

TANQUE DE CLARIFICAÇÃO SECUNDÁRIO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: FLEXIBILIZAÇÃO NA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (ESTUDO DE CASO)

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Antônio Djalma Nunes Ferraz Júnior

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6845121533314420>.

Cristina das Graças Fassina

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3593793991674607>

Renata Lima Moretto

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9818772550330671>
<https://orcid.org/0000-0001-7431-1651>

RESUMO: Lodo ativado é um processo biológico de tratamento de efluentes no qual os poluentes são utilizados como fonte de alimento por microrganismos. O processo de lodos ativados (PLA) é caracterizado por duas unidades operacionais: tanque de aeração (TA) seguido de tanque de sedimentação final (TSF), cujo objetivo é fornecer oxigênio para a degradação da matéria orgânica e remoção de sólidos, respectivamente. Além de remover sólidos,

os TSF's têm a função de reter e devolver ao TA concentração adequada de lodo (i.e., microrganismos), garantindo estabilidade operacional ao processo de tratamento. A análise de ponto de equilíbrio (APE) é uma ferramenta poderosa de monitoramento em PLA. Por meio dessa ferramenta é possível estimar a resposta operacional dos TSF ao aumento de vazão aplicada e/ou recirculação do lodo, a concentração adequada de sólidos suspensos e a possibilidade de remoção de TSF do processo para manutenção. Nesse sentido, a APE foi utilizada na avaliação da resposta de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE - população Equivalente de 2,01 milhões), ao crescimento populacional em sua área de coleta de esgotos. Os cenários avaliados tiveram, portanto, o objetivo identificar a flexibilidade operacional dos TSF's nas condições hipotéticas. Possíveis problemas operacionais foram abordados, tais como o aumento da vazão em 10%, em relação a vazão máxima de projeto, representaria alto risco, em termos de conformidade do efluente final. Entretanto, em termos de processo, esse aumento de vazão exigiria que todos os TSF's estivessem em operação para adequada sedimentação e retenção de sólidos. A

oscilação na concentração de microorganismos em suspensão seria limitada a 3.700 mg/L, caso contrário, os sólidos suspensos seriam carregados no efluente final. Vazões acima de 10% em relação a vazão máxima, não devem ser alpicadas. Extensão do fluxo de tratamento seria necessária para atender ao crescimento populacional na área de captação da ETE.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de ponto de equilíbrio, Lodos ativados, Tanques de sedimentação final, Tomada de decisão.

SECONDARY CLARIFICATION TANK IN SEWAGE TREATMENT STATION: FLEXIBILITY IN OPERATION AND MAINTENANCE (CASE STUDY)

ABSTRACT: Activated sludge is a biological process in which pollutants are used as a food source by suspended microorganisms. The activated sludge process (ASP) is characterized by two operating units: aeration tanks (AT) followed by final settlement tanks (FST) that aim to provide organic matter and solids removal, respectively. In addition, FST's also have the role of retaining and returning adequate concentration of sludge (i.e., biomass or microorganisms) to the AT, thus guaranteeing operational stability of the process. State point analysis (SPA) is a powerful monitoring tool in ASP. It helps estimating the FST response to the increase flow and/or sludge recirculation ratio, the adequate concentration of suspended solids in the process and the possibility of removing FST from operation. In this sense, SPA was used to evaluate the response of a Sewage Treatment Work (STW - Equivalent Population of 2.01 million) to population growth in its catchment area. The scenarios considered identifying the FST operational flexibility in the hypothetical scenario. Possible operational issues were covered. Increasing the flow by 10% in relation to the maximum designed flow would represent high risk in terms of compliance. However, in terms of process, the flow increment would require all FST's in operation for adequate sedimentation and retention of solids. Oscillation on biomass concentration would be limited to 3,700 mg/L. Otherwise, the suspended solids would be washed out from the system. Flows above 10% in relation to the maximum flow must not be applied. The extension of the treatment flow is required to meet the population growth in the catchment area of the STW.

KEYWORDS: Activated sludge, Decision making, Final settlement tanks, State point analysis.

1 | INTRODUÇÃO

As cidades grandes já enfrentam ou enfrentarão desafios únicos relacionados ao fornecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos devido ao crescimento populacional e às mudanças climáticas. Recentemente, foram atingidos a marca de 8 bilhões de habitantes no mundo (BBC, 2022). A população de Londres, por exemplo, está prevista para crescer em 7% até 2043 (STATICA, 2022). De forma análoga, São Paulo tem a previsão de crescimento populacional de 11,6% até 2035 (WORLD ECONOMIC FORUM, 2019). Somado a isso, as mudanças climáticas pressionarão a indústria de água a mitigar o impacto dos seus processos bem como desenvolver uma rede de ativos (*i.e.*, infraestrutura) resiliente, tais como, captação, tratamento, distribuição, coleta e disposição de resíduos.

Os sistemas de coleta e tratamento de esgotos terá reflexos diretos no aumento de

carga orgânica nas redes coletoras de esgotos e vazões de pico ainda mais altas com o crescimento populacional urbano, aumentando o risco de inundação, poluição nas bacias hidrográficas e disseminação de doenças. A modelagem de cenários representativos dessa situação ajuda a compreender como essas suposições podem afetar o processo de tratamento.

O processo de lodos ativados (PLA) é o processo biológico de tratamento de efluentes mais utilizado em regiões desenvolvidas. Nesse tipo de tratamento, a matéria orgânica (carbonácea e nitrogenada) é utilizada como fonte de energia por microrganismos que necessitam de oxigênio para desempenhar as suas funções (microrganismos aeróbios) e/ou por microorganismos “indiferentes” à presença de oxigênio (microrganismos facultativos). Esses microrganismos são mantidos em suspensão em um tanque aerado (TA) onde as reações bioquímicas ocorrem. À jusante do TA, tem-se o tanque de sedimentação final (TSF) ou clarificador secundário, onde há a separação da fase sólido-líquido por gravidade.

A fase líquida (efluente tratado) é encaminhada para o emissário final. Por sua vez, parte da fase sólida é devolvida ao processo de tratamento para fornecer concentração de microrganismos adequada ao processo (lodo ativado de recirculação) enquanto, a outra parte é descartada do processo (lodo ativado excedente ou residual). Por fim, o lodo ativado residual pode ser processado para a geração de bioeletricidade e disposto, de forma segura, em aterros sanitários ou na agricultura (Figura 1).

Estratégias de controle operacional em PLA têm focado na microbiologia e nos aspectos dos TA's, muitas vezes com pouca consideração aos processos físicos que ocorrem nos TSF's. Entretanto, a qualidade do efluente final em PLA é afetada pelo desempenho dos TSF's, exceto quando houver outro meio de separar o material biológico dos sólidos em suspensão, caso contrário, os limites dos parâmetros de qualidade, tais como, a demanda biológica de oxigênio (DBO_5) e os sólidos suspensos totais (SST) podem ser violados.

A interação entre a vazão afluente e a vazão de recirculação constitui a base fundamental para as estratégias de controle e operação dos TSF. Coletivamente, essas estratégias de controle são conhecidas como análise do ponto de equilíbrio (APE). APE é uma ferramenta capaz de estimar a resposta operacional dos TSF's ao (i) aumento de vazão aplicada, (ii) recirculação do lodo, (iii) concentração adequada de sólidos suspensos no PLA e (iv) a possibilidade de isolamento de um ou mais FST do processo para manutenção.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a resposta de uma Estação de Tratamento de Esgotos ao crescimento populacional de até 25% na sua área de coleta por meio da APE. Para isso, foram avaliados quatorze cenários a fim de identificar a resposta ao aumento de vazão e à manutenção da flexibilidade operacional dos TSF's nas condições estabelecidas. Esse trabalho contribui para a avaliação de ativos da indústria de água, em especial, esgotos domésticos, perante as pressões da natureza e indica possíveis soluções.

2 I LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Os princípios básicos de tratamento de efluentes domésticos, com foco no processo de lodos ativados bem como os fundamentos de balanço de massa e hidráulica em tanques de clarificação secundários ou clarificadores são temas essenciais para o entendimento deste trabalho.

2.1 Tratamento de efluentes domésticos

As águas residuais podem ser descritas como as águas utilizadas para transportar poluentes para longe de uma fonte poluidora. Originam-se em residências, empresas, escolas, hospitais, indústrias etc. e se apresentam como uma mistura complexa de substâncias, que não devem ser liberadas no ambiente sem tratamento prévio. Teores de sólidos, substâncias que demandam oxigênio, nutrientes, patógenos e toxinas são alguns de seus componentes que devem ser removidos por fornecer ameaça aos recursos naturais e a saúde pública (VON SPERLING, 2000).

Os processos de tratamento de efluentes podem ser agrupados em duas categorias gerais, sendo a primeira: física/química. Esta categoria abrange sistemas de gradeamento, sedimentação, filtração, precipitação e destruição química. A segunda categoria, biológica, inclui processos que dependem de organismos vivos para remover poluentes solúveis das águas residuais. Sendo representada pelas lagoas de estabilização de resíduos, filtros de gotejamento, contactor biológico rotativo (*Rotating Biological Contactor*) e lodos ativados (ZAIAT; FORESTI, 1997).

Na maioria dos casos, o tratamento de efluentes é realizado por meio do uso de uma combinação de processos de tratamento físico/químico e biológico. Uma estação de tratamento típica pode incluir tratamento preliminar (físico) para remoção de grandes detritos e areia, tratamento primário (físico) para remover sólidos em suspensão sedimentáveis, tratamento secundário (biológico) para remover as partículas remanescentes e material orgânico dissolvido, precipitação química para remover nutrientes, filtração terciária (física) para remover partículas finas restantes e desinfecção química ou por luz ultravioleta (ZAIAT; FORESTI, 1997).

O processo de lodos ativados (PLA) foi desenvolvido na Inglaterra em 1914, e tem sido aplicado ao tratamento de efluentes domésticos mundialmente. No Brasil, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), por exemplo, utiliza o PLA precedido de lagoas de estabilização. A grande aceitação do PLA está vinculada às características do efluente final: Demanda Biológica de Oxigênio ($< 25 \text{ mg O}_2/\text{L}$), Demanda Química de Oxigênio ($< 125 \text{ mg O}_2/\text{L}$), Sólidos Suspensos ($< 45 \text{ mg/L}$) e Nitrogênio amoniacal ($< 2.5\text{-}3.5 \text{ mg N-NH}_3/\text{L}$).

2.2 Processo de Lodos Ativados (PLA)

O processo de lodos ativados constitui-se de tratamento biológico de efluentes, no

qual os poluentes são utilizados como fonte de alimento por microrganismos aeróbios e/ou facultativos, normalmente, em suspensão no meio líquido (VON SPERLING, 2000). À essa mistura de partículas sólidas no meio líquido, dá-se o nome de licor misto (em inglês, *Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS*). O MLSS é suprido com borbulhamento de ar comprimido (~20% de oxigênio) ao longo do tanque de aeração. Os poluentes orgânicos (biodegradáveis) nas águas residuais são convertidos em novas células, estimada em cerca de 0,32 gramas para cada grama de matéria orgânica removida, e outros subprodutos, por exemplo, gás carbônico (CO₂) (METCALF; EDDY, 2014). Na sequência, o MLSS flui do tanque de aeração para o tanque de sedimentação final (TSF) ou clarificador secundário, onde há separação das fases sólido-líquido por gravidade. O efluente tratado é encaminhado para o emissário final enquanto, a biomassa sedimentada é devolvida ao processo de tratamento para fornecer concentração de microrganismos suficiente para manter o processo de remoção de poluentes. A biomassa devolvida é chamada de lodo ativado de retorno (*Returned Activated Sludge, RAS*). Por outro lado, a biomassa excedente no processo de lodos ativados (PLA) é controlada por meio de descargas diárias uma vez que o processo é biológico e contínuo. O excesso de biomassa removido do TSF é conhecido como lodo ativado residual (*Waste Activated Sludge, WAS*) (VON SPERLING, 2000).

Por fim, o WAS é adensado e, ao ter sua umidade reduzida, passa por um processo de digestão anaeróbia (i.e., ausência de oxigênio). O lodo 'mineralizado' resultante dessa etapa é desidratado em filtros, prensas ou centrífugas para finalmente ser encaminhado para sua disposição final, podendo esta se dar em aterros sanitários, na agricultura ou mesmo em coprocessamento (CHERNICARO, 2001; BARROS, 2012) (Figura 1).

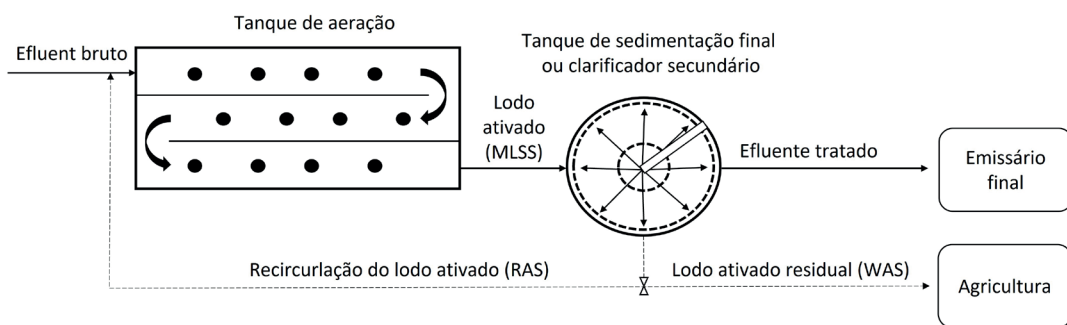


Figura 1 - Processo de Lodos Ativados (PLA). Referência: Autores.

2.3 Fatores de controle e cálculos no Processo de Lodos Ativados (PLA)

A operação adequada de um PLA exige o conhecimento de fatores físicos e biológicos que influenciam a eficiência do processo, conforme descritos nas subseções a seguir.

2.3.1 Concentração de microrganismos no licor misto (MLSS)

A concentração de MLSS é determinada por análise de sólidos suspensos no meio líquido do tanque de aeração. Esse método consiste na ignição de uma amostra do MLSS seco em um forno mufla a 550°C (APHA, 2018). O material que queima nessa temperatura é considerado orgânico (i.e., biológico) e o material remanescente (não volátil ou fixo) corresponde à fração inorgânica do MLSS. Nos cálculos em que apenas a população biológica ativa deve ser considerada, utiliza-se o MLVSS. O valor típico de MLSS no PLA convencional é de 2.500 mg/L – 3.000 mg/L no verão; e de 2.700 mg/L – 3.200 mg/L no inverno (Internal data), devido à diferença de constantes cinéticas de crescimento biológico e utilização de substrato (alimento). Em PLA com aeração estendida esse valor está na faixa de 5.000 mg/L (METCALF; EDDY, 2014).

2.3.2 Relação alimento ao microrganismo por dia (A:M)

A relação alimento/microrganismo é um dos controles primários usados no PLA. Isso ajuda o operador a manter o equilíbrio entre a quantidade de alimentos disponíveis e a quantidade de microrganismos nos tanques de aeração. A quantidade de alimento é representada pela Demanda Biológica de Oxigênio (DBO). A razão F:M é calculada dividindo-se o valor de DBO (kg/m^3) que entra no sistema de tratamento secundário pela concentração de MLVSS ($\text{kg/m}^3\text{d}$) nos tanques de aeração. A faixa para PLA convencional é de 0,25 a 0,45, enquanto, que para PLA com aeração estendida, esse valor é de 0,05 a 0,15 (METCALF; EDDY, 2014). Como o operador geralmente não tem controle sobre a quantidade de DBO que entra na estação de tratamento de águas residuais, F:M é ajustado pela concentração de MLVSS no sistema secundário.

2.3.3 Idade do Lodo (IL)

A idade do lodo (IL) pode ser definida como o tempo médio (dias), que um organismo permanece no sistema de tratamento secundário. Quando o suprimento de alimentos ocorre em um processo biológico, em fase inicial, há abundância de alimentos, mas muito poucos organismos. Diz-se que os organismos estão começando a se aclimatar/adaptar aos resíduos (Fase de latência ou Fase Lag), produzindo as enzimas necessárias, e a população começa a aumentar. Uma vez que os organismos tenham se aclimatado, a taxa de crescimento aumenta exponencialmente (Fase Log). Neste ponto, a oferta de alimentos ainda não é um fator limitante e a DBO é convertida em lodo. Em seguida, o suprimento de alimentos disponível começa a limitar a produção de novas células e os organismos começam a competir por alimentos dando início à Fase de declínio ou endógena (MADIGAN et al., 1997) (Figura 2). A IL é calculada dividindo-se a massa de MLVSS (mg) no sistema de aeração pelo excesso de biomassa removido no TSF (mg/d). A faixa para PLA convencional é de 4 a 6 dias, enquanto, que para PLA com a aeração estendida, é de 15 a 25 dias

(METCALF; EDDY, 2014).



Figura 2 - Curva típica de crescimento dos microorganismos (lodo). Fonte: Monte et al. (2018).

2.3.4 Índice Volumétrico de Lodo (IVL)

O Índice Volumétrico de Lodo (IVL) é usado para descrever as características de sedimentação do lodo no tanque de aeração no PLA. O IVL é um parâmetro de controle de processo e tem por definição 'o volume (em mL) ocupado por 1 grama de lodo ativado após a decantação do líquido aerado por 30 minutos (Equação 1) (MOHLMAN, 1934, DICK; VESILIND, 1969; APHA, 2018).

$$IVL = \frac{V_{\text{Lodo sedimentado}} \cdot 1000}{[MLSS]} \quad (1)$$

Em que: $V_{\text{Lodo sedimentado}}$ expresso em mL/g e MLSS, expresso em mg/L. Valores de IVL entre 70-80 mL/g e maiores do que 120 mL/g são indicativos de lodo de boa e de má sedimentabilidade, respectivamente (JORDÃO et al., 1999).

2.4 Princípio do balanço de massa

O balanço de massa é a contabilização de todo o material em um processo. Considera-se a entrada, saída e distribuição de um "composto alvo" entre fluxos em um processo ou estágio (LEVENSPIEL, 1999), em que tudo o que entrar em um TSF deve sair, seja água ou sólidos. Os sólidos são removidos pela parte inferior do TSF onde uma fração é devolvida para o sistema e outra descartada. O efluente tratado é encaminhado para os vertedores carreando a menor concentração de sólidos suspensos possível.

A massa de sólidos que entra no TSF é o produto do fluxo de entrada (vazão afluente (Q) e vazão de recirculação (Q_r)) com a concentração de sólidos no licor misto (MLSS). (Equação 2).

$$\text{Massa de sólidos}_{\text{Afluente}} = (Q + Q_r) \cdot MLSS \quad (2)$$

A massa de sólidos que sai do clarificador é a soma de três correntes de fluxo, são elas: efluente (Q_E), a recirculação do lodo ativado (RAS) e o lodo ativado residual (WAS) (Equação 3).

$$\text{Massa de sólidos}_{\text{Efluente}} = (Q_E \cdot [SST]_E) + (Q_r \cdot RAS) + (Q_W \cdot WAS) \quad (3)$$

Considerando as seguintes premissas: 1. A vazão afluyente é igual a vazão efluente. 2. A concentração de SST no efluente é muito pequena (inferior a 23 mg-SST/L) comparada com a concentração de SST nos fluxos afluyente ao TSF (~ 3.000 mg-SST/L) e de recirculação do PLA (~ 7.200 mg-SST/L), pode-se remover esses dois termos do lado direito da Equação 4 e obter a Equação 5.

$$(Q + Q_r) \cdot MLSS \cong (Q_r \cdot RAS) \quad (4)$$

$$RAS \cong \left(\frac{Q}{Q_r} + 1 \right) \cdot MLSS \quad (5)$$

Baseado na Equação 5, algumas informações podem ser obtidas: (i). A concentração de sólidos no fluxo RAS sempre será maior que a concentração de MLSS, considerando que $\left(\frac{Q}{Q_r} + 1 \right)$ sempre é maior que 1. (ii) Manter o fluxo RAS em uma porcentagem constante do fluxo afluyente mantém a concentração de sólidos no RAS constante que, por sua vez, permitirá uma operação mais consistente (VON SPERLING, 2000).

2.5 Análise do ponto de equilíbrio

A análise do ponto de equilíbrio permite identificar o estado do balanço de massa no TSF. É possível identificar o balanço de massa num determinado tempo ou estimar o seu comportamento por meio da variação da vazão e/ou variação da carga de sólidos aplicada (CSA) ao TSF. A Figura 3 apresenta um gráfico cujo eixo Y representa a taxa de sedimentação ou carregamento de sólidos ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) e o eixo X representa a concentração de sólidos em g/L. Na sequência, tem-se duas retas que se cruzam no ponto de equilíbrio do balanço de massa e uma curva que sobe e desce à medida que a concentração de sólidos aumenta (WAHLBERG; KEINATH, 1988;1995).

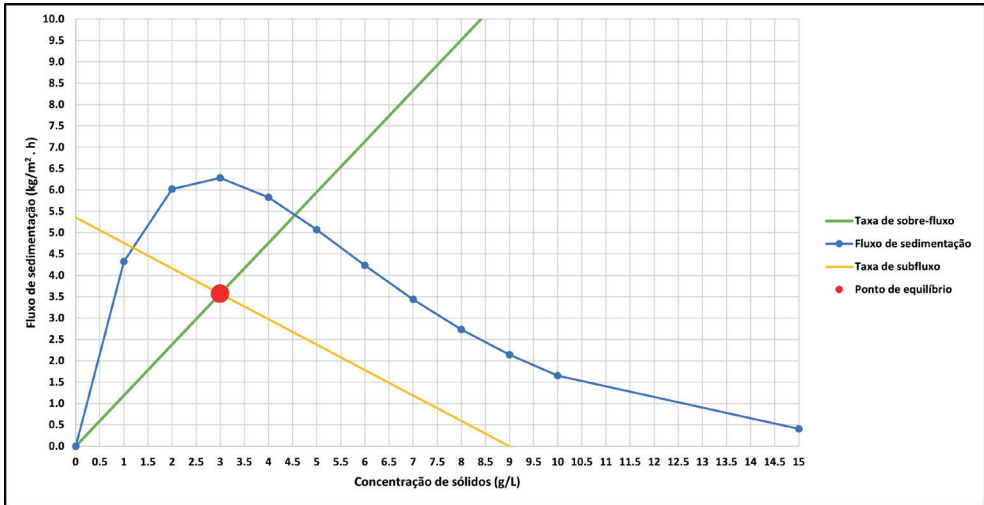


Figura 3 - Ponto de equilíbrio de um TSF. Cenário hipotético. Referência: Autores.

2.6 Taxa de sedimentação ou carregamento de sólidos

A taxa de carregamento de sólidos (TCS) avalia o funcionamento do TSF, considerando que o balanço de massa é função dos sólidos no clarificador. TCS pode ser calculado multiplicando-se a vazão afluente ao TSF pela concentração de sólidos sedimentáveis no licor misto dividindo-se esse termo pela área superficial do clarificador (A) (Equação 6) e, também, a Equação 7:

$$TCS = \frac{(Q + Q_r) \cdot [MLSS]}{A} \quad (6)$$

$$\text{Equação 5} - TCS = \frac{Q}{A} \cdot [MLSS] + \frac{Q_r}{A} \cdot [MLSS] \quad (7)$$

O primeiro termo na Equação 6 é usado para traçar o ponto de equilíbrio. A coordenada Y do ponto é $\frac{Q}{A} \cdot [MLSS]$ e a coordenada X é $[MLSS]$. Em seguida, traça-se uma reta passando pelo ponto de equilíbrio e pela Origem (0,0). A inclinação desta linha representa a taxa de sobre fluxo ou transbordamento do líquido (WAHLBERG & KEINATH, 1988;1995).

Na sequência, plota-se a taxa total de carregamento de sólidos (Equação 6) no eixo Y. Esse ponto será o ponto de referência inicial para a segunda linha reta que atravessa o ponto de equilíbrio até o eixo X. A inclinação desta linha é a taxa de subfluxo, que é representada por $-\frac{Q_r}{A}$. O sinal negativo significa que o fluxo está saindo do clarificador (WAHLBERG; KEINATH, 1988;1995).

2.7 Hidráulica dos TSF ou clarificadores

A qualidade dos TSF ou clarificador é determinada pela capacidade de retenção de sólidos. A linha curva no gráfico do ponto de equilíbrio é determinada pelas características de sedimentação dos sólidos. Para desenvolver tal curva, vários testes de sedimentação

em batelada devem ser realizados em concentrações de sólidos variáveis [MLSS], a fim de se determinar a velocidade de sedimentação dos sólidos (v_s) em uma interface (fase líquida – sólida). O fluxo de sedimentação pode ser calculado conforme a Equação 8. A curva de fluxo de sedimentação é desenvolvida plotando o N_{LA} em função de [MLSS] (WAHLBERG; KEINATH, 1988; 1995; WAHLBERG et al., 1998).

$$N_{LA} = v_s \cdot [MLSS_i] \quad (8)$$

Alguns estudos reportaram que o procedimento IVL e suas modificações apresentam relações empíricas com dois parâmetros da equação de Vesilind (Equação 9): V_0 e k . Essa equação descreve a velocidade de sedimentação na interface sólido-líquido em função da concentração dos sólidos suspensos sendo, portanto, adequada para descrever o processo de sedimentação gravitacional em lodos ativados. A abordagem empírica é baseada na premissa de que as funções $f_1(IVL)$ e $f_2(IVL)$ podem ser relacionadas com os parâmetros mencionados a priori. (Equações 10 e 11) (WAHLBERG; KEINATH, 1988; 1995; WAHLBERG et al., 1998).

$$v_s = V_0 \cdot e^{-kX_i} \quad (9)$$

$$k = f_1(IVL) \quad (10)$$

$$V_0 = f_2(IVL) \quad (11)$$

Substituindo-se essas relações na Equação 9, tem-se:

$$N_{LA} = [MLSS_i] \cdot f_2(IVL) \cdot e^{-f_1(IVL) \cdot [MLSS_i]} \quad (12)$$

Se as funções $f_1(IVL)$ e $f_2(IVL)$ puderem ser determinadas de forma apropriadas, a Equação 12 pode ser utilizada pelos operadores para desenvolver a curva de fluxo de sedimentação com base na determinação de apenas um ensaio de IVL (WAHLBERG; KEINATH, 1988; 1995; WAHLBERG et al., 1998).

3 | METODOLOGIA

A análise do ponto de equilíbrio foi utilizada na avaliação do crescimento populacional de até 25% na área de captação de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE - População Equivalente de 2,01 milhões), conforme seções subsequentes.

3.1 Caracterização da ETE

Em uma ETE no sul do Reino Unido com População Equivalente (PE) de 2,01 milhões, o processo de tratamento de efluentes é dividido em três fluxos, conhecidos como Tratamento Leste (PE–955.264), Tratamento Oeste (PE–355.263) e Extensão do Tratamento Oeste (PE–789.474). A ETE é composta por unidades de tratamento preliminar (gradeamento e remoção de detritos), primário (25 tanques de sedimentação primário–TSP) e secundário (25 tanques de aeração–TA e 88 tanques de sedimentação final–TSF).

O lodo produzido pelos processos Leste e Oeste é direcionado para uma instalação comum de coleta, espessamento, pasteurização e digestão de lodo e, em seguida, bombeado para um site para desidratação. A ETE apresenta mais 8 tanques pluviais (sistema de coleta de esgoto combinado) com um volume total de armazenamento de 94.688m³ (Dados internos).

De acordo com o fluxo de tratamento A&B I (Tabela 1), foram avaliadas as vazões máximas serem diferentes para os fluxos de tratamento A, B e C; e a possibilidade de aumento da vazão aplicada ao fluxo de tratamento C de 180 ML/D para 242 ML/D (Dados internos). O aumento de vazão no fluxo de tratamento C pode contribuir para o maior atendimento populacional e/ou diminuir ou amortecer as vazões aplicadas nos fluxos de tratamento A&B. No entanto, tal decisão pode afetar a capacidade de tratamento do fluxo C, em especial no desempenho dos TSF, comprometendo a do efluente (i.e., DBO, DQO e sólidos). A análise de ponto de equilíbrio foi escolhida para avaliar cenários de operação dos TSF (Fluxos A&B e C) por cobrir parâmetros de projeto, tais como, carga hidráulica aplicada e carga de sólidos aplicados aos TSF.

As seguintes premissas foram adotadas: (i) Os fluxos A&B apresentam o mesmo desempenho. (ii) A vazão máxima aplicada nos fluxos A&B é de 180 ML/D a fim de permitir uma comparação de desempenho com o fluxo de tratamento C. (iii) A vazão máxima do fluxo de tratamento C é de 180 ML/D. (iv) A taxa de recirculação do efluente é de 50% da vazão máxima de entrada (afluente). A concentração de MMLS é de 3.200 mg/L. O IVL é de 80 mL/g. Com base nessas informações os cenários de estudo são apresentados a seguir.

Unidade de processo	Variável/Parâmetro	Unidade	Fluxo de tratamento		
			A	B	C
	Vazão	ML/D	242	242	180
Tratamento Primário (TSP)	Nº tanques	-	4	4	4
	Área superficial	m ²	1375,7	1375,7	1430,1
	Volume do tanque	m ³	4927	4927	2907,4
Tratamento Secundário (TA)	Nº tanques	-	6	6	6
	Área superficial	m ²	2229,7	2229,7	2229,7
	Volume do tanque	m ³	7558,4	7558,4	7558,4
Tratamento Secundário (TSF)	Nº tanques	-	24	24	24
	Área superficial	m ²	328,8	328,8	262,7
	Volume do tanque	m ³	1273,2	1273,2	1083,6

Nota: Vazão em mega litros por dia (ML/D). Logo, 1 ML/D é equivalente a 1.000 m³/d. TSP – Tanque de sedimentação primário. TA – Tanque de aeração. TSF – Tanque de sedimentação secundário.

Referência: Dados internos.

Tabela 1 – Dimensões das unidades de processo primário e secundário

3.2 Avaliação de cenários e cálculos

Os cenários avaliados buscaram identificar a flexibilidade operacional dos TSF's (Fluxo de tratamento C) em sua vazão máxima (180 ML/D). Possíveis problemas relacionados ao processo e a operação/manutenção, aqui denominados de flexibilidade operacional, foram abordados, por exemplo, (i) pico de MLSS causado por 'bulking' (i.e., bactérias filamentosas – flotação de sólidos); (ii) falha da bomba RAS/WAS; (iii) entupimento; (iv) falha da válvula; (v) isolamento dos tanques de aeração; e (vi) isolamento temporário de TSF para manutenção.

Cenários		Vazão (ML/D)	IVL (mL/g)	MLSS (mg/L)	Nº de SFT em serviço
A = B	C				
I	I	180	80	3200	24
II	II	180	140	3200	24
III	III	180	80	3500	24
IV	IV	180	80	4200	24
V	V	180	80	4200	20
VI	VI	198	80	3200	24
VII	VII	216	80	3200	24
VIII	VIII	234	80	3200	24
IX	IX	243	80	3200	24
X	X	198	110	3200	24
XI	XI	198	80	3700	24
XII	XII	198	80	4200	24
XIII	XIII	198	80	3700	20
XIV	XIV	216	80	3700	24

Nota: Verde – Bom desempenho. Laranja – Desempenho crítico/limite. Vermelho – Desempenho ruim. Amarelo – efeito de uma variável em relação ao cenário base (Cenário I). Cinza – efeito de duas variáveis em relação ao cenário base (Cenário I). Rosa - efeito de três variáveis em relação ao cenário base (Cenário I). Vazão em mega litros por dia (ML/D). Logo, 1 ML/D é equivalente a 1.000 m³/d.

Tabela 2. Cenários avaliados para os TSF dos fluxos de tratamento A&B e C.

Os cenários foram avaliados alterando uma condição (variável) por cenário (Tabela 2). A vazão máxima no fluxo de tratamento C foi aumentada em até 35% para igualar a vazão máxima de projeto e operacional dos fluxos de tratamento A&B (484 ML/D, 242 ML/D cada). A flexibilidade operacional do fluxo de tratamento C foi então reavaliada. O mesmo procedimento foi reproduzido para os TSF dos fluxos de tratamento A&B. A predição para identificar o estado do balanço de massa nos TSF foi realizada usando Microsoft Excel.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, apresenta-se os resultados dos quatorze cenários avaliados na identificação da resposta ao aumento de vazão e a manutenção da flexibilidade operacional dos TSF's em uma ETE (PE de 2,01 milhões).

4.1 Avaliação das dimensões das unidades de processo primário e secundário

Os fluxos de tratamento A&B e C apresentam a mesma capacidade de remoção de sólidos e matéria orgânica (DBO_5). Entretanto, o fluxo C possui menor volume (60% menos) de armazenamento de lodo primário em relação aos fluxos de tratamento A&B. Em relação aos tanques de aeração, todos os fluxos de tratamento possuem a mesma capacidade de remoção de matéria orgânica solúvel (DBO_5 e DQO), em termos de volume do tanque. O fluxo C apresenta menor capacidade (20% menos) de sedimentação e menor volume (15% menos) de retenção e armazenamento de lodo secundário em comparação com os fluxos de tratamento A&B.

4.2 Avaliação dos cenários I – XIV, discussão e estratégias operacionais

O ponto de equilíbrio indicou que os TSF's do fluxo C apresentam menor flexibilidade operacional em relação aos do fluxo A&B em todas as condições avaliadas (Cenários I – XIV), confirmando a pré-investigação realizada com base nas dimensões das unidades de processo. A “limitação” da vazão em 180 MD/L no fluxo C se deve à menor área superficial (~ 20% menor) comparadas aos fluxos A&B (Figura 4).

O valor de IVL de 140 mL/g representa alto risco para os TSF's do fluxo C em sua vazão máxima (180 ML/D) enquanto, a mesma condição representa um risco moderado para os FSTs dos fluxos A&B (Cenário II). Como mencionando a priori, IVL igual a 140 mL/g representa uma condição média a ruim de sedimentação de sólidos, e, possivelmente, foi utilizado para dimensionar os TSF's (entre 110 mL/g e 170 mL/g).

Os TSF's do fluxo C apresentam resposta boa a média às oscilações na concentração de MLSS (3.200 mg/L a 4.200 mg/L) em sua vazão máxima (180 ML/D) (Cenários III e IV). No entanto, os TSF's perderiam sólidos no efluente final, caso, ao menos 4 TSF's estivessem fora de serviço (Cenários V). “Há espaço” para aumentar a vazão no fluxo de tratamento C (acima de 180 ML/D). No entanto, a sua flexibilidade operacional diminui à medida que o fluxo aumenta em 10% (198 ML/D), 20% (216 ML/D), 30% (234 ML/D) e 35% (243 ML/D) (Cenários VI, VII, VIII e IX, respectivamente). Além disso, variáveis como IVL, MLSS e número de TSF's em serviço devem ser consideradas igual aos valores apresentados na Tabela 2, caso contrário, nova análise deve ser realizada.

Um acréscimo de 10% a vazão máxima do fluxo C (198 ML/D) exigiria que todos os TSF's estivessem em operação para sedimentar e reter sólidos nos tanques. Entretanto, a oscilação na concentração de MLSS estaria limitada a 3.700 mg/L (Cenários X e XI). Caso contrário, os sólidos suspensos seriam carregados pelo efluente final (Cenário XII).

O mesmo aconteceria no caso de TSF's fora de serviço (Cenário XIII). Um acréscimo de 20% a vazão máxima do fluxo de tratamento C (216 ML/D) não permitiria oscilação na concentração de MLSS o que dificultaria o controle na rotina operacional da ETE. Assim, não se aplica ao fluxo de tratamento C (Cenário XIV). Valores de vazão acima de 216 ML/D, portanto, não foram avaliados.

Caso seja altamente necessário aumentar a vazão no fluxo de tratamento C em 10% da vazão máxima (198 ML/D), sem comprometer a qualidade do efluente final, sugere-se o aumento gradativo e estratégico. Fase 1 – 185 ML/D (3% acima da vazão máxima) – Boas condições meteorológicas. IVL de 80 mL/g. MLSS de 3.200 mg/L. Todos os TSF's em serviço. Monitoramento dos níveis de manta de lodo e sólidos suspensos no efluente final. Fase 2 – 191 MLD (6% acima da vazão máxima) – Mesmas condições da Fase 1. Fase 3 – 198 MLD (10% acima da vazão máxima) – Mesmas condições da Fase 1. Para vazões maiores que essa, extensão do fluxo de tratamento será, portanto, necessária para atender ao crescimento populacional na área de captação da ETE.

5 | CONCLUSÃO

Aumentar a vazão no fluxo de tratamento C acima de 180 MLD representaria alto risco, em termos de conformidade do efluente final. Entretanto, em termos de processo, um aumento de 10% em relação a vazão máxima (198 MLD) exigiria que todos os TSF's estivessem em operação para adequada sedimentação e retenção de sólidos. Este cenário requer todos os tanques em operação. A oscilação na concentração de MLSS seria limitada a 3.700 mg/L sob monitoramento constante. Caso contrário, os sólidos suspensos seriam carregados no efluente final. Vazões acima de 198 MLD não devem ser aplicadas ao fluxo de tratamento C. Extensão do fluxo de tratamento é, portanto, necessário para atender ao crescimento populacional na área de captação da ETE.

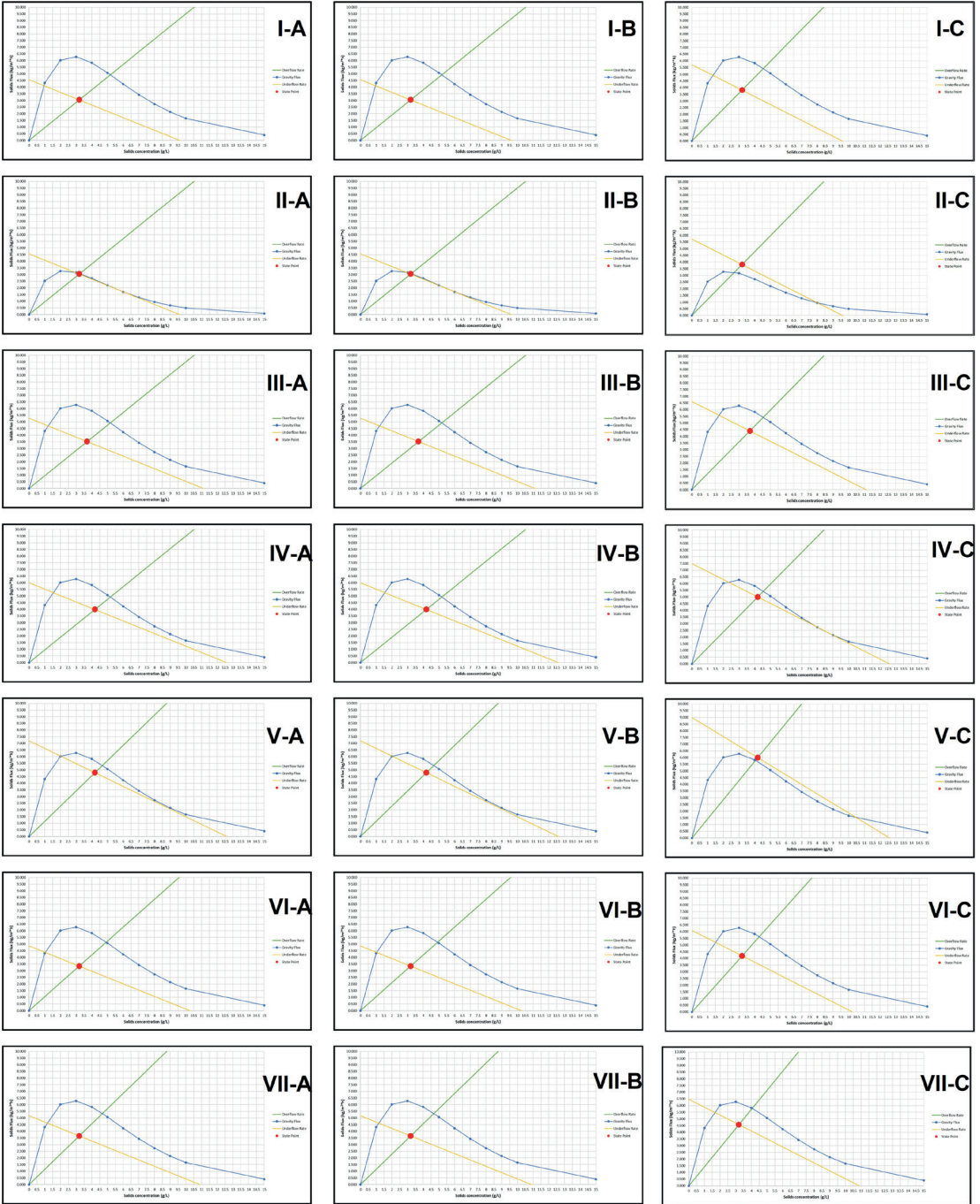


Figura 4 - Cenários avaliados para os TSF dos fluxos de tratamento A&B e C (continua).

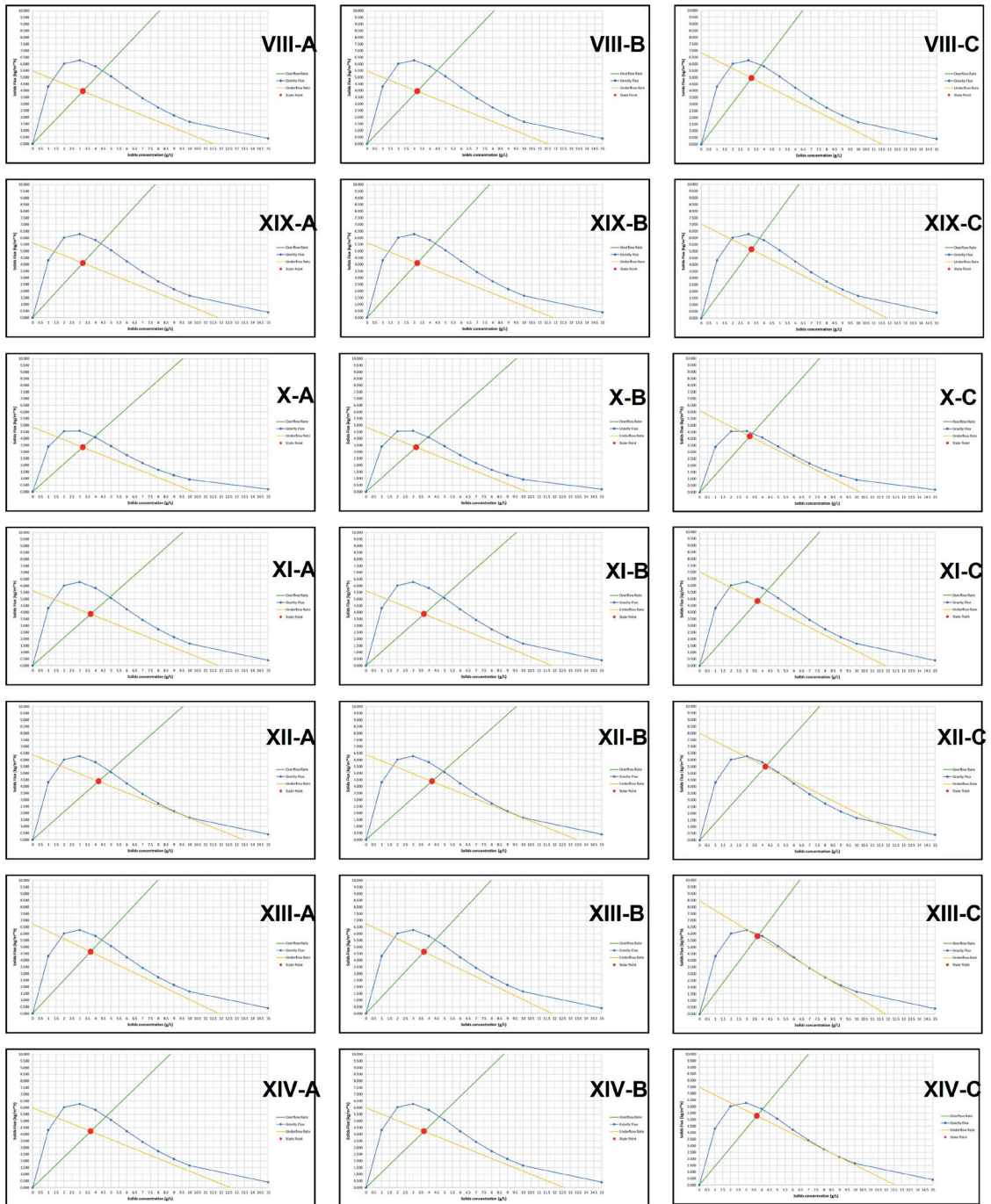


Figura 4 - Cenários avaliados para os TSF dos fluxos de tratamento A&B e C.

REFERÊNCIAS

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed.. Washington: APHA, 2018.

Barros, R.M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012. 374p.

BBC. **How the world got to 8 billion people - and where next**. Disponível em: <https://www.bbc.co.uk/news/av/world-63624651>. Acesso em: 01 nov. 2022.

CHERNICHARO, C.A.L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Coordenação Carlos Augusto Lemos Chernicharo. Rio de Janeiro: Programa Saneamento Básico (PROSAB), 2001.

DICK, R. I., & VESILIND, P. A. (1969). **The Sludge Volume Index: What Is It?** Journal (Water Pollution Control Federation), 41(7), 1285–1291. <http://www.jstor.org/stable/25036678>.

JORDÃO, E.P.; SANTOS, V.M.M.; CONCEIÇÃO, J.R.; ALEM SOBRINHO, P. **Determinação do Índice Volumétrico de Lodo Numa Concentração Padrão**. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999.

LEVENSPIEL, O. (1999) **Chemical Reaction Engineering**. 3rd Edition. John Wiley & Sons, New York, 54. <http://dx.doi.org/10.1021/ie990488g>

MADIGAN, M.T., MARTINKO, J.M. AND PARKER, J. (1997) **Brock Biology of Microorganisms**. 8th Edition, Prentice Hall International, Inc., New York.

METCALF & EDDY (2014) **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery**. 5th Edition, McGraw-Hill, New York.

MOHLMAN, F.W. (1934). **The sludge index**. Sewage Wks J.

MONTE, H.M., SANTOS, M.T., BARREIROS, A.M. **Tratamento de águas residuais : processos de tratamento biológico** / coord. cient. Helena Marecos do Monte ; autoria - Lisboa : Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos : Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018. - 342 p. : il. ; 23 cm. - (Cursos técnicos ; 6). - ISBN 978-989-8360-37-3.

STATICA. **Population forecast for London from 2021 to 2043**. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/379035/london-population-forecast/>. Acesso em: 01 nov. 2022.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** - Vol. 4 - Lodos Ativados. 2a edição, Belo Horizonte: Segrac, DESA, UFMG, 2000, 416p.

WAHLBERG, E. J., GERGES, H. Z., GHARAGOZIAN, A., STENSTROM, M. K., VITASOVIC, Z., ZHOU, S. P., MCCORQUODALE, J. A., & LINGREN, K. (1998). Of: **Secondary Clarifier Analysis Using Data from the Clarifier Research Technical Committee Protocol**. Water Environment Research, 70(2), 249–253. <http://www.jstor.org/stable/25045033>

WAHLBERG, E.J. AND T.M. KEINATH (1988). **“Development of settling flux curves using SVI.”** Journal Water Pollution Control Federation, 60, 2095.

WAHLBERG, E.J. AND T.M. KEINATH (1995). "**Development of settling flux curves using SVI: An addendum.**" Water Environment Research, 67, 872.

WORLD ECONOMIC FORUM. CITIES AND URBANIZATION (2019). **10 cities are predicted to gain megacity status by 2030.** Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2019/02/10-cities-are-predicted-to-gain-megacity-status-by-2030/>. Acesso em: 01 nov. 2022.

ZAIAT, M., FORESTI, E. **Method for estimating the kinetics of substrate degradation in horizontal-flow anaerobic immobilized sludge reactors.** Biotechnology Techniques 11, 315–318 (1997). <https://doi.org/10.1023/A:1018419412229>.