



## AValiação DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE REATOR ANAERÓBIO DE MANTO DE LODO COMBINADO A FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR DE BAIXA TAXA NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

**Bruna Rocha de Oliveira-Avellar<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade do Estado do Amapá e Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (PPGERHA/UFPR).

**Miguel Mansur Aisse<sup>(2)</sup>**

Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e Professor Permanente do PPGERHA/UFPR.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** PPGERHA – UFPR. Centro Politécnico – Bloco V – Primeiro andar – Jd. das Américas – Curitiba – Paraná – CEP: 81.531.990 – Tel: +55 (41) 3361-3144 – E-mail: [bruna-roccha@hotmail.com](mailto:bruna-roccha@hotmail.com)

### RESUMO

Como pós-tratamento ao sistema de reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*), os Filtros Biológicos Percoladores (FBP) estão dentre as diferentes alternativas de incremento à matriz de tratamento de esgoto sanitário, visando aumentar a eficiência de remoção de poluentes. Dessa forma, este trabalho apresenta a avaliação de dados de monitoramento, do período de março de 2021 a fevereiro de 2022, de um sistema de tratamento por reator anaeróbio de manto de lodo (UASB), integrado a um FBP de baixa taxa, no tratamento de esgoto sanitário. A estação de tratamento de esgoto (ETE) escala plena, objeto deste estudo, opera com vazão próxima a de projeto (90 L/s), no município da Lapa-PR. Os resultados mostraram que, individualmente, cada processo unitário apresentou uma eficiência de 78% na remoção de DBO e 61% na remoção de DQO. Para SST e SSed as eficiências médias foram de 74% 76% respectivamente. De modo geral, a eficiência do sistema se manteve sempre acima de 90% para a maioria dos parâmetros analisados, como DBO, SST e SSed.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento aeróbio, Reator UASB, Reator aeróbio de leito fixo.

### INTRODUÇÃO

Com a expansão urbana, aumenta a necessidade de desenvolver novos métodos de tratamento de esgoto, ou de incrementar as matrizes de tratamento já existentes, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população, por meio da melhoria da saúde pública e da mitigação dos impactos provocados pela descarga de esgoto em corpos hídricos receptores (Metcalf e Eddy, 2016).

No Brasil, a maioria das estações de tratamento de esgoto (ETE) foi projetada principalmente para reduzir os teores de matéria orgânica carbonácea lançada em corpos hídricos (Sperling, 2014). Sistemas de tratamento anaeróbio como os *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor* (reatores UASB), embora promovam significativa remoção da matéria orgânica e sólidos em suspensão, promovem baixa remoção de nutrientes (Chernicharo, 2007; Bressani-Ribeiro et al., 2018; Corrêa, 2019a, Corrêa et. al, 2019b;). Trata-se de um sistema anaeróbio, onde a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é metabolizada por bactérias dispersas no reator. Por fluxo ascendente, o efluente sai do compartimento de sedimentação relativamente clarificado e a concentração de biomassa no reator é mantida elevada (Sperling, 2014, Jordão, Pessoa, 2017).

A utilização destes reatores no tratamento de esgotos no Brasil ocorre em unidades únicas ou seguidas de alguma forma de pós-tratamento (Sperling, 2014; Almeida et al., 2018). No estado do Paraná, a aplicação destes reatores - também chamados de RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado) - seguidos de FBP de baixa taxa, apresentam elevada eficiência na remoção de matéria orgânica carbonácea (Aisse et. al, 2000; Corrêa, 2019a, Corrêa et. al, 2019b).

Embora apresentem bons resultados na remoção de matéria orgânica carbonácea (55 a 75 % da DBO), os reatores UASB promovem baixa remoção dos nutrientes nitrogênio e fósforo, sendo usualmente necessária a adoção de unidades de pós-tratamento (Chernicharo et al., 2001, Almeida et al., 2018; Bressani-Ribeiro et al., 2018; Corrêa et al., 2019b). Por isso, para aumentar a eficiência do tratamento e reduzir os níveis de lançamento de compostos contaminantes nos corpos hídricos, reatores UASB são usualmente combinados com filtros biológicos percoladores (FBPs), que são biorreatores de crescimento aderido que utilizam materiais inertes como suporte para o crescimento do biofilme (Gonçalves et al., 2001; Jordão, Pessoa, 2017; Bressani-Ribeiro et al., 2018).

Os FBPs são sistemas de pós-tratamento de esgotos domésticos de elevado potencial de aplicabilidade no Brasil e América Latina (Noyola et al., 2012; Bressani-Ribeiro et al., 2018; Chernicharo et al., 2018). A



tecnologia consiste em um tanque preenchido com material de alta permeabilidade (pedras, ripas ou material plástico), sobre o qual o esgoto é aplicado uniformemente em sua superfície em forma de gotas ou jatos, que percola em direção aos drenos de fundo (Gonçalves et al., 2001; Jordão, Pessoa, 2017). O biofilme formado nesses filtros apresenta considerável heterogeneidade, abrigando organismos de diferentes complexidades (bactérias, protozoários, cianobactérias, rotíferos, nematódeos), devido à formação de variados microambientes físico-químicos (Missagia, 2010; Jordão, Pessoa, 2017).

A classificação de filtros percoladores ocorre em função das cargas orgânica e hidráulica aplicadas e dos tipos de recirculação adotadas, podendo ser qualificados como de baixa taxa, taxa intermediária e alta taxa (Metcalf e Eddy, 2016; Jordão, Pessoa, 2017). A NBR 12.209 delimita a aplicação de carga orgânica entre 0,3 e 1,2 kgDBO/m<sup>3</sup>.dia, também apresentando o conceito de taxa de aplicação hidráulica, que deve ser entre 5 e 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, incluindo a vazão de recirculação (obrigatória nos filtros de alta taxa) (ABNT, 2011).

Nos FBP de baixa taxa, a carga orgânica aplicada por unidade de volume é menor, o que resulta em uma menor quantidade de substrato disponível para o crescimento celular e, conseqüentemente, no autoconsumo da matéria orgânica celular, gerando um lodo parcialmente estabilizado (Sperling, 2014; Metcalf, Eddy, 2016), o que representa vantagem em relação aos filtros de alta taxa, pois reduz custos operacionais nas etapas de digestão e estabilização do lodo. Na combinação com o reator UASB, o efluente do reator anaeróbio é distribuído na superfície do filtro de baixa taxa, percolando em fluxo descendente pelos materiais suporte, onde os microrganismos presentes no biofilme degradam matéria orgânica, nitrificam e desnitrificam, dependendo das condições operacionais atribuídas (Wik, 2003; Metcalf, Eddy, 2016).

Em suma, é sabido que existem estudos em larga escala a respeito do desempenho de reatores UASB para tratamento de esgoto doméstico, e que a qualidade do seu efluente final é influenciada por aspectos de projeto, construção e operação, bem como as etapas de pós-tratamento aplicadas (Almeida et al., 2018). No entanto, há um número muito limitado de estudos que explora a eficiência global de matrizes de tratamento que combinam reator UASB e Filtro Biológico Percolador de baixa taxa em escala real (Bressani-Ribeiro et al., 2018; Monteiro et al., 2019). Nesse contexto, o presente artigo objetiva apresentar os resultados do monitoramento de uma ETE operada em escala plena no sul do Brasil, e avaliar o desempenho de um sistema composto por UASB e FBP de baixa taxa no tratamento de esgoto sanitário. Os parâmetros que subsidiaram a avaliação da eficiência do sistema foram: DBO, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Sedimentáveis (SSed), além dos níveis de concentração de nitrogênio amoniacal (NH<sub>3</sub>) e fósforo total (PT) no efluente do sistema.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Local de estudo e descrição dos processos

A Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), objeto desse estudo, localiza-se no município de Lapa-PR, região sul do Brasil. O clima da região é classificado como subtropical, com estações do ano bem definidas e temperaturas médias que variam de 8,9 °C nos meses mais frios a 26,5 °C nos meses mais quentes. A precipitação anual no município varia de 1400 a 1600 milímetros e a umidade relativa do ar não apresenta amplas variações durante o ano (média de 82%) (MARIN, 2002).

A estação é operada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) desde 1995, com vazão de operação de 58,7 ± 19,0 L/s (Corrêa, 2019a) e vazão de projeto de 90 L/s. A matriz de tratamento é composta por 03 (três) reatores anaeróbios de manto de lodo tipo UASB, com volume útil de 800 m<sup>3</sup> cada, 02 (dois) Filtros Biológicos Percoladores (FBP) de baixa taxa com 1.140 m<sup>3</sup> cada, 22 metros de diâmetro, altura útil de 3 metros e área superficial total de 760 m<sup>2</sup>. Os filtros são preenchidos com pedra basáltica tipo 4, e são seguidos por 02 (dois) decantadores secundários circulares (diâmetro de 20 m cada). O sistema atua com taxas de projeto e operação descritas no Quadro 1.

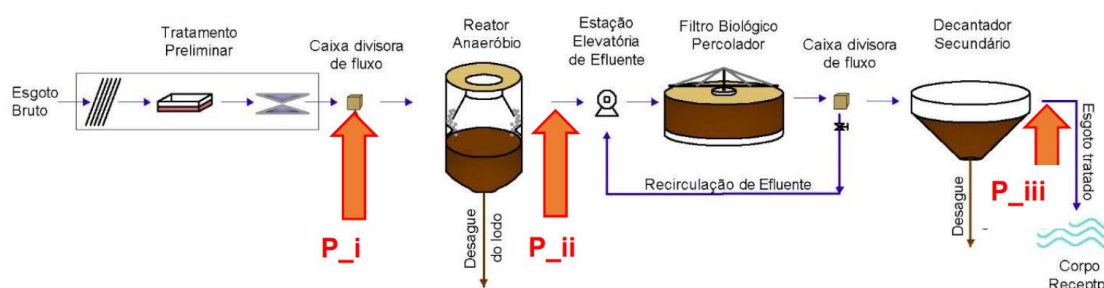
O processo de tratamento na ETE objeto desse estudo é composto por: tratamento primário e secundário, ocorrente nos reatores do tipo UASB, onde a matéria orgânica é anaeróbiamente degradada, seguido do FBP de baixa taxa, onde ocorre a degradação aeróbia da matéria orgânica residual e nitrificação parcial do efluente dos reatores anaeróbios. Após o tratamento aeróbio, o efluente segue para os decantadores para a remoção dos sólidos resultantes do tratamento (Figura 1).

**Quadro 1: Parâmetros de projeto e de operação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) com reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) e Filtro Biológico Percolador (FBP) de baixa taxa, localizada no município de Lapa-PR.**

Parâmetro	UASB		FBP		Decantador secundário	
	Projeto	Operação	Projeto	Operação	Projeto	Operação
Altura útil (metros)	5,75	-	3,0	-	3,65	-
TDH (horas)	8,5	11,35	-	-	-	-
TAH (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	-	-	1 - 4	6,6	-	-
COV (kgDBO/m <sup>3</sup> .dia)	-	-	0,1 - 0,4	0,18	-	-
TES (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	--	-	-	-	16 - 28	8,1

Fonte: adaptado de Correa, 2019a.

Legenda: TDH: Tempo de detenção hidráulica; TAH: Taxa de Aplicação Hidráulica; COV: Carga Orgânica Volumétrica; TES: Taxa de Escoamento Superficial.



**Figura 1: Fluxograma da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) com reator UASB e FBP de baixa taxa, com a localização dos pontos de amostragem (I, II e III), Lapa-PR.**

Fonte: Corrêa et. al, 2019b.

Legenda: UASB: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*; FBP: Filtro Biológico Percolador.

### Plano de amostragem

As coletas foram realizadas em 3 pontos de amostragem (Figura 1), visando o controle e avaliação da eficiência dos reatores UASB e FBP. As coletas foram realizadas conforme descrito no quadro 1, entre os meses de janeiro de 2021 e fevereiro de 2022, no entanto, os resultados amostrais usados para processamento de dados foram do período de março de 2021 a fevereiro de 2022, quando observada a consistência de dados afluente e efluente da estação.

Em campo foi medido o valor de pH, vazão e temperatura e as amostras encaminhadas para o laboratório da Sanepar. Os parâmetros analisados em laboratório foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo total (PT), Nitrogênio Amoniacal (NH<sub>3</sub>), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Sedimentáveis (SSed). As análises laboratoriais seguiram os procedimentos estabelecidos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

**Quadro 1: Desenho amostral de monitoramento da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) com reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) e Filtro Biológico Percolador (FBP) de baixa taxa, Lapa-PR.**

Parâmetro	Ponto	Frequência	Mês de amostragem	Nº de amostras processadas por parâmetro
pH, vazão, temperatura, DBO, DQO, SST e SSed	I e II	Semanal	03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11 e 12 (2021); 01 e 02 (2022)	49
	III	Quinzenal	11 e 12 (2021); 01 e 02 (2022)	08
PT e NH <sub>3</sub>	III	Bimestral	02, 04, 06, 08 e 10 (2021)	05

Legenda: pH: potencial hidrogeniônico; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio; SST: Sólidos Suspensos Totais; SSed: Sólidos Sedimentáveis; PT: Fósforo Total; NH<sub>3</sub>: Nitrogênio amoniacal.

## Análise de dados

A análise do desempenho da ETE, em termos de eficiência na remoção da DBO, DQO, SST e SSed do esgoto, se deu através da diferença percentual na concentração dos parâmetros em cada etapa de tratamento, conforme a Equação 1.

$$E = \frac{(C1 - C2)}{C1} * 100$$

Equação (1)

Em que E: Eficiência de remoção (%), C1: Concentração no afluente e C2: Concentração no efluente .

Os resultados também foram comparados com os padrões de lançamento de efluentes determinados pelas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/2011 e Secretária de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) nº 21/2009, do Estado do Paraná.

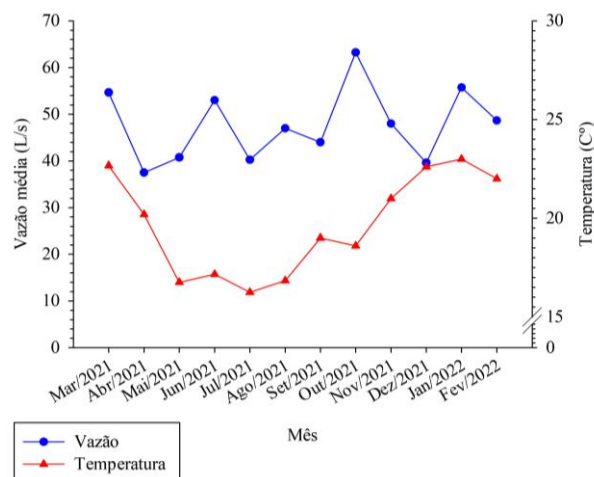
O tratamento dos dados foi realizado com ferramenta Excel® e a plotagem dos gráficos foi realizada com o software Sigma Plot® 12.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Vazão, temperatura e taxas de aplicação

Observou-se elevada amplitude de variação da vazão média afluente, com máxima de 65 L/s e mínima de 40 L/s. Picos de vazão podem ser ocasionados por intrusão excessiva de águas pluviais, vazões de bombeamento não compatíveis com as vazões médias e máximas de projeto, ou inadequação das condições de envio de lodo aeróbio de decantadores secundários da unidade de pós-tratamento para adensamento e digestão nos reatores UASB (Almeida et al., 2018). Já em relação aos dados de temperatura média do ar, observou-se pouca variação média mensal, com máxima de 23 °C e mínima de 16° C (Figura 2).

Embora observância da amplitude de variação da vazão, os valores permanecem na faixa máxima e mínima de projeto para o ano de 2020 (20 e 75 L/s, respectivamente). Eventos de sobrecarga hidráulica do sistema com picos excessivos de vazão podem provocar a expansão excessiva da manta de lodo na câmara de digestão dos reatores UASB, sobrecarregando os compartimentos de decantação e culminando em eventos de queda na eficiência na retenção de sólidos e remoção de matéria orgânica (Almeida et al., 2018; Ribeiro et al., 2018).



**Figura 2: Médias mensais de vazão e temperatura do ar na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) com reator UASB ( *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) e Filtro Biológico Percolador (FBP) de baixa taxa, Lapa-PR.**

Com isso, a partir dos valores de DBO, verificou-se que o Filtro Biológico Percolador (FBP) está operando à uma taxa de aplicação hidráulica de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, concluindo-se que o mesmo opera em baixa taxa volumétrica.

### Eficiência de remoção e concentração no esgoto

No comparativo das concentrações médias do esgoto com os valores apresentados por Metcalf & Eddy (2016), observa-se que concentrações de matéria orgânica (DBO), DQO, SST afluente à ETE se aproximam à composição típica de esgotos domésticos brutos de alta concentração (Tabela 1).



De modo geral, o sistema de tratamento combinando UASB e FBP foi capaz de promover o atendimento aos padrões de lançamento, considerando às resoluções normativas do CONAMA nº 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da SEMA nº 21/2009, que dispõe sobre licenciamento ambiental e estabelece condições e padrões ambientais para empreendimentos de saneamento do Estado do Paraná (Tabela 1).

Ao comparar a resolução do CONAMA nº 430/2011 com a resolução estadual SEMA nº 021/2009, estas divergem quanto aos limites de DBO, constando na lei estadual um menor limite tolerado (90 mg/L), portanto, a exigência de eficiência de remoção determinado nesta normativa é maior. Desta forma, é importante que o efluente a ser lançado atinja os limites estabelecidos pela legislação estadual.

Em relação ao potencial hidrogeniônico, observa-se que na entrada da estação este é próximo do básico, acidificando um pouco ao final do tratamento (Tabela 1). Tratando-se de biofilmes de crescimento aderido, como no FBP, para a remoção de material carbonáceo são toleráveis valores na faixa de 6,0 a 9,0, sendo o desempenho ótimo ocorrente próximo a valores neutros de pH (Metcalf, Eddy, 2016). Níveis de pH na faixa mais ácida podem diminuir a taxa de oxidação de amônio, com significativa redução da nitrificação à medida que o pH é reduzido abaixo da faixa neutra (EPA, 2000). Além disso, a resolução federal estabelece que para o lançamento de efluentes o pH deve estar entre 5 e 9, para critérios de proteção à vida aquática (BRASIL, 2011). Portanto, todas as amostras analisadas estão dentro da faixa estabelecida pela legislação.

Embora ocorressem variações com a sazonalidade das concentrações no efluente - variações de temperatura e vazão - a eficiência do sistema se manteve sempre acima de 90% para a maioria dos parâmetros observados, como DBO, SST e SSed (Tabela 2). Cada processo unitário, individualmente, teve eficiência média de 78% na remoção de DBO e 61% na remoção de DQO. Para SST e SSed as eficiências médias foram de 74% 76% respectivamente (Tabela 2). Para os reatores anaeróbios de manto de lodo, a eficiência observada está de acordo com o esperado, porém, para o processo de filtração biológica as eficiências observadas estão abaixo do esperado para filtros de baixa taxa (entre 80 e 90%) com características semelhantes ao monitorado neste estudo (Gonçalves et al., 2001; Metcalf, Eddy, 2016; Jordão, Pessoa, 2017).

**Tabela 1 : Comparação entre a composição do esgoto afluente a estação de tratamento de esgoto (ETE) localizada na Lapa-PR do período de março de 2021 a fevereiro de 2022, a composição típica esperada de acordo com a literatura e de legislação federal e estadual de padrões para lançamento.**

Parâmetro	Objeto do estudo (média anual)		Esgoto sanitário		Limites para lançamento de esgoto sanitário	
	Entrada	Saída	Metcalf & Eddy (2016)		Conama 430/2011	Sema 21/2009
			Baixa conc.*	Alta conc.*		
pH (faixa)	7 - 8	5,8 - 7,8	-	-	5 - 9	-
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	326	16	133	350	120	90
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	583	64	339	800	-	225
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	229	15	130	400	-	-
SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	4	0,1	-	-	1	-
PT (mg.L <sup>-1</sup> )	-	5	3,7	12	**	-
NH <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	-	38	-	-	20	-

Legenda: pH: potencial hidrogeniônico; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio; SST: Sólidos Suspensos Totais; SSed: Sólidos Sedimentáveis; PT: Fósforo Total; NH<sub>3</sub>: Nitrogênio amoniacal; \*Concentração; \*\*Limite estabelecido de acordo com a classificação do corpo receptor.

**Tabela 2: Concentrações de DBO, DQO, SST e SSed no efluente do reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) e Filtro Biológico Percolador (FBP) de baixa taxa e eficiência média de remoção em cada etapa unitária e total do sistema de tratamento de esgoto sanitário, Lapa-PR.**

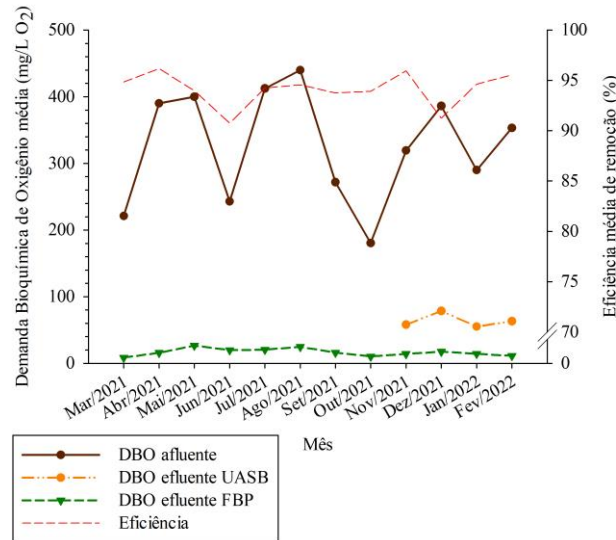
Processo unitário	Eficiência média anual de remoção por parâmetro analisado (%)			
	DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )
Reator UASB	78	63	71	87
Filtro Biológico Percolador	77	58	77	64
Total do sistema	94	86	92	95

Legenda: DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio; SST: Sólidos Suspensos Totais; SSed: Sólidos Sedimentáveis.



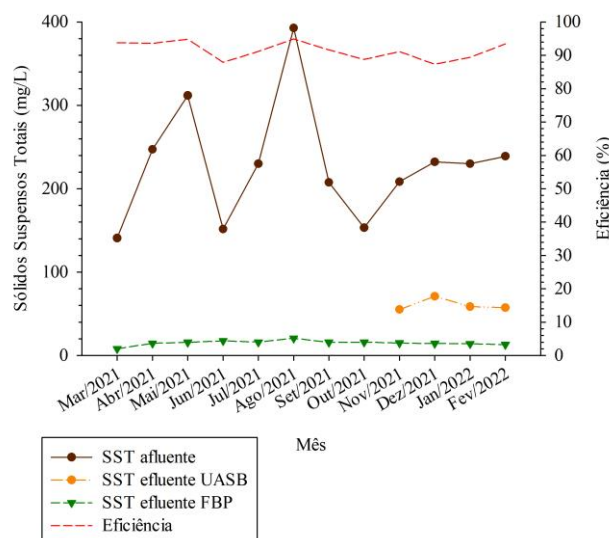


As concentrações médias anuais de DBO no afluente e efluente foram de 326 mg/L e 16 mg/L, respectivamente, com eficiência média de remoção da matéria orgânica carbonácea de 94% (Figura 3). A maior concentração média mensal de DBO no afluente foi observada no mês de agosto (440 mg/L) e a menor no mês de outubro (180 mg/L). Em relação às concentrações no efluente, a concentração máxima foi observada no mês de maio (27 mg/L) e a mínima em março (9 mg/L). Observou-se alta amplitude da DBO no afluente e baixa amplitude no efluente ao sistema. Com isso, concluiu-se que o FBP está operando a uma carga orgânica volumétrica de 0,12 KgDBO/m<sup>3</sup>.dia.



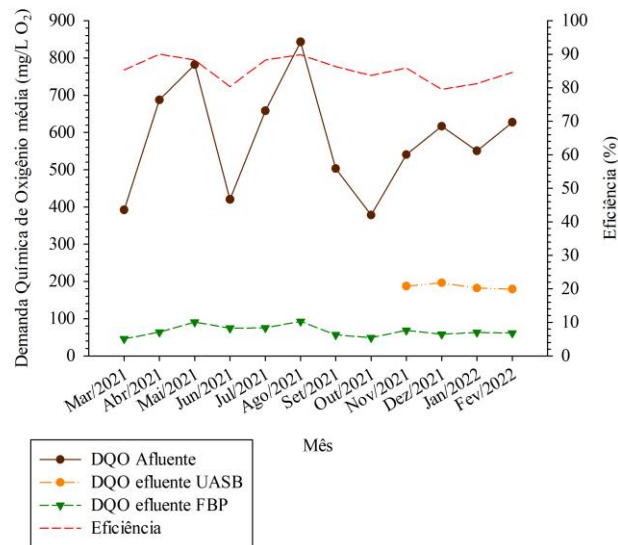
**Figura 3: Médias mensais da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e eficiência média de remoção na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) com reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) e Filtro Biológico Percolador (FBP) de baixa taxa, Lapa-PR.**

A eficiência de remoção média anual de sólidos suspensos totais (SST) se deu em média 92%, com média afluente de 229 mg/L e efluente de 16 mg/L. A maior concentração média mensal de SST no afluente foi observada no mês de agosto (392 mg/L) e a menor no mês de março (141 mg/L). Em relação às concentrações no efluente, a concentração máxima foi observada no mês de agosto (21 mg/L) e a mínima em março (8 mg/L). Observou-se alta amplitude de SST no afluente e baixa amplitude no efluente ao sistema (Figura 4).



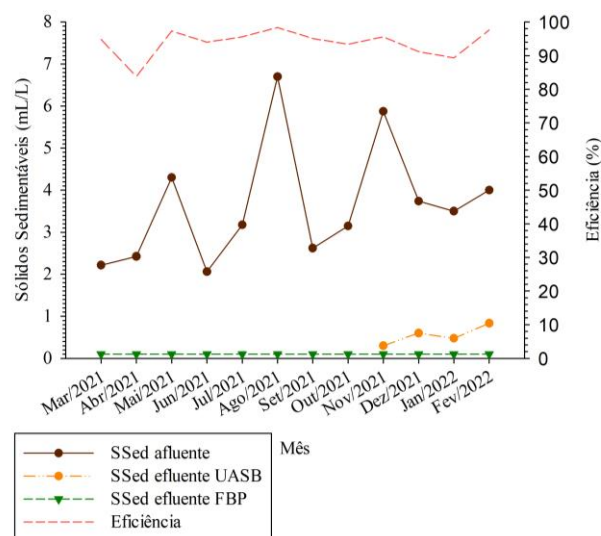
**Figura 4: Médias mensais de Sólidos Suspensos Totais (SST) e eficiência média de remoção na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) com reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) e Filtro Biológico Percolador (FBP), Lapa-PR.**

A concentração média anual de DQO teve tendência semelhante a DBO, com concentração média no afluente e efluente de 583 mg/L e 64 mg/L, respectivamente, e eficiência média de remoção de 86% (Figura 5). A maior concentração média mensal de DQO no afluente foi observada no mês de agosto (843 mg/L) e a menor no mês de outubro (378 mg/L). Para o efluente, a concentração máxima foi observada no mês de agosto (93 mg/L) e a mínima em março (9 mg/L) (Figura 4).



**Figura 5: Médias mensais da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e eficiência média de remoção na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) com reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) e Filtro Biológico Percolador (FBP), Lapa-PR.**

As concentrações médias anuais de SSed no afluente e efluente foram de 4 mg/L e 0,1 mg/L, respectivamente, com eficiência média de remoção da matéria orgânica carbonácea de 95% (Figura 6). A maior concentração média mensal de DBO no afluente foi observada no mês de agosto (440 mg/L) e a menor no mês de outubro (180 mg/L). Em relação às concentrações no efluente, a concentração máxima foi observada no mês de maio (27 mg/L) e a mínima em março (9 mg/L).

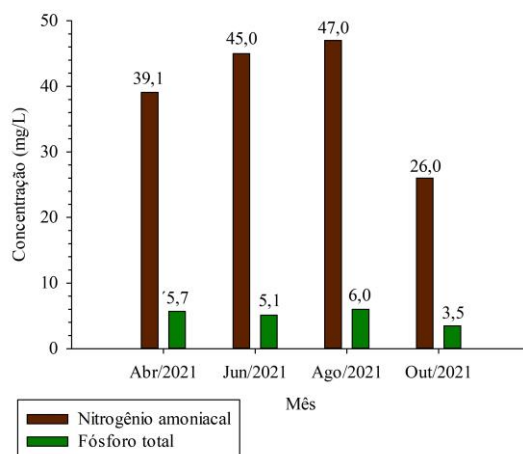


**Figura 6: Médias mensais de Sólidos Sedimentáveis (SSed) e eficiência média de remoção na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) com reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) e Filtro Biológico Percolador (FBP), Lapa-PR.**

O fósforo (Figura 7) não possui limites pré-estabelecidos na Resolução nº 430/2011 do Conama, que deixa a critério do órgão ambiental competente o limite de concentração para lançamento deste componente.



No entanto é importante estar atento a suas concentrações, pois em grande quantidade este nutriente pode gerar prejuízos ao meio ambiente.



**Figura 7: Valores bimestrais de concentração de nitrogênio amoniacal e fósforo total no efluente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) com reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) e Filtro Biológico Percolador (FBP) de baixa taxa, Lapa-PR.**

Em relação ao nitrogênio amoniacal (Figura 7), a concentração no efluente está acima do recomendado pela legislação (20 mg/L, Conama) (Tabela 2) e a eficiência de remoção deste nutriente pode estar abaixo do esperado para ETEs que operam com FBP de baixa taxa, uma vez espera-se um processo mais intenso de degradação deste substrato em filtros dessa classificação (Metcalf e Eddy, 2016). Um estudo realizado em 2019, na mesma estação de tratamento objeto deste estudo, mostrou que o FBP teve eficiência média de 20% de degradação do substrato. Para obtenção melhores resultados de eficiência na remoção do nitrogênio amoniacal, os autores sugeriram um maior tempo de contato do efluente do UASB com o biofilme do FBP (Corrêa, 2019a, Corrêa et. al, 2019b).

## CONCLUSÕES

No período entre março de 2021 e fevereiro de 2022 foi avaliada a estação de tratamento de esgoto (ETE) localizada no município de Lapa-PR, que opera com um sistema combinado de reator UASB e filtro biológico percolador (FBP) de baixa taxa.

A matriz de tratamento em operação na ETE apresentou elevada eficiência na remoção de matéria orgânica carbonácea, com padrões de eficiência superiores a 90% de remoção de DBO, SST e SSed. Tais valores são compatíveis com o apresentado na literatura técnica, referendando a sua escolha na matriz dos sistemas de tratamento de esgoto sanitário.

Recomenda-se maior aprofundamento para avaliação dos compostos nitrogenados no efluente do sistema, uma vez que pode ser confirmada a ocorrência do processo de nitrificação parcial no FBP de baixa taxa.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) pelo fornecimento dos dados de monitoramento da ETE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21º ed. Washington, 2012.
2. ARCADIS Logos PBEN. *Projeto de Engenharia da ETE Lapa*. Curitiba, 2014.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12.209: *Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários*. Rio de Janeiro, 2011.





4. AISSE, M. M.; LOBATO, M. B.; BONA, A.; et al. *Avaliação do sistema reator UASB e Filtro Biológico para o tratamento de esgoto sanitário*. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 48, n. 1, p. 1–8, 2000.
5. ALMEIDA, P. G. S; RIBEIRO, T. B; SIDNEI, B. S; AZEVEDO, L. S; CHERNICHARO, C. A. L, *Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 6: Qualidade do efluente*. Revista DAE, v. 66, n. 214, p. 90-107. 2018.
6. BRASIL. Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA*. Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, 2011.
7. BRESSANI-RIBEIRO, T; ALMEIDA, P. G. S; VOLKE E. I. P; CHERNICHARO, C. A. L. *Trickling filters following anaerobic sewage treatment: state of the art and perspectives*. Environmental Science Water Research & Technology, n. 4, p. 1721-1738. 2018.
8. CORRÊA, W. C. *Avaliação de um sistema reator anaeróbio de manto de lodo seguido de filtro biológico percolador de baixa taxa em escala plena*. (Dissertação) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019a.
9. CORRÊA, W. C; RIETOW, J. C; AMARAL, K. C. G; AISSE, M. M. *Avaliação de desempenho de um filtro biológico percolador de baixa taxa em escala plena, como pós-tratamento de reator anaeróbio visando a nitrificação do efluente*. In: Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Foz do Iguaçu, 2019b.
10. CHERNICHARO, C. A. D. L. *Reatores Anaeróbios. Princípio do tratamento biológico de águas residuárias*, 5. ed., v. 2. Rio de Janeiro - RJ, 2007.
11. CHERNICHARO, C. A. D. L; RIBEIRO, T. B; GARCIA, B. G; LERMONTOV, A; PLATZER, C. J; POSSETI, G. R. C; ROSSETO, M. A. L. L. R. *Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas*. Revista DAE, v. 66, n. 213, 2018.
12. GONÇALVES, R. F; CHERNICHARO, C. A. D. L.; ONOFRE, C.; SOBRINHO, P. A; KATO, M. T; COSTA, R. H. R; AISSE, M. M; ZAIAT, M. *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme*. In: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. CHERNICHARO, C. A. L (Coordenador). Projeto PROSAB. Belo Horizonte, 2001.
13. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 8. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017.
14. MARIN, L. M. K. *Contribuição ao zoneamento ambiental das bacias hidrográficas do Ribeirão do Calixto e Ribeirão Claro, na Lapa – Paraná*. Dissertação de mestrado na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
15. METCALF, L.; EDDY, H. P. *Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos*. Tradução de Ivanildo Hespagnol, José Carlos Mierzwa. 5. ed, Nova Iorque: McGraw-Hill; Porto Alegre: AMGH. 2016.
16. MISSAGIA, B. *Estudo das comunidades bacterianas em Filtros Biológicos Percoladores utilizados para o pós-tratamento de efluentes de um reator UASB*. (Tese) Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.
17. MONTEIRO, M. M; BARÉA, P. B; CUBAS, S. A; AISSE, M. M. *Filtro biológico percolador como pós-tratamento de efluentes anaeróbios: uma reflexão*. In: Anais do XXX Congresso Brasileiro da ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental). Natal, 2019.
18. NOYOLA, A. PADILLA-RIVERA, A; MORGAN-SAGASTUME, J. M; GUERECA, L. P; HERNANDEZ-PADILLA, F. *Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America*. Clean – Soil, Air, Water. 40 (9) 926-932. 2012.
19. PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. *Resolução Sema nº 021, de de junho de 2009. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá*

*outras providências, para empreendimentos de saneamento.* Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, 2009.

20. RIBEIRO, T. B; LOBATO, L. C. S; SOUZA, S. N; PEGORINI, E. S; CHERNICHARO, C. A. L. *Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 2: Tratamento preliminar, bombeamento e distribuição de vazão.* Revista DAE, v. 66, n. 214, p. 17-29. 2018.

21. U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). *Wastewater Technology Fact Sheet Trickling Filter Nitrification.* Office of Water, Washington, 2000.

22. WIK, T. *Trickling filters and biofilm reactor modelling.* Reviews in Environmental Science and Biotechnology, v. 2, n. 2–4, p. 193–212, 2003.