II-327 – EFEITO DA ALTERAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE REATOR EM BATELADA SEQUENCIAL COM LODO GRANULAR AERÓBIO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO EFLUENTE TRATADO

Afonso Eris Ferreira de Andrade[(1)]
Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre e Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas.
Julio César Beltrame Benatti
Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Campinas. Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas. Professor assistente na Universidade Estadual de Mato Grosso.
Edson Aparecido Abdul Nour
Engenheiro de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Professor associado da Universidade Estadual de Campinas

Endereço[(1)]**:** Rua Saturnino de Brito, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária - Campinas - SP - CEP: 13083-889 - Brasil - Tel: (19) 3521-2307 - e-mail: afonsoeris@hotmail.com

RESUMO

Nas últimas décadas, compreendeu-se o crescimento das comunidades biológicas de lodos ativados do tratamento convencional em lodos granulares estáveis, permitindo que a sedimentação pudesse integrar uma etapa do mesmo reator de tratamento e tornando a instalação de estações de tratamento de esgoto mais compacta. Todavia, os desafios tecnológicos ainda relacionados a essa tecnologia ainda dificultam sua aplicação em escala real. São variadas as condições para atingir a granulação aeróbia, no entanto as principais ocorrem em reatores de bateladas sequencial que podem ter configuração convencional ou de volume constante. Assim, esse estudo visa verificar como a alterações da configuração de reatores em batelada sequencial de convencional para volume constante influencia na características físicas do efluente tratado. Então, três reatores de batelada sequencial em escala piloto operando com lodo granular aeróbio de 200 litros de volume útil, 160 cm de altura útil e 40 cm de diâmetro, após 465 dias de operação, tiveram sua configuração convencional alterada para configuração de volume constante por mais 133 dias para que as mudanças na turbidez e concentração de sólidos pudessem ser acompanhadas. Em ambas as configurações, os reatores operavam em ciclos com duração total de 4 horas, com 1 hora para o enchimento e esvaziamento, 2 horas e 55 minutos de aeração e 5 minutos de sedimentação e foram alimentados com o mesmo esgoto sanitário proveniente do campus da Universidade Estadual de Campinas. Entre os três reatores, os resultados apontaram uma redução de pelo menos 19% na concentração média de remoção de sólidos totais do efluente tratado e de 74% na concentração média de sólidos suspensos totais do efluente tratado. Com relação a turbidez do efluente tratado, a redução foi superior a 80% após a modificação da configuração. Conclui-se que a modificação da configuração dos reatores de convencional para de volume constante reduziu significativamente a turbidez e a presença de sólidos no esgoto tratado. A alteração da configuração representou um aumento de eficiência de 2 a 27 vezes nos parâmetros analisados: turbidez, sólidos totais e sólidos suspensos totais. Além disso, observou-se que a configuração de reator em volume constante permite um controle mais efetivo da concentração de sólidos no interior do reator, permitindo o melhor manejo e controle da idade do lodo pelo descarte intencional de lodo.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo Granular Aeróbio, Eficiência, Convencional, Volume Constante.

INTRODUÇÃO

Reatores em batelada sequencial (RBS) são unidades de operação que incorporam todas as etapas do tratamento em um único tanque. Diversas modificações podem ser implementadas para otimizar as necessidades principais de cada tipo de tratamento de esgoto, podendo-se alterar a sequência e a duração das fases do processo e até mesmo a combinação de duas ou mais etapas do ciclo de operação (VON SPERLING, 2012).

As condições de operação para alcançar a granulação aeróbia são diversas. Existem duas configurações principais de reatores em batelada sequencial para o cultivo de grânulos aeróbios: RBS convencional e o RBS de volume constante. A principal diferença de operação entre as duas configurações consiste na fase de enchimento e esvaziamento, enquanto no RBS convencional essas etapas ocorrem de forma independente, no RBS de volume constante alia-se o enchimento e esvaziamento em uma única etapa, assim podendo também ser denominado de RBS de enchimento e esvaziamento simultâneo.

A operação do reator em volume constante consiste em alimentá-lo pela base com esgoto bruto na medida em que simultaneamente o efluente tratado é coletado pelo topo. Por outro lado, na operação convencional, após a sedimentação do lodo, o efluente tratado sobrenadante é coletado em uma altura média do reator, ocorrendo o esvaziamento parcial, a variação do volume interno do reator e seguindo para o enchimento subsequentemente. A operação mais comum em escala real de tratamento com lodo granular aeróbio consiste em RBS de volume constante (DERLON et al., 2016).

Rollemberg et al. (2019) evidencia as principais diferenças entre reator em batelada sequencial de volume constante e convencional. A pressão de seleção de microrganismos no RBS convencional é definida pela relação de troca volumétrica e pela altura do reator, enquanto no RBS de volume constante a pressão de seleção é definida pela velocidade ascensional do esgoto bruto. Assim, as diferenças nas condições de seleção microbiana entre as configurações permitem que no RBS convencional a granulação aeróbia ocorra em menor tempo e produzam lodo granular com melhores características de sedimentação. Por outro lado, a configuração com enchimento e esvaziamento simultâneo permite a formação de grânulos aeróbios mais estáveis, com maior concentração de sólidos no liquor misto e maior diversidade na comunidade microbiana a partir de uma operação facilitada, justificando o uso dessa configuração em sistemas de escala real, como Nereda®.

OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo geral desse estudo é identificar os principais efeitos resultantes nas características físicas do efluente tratado pela modificação da configuração do reator em batelada sequencial de convencional para volume constante operando com lodo granular aeróbio.

De forma mais específica, o estudo visa:

i. Comparar as características físicas do efluente tratado antes e depois da modificação de configuração;
ii. Verificar se a mudança de configuração beneficia a remoção de turbidez nos reatores;
iii. Verificar se a mudança de configuração influencia na eficiência de remoção de sólidos;
iv. Avaliar qual configuração de reator é mais eficiente para o controle da idade pelo descarte intencional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Um experimento composto por três reatores em batelada sequencial do tipo coluna de bolhas em escala piloto foi conduzido por quase 600 dias, como ilustrado na Figura 1. Cada reator possui volume útil de 200 litros cada, altura útil de 1,60 m e diâmetro interno de 0,40 m e foram alimentados com esgoto sanitário real proveniente do campus da Universidade Estadual de Campinas coletada em área com presença de hospitais, clínicas, bancos, restaurantes, escolas, prédios administrativos e educacionais (BENATTI, 2019; PRADO, 2021; ANDRADE, 2022).

Figura 1: Sistema experimental de escala piloto. Fonte: Andrade (2022)

No dia 465 do experimento, realizou-se a alteração de configuração de operação dos RBS de convencional para volume constante. O dia 0 ao dia 465 de experimento compreende a fase com operação na configuração convencional, enquanto do dia 456 ao dia 598 compreende a fase com a operação na configuração de volume constante. Os resultados dos primeiros 200 dias de operação foram descartados desse estudo, pois compreendem também o período de inoculação, formação e desenvolvimento do lodo granular, assim considerou-se que apenas a partir do dia 200 de experimento a operação ocorre com grânulos aeróbios maduros e bem formados. Assim, as principais diferenças existentes no ciclo operacional anterior e posterior à modificação de configuração estão apresentadas nas Figuras 2 e 3.

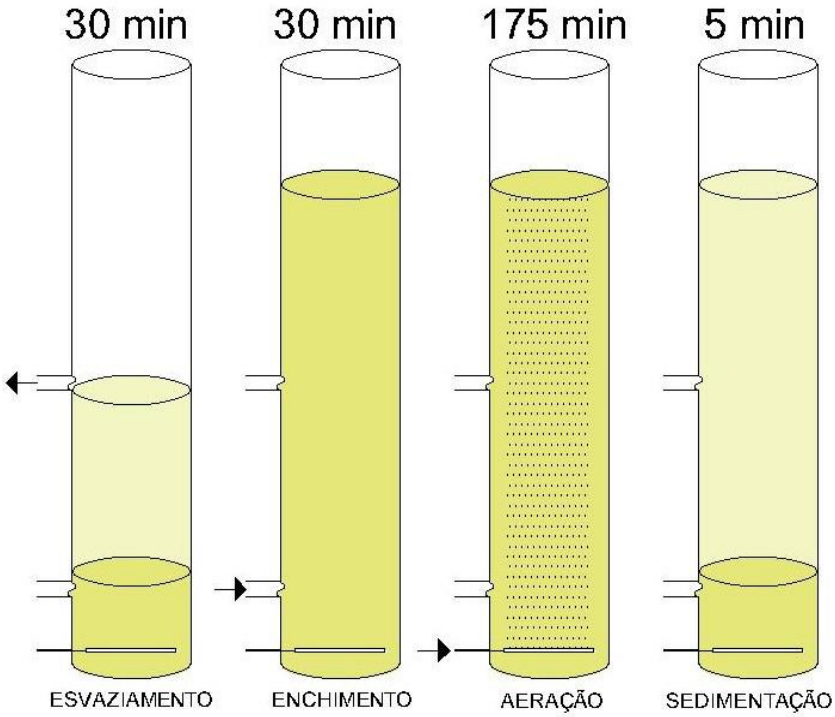


Figura 2: Ciclo de operação na configuração convencional até o dia 465 do experimento.
Fonte: adaptado de Andrade (2022)

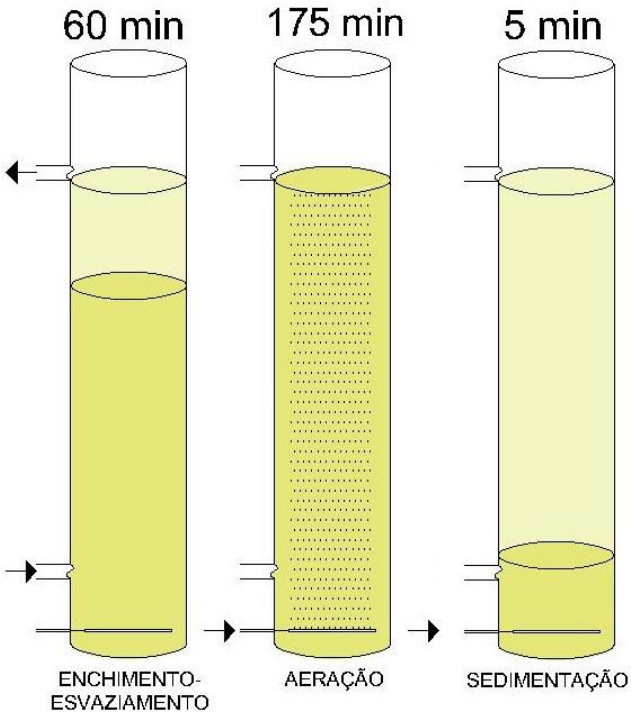


Figura 3: Ciclo de operação na configuração de volume constante após o dia 465 de experimento.
Fonte: adaptado de Andrade (2022)

A duração total do ciclo compreende 4 horas em ambas as configurações, assim como a fase de enchimento e esvaziamento totalizando 60 minutos, a fase de reação de 175 minutos e o tempo de sedimentação de 5 minutos. No entanto, a fase de enchimento e esvaziamento deixa de ocorrer de forma independente e passa a ocorrer de forma simultânea, como também, o esgoto tratado passa a ser coletado pelo topo, diferente do local anterior, na altura média do reator.

Além disso, outros parâmetros de operação foram modificados pela alteração de configuração, como a relação de troca volumétrica (RTV). Antes do dia 465, a RTV possuía um valor fixo de 50%, todavia esse parâmetro tornou-se variável, uma vez que a velocidade ascensional de esgoto bruto passou a determinar a pressão de seleção do sistema, assim após o dia 465 a RTV variou entre 22,5% e 43%.

As análises de caracterização física ocorreram em sete pontos de coleta: uma de esgoto bruto (EB), três de liquor misto (LM1, LM2 e LM3) e três de esgoto tratado (ET1, ET2 e ET3). Na tabela 1 estão listadas as análises físicas realizadas nas amostras de acordo com a metodologia e periodicidade.

Tabela 1 – Análises físicas de acordo com amostras e metodologia

Análise	Metodologia	Amostra	Frequência
Turbidez	Nefelométrico	EB, ET1, ET2, ET3	Quinzenal
Série de Sólidos	SM 2540 (APHA, 2017)	Todas	Quinzenal

Fonte: Autoria Própria

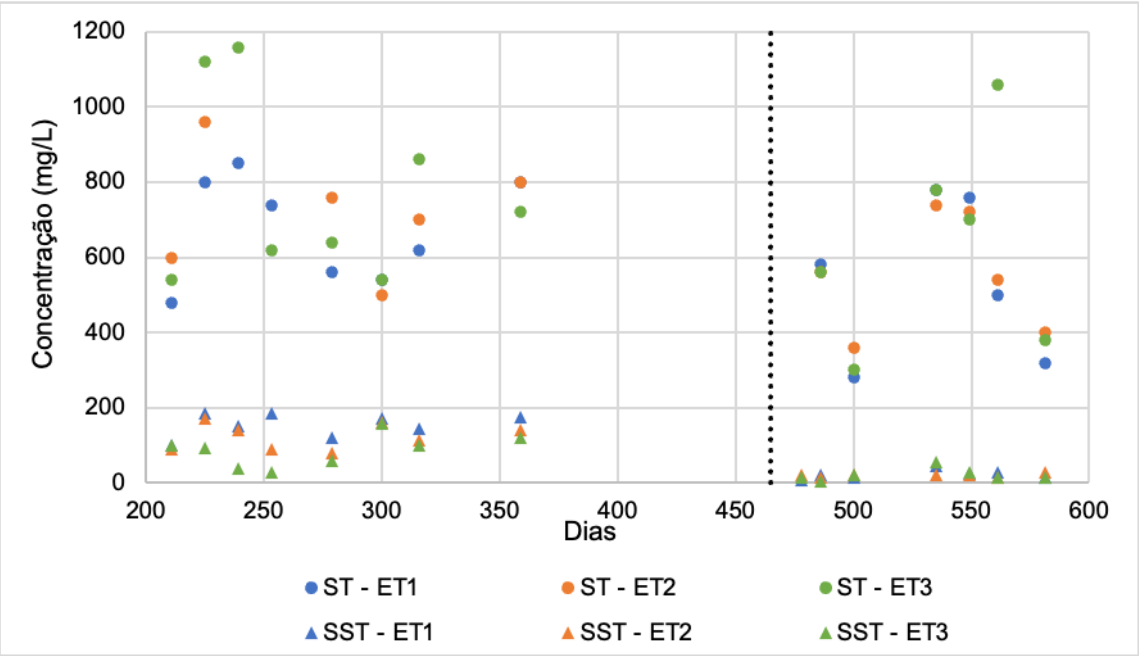
As diferenças de operação entre os reatores não serão tratadas nesse estudo, o foco principal do artigo compreende as mudanças subsequentes nas características físicas do efluente tratado observadas nos reatores após as modificações realizadas no dia 465.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados apresentados contêm 265 dias de experimentação com reatores na configuração convencional (Conv) seguidos de 133 dias de experimentação com reatores na configuração de volume constante (VolCons). Entre os dias 200 e 465, a configuração dos reatores era convencional, enquanto a partir do 465 até o último dia de experimento a configuração dos reatores era de volume constante.

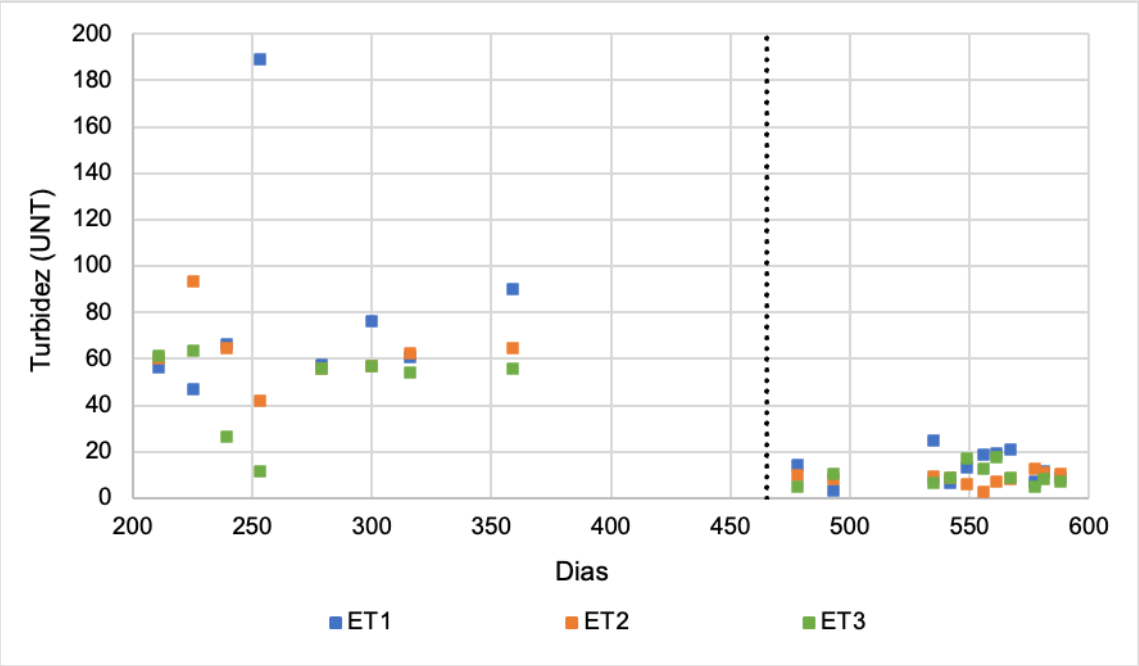
As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados referentes à concentração de sólidos totais, sólidos suspensos totais e turbidez dos efluentes tratados dos reatores antes e após a mudança de configuração do dia 465 de experimento, marco representado pela linha pontilhada.

Figura 4: Concentração de sólidos do efluente tratado dos reatores na configuração de operação convencional e de volume constante



Fonte: Autoria Própria

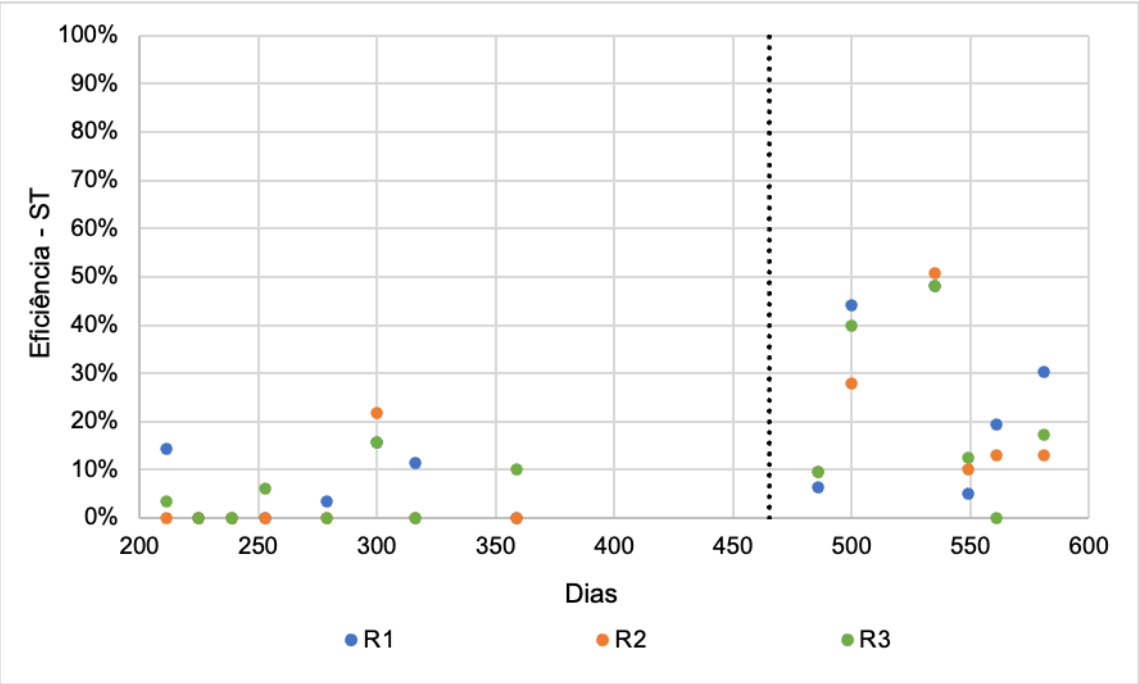
Figura 5: Turbidez do efluente tratado dos reatores na configuração de operação convencional e de volume constante



Fonte: Autoria Própria

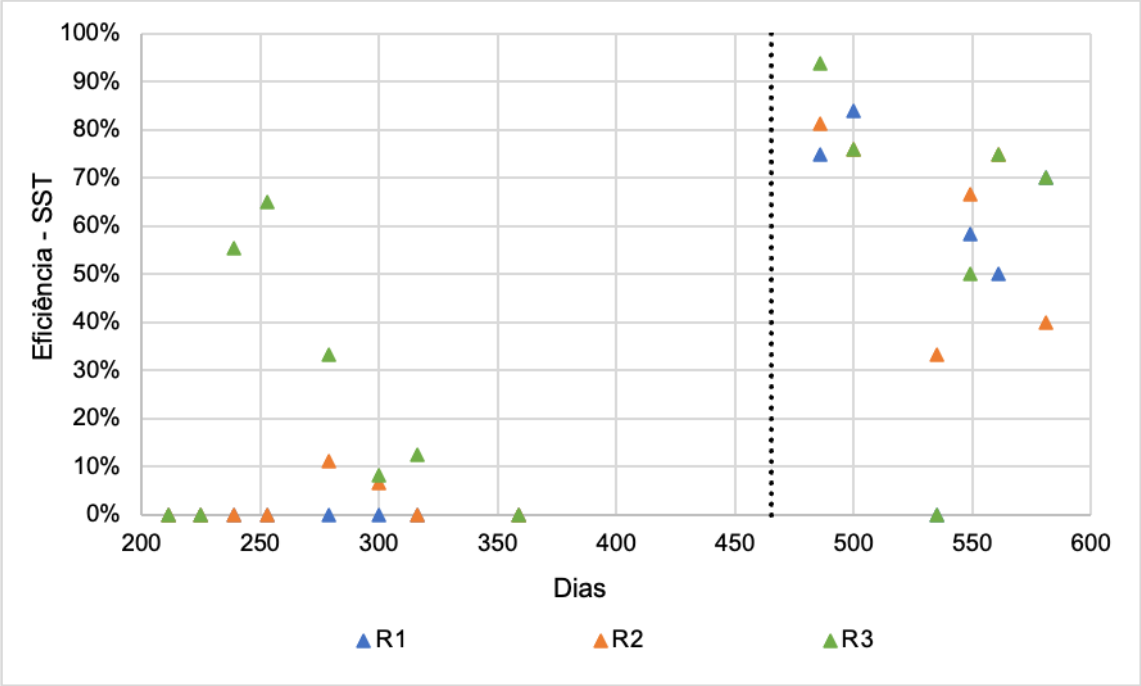
As figuras 6, 7 e 8 apresentam os resultados referentes as eficiências de remoção de sólidos totais, sólidos suspensos totais e turbidez dos reatores 1, 2 e 3 antes e após a mudança de configuração do dia 465 de experimento, marco representado pela linha pontilhada.

Figura 6: Eficiência de remoção de sólidos totais dos reatores na configuração de operação convencional e de volume constante



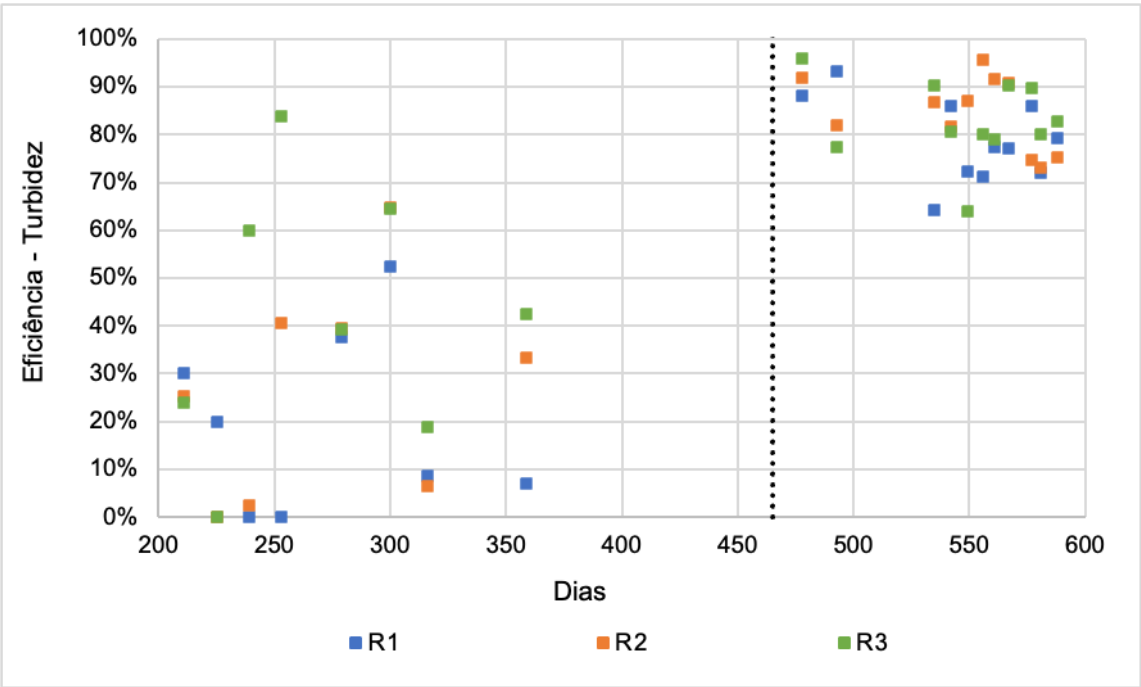
Fonte: Autoria Própria

Figura 7: Eficiência de remoção de sólidos suspensos totais dos reatores na configuração de operação convencional e de volume constante



Fonte: Autoria Própria

Figura 8: Eficiência de remoção de turbidez dos reatores na configuração de operação convencional e de volume constante

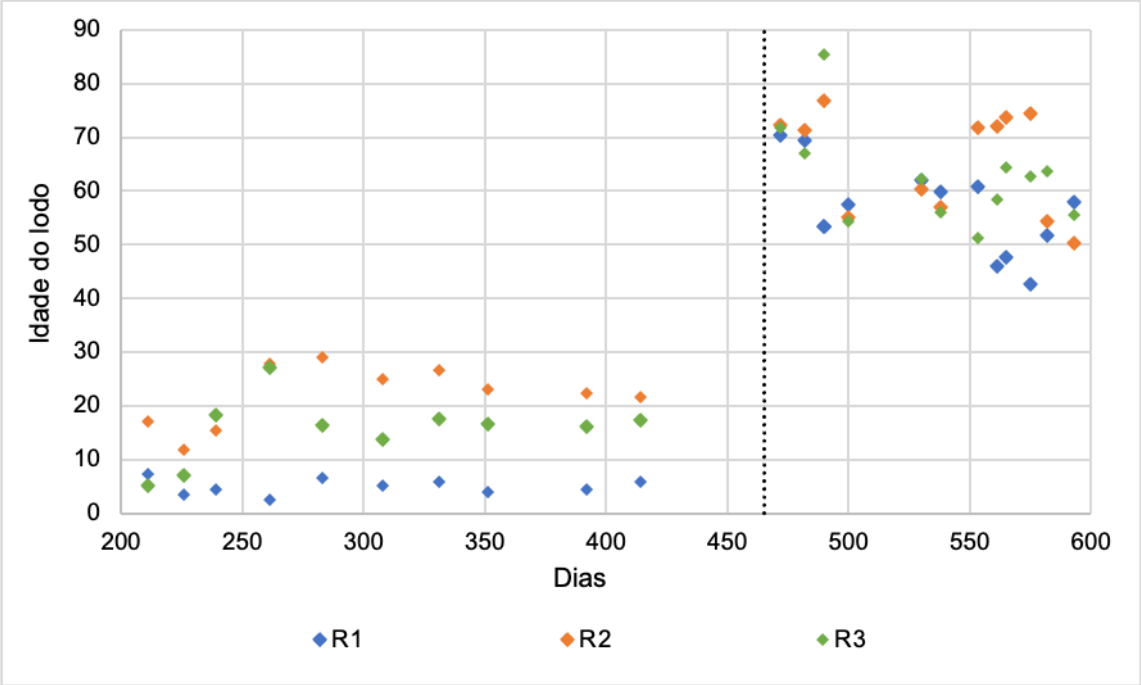


Fonte: Autoria Própria

Por fim, a Figura 9 apresenta a idade do lodo dos reatores 1, 2 e 3 antes e após a mudança de configuração dos reatores do dia 465 do experimento, marco representado pela linha pontilhada. Antes do dia 465, o descarte intencional de lodo ocorria retirando-se um volume de liquor misto de 1/200 do volume útil do reator,

representando 1 litro de liquor misto por dia, enquanto, após o dia 465 o descarte intencional de lodo aumentou para uma fração de 1/100 de volume útil do reator, representando 2 litros de liquor misto por dia.

Figura 9: Idade do lodo nos reatores na configuração de operação convencional e de volume constante



Fonte: Autoria Própria

ANÁLISE DOS RESULTADOS

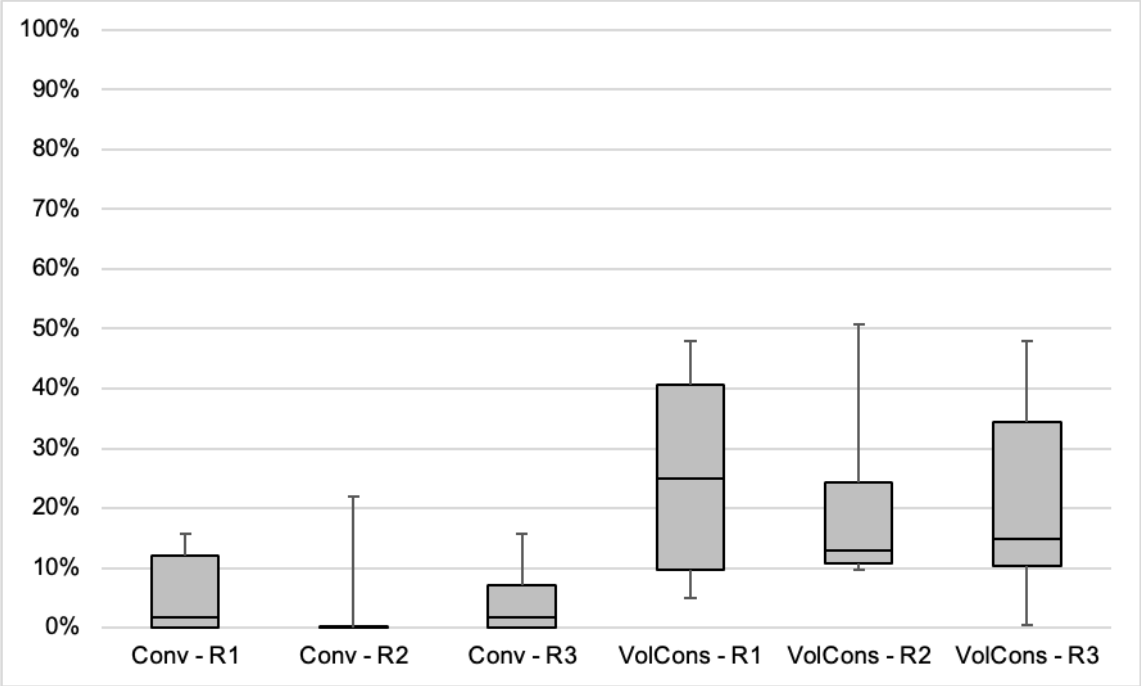
Os resultados indicam que há uma menor concentração de sólidos nos efluentes tratados dos reatores após a modificação de configuração de reator convencional para de volume constante. No período com RBS convencional, as concentrações médias de ST do ET1, ET2 e ET3 foram de 674 mg/L, 905 mg/L e 775 mg/L, enquanto no período com RBS de volume constante as concentrações médias reduziram para 537 mg/L, 553 mg/L e 630 mg/L, indicando uma redução de 20%, 39% e 19%, respectivamente.

De maneira semelhante, as concentrações médias de SST do ET1, ET2 e ET3 foram de 154 mg/L, 123 mg/L e 88 mg/L para 23 mg/L, 20 mg/L e 23 mg/L depois da modificação da configuração dos reatores, indicando uma redução de 85%, 84% e 74%, respectivamente.

Há uma redução brusca da turbidez dos efluentes tratado dos reatores após a mudança de configuração. Os resultados com RBS convencional apontaram um efluente tratado médio com turbidez média de 80 UNT, 62 UNT e 48 UNT dos reatores 1, 2 e 3, respectivamente. No entanto, a mudança para RBS de volume constante reduziu a turbidez dos ET1, ET2 e ET3 para os respectivos valores médios, 13 UNT, 9 UNT e 10 UNT, indicando uma diminuição percentual de 83%, 86% e 80% no parâmetro.

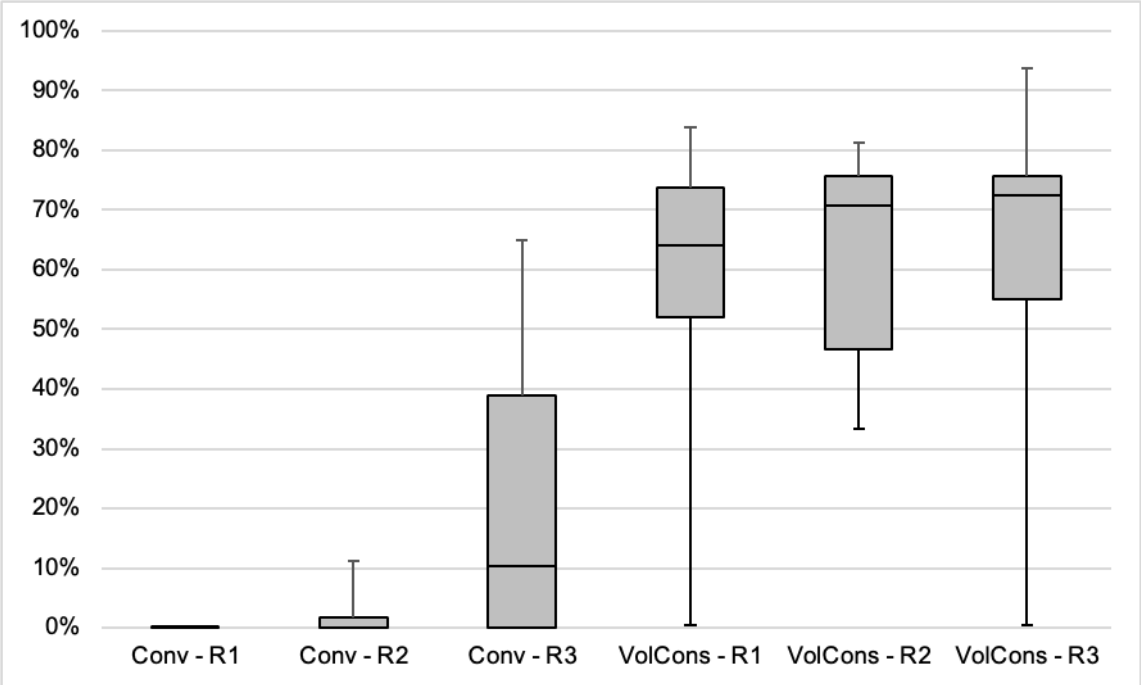
As figuras 10, 11 e 12 apresentam os diagramas tipo *BoxPlot* referente aos dados de eficiências médias de remoção de ST, SST e turbidez, respectivamente, verificadas no período anterior (Conv) e posterior (VolCons) à alteração de configuração dos reatores.

Figura 10: Diagrama *boxplot* das eficiências de remoção dos sólidos totais dos reatores



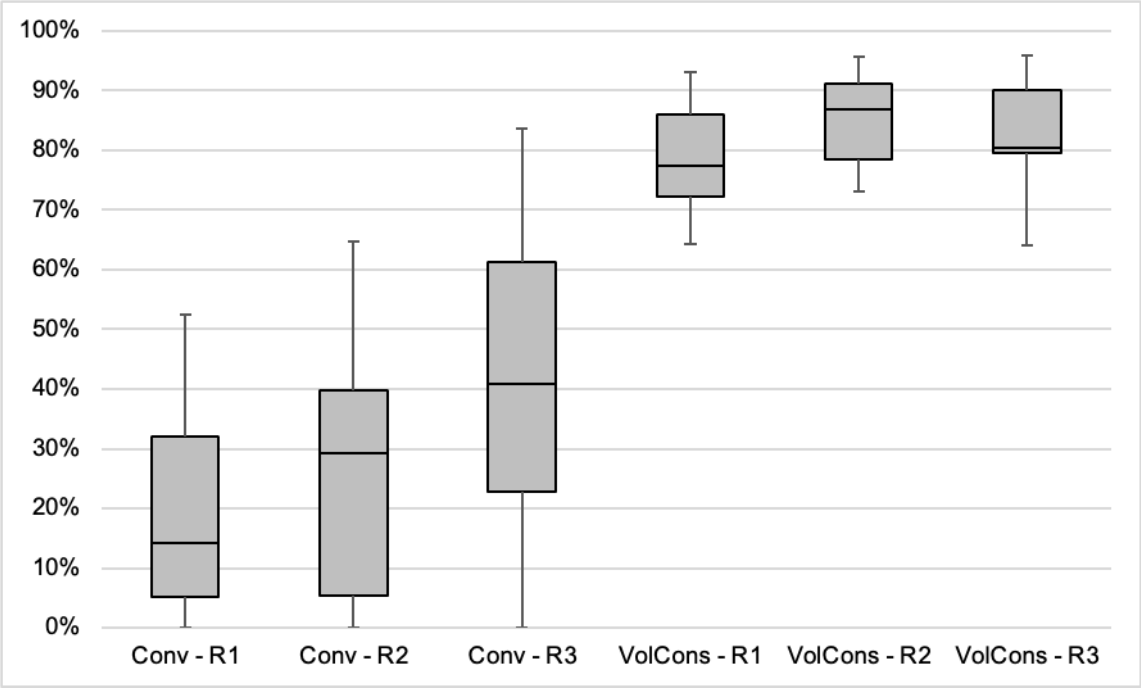
Fonte: Autoria Própria

Figura 11: Diagrama *boxplot* das eficiências de remoção dos sólidos suspensos totais dos reatores



Fonte: Autoria Própria

Figura 12: Diagrama *boxplot* das eficiências de remoção de turbidez dos reatores



Fonte: Autoria Própria

O aumento das eficiências foi notado consideravelmente em todos os três reatores com a configuração de volume constante devido as condições de enchimento e esvaziamento mais controladas pela velocidade ascensional do esgoto bruto que variaram entre 0,4 e 0,7 m/h, permitindo a retenção das partículas de sólidos dentro do reator.

Ademais, mesmo que o descarte intencional tenha aumentado após a alteração da configuração, a idade do lodo cresceu. Isso ocorre porque no RBS convencional a idade do lodo varia conforme a presença de sólidos no efluente tratado, enquanto no RBS de volume constante a menor presença de sólidos no esgoto tratado permite o melhor domínio do parâmetro. Portanto, a mudança de configuração representou uma maior retenção de partículas sólidas nos reatores e seria necessário um aumento ainda maior do volume de descarte para que a idade do lodo permanecesse semelhante.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em síntese, o trabalho identificou os principais efeitos resultantes da modificação da configuração de reatores em batelada sequencial nas características físicas do esgoto tratado. Entre as comparações realizadas na concentração de sólidos e turbidez no efluente tratado antes e depois da modificação de configuração de RBS convencional para volume constante, conclui-se que as características físicas do esgoto tratado apresentaram significativa melhora.

A mudança de configuração de reator em batelada sequencial de convencional para volume constante representou expressivo aumento de eficiência de remoção de sólidos totais, sólidos suspensos totais e turbidez. O crescimento de eficiência de remoção dos parâmetros analisados foi de 2 até 27 vezes superior quando o enchimento e esvaziamento ocorreu em etapas simultâneas. Nessa situação, os resultados estão concordantes aos encontrados por Derlon et al. (2016), quando modificou-se a configuração dos reatores convencional para enchimento e esvaziamento simultâneo, a performance do tratamento melhorou e a concentração de sólidos no efluente tratado diminuiu com velocidade ascensional de esgoto bruto de 0,4 a 0,7 m/h.

Constatou-se que em um RBS de volume constante há a possibilidade de um manejo mais efetivo sobre a idade do lodo. A redução da concentração de sólidos no efluente tratado na configuração de volume constante permite que o descarte intencional seja mais influente na determinação da idade do lodo, diferentemente da configuração convencional, em que as partículas de sólidos lavados pelo reator definem majoritariamente a idade do lodo. Então, o descarte de lodo em reatores de volumes constante é fator determinante para a performance do tratamento quando o enchimento e esvaziamento ocorre de forma simultânea.

Além disso, no RBS de volume constante, a presença de uma interface entre esgoto bruto que "empurra" o efluente tratado pelo topo requer a manutenção de um fluxo de pistão que atenue ao máximo a mistura de efluentes na interface e não deteriore o tratamento. Logo, a investigação de velocidades ascensionais de esgoto bruto que conserve a integridade da interface e não criem fluxos preferenciais ou de lavagem que prejudiquem o tratamento é essencial para a aplicação prática do lodo granular aeróbio.

Em suma, a modificação para uma configuração de RBS de volume constante beneficia o tratamento de esgoto com lodo granular aeróbio, aumentando a eficiência de remoção de sólidos e turbidez do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, A. E. F. **Aprimoramento de reator em batelada sequencial com lodo granular aeróbio visando remoção conjunta de matéria orgânica e nutrientes**. Dissertação de Mestrado—Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2022.
2. APHA. **Standart Methods for the Examination of Wastewater**. 23ª ed. Washington: APHA, AWWA, WPCF, 2017.
3. BENATTI, J. C. B. **Formação de lodo granular aeróbio para diferentes taxas de aeração**. Tese de Doutorado—Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2019.
4. DERLON, N. et al. Formation of aerobic granules for the treatment of real and low-strength municipal wastewater using a sequencing batch reactor operated at constant volume. **Water Research**, v. 105, p. 341–350, nov. 2016.
5. PRADO, P. M. DE A. **Remoção de nutrientes de efluente sanitário real utilizando lodo granular aeróbio com baixa taxa de aeração**. Dissertação de Mestrado—Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2021.
6. ROLLEMBERG, S. L. DE S. et al. Influence of sequencing batch reactor configuration on aerobic granules growth: Engineering and microbiological aspects. **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117906, nov. 2019.
7. VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**. 3ª ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2012. v. 4