



II -185 - DESEMPENHO E CONFIABILIDADE DE PROCESSOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZA POR PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO

Luciano Matos Queiroz⁽¹⁾

Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da USP (2009). Professor Associado do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA desde 2009.

Renan Menicucci Pessoa⁽¹⁾

Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento pela Escola Politécnica da UFBA (2024). Sócio Diretor da Máquina Comercio de Filtros e Tratamento de Água Ltda. (2016).

Viviana Maria Zanta⁽¹⁾

Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP (1997). Professor Titular do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA desde 2017.

Endereço⁽¹⁾: Rua Professor Aristides Novis, 02, 4º andar, Sala 10. Federação. Salvador - BA - CEP: 40210-630 - Brasil - Tel: (71) 3283-9796 - e-mail: lmqueiroz@ufba.br

RESUMO

Este estudo buscou avaliar o desempenho operacional e da viabilidade econômica de uma estação de tratamento de água cinza (ETAC) com vazão de projeto igual a 5,0 m³/h para a produção de água de reúso em descargas de bacias sanitárias em um empreendimento habitacional ocupado por famílias de alta renda. O consumo médio aferido de água não potável para descargas nas bacias sanitárias foi de 507 ± 123 m³/mês representando 12,9% do consumo total. Para avaliação do desempenho operacional, os padrões regulatórios da NBR 16.783/19 foram considerados como limites aceitáveis. Avaliaram-se na água cinza bruta e na água de reúso os seguintes parâmetros: alcalinidade, cloro residual livre, cor, DQO, presença de *Escherichia coli*, nitrogênio amoniacal, fósforo solúvel, pH, sólidos em suspensão fixos, voláteis e totais, sólidos sedimentáveis, sólidos totais dissolvidos e turbidez. A ETAC apresentou um desempenho aceitável na remoção de poluentes e micro-organismos. O estudo apontou uma redução de, aproximadamente, 93% para cor, 72% para DQO, 80% para nitrogênio amoniacal, 93% para sólidos em suspensão totais e 98% para turbidez. O resultado da confiabilidade do sistema foi de 99% para turbidez, 94% para cor, 100% para sólidos em suspensão totais e 64% para DQO.

PALAVRAS-CHAVE: Águas cinza, Reúso não potável, Reúso predial, Tratamento físico-químico.

INTRODUÇÃO

Segundo estudos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) estima-se que no, ano de 2030, no Brasil, o aumento do consumo de água chegará ao patamar de 24%, para um crescimento populacional de 8%, em proporções três vezes superiores (ANA, 2018). Nesse cenário, o modelo linear de consumo deve, gradativamente, ser substituído, pois gera um expressivo desperdício tanto de insumos, como de energia (considerando todo o sistema indireto envolvido no transporte, tratamento de resíduos e destinação final).

O sistema centralizado de tratamento de esgotos sanitários é concebido a partir da captação dos efluentes por meio de uma rede extensa de coleta, recalque o esgoto em elevatórias e tratamento em uma estação que, posteriormente, destinará todo o efluente tratado para um corpo hídrico. Trata-se, portanto, de um modelo linear e assim, pode-se apontar as desvantagens do sistema centralizado que consistem em um alto nível de intervenção na infraestrutura urbana, alto custo de implantação e operação, alto consumo energético e baixo potencial de reciclagem de nutrientes e energia (Gonçalves, 2009).

A transição de sistemas centralizados de tratamento de esgotos sanitários para os sistemas descentralizados voltados para a produção de água de reúso e recuperação de recursos como energia e nutrientes pode se



constituir em oportunidade de melhoria ambiental e social, uma vez que propicia a recuperação de grandes volumes de água, energia e nutrientes. Essa oportunidade é potencializada com o crescente número de bairros planejados, conjuntos habitacionais horizontais e verticais com elevada densidade habitacional, favorecendo a implantação de sistemas descentralizados (Santos, 2018). Considerando o cenário nacional, o reúso não potável direto é a principal ferramenta do planejamento sustentável para alcance de um consumo consciente. Dentre os tipos de reúso não potável direto, destacam-se a reutilização da água para irrigação, sistemas de águas industriais, lavagem de pisos, carros e descargas em bacias sanitárias. Apesar de todos os benefícios, a abrangência e disseminação da prática do reúso da água no Brasil ainda passa por algumas barreiras de aceitação social. Dentre os potenciais obstáculos ao reúso, podem ser citados: custos, ausência de regulação, escassez de pessoal qualificado para desenvolvimento de projetos e operação e aceitação da água de reúso pela população (Kubler et al., 2015).

O processo físico-químico de tratamento de efluentes tem sido também bastante difundido dentre as tecnologias para a produção de água de reúso, principalmente, por meio da associação dos processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e oxidação química. Geralmente, estações de tratamento de águas cinzas (ETAC) que aplicam processos físico-químicos tendem a ser mais compactas; são sujeitas à automação, porém exigem um estreito acompanhamento operacional; consomem produtos químicos e produzem lodo do processo (Gonçalves et al., 2019).

Apesar de todos os benefícios, a abrangência e disseminação da prática do reúso da água no Brasil ainda passa por algumas barreiras de aceitação social. Dentre os potenciais obstáculos ao reúso, podem ser citados: custos, ausência de regulação, escassez de pessoal qualificado para desenvolvimento de projetos e operação e aceitação da água de reúso pela população (Kubler et al., 2015).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de uma estação de tratamento de águas cinza (ETAC) constituída exclusivamente pela associação de processos físico-químicos de tratamento para produção de água de reúso. Especificamente, o trabalho buscou: (i) caracterizar a água cinza bruta afluente à ETAC e a água de reúso tratada com relação a parâmetros físico-químicos de interesse na definição da adequabilidade da água tratada aos usos pretendidos. (ii) Obter a confiabilidade do processo de tratamento das águas cinza nesse tipo de ETAC.

MATERIAL E MÉTODOS

O empreendimento habitacional, no qual a ETAC está instalada e em operação desde o ano de 2019, é um condomínio de apartamentos de elevado padrão construtivo (coordenadas geográficas 12°59'46.1"S 38°31'42.3"W). O empreendimento foi concebido com alguns projetos de aproveitamento de recursos naturais como, por exemplo, produção de água de reúso e captação e aproveitamento de parte das águas pluviais. A Figura 1 mostra o fluxograma do sistema de aproveitamento e descarte das águas residuárias do empreendimento.

A estação de tratamento de águas cinza tem capacidade para tratar até 5,0 m³/h. As etapas de tratamento podem ser correlacionadas com a metodologia convencional de tratamento de água de ciclo completo (coagulação, floculação, decantação, filtração em leito de areia e desinfecção com aplicação de oxidante químico).

A avaliação do desempenho da ETAC foi realizada a partir de um plano de amostragem de coleta de amostras simples. O plano de amostragem seguiu as recomendações nacionais e internacionais, como: Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2011), *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2012). Coletaram-se 12 amostras de cada um dos pontos de amostragem entre os meses de julho e dezembro do ano de 2022. Os pontos de coleta foram: (i) afluente da ETAC, coletado a partir de uma torneira após a bomba centrífuga; (ii) efluente tratado após filtração e desinfecção, coletado a partir da torneira na saída do sistema; (iii) ponto de consumo, coletado em uma caixa acoplada da bacia sanitária da estrutura do morador.

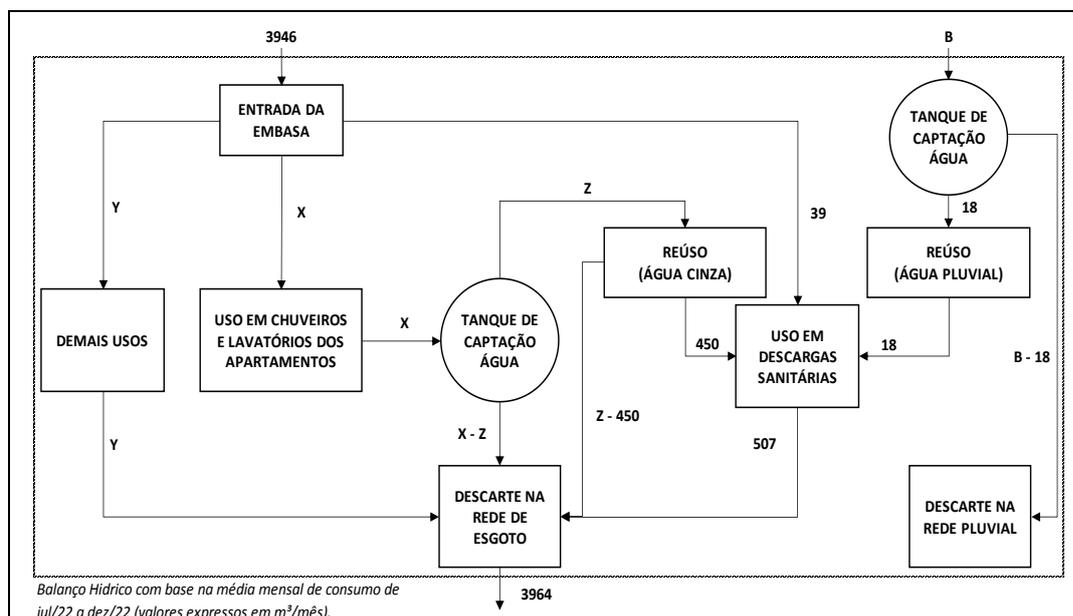


Figura 1: Fluxograma da estrutura de abastecimento, consumo e descarte de água do empreendimento em estudo.

Realizaram-se as análises dos parâmetros: alcalinidade, cloro residual livre, cor aparente, matéria orgânica medida como DQO, Escherichia coli, nitrogênio amoniacal, fósforo solúvel, pH, sólidos sedimentáveis, e turbidez. O tratamento estatístico dos dados foi elaborado por meio do uso do software Microsoft Excel®. Calcularam-se parâmetros da estatística descritiva como média, mediana, desvio padrão, máximo, mínimo e quartis. Para a avaliação da adequação dos dados à distribuição normal, utilizou-se o software GRAPHPAD PRISM 5®, considerando o método de Kolmogorov-Smirnov. Por fim, por meio da variável “normal” padronizada, utilizou-se a função DISTNORMP do software MICROSOFT EXCEL® para obtenção do percentual de confiabilidade do sistema seguindo a metodologia proposta por Souza et al., (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, para melhor compreensão da estrutura de consumo do empreendimento estudado, foi preciso detalhar o balanço hídrico considerando as três fontes de abastecimento: Empresa prestadora de serviços de saneamento (EMBASA), ETAC e a estação de tratamento de águas pluviais. O abastecimento divide-se em duas finalidades: potável (unicamente água da EMBASA), e não potável (abastecida pela ETAC, pela água pluvial e suplementada pela água fornecida pela EMBASA, caso ocorra falta de abastecimento pelas duas primeiras fontes). Portanto, mediu-se também o volume de água fornecida pela EMBASA e utilizada para fins não potáveis, sendo possível definir o percentual da água não potável no estudo em questão. Os resultados estão expressos na Tabela 1. Constatou-se que o consumo de água não potável destinada às descargas sanitárias no período em estudo representou 12,9% do consumo total do empreendimento.

Queiroz et al. (2019) compararam o percentual de consumo da água de reúso em relação ao consumo total de dois empreendimentos residenciais de alto padrão. O percentual de consumo do empreendimento que direcionava a água de reúso para as atendimento das demandas de descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e irrigação de jardim foi de 24,9%, enquanto o empreendimento que destinava apenas para utilização em descarga de bacias sanitárias foi de 10,9%. Dessa forma, considerando que a água de reúso do empreendimento em estudo é destinado apenas para descargas de bacias sanitárias, pode-se concluir que o percentual de 12,9% se aproxima dos valores encontrados pelos autores.


Tabela 1: Consumo de água não potável da unidade em estudo (m³/mês).

Mês	Consumo da água da EMBASA	Produção ETAC	Produção Pluvial	Consumo total	Percentual do consumo total (%)
julho, 2022	33	381	19	433	11,2%
agosto, 2022	9	386	30	425	10,9%
setembro, 2022	24	388	26	438	11,5%
outubro, 2022	41	377	31	449	11,1%
novembro, 2022	84	649	2	735	17,5%
dezembro, 2022	44	519	0	563	14,6%
Média	39 ± 25,36	450 ± 111,71	18 ± 13,84	507 ± 122,84	12,9%

O valor da média de alcalinidade total das águas cinza brutas foi igual a 65 mg CaCO₃/L e, conforme esperado, houve uma redução da alcalinidade na água de reúso tratada e na água de consumo que pode ser explicada devido à aplicação de policloreto de alumínio na etapa de coagulação durante o tratamento. O comportamento dos parâmetros alcalinidade, pH, cor aparente e cloro residual livre e *Escherichia coli* está mostrado na Figura 2. Como era de se esperar, as análises de amostras da água cinza bruta acusaram a presença de *Escherichia coli*. Já na saída da estação de tratamento de águas cinza, foi registrada ausência em todas as amostras coletadas. Porém, é interessante salientar sobre a ressurgência de *Escherichia coli* na água de reúso coletada no ponto de consumo.

Alguns fatores podem ser atribuídos à redução da concentração de cloro na água do ponto de consumo, tais como: o armazenamento da água por longos períodos; consumo do cloro residual livre no reservatório e na rede predial de distribuição, pois podem existir pontos de contaminação microbiológica com presença de biofilme nos quais o cloro residual atuaria como agente oxidante e, portanto, teria sua concentração reduzida e o consumo do cloro residual em reações paralelas com compostos químicos reduzidos presentes na água, a exemplo de sulfetos. Um fator relevante a ser considerado é a proporção da formação de ácido hipocloroso e o íon hipoclorito, a qual depende do pH. Observando o valor da média do valor do pH da água de reúso pós-tratamento durante o período de monitoramento, obteve-se um valor igual a 7,8, o que indica a prevalência da formação do íon hipoclorito e reduz a eficiência do processo de desinfecção. Portanto, as soluções apontadas são a correção do pH favorecendo a formação do ácido hipocloroso, a aplicação de uma dose maior de oxidante na saída da estação de tratamento de reúso e/ou adotar uma etapa de reaplicação do cloro no reservatório superior de água de reúso tratada.

Uma circunstância que pode ter influenciado para o resultado positivo para presença de *Escherichia coli* no ponto de consumo é o fato do cloro residual se apresentar baixo ao longo do período monitorado, ocasionando baixa proteção à água de consumo. Vale salientar que Gonçalves et al. (2021) avaliaram os riscos microbiológicos do reúso não potável em uma unidade de tratamento de água cinza utilizando o método da avaliação quantitativa de risco microbiológico (QMRA) por meio da ingestão de aerossóis. A probabilidade de infecção anual por pessoa para bactérias, protozoários e rotavírus nos sistemas que contenham as etapas de pós-tratamento equipadas com filtragem e desinfecção (similares ao estudado nesse projeto) são inferiores a 10⁻⁴, valor tido como limite aceitável pelas diretrizes da USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos).

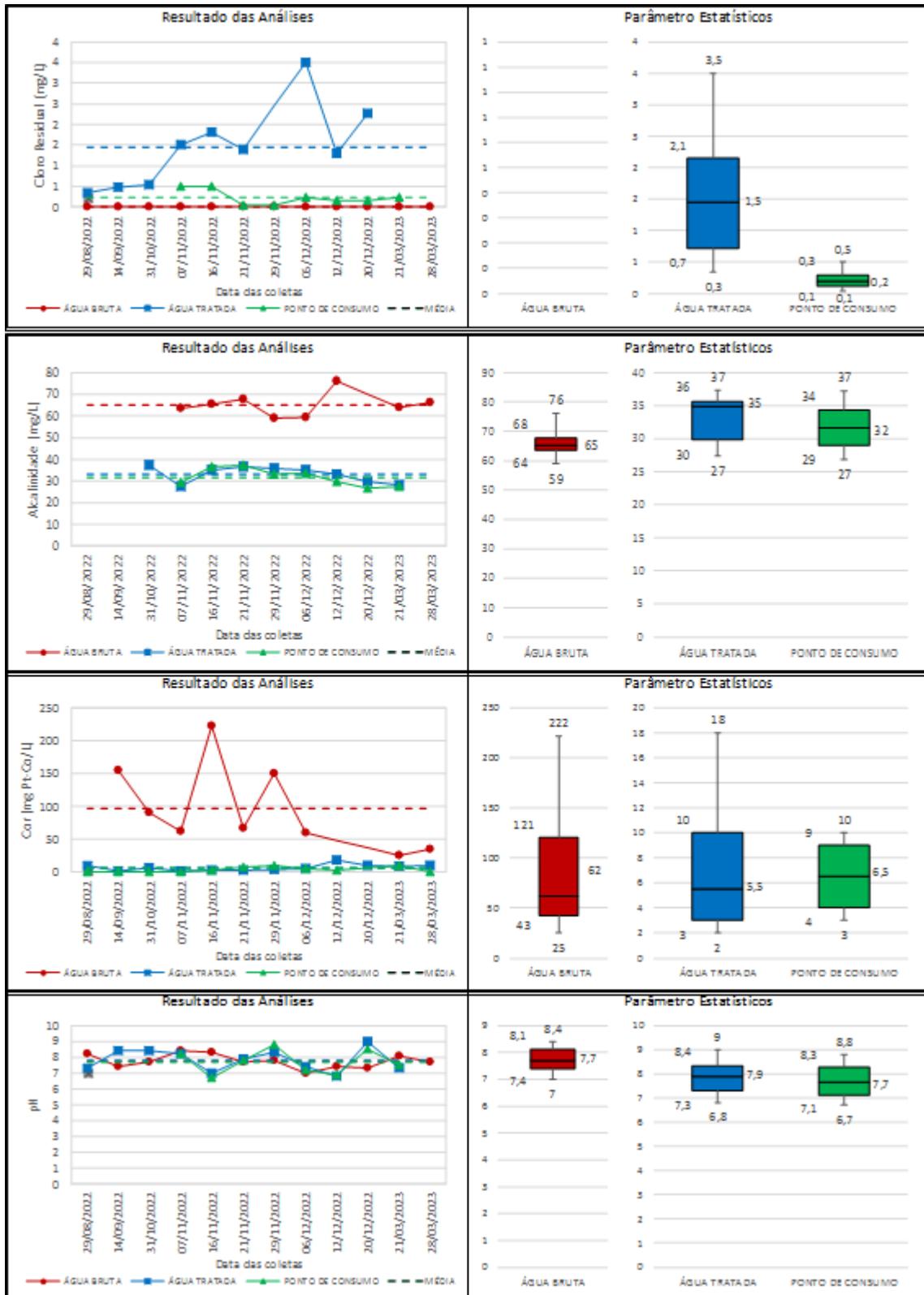


Figura 2: Comportamento temporal dos parâmetros: cloro residual livre, alcalinidade, pH e cor aparente



A Figura 3 mostra os resultados das análises de matéria orgânica medida como DQO, nitrogênio amoniacal, fósforo solúvel, sólidos sedimentáveis e turbidez.

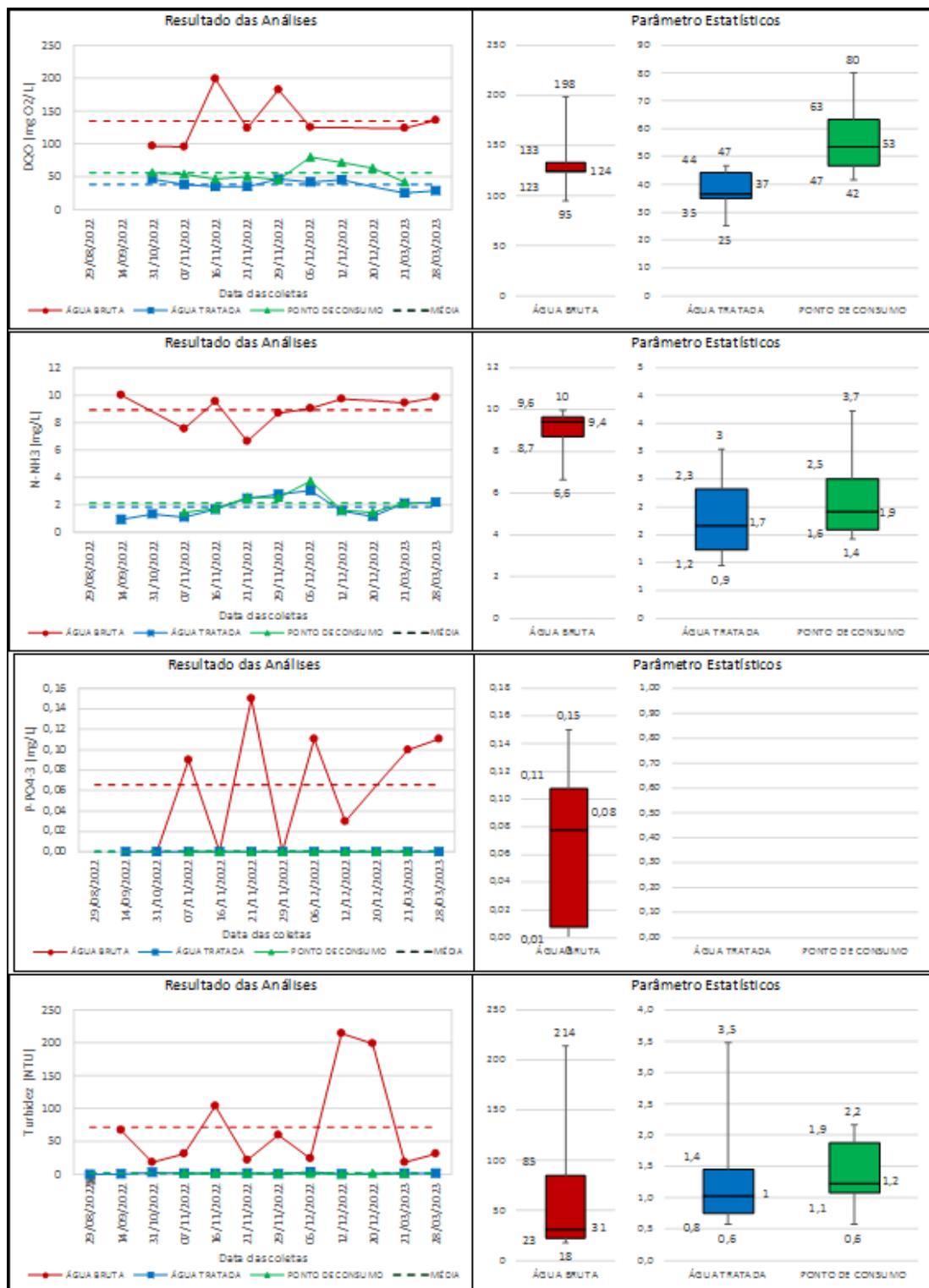


Figura 3: Comportamento temporal dos parâmetros: DQO, nitrogênio amoniacal, fósforo solúvel e turbidez.



Quanto à presença de macronutrientes, o desempenho da ETAC se mostrou bastante satisfatório. Portanto, não há um fator claro que possa gerar preocupações expressivas sobre os riscos da presença desses componentes na água de reúso destinadas às descargas de bacias sanitárias. A prova disso é que a NBR 16.783/2019 não os considera como um parâmetro de controle para fins de uso não potável em edificações (ABNT, 2019).

Para realização dos testes da normalidade, os dados de qualidade da água de reúso foram utilizados desconsiderando os *outliers*. Os resultados de confiabilidade do sistema foram de 99% para turbidez, 94% para cor, 100% para sólidos em suspensão totais e 64% para DQO. O processo físico-químico de tratamento da água cinza para produção de água de reúso, incluindo as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção se demonstrou eficaz garantindo uma água dentro dos padrões estabelecidos para o uso não potável, podendo ser aplicada em irrigação, lavagem de pisos e utilização em descargas sanitárias.

CONCLUSÕES

O trabalho realizado permitiu concluir que:

O processo físico-químico de tratamento aplicado às águas cinza para produção de água de reúso se mostrou eficaz do ponto de vista qualitativo, tendo capacidade de fornecer água de reúso dentro dos padrões normativos recomendados pela NBR 16.783/2019, robustez para atender oscilações de qualidade das águas cinza e eficiência na remoção de compostos de nitrogênio e fósforo.

O valor da média da concentração de cloro residual livre igual a 1,5 mg/L, aferida na saída da ETAC, não foi suficiente para garantir um residual mínimo de 0,5 mg/L nos pontos de consumo, levando em consideração a média dos valores do pH igual a 7,8.

Sobre o aspecto quantitativo, o sistema de reúso demonstrou reduzir em 12% a demanda por água potável da edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual. 10ª Edição. Brasília: ANA, 2018. 72p.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Guia nacional de coleta e preservação de amostras água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília: ANA; 2011. 326p.
3. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Ed. Washington, DC: APHA; AWWA; WEF. 2017. 1504p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16.783: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019a. 19p.
5. GONÇALVES, R. F.; SANTOS, A. B.; QUEIROZ, L. M.; FRANCI, T. K. Tecnologias de tratamento de correntes de esgotos segregadas aplicadas a empreendimentos habitacionais. In: SANTOS, A. B. dos (Coord.). Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais. Fortaleza: Impreco, 2019. Cap. 5, p. 392-492.
6. GONÇALVES, R. F.; VAZ, L. O.; PERES, M.; SARNAGLIA, S.A.A. Microbiological risk from non-potable reuse of greywater treated by anaerobic filters associated to vertical constructed wetlands. Journal of Water Process Engineering, v. 39, 101751, 2021.
7. KUBLER, H.; FORTIN, A.; MOLLETA, L. Reuso de água nas crises hídricas e oportunidades no Brasil. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015. 43p.
8. QUEIROZ, L. M.; FERREIRA, I. V. L.; SOUSA, J. T.; OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P.; BARBOZA, M. G.; MENDONÇA, N. M. Aspectos quantitativos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas. In: SANTOS, A. B. dos. (Coord.). Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais. Fortaleza: Impreco, 2019. Cap. 2, p. 42-117.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



9. SANTOS, L. V. dos. Desempenho ambiental de Estação de Tratamento de Esgotos implantada em uma unidade de ensino. 2018, 121 p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
10. SOUZA, C. L.; SANTOS, A. B.; SILVA, M. E. R.; AQUINO, S. F. Aspectos qualitativos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas. In: SANTOS, A. B. dos. (Coord.). Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais. Fortaleza: Imprece, 2019. Cap. 3, p. 118-218.