

O efeito da manutenção e das condições operacionais no desempenho de uma estação de tratamento de esgoto

The effect of maintenance and operating conditions on the performance of a sewage treatment plant

DOI:10.34117/bjdv8n3-214

Recebimento dos originais: 14/02/2022

Aceitação para publicação: 17/03/2022

Hugo Renan Bolzani

Mestre em Engenharia Urbana

Instituição: Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Campus Poços de Caldas

Endereço: Av. Dirce Pereira Rosa, 300 - Jardim Esperança, Poços de Caldas – MG

CEP: 37713-100

E-mail: hugo.bolzani@ifsuldeminas.edu.br

Sandro Rogério Lautenschlager

Doutor em Engenharia Hidráulica e Sanitária

Instituição: Universidade Estadual de Maringá

Endereço: Av. Colombo, 5790 - Zona 7, Maringá – PR CEP: 87020-900

E-mail: srlager@uem.br

Janaina de Melo Franco Domingos

Doutora em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus Sorocaba

Endereço: Av. Três de Março, 511 - Alto da Boa Vista, Sorocaba - SP, CEP:18087-180

E-mail: janaina.mfdomingos@gmail.com

Caroline Moço Erba Pompei

Doutora em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus Bauru

Endereço: Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube 14-01 - Núcleo Habitacional Presidente

Geisel, Bauru - SP, CEP: 17033-360

E-mail: caroline_erba@yahoo.com.br

RESUMO

O trabalho avaliou o desempenho de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) por meio de índices de qualidade e confiabilidade. Foram levantados os problemas operacionais/manutenção e realizado análises físico-químicas de amostras para avaliar os tratamentos em um monitoramento de 6 meses. O sistema da ETE é composto por tratamento preliminar, anaeróbio, aeróbio e desidratação de lodo. A ETE passou por diversos problemas, como filtros biológicos inativos, falhas na centrifuga e bombas de recirculação de lodo. Os índices permaneceram com valores abaixo da faixa aceitável, o que evidencia um tratamento ineficiente. Recomenda-se que novas alternativas sejam tomadas na ocorrência de problemas operacionais para que o desempenho não seja afetado e a ETE se torne benéfica do ponto de vista social, sanitário e ambiental.

Palavras-chave: tratamento de esgoto, índice de qualidade, índice de confiabilidade.

ABSTRACT

The study evaluated the performance of the sewage treatment plant south of Maringá/Paraná through indexes of quality and compliance. Were raised the operational/maintenance problems and as analyzed the physico-chemical parameters of samples to evaluate the treatments in a monitoring of 6 months. The system of STP is composed of primary, anaerobic, aerobic treatment and dehydration of sludge. The STP are going through various problems, like biological filters inactive until, failures in centrifugal and pumps sludge recirculation. The index values remained below the acceptable range, which shows an inefficient treatment. It is recommended new alternatives to be taken on the occurrence of operational problems for which performance is not affected and that the STP becomes beneficial from the standpoint of social, sanitary and environment.

Keywords: sewage treatment, quality index, reability index.

1 INTRODUÇÃO

As pesquisas realizadas com o intuito de avaliar o desempenho de estações de tratamento de esgoto se mostram fundamentais no planejamento e projeto de sistemas de tratamento, uma vez que o alcance dos padrões de lançamento está associado com um bom desempenho na tratabilidade do esgoto. Vários fatores podem levar a problemas e instabilidades nos processos que ocasionará efeitos adversos no tratamento do esgoto, pois não existe apenas uma variável responsável pela qualidade do mesmo.

É importante que os processos de tratamento de esgotos sejam avaliados também em relação à análise da qualidade que envolvem diferentes índices e indicadores, fornecendo informações que podem subsidiar a seleção de um determinado sistema de tratamento e permitindo a avaliação do desempenho real de uma ETE, no que se refere ao atendimento aos requisitos legais estabelecidos ou às metas de eficiência definidas durante o projeto (Sampaio; Gonçalves, 1999).

Condições de funcionamento dos equipamentos, além de detalhes de projeto, construção, operação e manutenção, devem ser analisadas de maneira conjunta, para se tentar estabelecer e entender as relações existentes em uma ETE (Cruz; Lima, 2007). Portanto, é de fundamental importância que o funcionamento do tratamento seja acompanhado por um monitoramento que inclua aspectos importantes à operação do sistema.

De acordo com Metcalf e Eddy (2002), novas considerações devem estar presentes ao se operar e projetar estações de tratamento de esgotos: (a) necessidade de otimização de desempenho das estações; (b) programas que visem manutenção e controle

operacional; (c) confiabilidade de processos de tratamento e seleção de parâmetros adequados de projeto; (d) controle de odor; (e) estratégias de controle de processo; (f) expansão da capacidade de tratamento e (g) eficiência energética nos processos de tratamentos de esgotos.

O estudo dos diversos fatores que envolvem a qualidade, conformidade e confiabilidade em ETEs, como problemas mecânicos, operacionais e ambientais, bem como problemas de gestão do empreendimento é uma ferramenta poderosa para a gestão ambiental sob vários aspectos: possibilita localizar fontes poluidoras; possibilita identificar fatores de risco; possibilita a tomada de medidas preventivas; e possibilita a tomada de medidas corretivas.

Segundo Da-Hin et al. (2008), devido às inúmeras incertezas presentes no projeto e operação de estações de tratamento, existem alguns riscos de falha que são inevitáveis e as ETEs devem ser projetadas com base em uma medida aceitável de risco ou violação e também projetadas para produzir uma concentração média efluente abaixo dos padrões de lançamento.

Neste sentido, este trabalho é de grande relevância para a área de tratamento de esgotos, uma vez que se propõe a avaliar a confiabilidade de uma ETE, sob diferentes interferências ambientais e operacionais, fornecendo informações reais do desempenho dos processos unitários. Dentro desse contexto, o trabalho teve como objetivo realizar uma análise do desempenho de uma ETE por meio de índices de qualidade, conformidade e confiabilidade de esgoto e tratamento.

2 METODOLOGIA

2.1 MONITORAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

Foram realizadas visitas à ETE para caracterização dos processos e atividades existentes, levantamentos dos problemas operacionais, de manutenção e aspectos ambientais encontrados no sistema. Para obter os índices de qualidade, foi necessário realizar um monitoramento das etapas de tratamento na ETE com coleta de amostras de esgoto para análises físico-químicas em um período de 6 meses. A coleta era realizada semanalmente, correspondendo a 4 coletas mensais e totalizando 24 coletas.

As coletas foram realizadas em 4 pontos, com o objetivo de avaliar a eficiência de cada etapa de tratamento realizado na ETE, sendo eles:

- ✓ Ponto 1 (P1): Esgoto bruto (antes do gradeamento);
- ✓ Ponto 2 (P2): Saída do desarenador (tratamento preliminar);

✓ Ponto 3 (P3): Saída dos Reatores Anaeróbios de Leito Fluidizado - RALFs (tratamento anaeróbio);

✓ Ponto 4 (P4): Saída da câmara de contato (tratamento aeróbio/tratamento completo).

As coletas foram realizadas com o objetivo de formar amostras compostas, ou seja, eram realizadas em intervalos de uma hora por um período de 5 horas em todos os pontos, procurando sempre respeitar o tempo de retenção hidráulica (TRH) das unidades de tratamento.

As amostras eram coletadas com auxílio de uma garrafa coletora e acondicionadas em garrafas PET previamente lavadas com solução de ácido clorídrico (10%) e água destilada. Posteriormente as amostras foram transportadas ao Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM), onde se procedeu a caracterização físico-química conforme as metodologias descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* - APHA (2017) e do Manual de Análises Físico-Químicas de Águas de Abastecimento e Residuárias (Silva; Oliveira, 2001). Após as análises das amostras, foi avaliada a eficiência de remoção dos parâmetros estudados pela ETE.

2.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DO ESGOTO TRATADO (IQET)

Os parâmetros, peso e faixas para compor este índice foram definidos com base nas Licenças de Operação emitidas pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP (Sanepar, 2005b). Cada parâmetro considerado para o cálculo do índice possui um peso percentual de representação que são, respectivamente: demanda biológica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos sedimentáveis (SSed), óleos e graxas (OG) e valor de pH. Para cada parâmetro são definidas faixas que definem o valor para o parâmetro analisado, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros e pesos para o IQET

Pontuação	Parâmetros				
	S.Sed (mL.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	OG mg.L ⁻¹)	valor de pH
100	0 – 1	0 – 150	0 – 60	0 – 70	5 a 9
75	1,1 – 2	151 – 200	61 – 80	71 – 90	-
50	2,1 – 3	201 – 250	81 – 100	91 – 110	-
25	3,1 – 5	251 – 300	101 – 180	111 – 130	-
0	> 5	> 300	> 180	> 130	< 5 ou > 9
Peso	0,20	0,20	0,40	0,10	0,10

Fonte: Adaptado de Sanepar (2005b)

Este índice tem sua classificação assim distribuída: 0 - 40: qualidade precária; 41 - 70: qualidade inadequada; 71 - 90: qualidade aceitável e; 90 - 100: qualidade ótima.

O IQET foi elaborado mensalmente e o cálculo foi realizado com base na Equação 1.

$$IQET = DBO_5 \cdot 0,40 + DQO \cdot 0,20 + SSed \cdot 0,20 + OG \cdot 0,10 + pH \cdot 0,10 \quad (1)$$

Os dados de OG foram disponibilizados pela Sanepar e os resultados são provenientes de coletas compostas realizadas uma vez ao mês pela companhia de saneamento.

2.3 ÍNDICE DE CONFIABILIDADE DO TRATAMENTO (ICT)

O ICT foi determinado adotando o modelo proposto por Metcalf e Eddy (2002) e Niku et al. (1979). O índice é calculado em função da média e do desvio padrão, conforme apresentado nas Equações 2 e 3.

$$ICT = Distr.NormaPadr\tilde{a}o(Z_{1-\alpha}) \quad (2)$$

$$Z_{1-\alpha} = \frac{-\ln\left(\left(\frac{mx}{X}\right) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{V_x+1}}\right)\right)}{\sqrt{\ln(V_x+1)}} \quad (3)$$

em que:

mx : média da concentração do constituinte X;

X : concentração padrão requerida para o constituinte X;

V_x : coeficiente de variação (CV) definido como o desvio padrão dividido pela média;

$Z_{1-\alpha}$: número de desvios-padrão a partir da média da distribuição normal.

O resultado representa a confiabilidade decorrente de todos os fatores intervenientes. Os limites das concentrações dos parâmetros seguiram a seguinte hierarquia:

✓ Prioridade 1: Limites estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 430/2011 (Brasil, 2011) para lançamento de efluentes;

✓ Prioridade 2: Limites estabelecidos pela Sanepar (2010) para lançamento de esgotos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ETE

A ETE situa-se isolada, não havendo qualquer tipo de ocupação urbana nas suas circunvizinhanças, porém divide espaço, em sua maioria, com pequenas e médias propriedades rurais. O ano de início de operação da ETE foi em 2006, atualmente atende uma população com cerca de 65.000 habitantes e tem uma capacidade nominal de tratamento de 482 L.s^{-1} , o que representa uma carga orgânica de $8.398 \text{ Kg DBO.d}^{-1}$.

O sistema de tratamento da ETE é composto por tratamento preliminar, tratamento secundário, pós-tratamento, desidratação e tratamento de lodo.

O tratamento preliminar é composto por um gradeamento grosso por meio de grade metálica de barras retas de 10 mm de espessura e espaçamento entre barras de 30 mm, com limpeza manual com ancinho; gradeamento mecanizado por meio de grade média com corrente transportadora e dentes plásticos, com 3 mm de espessura e 15 mm de espaçamento entre dentes. Possui também um desarenador quadrado por gravidade com remoção de areia por meio de raspagem de fundo com braços duplos de movimento circular até depósito lateral, elevação da areia por meio de rastelo excêntrico mecânico, dispositivo de lavagem de areia incorporado e recirculação de lodo dos decantadores secundários.

O tratamento secundário é realizado por meio de oito Reatores Anaeróbios de Leitos Fluidizados (RALF) circulares com tubulações para descarga de lodo; o pós-tratamento é formado por dois filtros biológicos percoladores aerados naturalmente, com distribuidor rotativo hidráulico e meio suporte em pedra britada nº 4; dois decantadores secundários executado em tanque circular de concreto armado com sistema mecanizado de raspagem de lodo do fundo, remoção superficial da espuma e recirculação por bombeamento para os RALFs, e; uma câmara de contato.

O tratamento de lodo é composto por um adensador de lodo circular, desidratação mecânica por uma centrífuga de alta rotação, com aplicação manual de cal para desinfecção em um pátio de cura coberto, com capacidade de armazenamento de 546 m^3 , para estabilização do lodo e posterior utilização na agricultura.

3.2 PROBLEMAS ENCONTRADOS NA ETE

No decorrer do monitoramento, pode-se observar que a ETE está passando por diversos problemas de manutenção e operacionais que influenciaram no funcionamento do sistema e prejudicaram as unidades de tratamento. Os RALFs apresentam tubulações para realizar a queima dos gases gerados pelo tratamento anaeróbio, porém isto não ocorre devido à ausência do aparelho necessário para esta queima. Sendo assim, os gases são dispersos na atmosfera sem nenhum tipo de tratamento.

Próximo a ETE se encontra um empreendimento de mineração, em que constantes vibrações devido às explosões fazem com que haja problemas no fornecimento de energia elétrica na estação, prejudicando unidades que necessitam de eletricidade, como o gradeamento mecânico, desarenador, decantadores secundários e centrífuga.

O gradeamento mecanizado também deixou de funcionar por um período de tempo permitindo a passagem de sólidos grosseiros para as outras unidades de tratamento. Segundo Aiyuk et al. (2006) a presença de sólidos em suspensão no afluente ao reator afeta de várias maneiras o processo de digestão anaeróbia. Ela pode limitar a atividade microbiana, reduzindo a degradação do substrato, reduz a atividade da biomassa por fenômenos de adsorção, pode inibir a granulação do lodo, pode levar a formação de camada de espuma e elevação na produção de lodo, aumentando a necessidade de freqüentes descartes.

Os filtros biológicos, antes mesmo da realização da pesquisa, se encontravam em condições precárias. Em função da ação dos compostos presentes no esgoto, o distribuidor rotativo acabou oxidando com o tempo e perdeu a função de aplicar uniformemente o líquido no meio suporte. Devido a este problema, um filtro biológico foi desativado e o segundo filtro foi prejudicado, fazendo com que o esgoto percorresse o meio filtrante por caminhos preferenciais e diminuísse significativamente a eficiência do tratamento. No terceiro mês de monitoramento, a entrada de esgoto no filtro biológico foi bloqueada e deixou de fazer parte do sistema de tratamento.

A centrífuga deixou de funcionar por um período longo durante o monitoramento, prejudicando a eficiência dos RALFs e decantadores secundários. O excesso de lodo presente nos reatores anaeróbios se deslocou para os decantadores, havendo um acúmulo de lodo também nessa unidade de tratamento. Segundo Campos (2000), um aspecto operacional importante em sistemas com lodo em suspensão, como o RALF, é a descarga de lodo em excesso. Por meio desse procedimento, procura-se minimizar a descarga de

lodo junto com o esgoto, uma vez que tal descarga aumenta a concentração de poluentes no líquido.

Os reatores anaeróbios com manta de lodo possuem uma capacidade máxima de acumulação de lodo no seu interior estimada em 31 a 37,5 kg ST.m³. Segundo Bezerra et al. (1999), após esse limite, o reator é considerado cheio e o lodo produzido será descarregado com o efluente, deteriorando a sua qualidade e comprometendo a eficiência do processo de tratamento.

Além do problema de acúmulo de lodo, não é feita a retirada de espuma dos RALFs há cerca de dois anos, isto provavelmente diminui o tempo de retenção devido a redução do volume útil do reator e, conseqüentemente, prejudica a eficiência das unidades. Segundo Sanepar (2005a) a remoção destes resíduos tem por finalidade evitar a aderência e entupimento das tubulações e o acúmulo excessivo na superfície dos RALFs e de outras unidades, faz com que a espuma se solidifique, dificultando a sua remoção, aumentando a possibilidade de geração de odor e pressionando o biogás e a lona na câmara de digestão.

As bombas de recirculação do lodo dos decantadores secundários para a saída do desarenador também apresentaram falhas no funcionamento, influenciando ainda mais o excesso de lodo nos decantadores. O sistema mecanizado de raspagem de lodo dos decantadores precisou ser desativado devido à problemática do lodo, permanecendo assim até o fim do período amostral.

Uma síntese dos principais problemas encontrados nas unidades de tratamento, bem como o período de ocorrência dos mesmos durante o monitoramento podem ser visualizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Síntese dos principais problemas operacionais encontrados na ETE

Problemas operacionais	Período
Falha na centrífuga	Semana 1 à 18 Semana 21 à 24
Filtros biológicos em condições precárias	Semana 1 à 24
Desativação do filtro biológico	Semana 9 à 24
Falha no gradeamento mecânico	Semana 13 à 24
Ausência de limpeza dos RALFs	Semana 1 à 24
Falha nas bombas elevatórias dos decantadores secundários	Semana 9 à 24
Desativação dos mecanismos de raspagem dos decantadores secundários	Semana 13 à 24

3.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Os problemas de manutenção e operacionais supracitados influenciaram no funcionamento do sistema e prejudicaram as unidades de tratamento. Com isso, a

qualidade do esgoto lançado no corpo receptor se tornou inferior e não se enquadrava nos limites preconizados pela legislação ambiental.

As concentrações médias mensais dos parâmetros físico-químicos apresentaram oscilações significativas durante todo o monitoramento, isto se deve, possivelmente, aos fatores operacionais e climáticos (Tabela 2).

O sistema de esgotamento sanitário de Maringá é o de separação absoluta, portanto a precipitação pluviométrica não deveria interferir significativamente na vazão de entrada da ETE. Porém, verificou-se que eventos de precipitação alteraram a vazão afluente da estação e esta interferência pode ter ocorrido devido à contribuição pluvial parasitária (drenagem superficial que é absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário) e também água de infiltração que penetra nos condutos defeituosos.

A 3ª semana do 5º mês, por exemplo, chegou a registrar uma vazão máxima de $721,51 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, ultrapassando a sobrecarga de projeto da ETE que é de $560 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, o que pode ter comprometido o funcionamento das unidades de tratamento. Os RALFs, quando recebem uma vazão superior à máxima de projeto, sofrem a expulsão do manto de lodo do reator, diminuindo significativamente a eficiência de tratamento.

A eficiência de remoção do PT no tratamento anaeróbico apresentou-se nula em algumas amostras, com acréscimos observados de até $12,08 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Tal fato confirma a afirmação de Chernicharo (2001) que os processos anaeróbios de tratamento não apresentam capacidade de remoção de fósforo, podendo propiciar um aumento das concentrações nos esgotos tratados. Observa-se que o PT foi influenciado pelo acúmulo de lodo nos RALFs no 3º mês, chegando a uma concentração máxima de $26,84 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ nas amostras do P3.

Tabela 2 - Variação da média mensal dos parâmetros físico-químicos e climático nos meses de monitoramento

Parâmetro	Variáveis	Meses					
		1º mês	2º mês	3º mês	4º mês	5º mês	6º mês
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	Média±DP	54,1±14,4	43,2±12,1	71,0±25,5	60,5±13,3	54,3±12,2	86,6±24,8
	CV%	27%	28%	36%	22%	22%	29%
	E%	82%	78%	72%	72%	75%	71%
DQO (mg.L ⁻¹)	Média±DP	137±6,7	121±30,0	205±43,8	220±33,9	177±26,4	259±60,9
	CV%	5%	25%	21%	15%	15%	23%
	E%	84%	77%	72%	66%	74%	70%
Valor de pH	Média±DP	7,5±0,2	7,6±0,1	7,4±0,2	7,4±0,1	7,2±0,1	7,1±0,0
	CV%	3%	2%	3%	1%	2%	1%
SST (mg.L ⁻¹)	Média±DP	28,0±2,8	29,8±11,1	77,3±15,7	72,0±16,1	71,3±7,3	91,0±4,2
	CV%	10%	37%	20%	22%	10%	5%
	E%	91%	85%	72%	74%	79%	68%
SDT (mg.L ⁻¹)	Média±DP	366±50,1	476±43,4	494±127,1	381±29,0	419±149,8	434±69,8
	CV%	14%	9%	26%	8%	36%	16%
	E%	52%	12%	18%	24%	17%	20%
Ssed (mL.L ⁻¹)	Média±DP	0,09±0,08	0,06±0,03	0,15±0,06	0,70±0,24	0,80±0,18	0,73±0,22
	CV%	86%	40%	38%	35%	23%	31%
	E%	99%	99%	98%	89%	87%	89%
PT (mg.L ⁻¹)	Média±DP	15,2±3,6	20,5±1,6	20,4±1,1	20,6±1,0	22,0±2,5	19,0±1,9
	CV%	23%	8%	6%	5%	11%	10%
	E	12%	7%	4%	16%	2%	0%
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	Média±DP	176±7,8	157±12,5	170±19,5	207±28,6	188±13,5	180±7,3
	CV%	4%	8%	11%	14%	7%	4%
	E%	2%	1%	0%	2%	0%	0%
NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	Média±DP	21,3±2,1	24,4±2,9	34,0±5,7	32,5±6,1	36,0±4,2	36,3±5,3
	CV%	10%	12%	17%	19%	12%	15%
	E%	83%	75%	73%	72%	73%	73%
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	Média±DP	5,9±0,5	5,8±0,7	8,7±1,6	9,8±3,8	10,0±2,5	13,6±5,7
	CV%	8%	13%	19%	39%	25%	42%
	E%	86%	80%	74%	67%	75%	71%
Precipitação (mm)	Média±DP	30,1±39,1	14,8±10,4	12,3±19,3	7,4±9,2	10,6±20,2	6,0±12,0
	CV%	130%	70%	157%	124%	191%	200%
Vazão (L.s ⁻¹)	Média±DP	262±24,6	234±22,4	236±25,5	214±25,2	286±76,7	237±7,5
	CV%	9%	10%	11%	12%	27%	3%

DP: Desvio padrão; E%: Eficiência de tratamento (%); CV%: Coeficiente de variação (%); SST: Sólidos em suspensão totais; PT: fósforo total; NH₄⁺: Nitrogênio amoniacal; NO₂⁻: Nitrito; NO₃⁻: Nitrato.

No período que o filtro biológico ainda estava em funcionamento, a redução da concentração de PT nas amostras do P2 ao P3 em algumas coletas, como por exemplo, na 4ª semana do 1º mês e 3ª semana do 2º mês, foi de 3,30 e 1,75 mg.L⁻¹, respectivamente. Isso sugere que, mesmo em condições precárias, o filtro possuía uma pequena influência na remoção de PT.

O limite imposto pela Sanepar para lançamento de PT em suas ETEs é de 10 mg.L⁻¹, o que corresponde a um valor muito inferior às concentrações encontradas nas amostras do P4 em todas as coletas, variando entre 10,32 e 24,60 mg.L⁻¹. De acordo com estimativas de Chernicharo (2001), os valores detectados no P4 podem resultar na concentração de 1.145 a 2.730 mg.L⁻¹ de biomassa, o que corresponde cerca de 1.424 a 3.394 mg.L⁻¹ de DQO no corpo receptor.

O NH_4^+ foi a forma de nitrogênio que apresentou as maiores concentrações quando comparado ao NO_2^- , NO_3^- . Isto se deve ao tratamento anaeróbio realizado na ETE, que não possui capacidade de remover NH_4^+ no esgoto. Nos processos de transformação do NH_4^+ no ambiente, o nitrogênio amoniacal passa, por conversão, da forma de amônia a NO_2^- e desta para NO_3^- . A presença de nitrogênio na forma amoniacal e orgânica é indicativa de que o meio está em condições anaeróbias.

As maiores concentrações de NH_4^+ nas unidades amostrais do P3 foram detectados principalmente nos três últimos meses, oscilando de 169,3 a 226,5 mg.L^{-1} . A semana mais significativa foi a 3ª do mês 5, onde o P3 apresentou uma concentração de 210,3 mg.L^{-1} , ou seja, uma elevação de 118 mg.L^{-1} . Os resultados da pesquisa de Sousa et al. (2006) corroboram com as concentrações encontradas no presente estudo, detectando 42 mg.L^{-1} no esgoto bruto e 45 mg.L^{-1} após passar pelo reator anaeróbio.

Os meses em que o esgoto estava sendo lançado com maiores concentrações de NH_4^+ foram os três últimos, com oscilações de 142,5 a 236,5 mg.L^{-1} nas amostras do P4. Segundo estimativas de Chernicharo (2001), a descarga das concentrações encontradas de NH_4^+ no corpo receptor pode provocar o consumo de cerca de 570 a 946 mg.L^{-1} de oxigênio dissolvido (OD) no corpo d'água durante o processo de nitrificação.

O NO_2^- , juntamente com o NO_3^- , representam as duas formas oxidadas de nitrogênio, sendo este último o nutriente que apresentou maiores concentrações no esgoto tratado. O tratamento anaeróbio apresentou uma eficiência média de 70%, reduzindo até 159 mg.L^{-1} de NO_2^- nas amostras do P2 ao P3. A concentração no P3 recebeu interferência apenas no 3º mês devido aos problemas de acúmulo de lodo, atingindo valores de 139 mg.L^{-1} , maior até mesmo que esgoto bruto (123 mg.L^{-1}).

Os valores de NO_2^- detectados durante o período amostral foram maiores que em pesquisas realizadas por Santos et al. (2007) do afluente e após passar pelo reator anaeróbio de Campina Grande/PB, que apresentaram 3,0 e 0,2 mg.L^{-1} , respectivamente.

O comportamento do NO_3^- durante a série amostral foi semelhante ao do NO_2^- nas amostras de todos os pontos. Assim com a outra forma oxidada de nitrogênio, em algumas coletas houve acréscimo no esgoto por parte do desarenador, como na 4ª semana do mês 2 e 3, com elevações de 2,9 e 2,2 mg.L^{-1} , respectivamente.

Nas ultimas coletas observa-se um crescimento nas concentrações de NO_3^- das amostras do P3 quando comparado com o início do monitoramento. As falhas nas unidades de tratamento de lodo influenciaram no tratamento e qualidade do esgoto tratado principalmente com relação ao descarte e circulação do lodo no tratamento secundário e

pós-tratamento. No 1º mês, a concentração máxima de NO_3^- no P3 foi de $13,1 \text{ mg.L}^{-1}$, já no mês 6, a máxima foi de $19,6 \text{ mg.L}^{-1}$, reduzindo a eficiência do tratamento anaeróbio de 70% para 60%.

Segundo Chui et al. (2000) a maior taxa de remoção de nitrogênio ocorre quando a relação DQO/ NO_3^- é maior ou igual a 5. No presente estudo esta relação foi de em média 27 para as amostras do P3 e 21 para as amostras do P4. Portanto, pode-se observar que a quantidade de matéria orgânica disponível foi suficiente para o bom desempenho do reator e pós-tratamento no processo de desnitrificação.

O período que apresentou a maior média de concentração de DBO_5 e DQO foi 6º mês com $86,6 \text{ mg.L}^{-1}$ e 259 mg.L^{-1} , respectivamente. Durante todo o período amostral verificou-se que a eficiência de tratamento decaiu conforme o passar dos meses, provavelmente em função do aumento constante do manto de lodo no interior dos RALFs. Um trabalho realizado por Freire et al. (2020) em uma ETE também apresentou valores de DQO de saída maior que a média em alguns meses devido à falta de energia esporádica e a diminuição de descargas de lodo floculento e de espuma. Isso ocorreu devido aos leitos de secagem não apresentarem a drenagem necessária devido a colmatagem do tubo drenante, sobrecarregando os leitos e sendo necessária a diminuição das frequências de descarga.

Avaliando o desempenho do reator UASB da ETE Lages de Aparecida de Goiânia/GO durante cerca de 6 meses, Vieira et al. (2005) verificaram que a unidade não apresentara qualquer anormalidade, obtendo desempenho satisfatório com remoções médias de 65% para DBO_5 . No projeto da ETE a eficiência esperada dos RALFs é de 80%, porém o monitoramento mostrou que o desempenho do reator está abaixo do desejado, ficando próximo da eficiência encontrada pelos autores supracitados.

A centrífuga estava desativada desde o início do monitoramento, não removendo o lodo anaeróbio excedente dos RALFs, diminuindo a relação Alimento/Microrganismo (A/M) e aumentando o Índice Volumétrico de Lodo (IVL) em função da ausência de seu descarte principalmente no mês 6, obtendo uma variação de até 120% (Tabela 3). Com isso, nos horários de vazões altas, o manto de lodo se deslocou juntamente com o líquido, elevando a concentração de DBO_5 e DQO do esgoto.

Tabela 3 - Variação da relação A/M e IVL nos meses de monitoramento

Meses	Relação A/M (Kg DBO.Kg SSV.d ⁻¹)				IVL (mL.g ⁻¹)			
	Trat. Anaeróbio		Trat. Completo		Trat. Anaeróbio		Trat. Completo	
	Média±DP	CV	Média±DP	CV	Média±DP	CV	Média±DP	CV
1º mês	0,82±0,2	25%	0,16±0,0	11%	13,0±1,8	14%	37,5±7,3	19%
2º mês	2,19±2,4	112%	0,12±0,1	44%	22,2±13,6	62%	44,8±9,7	22%
3º mês	0,33±0,2	67%	0,14±0,1	73%	42,5±34,9	82%	128,8±154,4	120%
4º mês	0,41±0,1	21%	0,14±0,0	23%	23,4±18,1	77%	9,5±1,5	16%
5º mês	0,51±0,1	26%	0,18±0,1	43%	17,3±8,8	51%	11,3±2,4	21%
6º mês	0,48±0,1	26%	0,19±0,1	35%	12,1±3,0	25%	8,0±2,6	32%

A relação A/M, baseia-se no fato de que a quantidade de substrato disponível por unidade de massa dos microrganismos é relacionada com a eficiência do sistema. Na literatura, a relação A/M deve situar-se na faixa de 0,2 a 1,0 em processos anaeróbios (Von Sperling, 2002). Na presente pesquisa, o tratamento anaeróbio apresentou uma variação considerável durante o monitoramento e mostrou uma relação A/M na faixa acima citada, com exceção da amostra da 2ª semana do mês 2 que obteve um valor de 5,8.

Na 3ª semana do mês 6 a centrífuga voltou a operar, retirando o excesso de lodo e aumentando a relação A/M para 0,51 e, conseqüentemente, diminuindo a concentração de DQO. Porém, na semana seguinte houve uma nova falha no equipamento, voltando a acumular lodo no reator e elevando a DQO no 6º mês e diminuindo a relação A/M para 0,48.

Em um estudo realizado por Ramos (2008) em reatores anaeróbios sem descarte de lodo programado, foi observado que a eficiência de remoção média de DQO foi na ordem de 69%, verificando a necessidade de um tratamento complementar para remover a parcela remanescente de matéria orgânica. Versiani et al. (2005) também avaliaram o desempenho de reatores submetidos a diferentes condições operacionais e obtiveram resultados semelhantes, verificando que a eficiência foi satisfatória, mesmo sem descarte de lodo, com remoções superiores a 64%.

Pode-se verificar que em quase todas as coletas as concentrações de DQO das unidades amostrais apresentaram-se acima do máximo permitido para lançamento de efluentes determinado pela Portaria do IAP, que é de 150 mg.L⁻¹ (Orssatto, 2009). Isso mostra que a eficiência, que variava de 70 a 85% do tratamento completo, não estava sendo suficiente para manter as concentrações de DQO dentro dos padrões exigidos pelo órgão fiscalizador do Paraná.

As elevadas concentrações das amostras em ambas as análises químicas são justificadas aparentemente pela elevada idade do lodo nas unidades de pós-tratamento. O bloqueio da passagem do esgoto pelo filtro biológico fez com que o líquido escoasse com maior velocidade para os decantadores secundários. Com isso, houve o arraste do excesso do lodo presente nos RALFs para os decantadores, prejudicando até mesmo seus mecanismos de raspagem de lodo. As bombas de recirculação do lodo para os reatores também apresentaram falhas, conseqüentemente o lodo acumulou-se nas unidades finais de tratamento, fazendo com que o esgoto lançado no corpo receptor apresentasse uma qualidade inferior à permitida.

A concentração de SST é um parâmetro importante de operação do sistema, o nível da concentração mantida no reator afetará diretamente a eficiência de remoção do tratamento, visto que altera a relação A/M. Até o 2º mês foram detectadas concentrações baixas nas amostras de esgoto, entretanto, o problema decorrente da ausência de circulação do lodo dos decantadores secundários elevou o SST a 92 mg.L^{-1} , prejudicando a eficiência do tratamento nos últimos meses.

Outra explicação pode ser atribuída à dificuldade de sedimentação dos flocos no interior do reator devido a sobrecargas hidráulicas, principalmente em dias chuvosos, bem como da influência do tratamento preliminar. Quando não há boa sedimentação dos sólidos, há um acréscimo na concentração de SST no esgoto. Toledo et al. (2001) estudando um sistema composto por reator anaeróbio, filtro biológico e decantador secundário, verificaram concentrações de SST no efluente próximas ao da ETE em questão, de 53 a 90 mg.L^{-1} .

O limite estabelecido pela Sanepar para SST em esgoto tratado é de 60 mg.L^{-1} e uma eficiência de tratamento acima de 50%. Apesar da eficiência do tratamento completo durante o monitoramento ter permanecido acima do estabelecido pela Sanepar, o mesmo não ocorreu nas concentrações de SST no esgoto que, a partir do mês 3, em todas as coletas foi detectado valores acima de 60 mg.L^{-1} . Isto demonstra que os SST afetaram as concentrações de lodo nas unidades de tratamento, pois segundo Karl e Imhoff (2002), a determinação dos SST é uma das mais importantes já que são estes que vão formar o lodo durante o tratamento de esgoto.

Com relação ao SSed, as amostras do P3, como nos demais parâmetros, foi influenciada pela relação A/M nos reatores anaeróbios atingindo a concentração de 32 mL.L^{-1} na 1ª semana do mês 3. Porém, nas outras semanas os valores voltaram a se

estabilizar com variação de 1 a 5 mL.L⁻¹, mas com concentrações maiores que nos primeiros meses.

A eficiência dos RALFs até final do 2º mês apresentava uma média de 80%, alterando o cenário com grandes flutuações até sua estabilização novamente no último mês do período amostral (média de 70%). Ramos (2008) estudou reatores anaeróbios em períodos com e sem descarte de lodo e, da mesma forma que o presente trabalho, verificou que o valor médio de remoção de SSed no reator sem descarte programado foi bastante superior ao operado, com 52% contra 2%, respectivamente.

3.4 ÍNDICE DE CONFIABILIDADE DO TRATAMENTO

O ICT depende CV, ou seja, quanto maior a diferença das concentrações de um elemento durante o período selecionado, menor será o resultado do índice. Devido a tais características é importante que, durante a elaboração de projetos que empreguem processos mecanizados, seja considerada esta variabilidade para definição da meta de eficiência, de forma que ela possa ser alcançada em parte considerável do tempo de operação. Com exceção do SSed (que obteve um baixo CV), todos os parâmetros apresentaram uma queda no índice durante o mês 3, em função da ocorrência dos principais problemas operacionais e de manutenção nesse período (Tabela 4).

Tabela 4 - Variação do ICE nos meses de monitoramento

Parâmetros	Tratamentos	1º mês	2º mês	3º mês	4º mês	5º mês	6º mês	Monitoramento Completo
DBO ₅	Anaeróbio	24%	46%	11%	36%	64%	13%	35%
	Completo	82%	90%	64%	79%	84%	53%	73%
DQO	Anaeróbio	0%	19%	6%	10%	30%	1%	15%
	Completo	66%	66%	26%	17%	34%	14%	36%
SST	Anaeróbio	3%	41%	6%	12%	16%	1%	23%
	Completo	99%	86%	30%	36%	30%	3%	49%
SDT	Anaeróbio	76%	49%	76%	81%	67%	58%	65%
	Completo	79%	56%	51%	83%	61%	63%	62%
SSed*	Anaeróbio	NR	33%	1%	9%	22%	11%	20%
	Completo	99%	100%	100%	71%	67%	71%	79%
PT	Anaeróbio	13%	0%	2%	1%	0%	1%	3%
	Completo	21%	1%	0%	0%	1%	2%	5%
NO ₃ ⁻	Anaeróbio	49%	53%	23%	37%	38%	6%	36%
	Completo	96%	93%	62%	51%	50%	33%	56%

* Elaboração do ICT com dados da Sanepar (2010b).
NR: Não realizado.

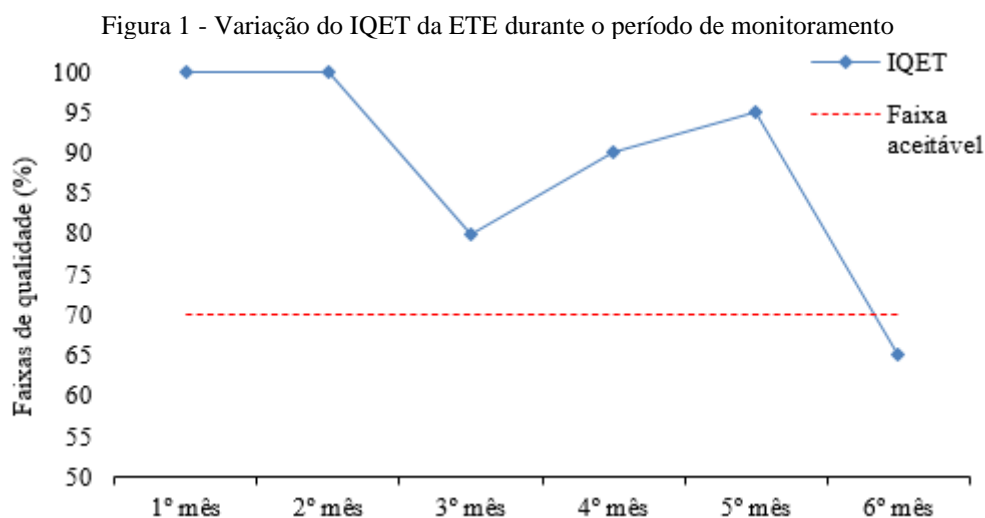
Todos os parâmetros obtiveram um ICT abaixo de 80% durante o monitoramento completo, evidenciando que a ETE não possui capacidade de apresentar estabilidade no desempenho. O elemento que mais sofreu influência com os problemas operacionais ocorridos na estação foi o SST, iniciando o monitoramento com um ICT de 99% e finalizando com 3% no mês 6.

O parâmetro que apresentou o maior ICT durante o monitoramento completo foi o SSed e DBO₅, com 79 e 73%, respectivamente. Já os parâmetros mais preocupantes foram o PT com 5%, DQO com 36% e SST com 49%.

Um estudo realizado por Brostel e Souza (2005) mostrou que as ETEs que empregam processos mais mecanizados, de um modo geral, apresentaram valores de confiabilidade operacional para remoção de DBO₅ em torno de 80%. Os autores ainda comentam que embora as ETEs mecanizadas sejam dotadas de um número maior de equipamentos, as falhas mecânicas que por ventura ocorrem não têm influenciado no desempenho dessas estações, em termos de tempo de alcance da eficiência do processo. Essa afirmação não condiz com o encontrado no presente estudo, já que os parâmetros obtiveram uma confiabilidade considerada baixa durante os períodos com problemas operacionais significativos.

3.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DO ESGOTO TRATADO

A evolução do IQET da ETE mostra que a qualidade do esgoto tratado oscilou durante o monitoramento (Figura 1).



Nos dois primeiros meses foram obtidos os melhores índices, representando uma qualidade ótima de tratamento, segundo os níveis adotados pelo índice. Porém no mês seguinte o valor decaiu para uma qualidade aceitável.

No decorrer do monitoramento, o índice se elevou novamente para 90% no 4º mês e 95% no 5º mês. Já no 6º mês houve o pior índice (65%) permanecendo abaixo da faixa aceitável (70%), sendo obtido um IQET que representa qualidade inadequada. Isto pode ser explicado pela concentração de DQO e DBO₅ no mês apresentarem os maiores valores no período amostral, com 259 mg.L⁻¹ e 86 mg.L⁻¹, respectivamente.

4 RECOMENDAÇÃO OPERACIONAIS

Com relação ao descarte de lodo dos RALFs, para que haja a eficiência desejada o operador deve manter um volume mínimo de lodo no reator. Na ETE, a altura de lodo é cerca de 2,3 m, correspondente a um volume de 240 m³, que por sua vez correspondente a 20% do volume útil de cada reator, que é igual a 1.152 m³. O volume do lodo a ser retirado do reator, não deverá exceder a 20% do volume total do reator. Von Sperling (2002) cita que a retirada deve ser realizada em intervalos de 3 meses, ou quando o teor de SSed atingir 1,5 mL.L⁻¹ na saída do reator.

O monitoramento evidenciou que a partir do segundo mês sem descarte de lodo nos RALFs, a concentração de SSed elevou drasticamente devido ao excesso de lodo nos mesmos. Da 3ª semana do mês 5 a 1ª semana do mês 6, houve a descarga de 480 m³ de lodo diminuindo a concentração de SSed até a faixa aceitável. Entretanto, no decorrer do último mês, em função da ausência de descarte a concentração desse parâmetro voltou a se elevar aos poucos.

Com a análise dos dados, pode-se afirmar que o tempo que os RALFs da ETE devem ficar sem descarte de lodo devido a falhas na centrífuga é de 2 meses. É necessário destacar também que os resultados citados anteriormente também podem estar sendo influenciados pela ausência de limpeza de espuma dos RALFs durante 2 anos. Na ETE deveria ser implementada uma segunda alternativa para descarga do lodo, como por exemplo leitos de secagem, assim quando a centrífuga deixasse de funcionar, não haveria acúmulo de lodo no interior dos reatores.

A descarga involuntária de lodo para as unidades de pós-tratamento (filtro biológico, decantadores secundários e câmara de contato) devido ao seu excesso deve ser evitada, pois prejudica a qualidade do efluente, aumentando a concentração de SST e consequentemente de matéria orgânica particulada no efluente, o que repercute na

redução da eficiência do tratamento (Lobato et al., 2007). Van Haandel et al. (2000) complementam que, em experimento desenvolvido com reatores UASB submetidos a vários regimes de descarte de lodo, descartes de até 50% do volume total de lodo do reator (com tempo de detenção de 8 h) não afetam seu desempenho.

Com relação aos decantadores secundários, a elevatória de descarte de lodo na ETE deve operar pelo menos uma vez a cada uma hora, sendo desejável que funcione pelo menos 10 minutos/hora, para evitar acúmulo de lodo nos decantadores, que poderá entrar em decomposição anaeróbia e prejudicar a qualidade do esgoto final. De acordo com os dados do monitoramento, pode-se afirmar que no momento que as bombas das elevatórias de lodo apresentarem falhas mecânicas, deve-se providenciar manutenção imediata devido ao acúmulo de lodo não recirculado dos decantadores secundários e deterioração da qualidade do esgoto tratado.

Visando tornar a ETE mais sustentável e com maior eficiência na remoção dos poluentes, recomenda-se o aproveitamento do lodo gerado pelos RALFs e decantadores secundários como biofertilizantes (Paredes Filho, 2011; Ramos et al., 2020; Lacerda et al., 2021; Lacerda et al., 2022; Madureira, 2022) e para recuperação de solos degradados (Moreira et al. 2019), automatizar as unidades operacionais (Lisbôa et al. 2020; Barros et al. 2021; Barroso et al. 2021) e realizar pesquisas para fins de reuso do esgoto tratado (Cavalcante, et al. 2020).

5 CONCLUSÕES

Os dados levantados na ETE mostram que os sistemas enfrentam sucessivos problemas operacionais nas unidades de tratamento e falta de manutenção nos equipamentos. O excesso do manto de lodo no interior dos RALFs prejudicou significativamente o desempenho do tratamento.

Os índices de qualidade, conformidade e confiabilidade apresentaram grandes oscilações. A ETE obteve um baixo ICT de todos os parâmetros, evidenciando que a estação não possui capacidade de apresentar linearidade no desempenho. Já o índice IQET permaneceu com valores abaixo da faixa aceitável, o que evidencia um tratamento ineficiente das unidades operacionais.

Sendo assim, o trabalho evidenciou a necessidade de haver um melhor planejamento e melhorias na esfera organizacional do sistema na ETE, visando novas alternativas e ações a serem tomadas na ocorrência de eventuais problemas operacionais,

fazendo com que o desempenho da ETE não seja afetado e que as mesmas consigam cumprir devidamente a sua funcionalidade.

REFERÊNCIAS

Aiyuk, S.; Forrez, I.; Lieven, K.; Van Haandel, A.; Verstraete, W. Anaerobic and complementary treatment of domestic sewage in regions with hot climates - A Review. **Bioresource Technology**, n. 97, v. 17, p. 1376-1389. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.05.015>

American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23st Ed. Washington, D.C, 2017.

Barros, V.G.; Diegoli, S.B.; Moreira, N.M.; Silva, J.C.S. Operação, acompanhamento e desenvolvimento de algoritmo de controle para automatização de remoção de nutrientes de uma estação de tratamento de esgotos piloto. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 48996-49009, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.29849>

Barroso, A.B.; Silva, A.S.; Silva, C.F.; Pagano, R.L. Estimação de parâmetros de uma estação de tratamento de efluentes aplicando o Algoritmo Particle Swarm Optimization. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p.81740-81751, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-404>

Bezerra, S.M.C.; Cavalcante, P.F.F.; Van Haandel, A. Influência do tempo de detenção hidráulica sobre a auto-inoculação de um reator UASB, tratando esgoto sanitário. In: 20º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES. 1999.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 430 de 13 de maio de 2011**. Brasília. 2011.

Brostel, R.C.; Souza, M.A.A. Determinação da confiabilidade operacional de estações de tratamento de esgotos do distrito federal. In: 23º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. **Anais...** Campo Grande: ABES. 2005.

Campos, J.R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB. 2000. 464 p.

Cavalcante, K.L.; Maciel, W.M.; Maciel, H.M.; Nogueira, D.H.; Pereira, S.M.; Teles, L.P.M. Análise Físico-Químico da Qualidade de Efluentes para Fins de Reuso na Irrigação no Município de Iguatu – CE. **Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 10, p.81778-81794, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-562>

Chernicharo, C.A.L. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. 544 p.

Chui, P.C.; Terashima, Y.; Ta, J.H.; Ozaki, H.; Jeyaseelan, S. Nitrogen removal in a submerged filter with no effluent recirculation. **Water Science and Technology**. Londres, v. 42, n 3-4, p 51-58. 2000. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2000.0358>

Companhia de Saneamento do Estado do Paraná. **Avaliação de desempenho das ETE's**. URMA/COORD.IND/Controle da qualidade. 2010.

Companhia de Saneamento do Estado do Paraná. **Controle analítico**. Programa de Educação e Qualificação - Tratando o Esgoto - Ambiente Legal, Apostila 5, 2005b.

Companhia de Saneamento do Estado do Paraná. **Resíduos gerados no tratamento de esgoto**. Programa de Educação e Qualificação - Tratando o Esgoto - Ambiente Legal, Apostila 6, 2005a.

Cruz, E.P.; Lima, M.G.S. Estabilidade e Eficiência Operacional do Sistema Combinado de Reatores UASB/Filtro Anaeróbio, Tratando Águas Residuárias Domésticas In: 24º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 2007. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

Da-Rin, B.P.; Vieira Neto, J.N.; Cunha, M.F.; Ramos, R. **Tratamento de esgotos**. 2 ed. Rio de Janeiro: SENAI, 2008. 249 p.

Freire, R.C.; Silva, F.J.A.; Oliveira Filho, R.L.; Targino, J.M.; Silva, M.G.M. Desempenho de uma ETE tipo UASB seguido de FSA (Estudo de Caso). **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 12, p102760-102773. 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-681>

Karl, E.; Imhoff, K.R. **Manual de tratamento de águas residuárias**. 26 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

Lacerda, S.M.P.; Silva, J.O.; Rocha, F.A.; Oliveira, J.T.; Silva, T.O.; Noronha, R.H.F.; Almeida, T.F.; Ferraz, L.L. Reaproveitamento do lodo de esgoto da ETE do Município de Vitória Da Conquista na produção de mudas da *Leucanthemum maximum*. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 1279-1288, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n1-082>

Lacerda, S.M.P.; Silva, J.O.; Rocha, F.A.; Oliveira, J.T.; Silva, T.O.; Noronha, R.H.F.; Santos, L.M.; Souza, V.L. odo de esgoto da ETE como fonte de nitrogênio na cultura da margarida (*leucanthemum maximum*). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 80430-80443, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-765>

Lisbôa, E.G.; Lobo, M.A.A.; Tourinho, H.L.Z.; Bello, L.A.; Borges, F.Q. Aplicação de um modelo Multicriterial para auxiliar a seleção de tecnologias de tratamento de águas residuais em zonas urbanas. **Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 4, p. 20739-20768. 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-303>

Lobato, L.C.S.; Chernicharo, C.A.L.; Oliveira Filho, J.M.; Moraes, O.J.S.; Souza, J.S. Avaliação de desempenho da pré-operação dos reatores UASB da ETE Onça: capacidade instalada 2,05 m³/s. In: 24º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. **Anais...** Belo Horizonte: ABES. 2007.

Madureira, F.A.N. Adubo de lodo de esgoto doméstico compostado. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 1, p. 147-153, 2022. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-012>

Paredes Filho, M.V.P. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Revista Agrogeoambiental**, v. 3, n. 3, p. 73-80, 2011. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v3n32011364>

Metcalf, L.; Eddy, H. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4 ed. New York: McGraw-Hill. 2002.

Moreira, S.F.; Santos, S.D.O.; Sardinha, A.S.; Pereira Junior, A. O lodo de ETE como alternativa para a recuperação do solo em áreas degradadas. **Braz. Ap. Sci. Rev.**, v. 3, n. 3, p. 1564-1585, 2019. <https://doi.org/10.34115/basrv3n3-006>

Niku, S.; Schroeder, E.D.; Samaniego, F.J. Performance of activated sludge processes and reliability - based design. **Journal Water Pollution Control Association**. v. 51, n. 12, p. 2841-2857. 1979.

Orssato, F.; Hermes, E.; Boas, M.A.V. Correlação entre DQO e DBO₅ e monitoramento de uma estação de tratamento de esgoto através de técnicas estatísticas de controle de processos. **Revista Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 155-167, 2009.

Ramos, J.T.P.; Gomes, F.A.; Martins, C.S.; Dionisio, L.F.; Milhomem, C.A.; Pereira, G.M.; Sousa, M.A.R. Uso do biossólido como fertilizante em plantio de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum* (huber x ducke) barneby) na Amazônia Oriental. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 121518-121529, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-458>

Ramos, R.A. **Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho de reatores UASB em estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal**. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. 2008.

Sampaio, A.O.; Gonçalves, M.C. Custos operacionais de estações de tratamento de esgoto por lodos ativados: estudo de caso ETE - Barueri. In: 20º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 1999. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

Santos, K.D.; Sousa, J.T.; Leite, V.D.; Mota, M.F.; Henrique, I.N. Desnitrificação de esgotos domésticos em reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo. In: 24º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 2007. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

Silva, S.A.; Oliveira, R. **Manual de Análises Físico-Químicas de Águas de Abastecimento e Residuárias**. Campina Grande: DEC/CCT/UFGP, 2001.

Sousa, J. T.; Henrique, I. N.; Leite, V. D.; Lopes, W. S. Tratamento de águas residuárias: uma proposta para a sustentabilidade ambiental. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Suplemento Especial, n. 1, p. 90-97. 2006.

Toledo, E.; Leite, B.Z.; Aisse, M.M. A influência da porosidade do papel de microfibras de vidro na determinação dos sólidos suspensos, DBO e DQO filtradas. **Coletânea de trabalhos técnicos - Projeto PROSAB**. Belo Horizonte, [s.n], v. 2, p. 219-228. 2001.

Van Haandel, A. C.; Lettinga, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**: um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: EPGRAF/UFPB, 2000. 225 p.

Versiani, B.M.; Jordão, E.P.; Volschan, I.; Dezotti, M.W.; Azevedo, J.P. Fatores intervenientes no desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais. In: 23º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 2005. Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005.

Vieira, W.L.P.B.; Carvalho, E.H.; Campos, L.C. Desempenho do reator UASB da ETE Lages - Aparecida de Goiânia em sua fase inicial de operação. In: 23º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 2005. Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005.

Von Sperling, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: lodos ativados. v. 4, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2002. 415 p.