reflete de forma direta na qualidade e na segurança do produto que cada um produz, neste caso, água potável; sendo que para que esta seja distribuída junto à população ela deve estar de acordo com as normas e recomendações das autoridades competentes em matéria de proteção à saúde e meio ambiente. No Brasil, esta conformidade é estabelecida através no Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº5/2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

Este documento estabelece padrões para controle e vigilância da qualidade da água de abastecimento humano, valores máximos permissíveis para determinados parâmetros de qualidade de água, além das metas para que as empresas responsáveis pelos sistemas possam atender a referida Portaria.

Como forma de auxiliar os tomadores de decisões e gestores dos sistemas de tratamento de água tem-se a avaliação de desempenho de estações de tratamento de água (ETA). Segundo Oliveira (2014), inicialmente nesta avaliação levava-se em consideração apenas o atendimento aos aspectos legais vigentes para a potabilização da água, tendo como parâmetro fundamental a turbidez da água efluente a ETA. Contudo, outros conceitos foram introduzidos, tais como: Confiabilidade – capacidade do sistema de produzir água dentro dos Padrões de qualidade; Robustez – disposição do sistema em atender a legislação de qualidade de água independente da qualidade da água afluente a ETA, e Resiliência – tempo que a ETA leva para se recuperar sua operação ordinária após uma interferência (GUPTA & SHRIVASTAVA, 2006; ZAKARIAN et al., 2007 e GUNDERSON & PRICHARD, 2002).

Para a aplicação desta avaliação, diversos indicadores foram desenvolvidos em todo o mundo, levando em consideração diversos aspectos operacionais das ETAs, qualidade de água bruta e tratada, entre outros. Alguns destes indicadores foram desenvolvidos no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SMARH) da Universidade Federal de Minas Gerais, Índice de Qualidade de Estações Convencionais de Tratamento de Água – IQETA (LOPES, 2005; ALMEIDA, 2009), Índice de Qualidade de Água Bruta – IQAB (SOUZA, 2008), e os Índice de Qualidade da Estação de Tratamento de Água Fuzzy – IQETAF e Índice de Qualidade de Água Bruta Fuzzy – IQABF (OLIVEIRA, 2014).

Neste contexto, as ferramentas estatísticas podem ser utilizadas como importantes metodologias para a avaliação de desempenho das ETAs, tendo em vista que os modelos estatísticos já são amplamente utilizados e apresentam grande acurácia para tal finalidade. Como exemplo destes, pode-se citar os modelos de regressão linear múltipla que são capazes de gerar equações matemáticas com as mais diversas aplicações, de acordo com o nível de significância desejado. A regressão linear múltipla possui grande aplicação nas diversas atividades industriais, agropecuária, educacional, financeira, etc., que envolvem estudos econômicos, produtivos, biomédicos, entre outros, buscando estimar parâmetros, prever resultados, inferir e selecionar determinadas variáveis.

O presente trabalho tem por objetivo analisar o desempenho de três estações de tratamento de água de pequeno porte localizadas na região sudeste do Brasil, a partir da aplicação de ferramentas estatísticas (regressão linear múltipla).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os sistemas que estão sendo utilizados para a realização desta pesquisa são estações de tratamento de água que realizam tratamento convencional (agitação rápida, floculação, decantação, filtração rápida e desinfecção). Esta escolha se deve ao fato deste tipo de tratamento ser o mais utilizado na maioria das ETAS de todo o país.

Neste sentido, foram escolhidos três ETAs de um dos estados do Sudeste do Brasil. Todos os sistemas de tratamento utilizados como objeto de estudo possuem capacidade de produção de até 50 L/s, vazão de água produzida comumente encontradas em estações de tratamento para sistemas que abastecem até 30.000 pessoas, representando assim a situação da maioria dos municípios brasileiros.

Para a aquisição dos dados foram realizados acordos de cooperação técnica entre os atores envolvidos nesta pesquisa, com finalidade de dar transparência e permitir a publicação dos resultados. Nesta etapa, foram adquiridos dados relacionados a qualidade de água bruta e do controle da qualidade da água, realizados pelas companhias responsáveis pelas ETAs, de acordo com o preconizado pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº5/2017.

Os dados a serem utilizados nessa pesquisa serão as médias diárias de monitoramento dos seguintes parâmetros/variáveis:

1. Vazão afluente à ETA (L.s-1) – Qaf;
2. Tempo diário de operação da ETA (h) – TempOp;
3. Cor aparente da água bruta (uC) – CorB;
4. Turbidez da água bruta (uT) – TuB;
5. Potencial hidrogeniônico da água bruta – pH_B;
6. Turbidez da água decantada (uT) – TuD;
7. Cloro residual livre (mg.L-1) – ClRes;
8. Dosagem de coagulante (mg.L-1) – DosCoag;
9. Produção de lodo gerado na ETA (kg.dia-1) – ProdLodo;
10. Grau de instrução do operador da ETA – InstOp;
11. Realização de ensaio de Jar Test – EnsJar;
12. Gradiente de floculação (s-1) – GradFloc;
13. Tempo de Floculação (s) – TemFloc;
14. Velocidade de sedimentação na decantação (cm.min-1) – VelSed;
15. Velocidade longitudinal de escoamento na decantação (cm.s-1) – VelLong;
16. Vazão linear na calha de coleta de água decantada (L.s-1.m-1) – Qcalha;
17. Taxa de filtração (m3.m-2.dia-1) – TxFilt;
18. Tempo de contato (s) – Tc;
19. Potencial hidrogeniônico da água tratada – pH_T;
20. Turbidez da água tratada (uT) – TuT; e
21. Cor aparente da água tratada (uC) – CorT.

Após a aquisição dos dados já em planilhas Excel®, foram observados se havia dados faltosos, quais os tipos de dados e sua influência na proposição do modelo. Também foi observado se os dados adquiridos estão de acordo com os comumente encontrados no monitoramento de sistemas similares. Após a tabulação e à organização dos dados, foi realizado o teste de *outliers*, sendo passíveis de serem excluídos ou não, de acordo com sua discrepância.

Os testes estatísticos básicos que estão sendo utilizados, são análise de tendência central, sua dispersão (desvio padrão), variância, máximo e mínimo.

Posteriormente, foi aplicado o teste de normalidade (Shapiro-Wilk), com vista ao conhecimento da distribuição dos dados. Após a referida análise será aplicada a inferência estatística, nesta etapa serão realizadas análise de variância, comparações e correlação, os métodos a serem utilizados serão adotados conforme a distribuição dos dados.

O desenvolvimento do modelo estatístico será aplicado, inicialmente, modelo de regressão linear múltipla, tendo como variável dependente ou de controle a turbidez da água tratada (TuT).

A regressão linear múltipla relaciona diversas variáveis de entrada (independentes), a partir de uma variável de saída (dependente), para gerar uma função linear representativa de determinado fenômeno estudado (Equação 1). Apresenta uma certa capacidade de predição, de acordo com o coeficiente de regressão gerado (R^2) e com as características das variáveis que compõem o modelo.

Equação de regressão linear múltipla:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (1)$$

Em que:

\hat{y} : variável dependente;

b: parâmetros da equação de regressão;

x: variáveis independentes.

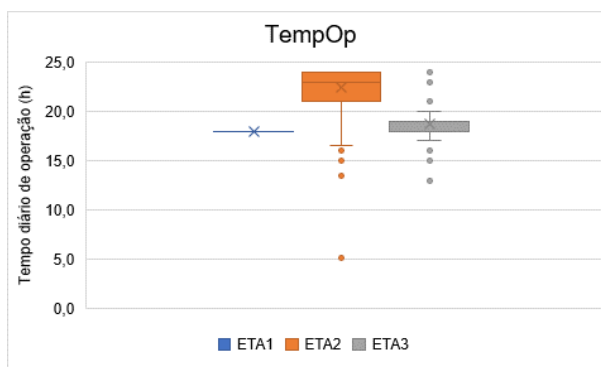
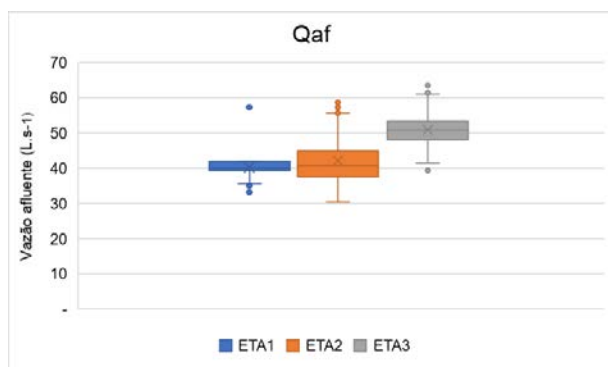
Em todos os testes estatísticos, bem como no desenvolvimento do modelo será utilizado o software MinTab v. 18.

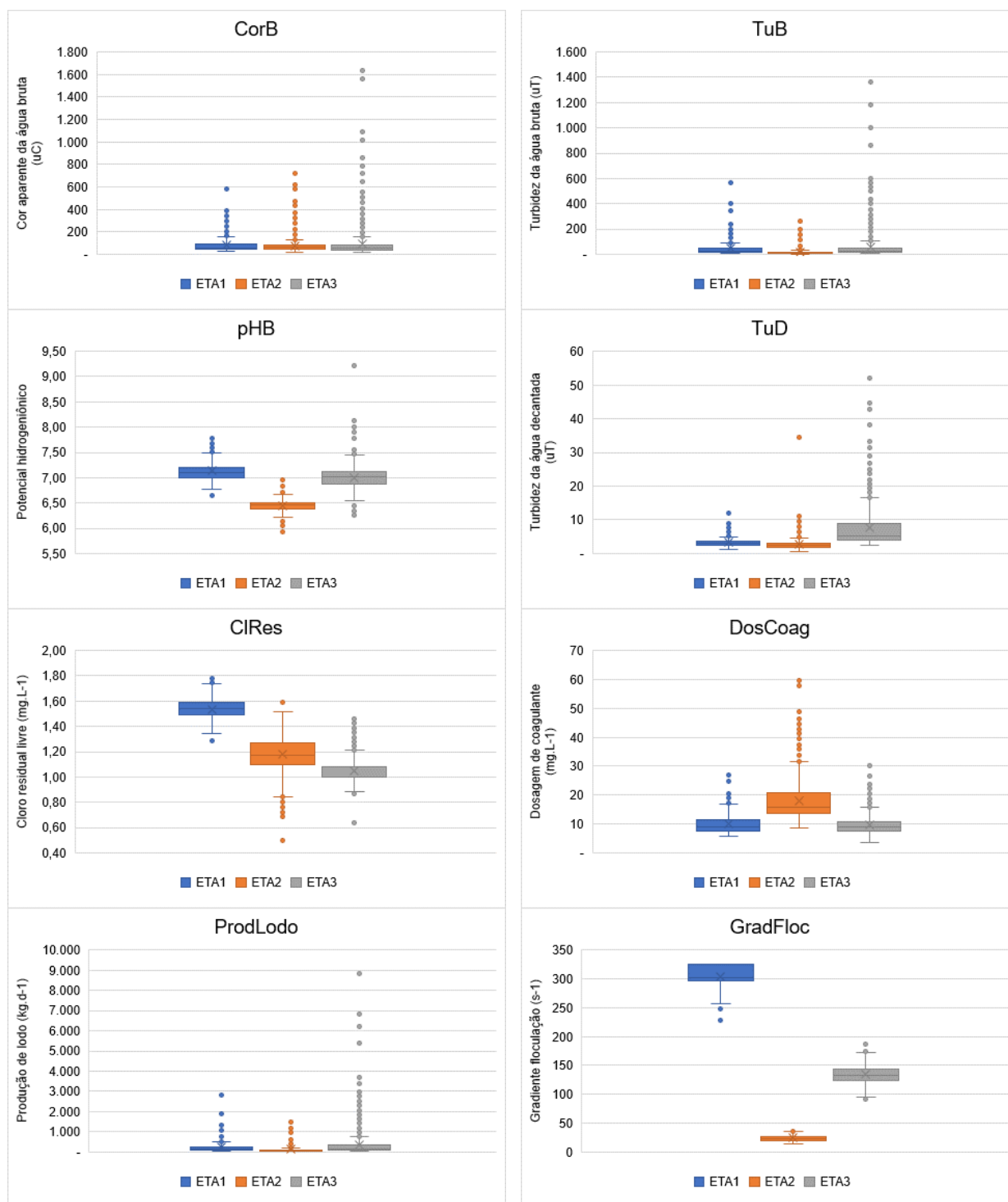
RESULTADOS E DISCUSSÃO

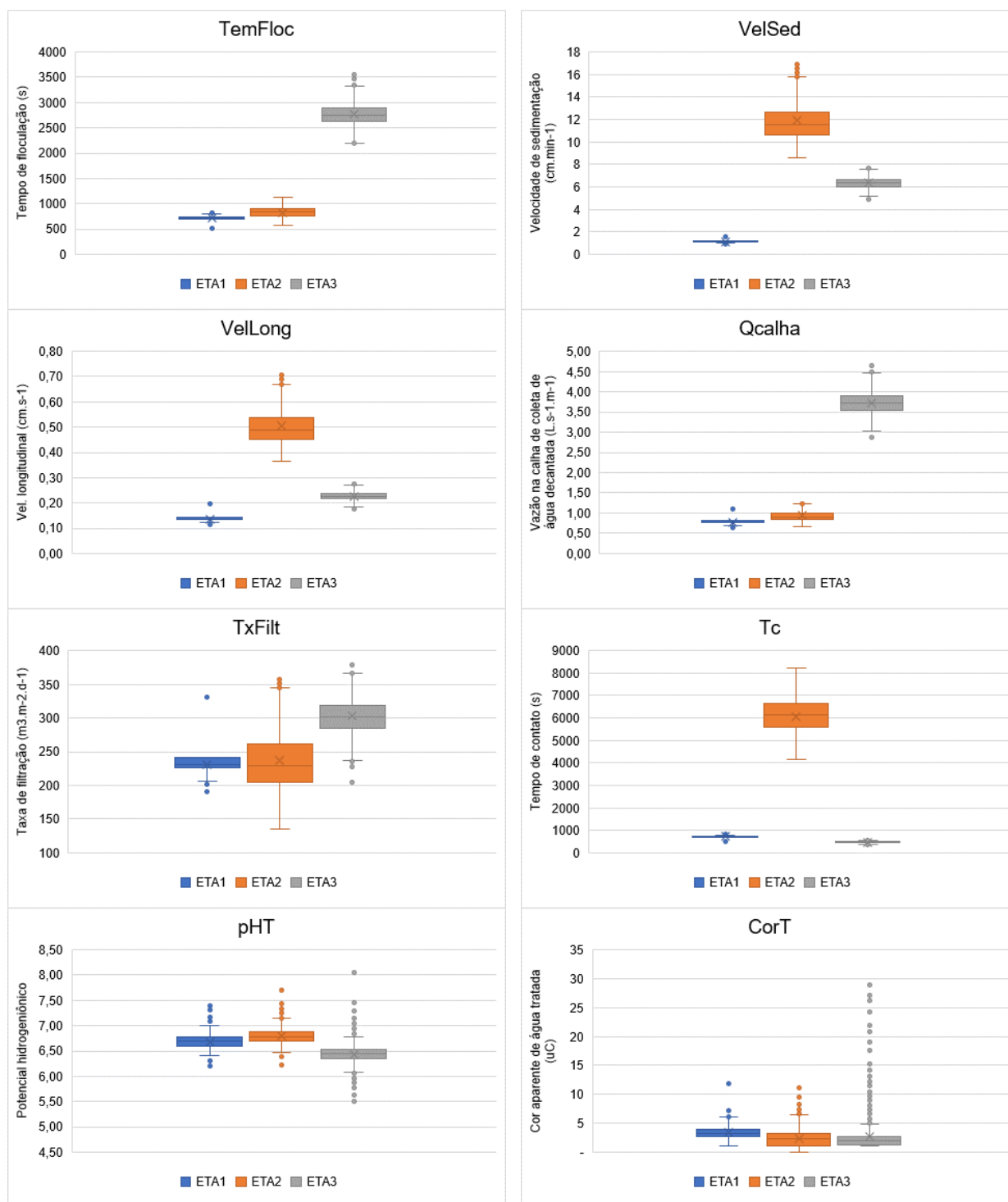
Foram utilizados 2.691 dados de 21 parâmetros distintos, conforme anteriormente descritos, totalizando 56.511 observações de três estações de tratamento de água, de apenas uma empresa de saneamento.

Como forma de ilustrar o comportamento das variáveis em cada uma das quatro estações de tratamento de água de pequeno porte, foi elaborada a Figura 10. Nela é possível observar os *outliers* presentes na maioria dos conjuntos de parâmetros. Além disso, é possível constatar a variabilidade dos valores de cada parâmetro em cada uma das ETAs. Por exemplo, a vazão afluente apresenta valores médios muito próximos, entre 20 e 60 $L.s^{-1}$; o tempo diário de operação também, por se tratar de estações que abastece um conjunto populacional, apresenta valores relativamente próximas.

Também se observa que outros parâmetros, particularmente aqueles característicos das operações unitárias, apresentam grande divergência de média e de mediana. Por exemplo, o tempo de floculação - TemFloc e o tanque de contato - Tc, que por sua vez também apresentou expressiva variabilidade, notadamente na ETA2. Conforme mencionado, esses valores podem estar relacionados a fatores operacionais e/ou a questões de dimensionamento das unidades, tendo em vista que alguns valores divergem consideravelmente daqueles apresentados pela ABNT NBR 12.216/1992 (BRASIL, 1992). Quando analisado o atendimento dos parâmetros de qualidade da água tratada (pH, cor aparente e turbidez) ao Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017, foi verificado que a ETA 3 apresentou maior frequência de violação ao longo do período analisado.







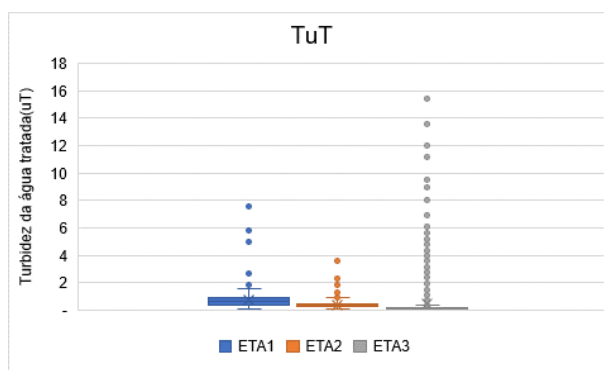


FIGURA 1: Composição de gráficos *boxplot* de cada uma das variáveis que compõem os modelos para as ETAs de pequeno porte

A Tabela 1 apresenta os resultados da matriz de correlação, com destaque para as variáveis cujos valores de r foram superiores a 10% para as variáveis CorT e TuT. De modo geral, verifica-se que as variáveis responsáveis pelos parâmetros cor aparente e turbidez da água tratada são intimamente relacionadas a operação do controle da qualidade da água nas ETAs como parte integrante do processo de tratamento de água.

Dentre os conjuntos das nove variáveis, todas seguem uma distribuição normal ao nível de significância de 95% para os testes de Shapiro-Wilk. Ambos os testes foram aplicados devido à diferença de sensibilidade que há entre eles e pelo fato de não requererem maiores recursos metodológicos.

A Tabela 2 ilustra o resultado dos testes estatísticos básicos para as nove variáveis estudadas nos modelos. Com relação à medida de tendência central, verificou-se que a maioria dos valores se encontra dentro do limite comumente encontrado para estações de tratamento de água que realizam o mesmo tipo de operação, bem como para as características da qualidade da água afluente e efluente; os valores que se encontram fora deste limite podem estar relacionados à sobrecarga das estações.

Quando analisado o atendimento dos parâmetros de qualidade da água tratada (cor aparente e turbidez) à Portaria de Consolidação nº 5/2017, foi verificado que em determinados momentos seus valores excederam o máximo permitido segundo o referido padrão de potabilidade ora em vigor. Tal fato evidencia uma certa fragilidade das ETA quanto a robustez e/ou resiliência.

TABELA 1: Matriz de correlação entre as variáveis utilizadas no desenvolvimento dos modelos

	Qinf	TempOp	CorB	TuB	pHB	TuD	ClRes	DosCoag	ProdLodo	GradFloc	TemFloc	VelSed	VelLong	Qcalha	TxFilt	Tc	pHT	CorT	TuT
Qinf	1																		
TempOp	-0,25	1																	
CorB	-0,01	-0,05	1																
TuB	0,07	-0,16	0,93	1															
pHB	0,23	-0,47	-0,05	0,05	1														
TuD	0,31	-0,27	0,65	0,75	0,15	1													
ClRes	-0,20	-0,05	0,00	-0,02	0,03	-0,13	1												
DosCoag	-0,27	0,45	0,42	0,23	-0,36	0,01	0,02	1											
ProdLodo	0,13	-0,15	0,92	0,99	0,05	0,78	-0,03	0,22	1										
GradFloc	0,11	-0,68	0,02	0,13	0,48	0,11	0,24	-0,40	0,11	1									
TemFloc	0,60	-0,53	0,06	0,18	0,35	0,48	-0,26	-0,44	0,21	0,11	1								
VelSed	0,03	0,77	-0,04	-0,17	-0,51	-0,20	-0,18	0,46	-0,14	-0,90	-0,33	1							
VelLong	-0,15	0,82	-0,05	-0,19	-0,54	-0,31	-0,07	0,53	-0,18	-0,81	-0,58	0,96	1						
Qcalha	0,80	-0,51	0,04	0,16	0,35	0,46	-0,26	-0,43	0,20	0,15	0,95	-0,27	-0,52	1					
TxFilt	0,95	-0,14	0,00	0,09	0,25	0,34	-0,20	-0,30	0,14	0,15	0,62	-0,04	-0,21	0,79	1				
Tc	-0,59	0,78	-0,04	-0,20	-0,55	-0,39	0,02	0,55	-0,21	-0,73	-0,72	0,76	0,86	-0,75	-0,62	1			
pHT	-0,54	0,45	-0,23	-0,32	-0,24	-0,52	0,14	0,25	-0,35	-0,27	-0,70	0,35	0,50	-0,70	-0,56	0,66	1		
CorT	-0,03	-0,07	0,65	0,65	0,01	0,58	0,02	0,27	0,65	0,13	0,00	-0,12	-0,10	-0,02	-0,01	-0,09	-0,21	1	
TuT	-0,05	-0,05	0,63	0,67	0,00	0,60	0,02	0,22	0,68	0,08	0,01	-0,09	-0,08	-0,02	-0,03	-0,06	-0,20	0,87	1

TABELA 2: Apresentação dos resultados da estatística exploratória para todas as variáveis

VAR.	MÉDIA	MEDIANA	COEF. VAR.	MÍNIMO	MÁXIMO	ASSIMET.	CURTOSE
Qinf	46,70	47,58	14,09	30,38	63,63	-0,09	-0,95
TempOp	19,83	19,00	10,92	5,16	24,00	0,83	0,35
CorB	83,62	54,70	116,31	21,80	1631,50	6,23	63,95
TuB	41,11	16,22	192,54	3,26	1363,67	6,44	67,00
pHB	6,84	6,92	4,85	5,92	9,22	0,09	0,39
TuD	5,41	3,71	90,54	0,71	51,88	2,83	11,18
pHT	6,58	6,57	3,40	5,50	8,06	0,28	1,12
CorT	2,69	2,20	86,63	0,01	28,83	4,21	28,86
TuT	0,49	0,23	197,86	0,05	15,43	6,94	67,60

A partir da análise dos valores de assimetria, foi verificado que há uma tendência dos conjuntos de estarem mais dispostos para a direita da curva normal, conforme verificado pelos valores positivos encontrados. Isto aponta para uma predominância de assimetria positiva, em detrimento da negativa, representada apenas pela Qinf. Já com relação à curtose, observou-se que cinco variáveis se apresentaram distribuição normal Platicúrtica ($K > 0,263$) e quatro variáveis apresentaram distribuição normal Leptocúrtica ($K < 0,263$).

Como se trata de uma pesquisa de doutorado ainda em andamento, espera-se que ao término do corrente ano todas as análises sejam concluídas e que o modelo estatístico já apresentará seus resultados com todas as estações de tratamento de água. Vale ressaltar que a conclusão do trabalho, com a referida defesa pública acontecerá até a terceira semana de dezembro do corrente ano.

As tabelas 3, 4 e 5 ilustram os resultados do modelo de regressão, apresentando a estatística do teste, o coeficiente de determinação para o modelo proposto e a equação que representa o modelo.

Na Tabela 5 são apresentados os coeficientes gerados a partir da aplicação da regressão linear múltipla para a proposição do modelo. Na primeira coluna da tabela são apresentados os coeficientes para a elaboração da equação, em seguida o erro padrão de cada coeficiente (são responsáveis por medir a precisão do modelo na estimativa de valores desconhecidos dos coeficientes). Posteriormente verifica-se o intervalo de confiança gerado ao nível de significância de 5%, os valores de T (razão entre os coeficientes e seus valores de erro padrão) e o valor-P (representa a significância de cada uma das variáveis independentes na predição da variável dependente do modelo), e por fim o VIF. Mesmo que o valor de VIF se apresentando acima de 10, o mesmo foi mantido devido a sua importância para o modelo.

TABELA 3: Análise de variância gerada para o modelo de regressão a partir da turbidez da água tratada

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Regressão	6	2001,11	333,518	1679,53	0,000
CorB	1	13,05	13,054	65,74	0,000
TuD	1	2,85	2,853	14,37	0,000
DosCoag	1	0,35	0,349	1,76	0,185
ProdLodo	1	29,39	29,393	148,02	0,000
pHT	1	6,99	6,990	35,20	0,000
CorT	1	767,58	767,577	3865,37	0,000
Erro	2693	534,77	0,199		
Falta de ajuste	2633	534,77	0,203	*	*
Erro puro	60	0,00	0,000	*	*
Total	2699	2535,88			

TABELA 4: Sumário do modelo para turbidez da água tratada

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
0,445621	78,91%	78,86%	78,31%

TABELA 5: Coeficientes que compõem o modelo de estações para turbidez da água tratada

Termo	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
Constante	-2,216	0,300	-7,40	0,000	
CorB	-0,002232	0,000275	-8,11	0,000	9,72
TuD	0,01199	0,00316	3,79	0,000	3,31
DosCoag	0,00212	0,00160	1,33	0,185	1,70
ProdLodo	0,000702	0,000058	12,17	0,000	11,16
pHT	0,2683	0,0452	5,93	0,000	1,51
CorT	0,31460	0,00506	62,17	0,000	1,89

Equação de Regressão

$$\text{TuT} = -2,216 - 0,002232 \text{ CorB} + 0,01199 \text{ TuD} + 0,00212 \text{ DosCoag} + 0,000702 \text{ ProdLodo} + 0,2683 \text{ pHT} + 0,31460 \text{ CorT}$$

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

De acordo com os resultados aqui apresentados, verifica-se que a necessidade da expansão das unidades de tratamento de água, com vistas ao acompanhamento do desenvolvimento das cidades que os mesmos atendem. Também se verifica a necessidade de intensificar as ações de controle da qualidade de água nestas ETAs, notadamente pelo fato de serem estações pequenas e do interior, que abastecem são responsáveis pelo abastecimento de populações que já se encontram em estado de vulnerabilidade.

O modelo desenvolvido em regressão linear múltipla foi capaz de responder as expectativas da pesquisa, sendo necessária a adoção de outras variáveis e/ou metodologias que possam corroborar a otimização do modelo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo financiamento do projeto de pesquisa que gerou esse artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, J.M.S. **Otimização do índice de qualidade de estação convencional de tratamento de água (IQETA) por meio de análise estatística multivariada**. 2009. 80f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2009.
2. BRASIL. Diário oficial. **Portaria de consolidação nº 5**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Nº 190 – DOU de 03/10/17 – Seção 1 – Suplemento - 360 p.
3. DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. Vol. 1. São Carlos: LDiBe, 2008.
4. GUNDERSON, L.H. PRITCHARD, L. **Resilience and the Behavior of Large-scale Systems**. Island Press, Washington – DC, 2002.

5. GUPTA, A.K. SHRIVASTAVA, R.K. **Uncertainty analysis of conventional water treatment plant design for suspended solids removal.** Journal of Environmental Engineering. v. 132, n.11. p. 1413-121, 2006.
6. LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de água.** 2 ed. Campinas: Editora Átomo, 2008.
7. LOPES, V.C. **Índice de qualidade de desempenho de estações convencionais de tratamento de água.** 2005. 217f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2005.
8. OLIVEIRA, M. D. de. **DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO DE ESTAÇÕES CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.** 2014. 225f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2014.
9. SOUZA, M. E. T. A. **Proposição de um índice de qualidade da água bruta afluente a estações convencionais de tratamento de água.** 2008. 117f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2008.
10. ZAKARIAN, A., KNIGHT, J., BAGHDASARYAN, L. **Modelling and analysis of system robustness.** Journal of Engineering Design. v. 18, n. 3, p. 243-263, 2007