



538 - PROPOSTA DE METODOLOGIA “DATA-DRIVEN” PARA DIAGNÓSTICO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Allan Clemente de Souza⁽¹⁾

Doutorando em Eng^a Civil - Saneamento Ambiental - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - DEHA (UFC), Mestre em Eng^a Civil - Saneamento Ambiental - DEHA (UFC) Pós-graduando em Eng^a de Segurança do Trabalho (Universidade Cândido Mendes), Graduação em Engenharia Ambiental e Assistente de Gestão IV da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (Cagece).

Eduardo Costa dos Santos⁽²⁾

Engenheiro Ambiental (UFC) e Engenheiro II da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (Cagece).

Monica Letícia Maciel Carvalho⁽³⁾

Engenheira Civil (Unifor) e Assistente de Gestão I da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (Cagece).

Carlos Adller Saraiva Paiva⁽⁴⁾

Mestre em Engenharia Química pela UFC, Coordenador de Projetos da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (Cagece).

Jose Capelo Neto⁽⁵⁾

Doutorado em Engenharia Civil - Recursos Hídricos (UFC), Professor Associado da UFC

Endereço⁽¹⁾: Rua: Antonina do Norte, 351 – Apto 505/C2 – São Gerardo - Fortaleza- Ce- CEP: 60.325-610-Brasil - Tel: +55 (85) 998490072 - e-mail: allan.clemente.souza@gmail.com

RESUMO

Empresas de saneamento enfrentam desafios na gestão de Lagoas de Estabilização (LE), apesar dos recursos empregados no monitoramento. A falta de uma abordagem integrada dificulta a tomada de decisões baseada nos dados coletados, tornando a gestão ineficiente. Nesse contexto, a metodologia data-driven pode melhorar a ação dos gestores, fornecendo evidências com ferramentas estatísticas e análise das informações obtidas por meio das rotinas de monitoramento existentes. Sendo assim, esse trabalho propõe uma metodologia para diagnosticar e propor intervenções específicas para sistemas de duas regiões metropolitanas do Ceará, utilizando estatística não paramétrica (teste da soma de postos de Wilcoxon) e análises e decomposição de series temporais dos dados de qualidade disponíveis. Os resultados obtidos evidenciaram os parâmetros críticos e os efeitos da alteração da qualidade do esgoto bruto e dos aspectos construtivos de cada sistema. Portanto, essa metodologia oferece aos gestores uma importante ferramenta de análise baseada em evidências estatísticas para tomada de decisão e planejamento estratégico mais precisos, evitando decisões baseadas apenas em empirismo.

PALAVRAS-CHAVE: Decisão baseada em dados, Séries temporais, Estatística não paramétrica, Monitoramento Ambiental, Gestão ambiental.

INTRODUÇÃO

Para o cumprimento das legislações vigentes para Lagoas de Estabilização (LE), as empresas de saneamento realizam rotinas de monitoramento laboriosas que geram dados quase sempre subutilizados desses sistemas. Essa gestão tende a ser ineficaz quando há carência de uma abordagem integrada de informações (RAM; IRFAN, 2021). Existindo integração, os gestores utilizam ferramentas assertivas para tomar decisões, baseando-se em dados e evidências estatísticas. Esse processo sistematizado de interpretação de informações e tomada de decisão realizados após a coleta e a análise dos dados é conhecido como metodologia data-driven.

Para além do exposto, grande parte das companhias utilizam formas de análise que geram séries de dados longas, porém com uma baixa frequência de amostragem (ROUSSO *et al.*, 2020). Ademais, essas empresas ainda precisam monitorar e cumprir uma extensa lista de padrões de qualidade recomendados pela legislação. Esses fatos dificultam a adoção do data-driven e justificam a busca de métodos capazes de mudar essa realidade.

Com isso, além dos desafios históricos de países subdesenvolvidos para atingir o desenvolvimento sustentável e a universalização do saneamento, como os apresentados por (BHATTACHARYYA *et al.*, 2021), os tomadores de decisão das empresas de saneamento têm pelo menos mais uma tarefa árdua: aprimorar a tomada de decisões, implementando a metodologia data-driven, utilizando técnicas resilientes às condições limitadas de monitoramento e capazes de descrever fenômenos ambientais complexos, como os observados em LE's.

Assim, o objetivo desse trabalho é apresentar uma metodologia “data-driven” para melhorar a gestão de LE's, sem aumento de custo e aproveitando os dados de monitoramento. Para isso, ferramentas estatísticas foram utilizadas para avaliar os dados dos últimos três anos de sistemas de duas regiões metropolitanas do Ceará (S1: ETE Malvas e S2: ETE Aquiraz), analisando os parâmetros críticos que não atenderam aos padrões ou que apresentaram eficiência insatisfatória. Dessa forma, o conjunto de técnicas apresentadas oferece aos gestores uma importante ferramenta de análise baseada em evidências estatísticas e não em intuição e empirismo, o que melhora a tomada de decisão e o planejamento estratégico tornando-os mais assertivos.

OBJETIVO

Apresentar uma metodologia “data-driven” para melhorar a gestão de lagoas de estabilização, sem aumento de custo e aproveitando os dados das rotinas de monitoramento existente, utilizando ferramentas de estatística descritiva, inferencial e de séries temporais.

Objetivo específicos:

- Identificar parâmetros críticos, aqueles que não atendem padrões exigidos pelas legislações ou apresentam baixas eficiências de remoção em comparação ao relatado na literatura, utilizando técnicas de estatística descritiva e inferencial;
- Verificar as componentes de tendência, sazonalidade ou ciclo das séries temporais dos parâmetros críticos monitorados, confrontá-los com as observações de precipitação e radiação fotossinteticamente ativa média (RFA), para definir melhores estratégias de operação das lagoas;

METODOLOGIA UTILIZADA

Descrição dos sistemas

Os dados de 2 estações operadas pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE foram avaliados. O primeiro sistema (S1), ETE Malvas, fica em Juazeiro do Norte, no extremo Sul do estado do Ceará, no Vale do Cariri, cerca de 560 Km da capital (Fortaleza). O segundo sistema (S2), ETE Aquiraz, fica na costa leste do litoral cearense, a 30 km de Fortaleza, na cidade de Aquiraz. Tanto S1 quanto S2 são formadas por um conjunto de LE subdividido em Lagoa Anaeróbia (LA), Facultativa (LF) e de Maturação (LM). Ambos os sistemas operam a 20 anos. O sistema S1 opera com um módulo formado por 1 LA, 1 LF e 2 LM. Já o arranjo de S2 é formado por lagoas em série, operando com 2 módulos em paralelo, cada um com 1 LA e 1 LF. O efluente de cada módulo é direcionado para uma única LM. A vazão de projeto de S1 e S2 é 240 e 150 L/s, respectivamente. Ambos os sistemas possuem tratamento preliminar similares (Gradeamento, desarenação e Medição de vazão). S1 recebeu efluente de lava-jatos até o primeiro trimestre 2021. Não há informações sobre afluentes diferentes dos domésticos em S2. Ambos os sistemas lançam seus efluentes tratados em rios classe 2 (S1: Rio Salgado e S2: Rio Pacoti)

Base de dados

Foram utilizados 3.189 registros, de junho de 2019 a setembro de 2022. As variáveis analisadas foram os padrões exigidos pelo Art. 12º da COEMA 02/2017 e pelo Art. 15º da CONAMA 357/ 2005, a saber: Coliformes Totais (CT), *Escherichia coli* (E. coli), Demanda Química de Oxigênio (DQO), DQO-Filtrada, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), DBO filtrada, Oxigênio dissolvido (OD), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sulfetos, Temperatura, Cor aparente (CA), Cor verdadeira (CV), pH e Nutrientes. Além desses, foram avaliados precipitação máxima mensal (FUNCEME, 2022) e RFA (PEREIRA *et al.*, 2017). As amostras do esgoto bruto foram coletadas na caixa de areia do tratamento preliminar, tanto para S1 quanto S2. Já as da fase

do tratamento foram recolhidas apenas para o S2 e foram coletadas na saída da LA, LF e 1ª LM. Para o esgoto tratado, em S1, a coleta foi na saída da única LM. Já em S2 o ponto de amostragem foi na saída da 2ª LM.

Análises estatísticas

A identificação dos parâmetros críticos foi realizada utilizando estatística descritiva (boxplot) e os limites recomendados pelas legislações específicas. As diferenças significativas entre as fases do tratamento (esgoto bruto, em tratamento e tratado) foram evidenciadas pelo teste não paramétrico bicaudal da Soma de Postos de Wilcoxon ($\alpha=1\%$) e correção de Bonferroni (MCLAUGHLIN; SAINANI, 2014). Foi realizada a decomposição das séries temporais dos parâmetros críticos e os resultados foram confrontados com as séries de precipitação e RFA, para definir melhores estratégias de operação das lagoas. Os dados faltantes foram imputados utilizando a média móvel de 6 lag, quando a quantidade foi inferior a 15% do total de observações. Nos casos excedentes, a análises de séries temporais não foi realizada.

RESULTADOS

Identificação dos parâmetros críticos

Em S1 as reduções dos parâmetros (Figura 1) do esgoto bruto no tratamento foram significativas ($p<0,01$). O pH apresentou elevação ($p<0,01$). Além disso, a maioria dos registros de S1 atendeu à legislação (CEARÁ, 2017). Para S2, como mesmas variações significativas foram observadas ($p<0,01$), apenas os valores do esgoto tratado foram mostrados na Figura 2 para um maior destaque. Diante disso e com base nas eficiências (Tabela 1), existem evidências que os sistemas conseguem tratar o afluente da maioria dos parâmetros. Entretanto, para S2, *E. coli* apresentou violações em 5 valores extremos. Já S1, *E. coli*, SST, Sulfeto apresentaram mais variações. Portanto, esses parâmetros foram considerados críticos. Além disso, como esses parâmetros podem repercutir no OD, Nutrientes e Cor, esses também foram avaliados (Figura 8 e 9).

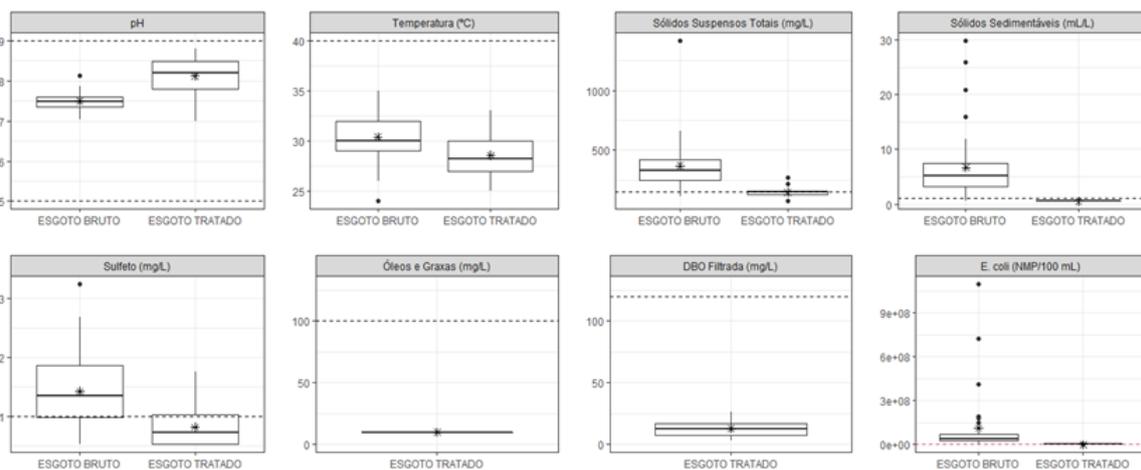


Figura 1: Parâmetros avaliados em S1 segundo COEMA 02/2017. Os limites legais são representados pelas linhas pontilhadas, valores extremos (outlier) são os pontos e os asteriscos são as médias

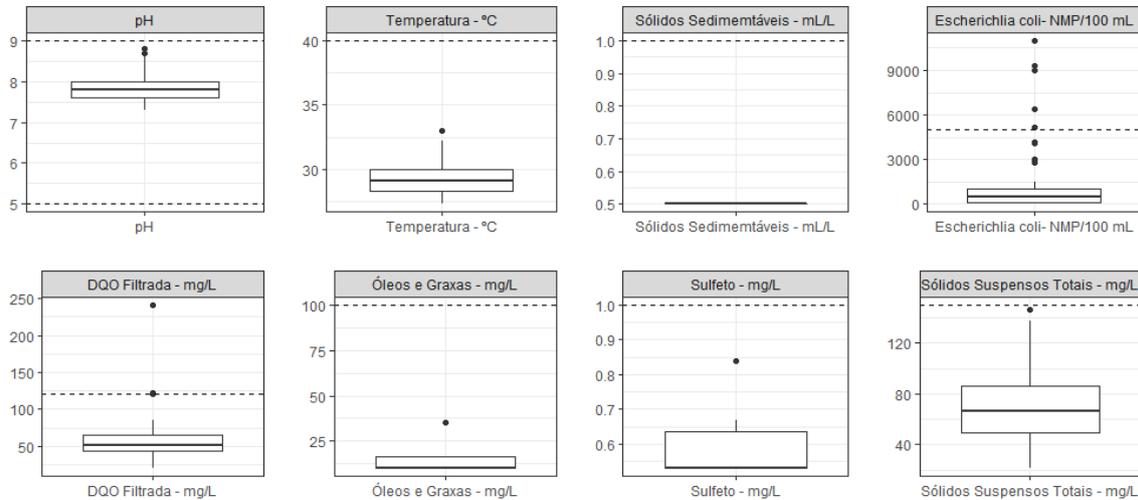


Figura 2: Parâmetros do efluente de S2 segundo COEMA 02/2017. Os limites legais são representados pela linha pontilhada valores extremos (outlier) são os pontos e os asteriscos são as médias

Tabela 1: Eficiências médias, medianas (entre parênteses), máximas e mínimas (entre colchetes). Para S1 foi calculada as eficiências globais ao longo do período de junho de 2019 a setembro de 2022. Para S2 foi calculado a eficiência por lagoa (logo após) no mesmo período.

Par.	Ref.	S2				
		S1	LA	LF	1ª LM	2ª LM
SST	70-80	60,145(54,945) [3,571-86,830]	54,214(54,249) [13,35-90,333]	46,551(43,179) [16,902-72,855]	54,925(56,069) [16,902-85,372]	61,629(61,561) [18,222-86,830]
E. coli	90-99	99,993(99,977) [99,861-99,999]	78,912(83,667) [61,077-93,292]	98,788(99,133) [91,773-99,707]	99,878(99,939) [99,091-99,987]	99,962(99,997) [99,936-99,999]
DQO	65-80	65,458(61,360) [8,781-89,258]	47,28(27,247) [0,526-87,805]	57,193(36,99) [9,742-83,796]	64,069(49,738) [4,054-88,163]	69,309(56,597) [17,559-89,237]

Avaliação das séries dos parâmetros críticos

S2 removeu melhor *E. coli* que S1, mesmo não sendo RFA (Figura 3A) significativamente diferentes ($p = 0,56$). Ao longo do ano, na Figura 4 S1 as eficiências foram baixas tanto nos períodos de chuva quanto (primeiro semestre na Figura 3B) na estiagem (segundo semestre na Figura 3B). Para o esgoto bruto, nas Figuras de 5 a 7, observou-se uma inversão na tendência das séries (componente *trend* do gráfico), sinalizando a presença de ciclos, no primeiro semestre de 2021. A investigação do OD (Figura 5) revelou comportamento similar à RFA e a precipitação no esgoto tratado. Analogamente, o sulfeto (Figura 6) também acompanhou as variações climáticas, enquanto SST (Figura 7) seguiu esse comportamento apenas no segundo semestre.

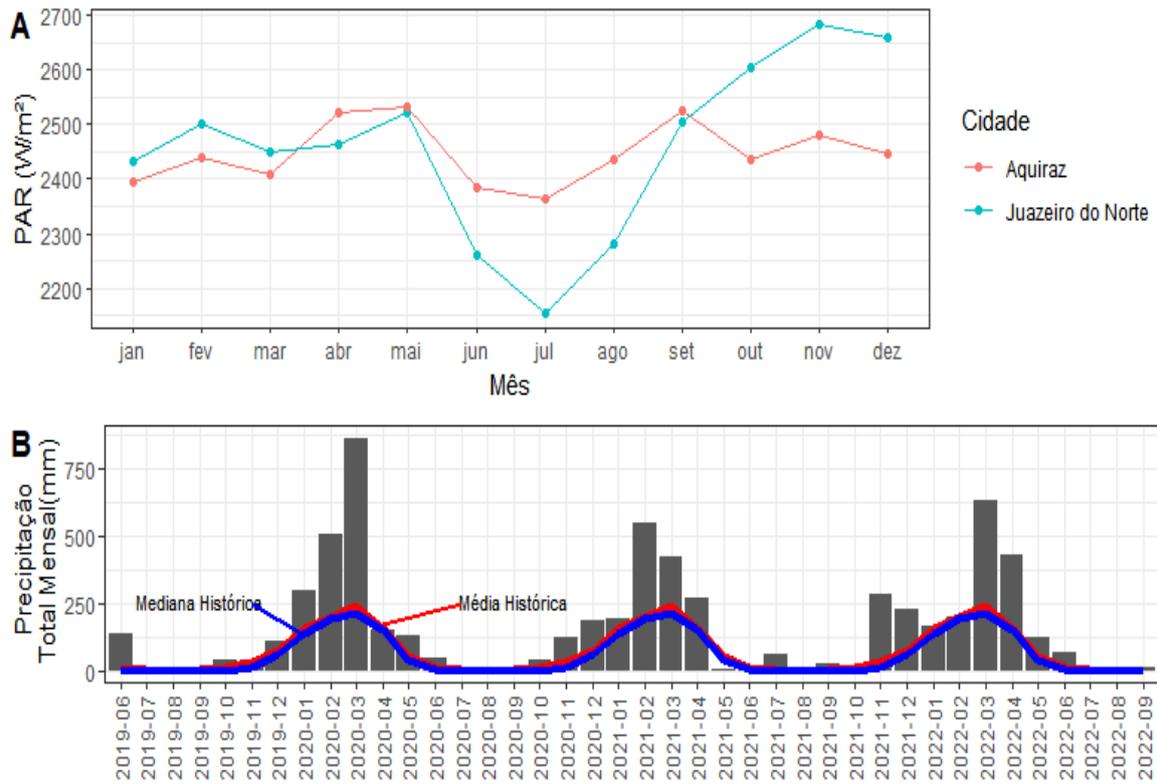


Figura 3: RFA para S1 e S2 em (A) e a precipitação total mensal de S1 (B) com suas médias e medianas históricas do período disponível em (FUNCEME, 2022)

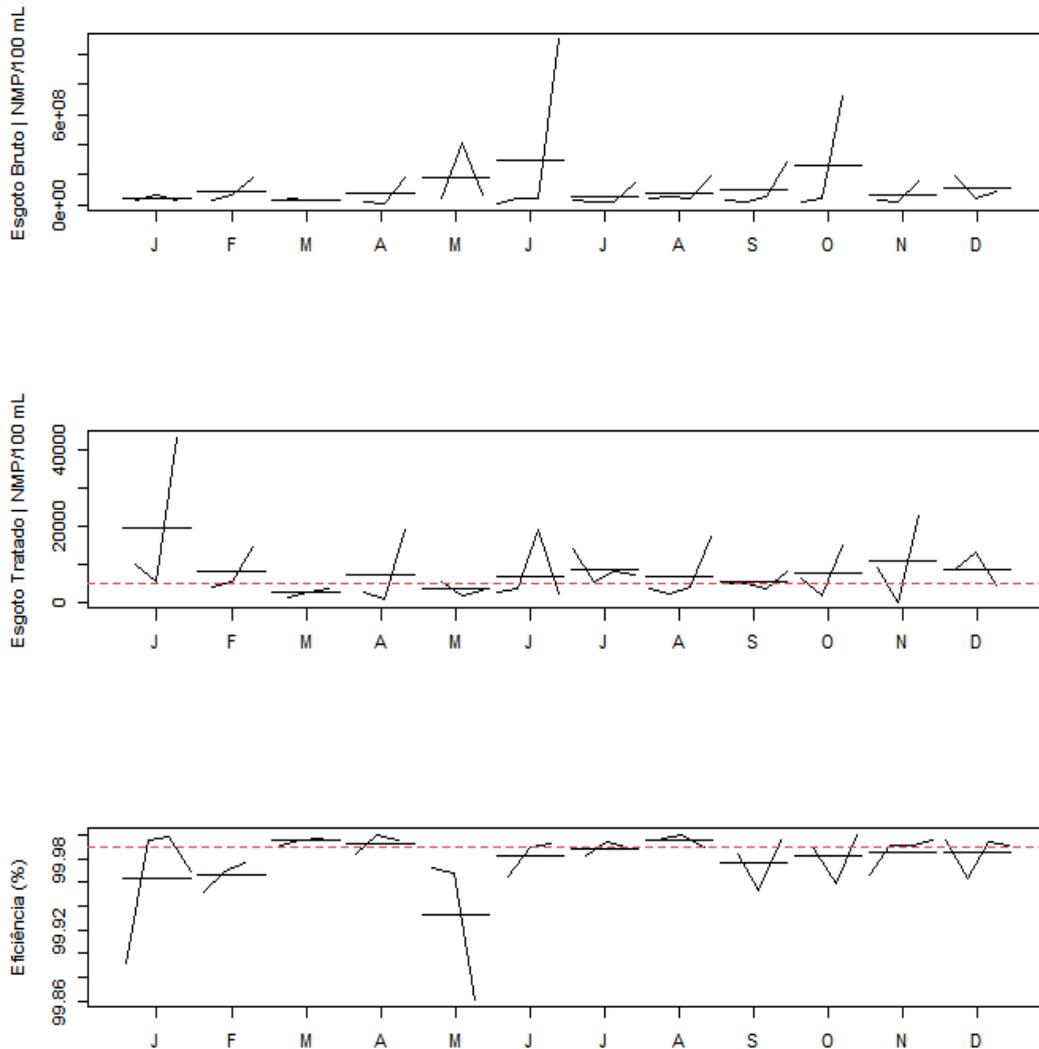


Figura 4: Avaliação das séries de E. coli do esgoto bruto, tratado e da eficiência de remoção. As retas representam as médias mensais ao longo do período avaliado e a linha pontilhada vermelha os limites recomendados.

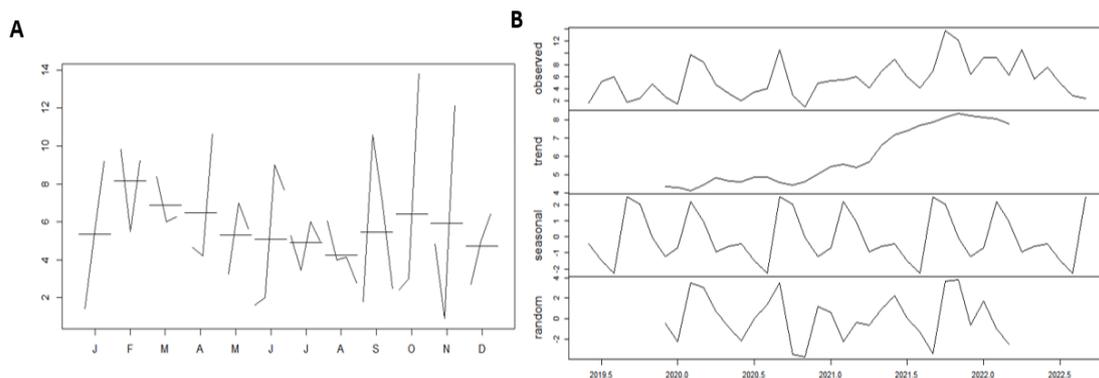


Figura 5: Variações anuais das médias (retas) (A) e as componentes de tendência (*trend*), sazonalidade (*seasonal*) e ruído (*random*) da série de OD (*observed*) do esgoto tratado (B)

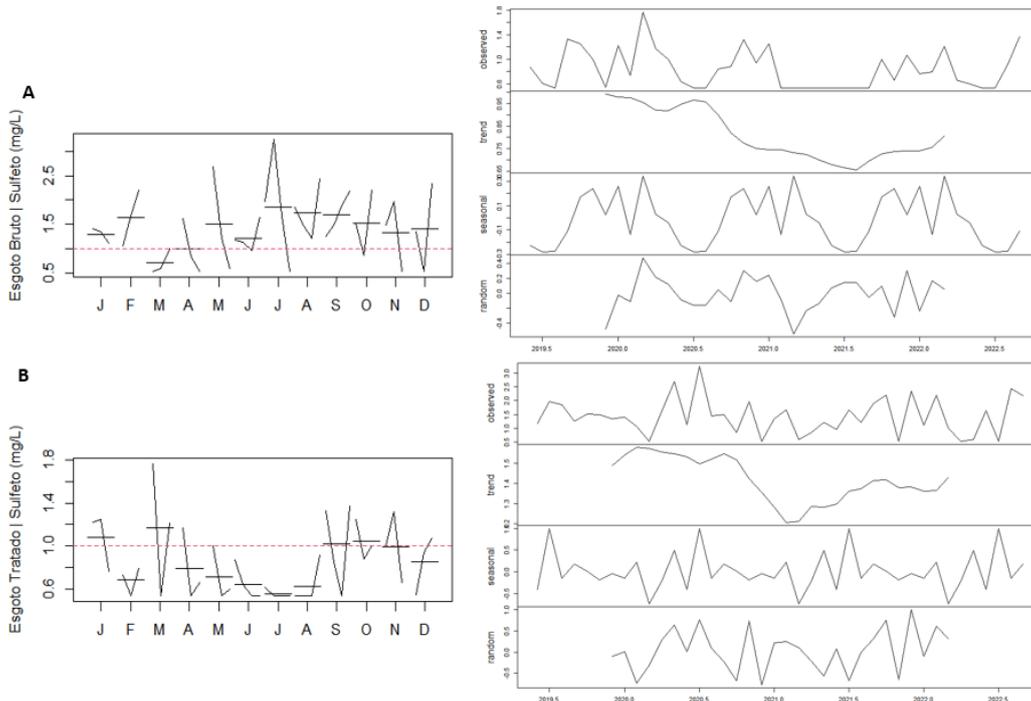


Figura 6: Variações anuais das médias mensais (representados por retas) das séries de sulfeto do esgoto Bruto (A) e tratado (B) e suas respectivas componentes de tendência (*trend*), sazonalidade (*seasonal*) e ruído (*random*). As linhas pontilhadas vermelhas representam os limites legais.

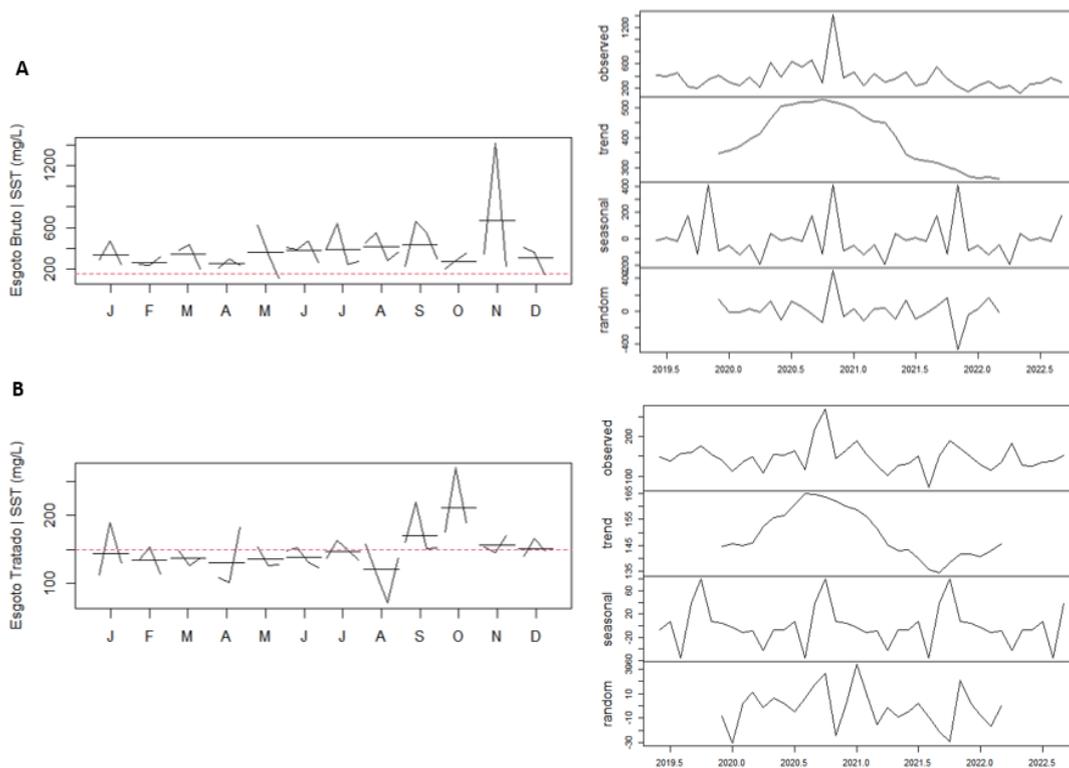


Figura 7: Variações anuais das médias mensais (representados por retas) das series de SST do esgoto Bruto (A) e tratado (B) e suas respectivas componentes de tendência (*trend*), sazonalidade (*seasonal*) e ruído (*random*). As linhas pontilhadas vermelhas representam os limites legais.

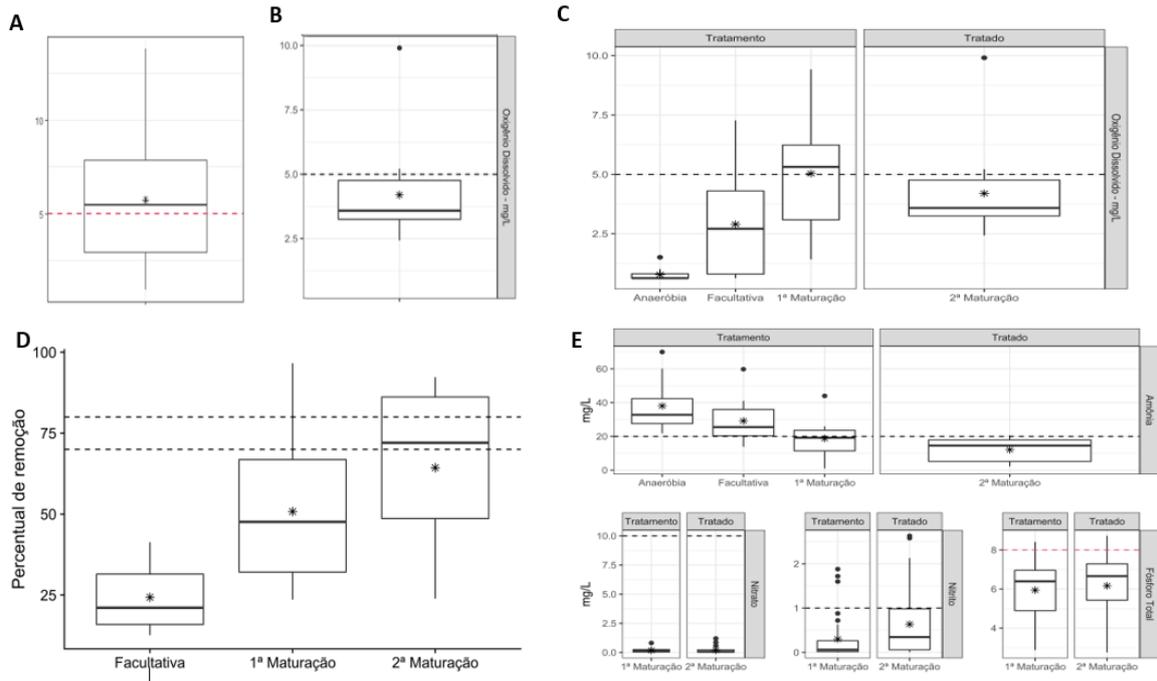


Figura 8: Valores OD do esgoto tratado em S1 (A), S2 (B) e no tratamento em S2 (C). Percentual de remoção de N em S2 (D). Nutrientes (N e P) em S2 (E)

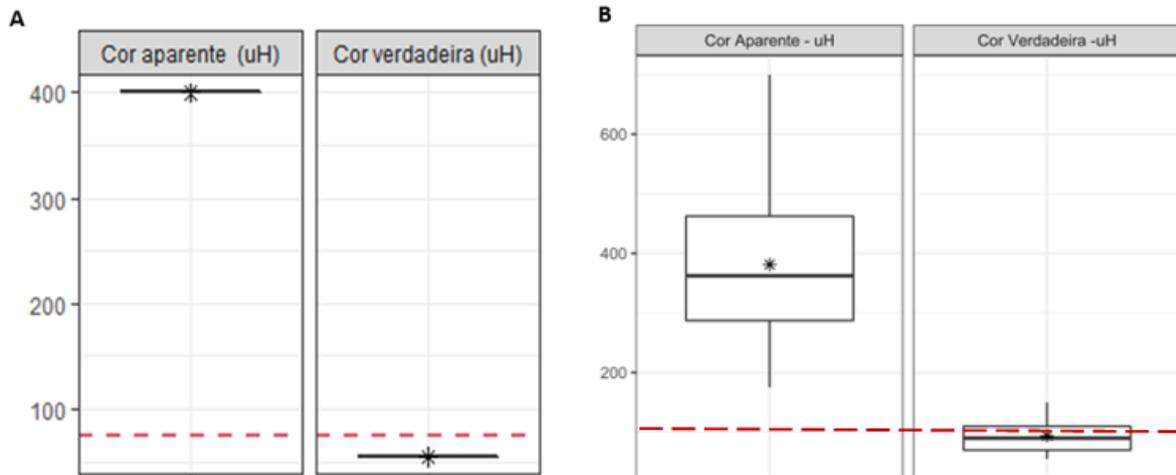


Figura 9: Valores da Cor em S1 (A) e S2 (B). A linha pontilhada vermelha representa o limite de CV recomendado para água classe 2 segundo (BRASIL, 2005)

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A remoção de *E. coli* pode ser realizada por processos: (1) físicos (temperatura; sedimentação/fixação; desinfecção pela luz solar em combinação com OD e pH); (2) químicos (OD e pH) e (3) biológicos (predação, competição e desinfecção biológica por toxinas) (DIAS, 2017). Portanto, como OD e pH impactam nos três processos, a investigação desses parâmetros é fundamental para diagnosticar S1 e S2.

Em regiões tropicais, espera-se altas concentrações de OD (acima de 20 mg/L) e pH (≈ 8) (BATISTA *et al.*, 2021). Mesmo com violações de *E. coli* (Figura 4), o pH não apresentou problemas em S1 (Figura 1). Enquanto isso, OD (Figura 5) apresentou ciclo de elevação a partir de 2021, época que S1 deixou de receber efluente de lava-jato. Para S2, considerando a Tabela 1, as violações das observações extremas (Figura 2) provavelmente são exceções, não problemas operacionais. Portanto, como RFA e OD (Figuras 8A-B) não são diferentes de S2 ($p > 0,01$), as inconformidades em S1 podem estar relacionadas aos aspectos construtivos.

Alterações mínimas nas propriedades geométricas podem afetar significativamente o desempenho hidráulico e a eficiência do tratamento em LE (GOODARZI et al., 2022). Sendo assim, os resultados acima corroboram com as recomendações da literatura para projetos de LM que sugerem duas configurações preferenciais para remoção de E. coli: (1) lagoas com chicanas (defletores que garantem voltas alternadas com o maior fluxo longitudinal possível) e (2) lagoas em série com pelo menos duas células, configuração observada em S2. (BATISTA et al., 2021; DIAS; VON SPERLING, 2017). Portanto, em S1 o regime hidráulico favorece mais o processo de remoção de DQO (operação com dois modelos em paralelo formados por LA + LF cada) do que a desinfecção (operação com apenas uma LM que recebe os efluentes dos dois módulos).

Ressalta-se que valores baixos de OD (Figuras 8A-C) podem estar relacionados a reduções de nutrientes (Figuras 8D-E) e o aumento da predação dos organismos fotossintetizantes pelo zooplâncton que ocorre nas condições aeróbicas das LM (MONTEMEZZANI *et al.*, 2017). Esse fato é esperado em sistemas similares a S1 e S2, pois em S1 entorno de 50% das observações de OD (Figura 8A) não atenderam as recomendações de (BRASIL, 2005) e em S2 praticamente todas também não (Figura 8B).

Sulfeto e SST apresentaram ciclos de melhora (Figuras 6 e 7) após S1 deixar de receber efluente de lava-jatos, corroborando com o fato de que LE apresenta eficiência baixa para esses efluentes, pois seu principal mecanismo é biológico e que tendem a acompanhar o clima (Figura 3). Adicionalmente, o excesso de surfactantes é prejudicial à biota aquática da LE (LECHUGA *et al.*, 2016), pois podem ser bioacumulados e possuem hidrofobicidade elevada (PALMER; HATLEY, 2018).

Outro aspecto importante é o processo de acúmulo de lodo no fundo da lagoa. Dentre os problemas relacionados a esse processo, destaca-se a liberação de compostos orgânicos solúveis dessas camadas. Os resultados de testes de sistemas com esses problemas revelaram altas concentrações de DBO solúvel, SST moderado, baixas concentrações de OD, condições observadas na S1 (BATISTA et al., 2021; DIAS; VON SPERLING, 2017; ZICKEFOOSE; HAYES, 1977).

Sendo assim, para S1 conforme o exposto, existe indício de que o acúmulo de lodo nas lagoas comprometa a performance do sistema causando flutuações nos níveis de sulfeto (Figura 6) e de SST (Figura 7), comprometendo inclusive a desinfecção. Geralmente os problemas em LE podem ser corrigidos pela integração desses sistemas com outros métodos ou complementos para se garantir um ganho de eficiência (MAHAPATRA; SAMAL; DASH, 2022). Entretanto, antes de uma complementação do tratamento, pelos resultados apresentados aqui, deve-se investigar os efeitos do assoreamento do sistema. Isso porque, não há indício de que a entrada da ETE contribua para a tendência do sulfeto em S1, que pode estar relacionada com as contribuições da manta de lodo de fundo acumulada aproximadamente por 20 anos. Mesmo com essa contribuição, os limites ainda estão distantes do máximo recomendado pelo COEMA 02/2017, não justificando investir em tecnologia para sua remoção, a priori. Além disso, considerando a baixa e variável eficiência de remoção de SST (Tabela 1), os valores elevados de pH (Figuras 1 e 2), os níveis de OD (Figuras 5 e 8) e as condições ambientais (temperatura e RFA), existem boas condições para floração do fitoplâncton. Isso pode estar associado aos elevados valores de CA e aos baixos valores de CV em S1 e S2 (Figura 9). Portanto, uma vez resolvido ou descartado os problemas com o acúmulo de lodo, persistindo o observado na Figura 9, a etapa de polimento deve priorizar a remoção de sólidos suspensos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Portanto, a metodologia data-driven constatou que:

- Após o período de contribuição dos lava-jatos, os parâmetros críticos de S1 apresentaram ciclo de melhora. Assim, os resultados obtidos corroboram com o esperado pela literatura e fornecem forte evidência para se recomendar que S1 continuem sem receber esses efluentes;
- Ao longo do ano, a equipe de operação da LE deve acompanhar as variações climáticas de precipitação e RFA, com a finalidade de desenvolver estratégias específicas para os períodos de chuva, estiagem, alta e baixa radiação solar, identificando os parâmetros críticos em cada período;

- A concepção dos projetos de S1 (1 LA + 1 LF + 1 LM) e S2 (1 LA + 1 LF + 2 LM) parecem impactar os sistemas de maneira diferente. Enquanto S1 mostrou limitações no processo de desinfecção, S2 apresentou níveis críticos de OD e violações nos valores de DBO filtrada. Os níveis de OD parecem não comprometer o processo de desinfecção, mas se mostraram baixos durante período analisado. Isso pode ocasionar sanções dos órgãos ambientais, visto que os efluentes de S1 e S2 são lançados em rios classe 2.

Como as técnicas utilizadas permitiram identificar tanto parâmetros críticos em S1 quanto situações excepcionais em S2, quando valores extremos forem observados no monitoramento, recomenda-se que os gestores desenvolvam protocolos de coleta e análise de amostra/dados para confirmar se a observação é um sinal de alerta. Além disso, em situações como as observadas em S1, a análise da biota da lagoa pode fornecer informações adicionais sobre a ineficiência do processo de desinfecção. Ademais, o data-driven também fornece evidência para que se realize investigações mais sofisticadas e onerosas do acúmulo de lodo, tais como batimetria. Entretanto, como esses procedimentos não são rotineiros para a maioria das companhias de saneamento, a metodologia data-driven realizada aqui pode fornecer um diagnóstico confiável e, em último caso, justificar a necessidade dessas análises aos tomadores de decisão, norteando tanto a escolha quanto o momento mais apropriado de intervenção para cada sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BATISTA, Ana M. M.; DO VALLE, Daniella; DIAS, Daniel F. C. C.; SINISCHACHI, Luciene A. B.; LOPES, Bruna Coelho; VON SPERLING, Marcos; FIGUEREDO, Cleber C.; MOTA-FILHO, César Rossas. Relationships between abiotic and biotic variables in a maturation pond and their influence on *E. coli* removal. *Water Science and Technology*, [S. l.], v. 84, n. 10–11, p. 2903–2912, 2021. ISSN: 19969732. DOI: 10.2166/wst.2021.268.
2. BHATTACHARYYA, Siddhartha Shankar et al. A paradigm shift to CO2 sequestration to manage global warming – With the emphasis on developing countries. *Science of the Total Environment*, [S. l.], v. 790, 2021. ISSN: 18791026. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148169.
3. BRASIL. Resolução CONAMA no 357, de 17 de março de 2005. 2005. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>. Acesso em: 2 dez. 2022.
4. CEARÁ. Resolução COEMA No 2 DE 02/02/2017 - Estadual - Ceará - LegisWeb. 2017. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>. Acesso em: 2 dez. 2022.
5. DIAS, D. F. C. A review of bacterial indicator disinfection mechanisms in waste stabilisation ponds. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 517–539, 2017. ISSN: 1572-9826. DOI: 10.1007/s11157-017-9433-2.
6. DIAS, Daniel F. C.; VON SPERLING, Marcos. Solar radiation (PAR, UV-A, UV-B) penetration in a shallow maturation pond operating in a tropical climate. *Water Science and Technology*, [S. l.], v. 76, n. 1, p. 182–191, 2017. ISSN: 02731223. DOI: 10.2166/wst.2017.203.
7. FUNCEME. Séries Históricas de Chuvas do Ceará. 2022. Disponível em: http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download_de_series_historicas/DownloadChuvasPublico.php. Acesso em: 30 nov. 2022.
8. GOODARZI, Danial; MOHAMMADIAN, Abdolmajid; PEARSON, Jonathan; ABOLFATHI, Soroush. Numerical modelling of hydraulic efficiency and pollution transport in waste stabilization ponds. *Ecological Engineering*, [S. l.], v. 182, n. May, p. 106702, 2022. ISSN: 09258574. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2022.106702. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106702>.
9. LECHUGA, M.; FERNÁNDEZ-SERRANO, M.; JURADO, E.; NÚÑEZ-OLEA, J.; RÍOS, F. Acute toxicity of anionic and non-ionic surfactants to aquatic organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, [S. l.], v. 125, p. 1–8, 2016. ISSN: 10902414. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.11.027. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.027>.
10. MAHAPATRA, Saswat; SAMAL, Kundan; DASH, Rajesh Roshan. Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: A review on factors, modelling and cost analysis. *Journal of Environmental Management*, [S. l.], v. 308, n. February, p. 114668, 2022. ISSN: 10958630. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.114668. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114668>.

11. MCLAUGHLIN, Matthew J.; SAINANI, Kristin L. Bonferroni , Holm , and Hochberg Corrections : Fun Names , Serious Changes to P Values. *PM&R*, [S. l.], n. May, p. 110–112, 2014. ISSN: 1934-1482. DOI: 10.1016/j.pmrj.2014.04.006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmrj.2014.04.006>.
12. MONTEMEZZANI, Valerio; DUGGAN, Ian C.; HOGG, Ian D.; CRAGGS, Rupert J. Control of zooplankton populations in a wastewater treatment High Rate Algal Pond using overnight CO₂ asphyxiation. *Algal Research*, [S. l.], v. 26, n. July, p. 250–264, 2017. ISSN: 22119264. DOI: 10.1016/j.algal.2017.08.004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2017.08.004>.
13. PALMER, Matthew; HATLEY, Hazel. The role of surfactants in wastewater treatment: Impact, removal and future techniques: A critical review. *Water Research*, [S. l.], v. 147, p. 60–72, 2018. ISSN: 18792448. DOI: 10.1016/j.watres.2018.09.039. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.039>.
14. PEREIRA, E. B. .. MARTINS et al. Brazilian Atlas of Solar Energy. 2017. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017-en.html. Acesso em: 30 nov. 2022.
15. RAM, S. Ashwin; IRFAN, Zareena Begum. Application of System Thinking Causal Loop Modelling in understanding water Crisis in India: A case for sustainable Integrated Water resources management across sectors. *HydroResearch*, [S. l.], v. 4, p. 1–10, 2021. ISSN: 25897578. DOI: 10.1016/j.hydres.2021.02.001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2021.02.001>.
16. ROUSSO, Benny Zuse; BERTONE, Edoardo; STEWART, Rodney; HAMILTON, David P. A systematic literature review of forecasting and predictive models for cyanobacteria blooms in freshwater lakes. *Water Research*, [S. l.], v. 182, p. 115959, 2020. ISSN: 18792448. DOI: 10.1016/j.watres.2020.115959. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115959>.
17. ZICKEFOOSE, C.; HAYES, R. B. J. Operation Manual Stabilization Ponds. 1977.