Encontro Técnico AESABESP
32º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS POR AERAÇÃO PROLONGADA DE UMA ETE NO BRASIL

Renan Nijenhuis Celestino[(1)]
[1] Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) em parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e Universidade de Stuttgart – Curitiba (PR), Brasil
Mônica Beatriz Kolicheski[(2)]
[1] Doutora em Engenharia pelo Programa Interdisciplinar de Pós Graduação da UFPR (PIPE). Professora do curso de Engenharia Química da UFPR – Curitiba (PR), Brasil.

Endereço[(1)]**:** Rua Guilherme Pugsley, 1140 – 80620-000 – Curitiba (PR), Brasil – E-mail: renannijenhuis@gmail.com.br. **Renan Nijenhuis Celestino.**

1 linha em branco, fonte Times New Roman, corpo 10

RESUMO

Os sistemas de lodos ativados são uma alternativa de tratamento de esgoto mais utilizados no mundo. O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar um sistema de lodos ativados por aeração prolongada de uma ETE no Brasil para identificar os problemas deste tipo de tratamento. Foi necessário conceituar os sistemas de lodos ativados, apresentar os parâmetros de caracterização, descrever as variantes e avaliá-los na ETE selecionada. A metodologia consistiu em identificar e caracterizar a ETE escolhida, coletar dados de esgoto na entrada e saída do reator mensalmente de janeiro a setembro de 2019 e identificar problemas de operação da ETE. A ETE identificada como adequada foi a Manguinhos, localizada em Serra/ES, pois esta estação de tratamento conta com um sistema de lodos ativados e está em operação há mais de 2 anos. A vazão média da ETE Manguinhos no período de estudo foi 66,99 $L.s^{-1}$ e operando dentro da faixa projetada (111 $L.s^{-1}$). Os resultados das análises coletadas indicaram a eficiência média de remoção de DBO_5 e DQO no período avaliado de 2019, 81,59 e 77,95%, respectivamente. Com este estudo foi possível identificar que o sistema de lodos ativados desta ETE não estava tratando o efluente de forma adequada.

PALAVRAS-CHAVE: ETE, Sistema de Lodos Ativados por Aeração Prolongada, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O saneamento básico engloba os sistemas de abastecimento de água, de drenagem de águas pluviais, a limpeza urbana e o esgotamento sanitário (SOUZA, 2016). Uma das formas de controlar os problemas decorrentes da falta de saneamento básico é por meio de implantação de sistemas de esgotamento sanitário, uma das áreas do saneamento, que consiste na coleta, transporte, tratamento e disposição final adequada de esgotos sanitários (PESSOA, 2012). Quando esse sistema se mostra deficiente, há correlação direta com questões de saúde pública e de degradação do meio ambiente (DO AMARAL et al., 2021).

Um modelo de tratamento de esgoto que é amplamente utilizado ao redor do mundo é o sistema de lodos ativados. Este processo possui alta aplicabilidade, pois além de necessitar de pouco espaço para sua implantação, possui alta eficiência de remoção de nutrientes quando comparadas com alternativas de tratamento secundário de esgoto sanitário (BUI et al., 2019).

Todavia, estes sistemas quando em operação nem sempre atendem a eficiência prevista e desejada na fase inicial do projeto. A ineficiência do sistema é causada principalmente por erros operacionais ou mesmo de projeto, sendo este último um problema muito recorrente devido a um conjunto de fatores tais como: estimativa errada de vazões e erros de cálculo no dimensionamento (FERREIRA; GARCIA, 2017).

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho consistiu em identificar um sistema de lodos ativados por aeração prolongada de uma ETE no Brasil e avaliar a mesma de forma a se ter um estudo de caso. Para tal foi necessário conceituar os sistemas de lodos ativados, identificar os parâmetros de caracterização dos sistemas lodos ativados, descrever as variantes dos sistemas de lodos ativados, e por fim, avaliar o sistema de lodos ativados da ETE.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Lodos ativados constituem um dos mais importantes processos biotecnológicos para o tratamento de esgotos e proteção ambiental. Neste processo uma mistura complexa de micro-organismos capazes de degradar a matéria orgânica removem nutrientes e transformam compostos tóxicos em produtos inofensivos (SANCHÉZ, 2016). Os fenômenos deste processo são os mesmos que ocorrem naturalmente em rios e lagos. Porém, a partir das tecnologias empregadas, garantem-se as condições ideais para o sistema, como disponibilidade de biomassa, adição de oxigênio, controle de temperatura e pH, entre outros. Dessa forma, obtém-se um processo controlado e eficiente, ou seja, pode-se entender esse sistema como uma autodepuração artificialmente acelerada (VON SPERLING, 2016).

O processo de lodos ativados foi descoberto na Inglaterra em 1913, quando dois engenheiros Edward Arden e W.T. Lockett, conduziam um experimento de tratamento de esgoto utilizando oxigênio para acelerar o processo de oxidação em um precursor do atual reator de bateladas sequenciais. Como resultado, obteve-se um efluente altamente tratado (RAFATI et. al., 2018). No Brasil os estudos desses sistemas iniciaram-se em 1934, mas a primeira implantação ocorreu somente na década de 1960 (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

De acordo com Jenkins e Wanner (2014), o sistema de lodos ativados foi a solução mais impactante no último século para o setor de engenharia ambiental e sanitária ao se tratar da proteção ambiental e da saúde humana. Tanto que, que essa técnica é o método de tratamento biológico mais largamente utilizado no mundo desenvolvido, principalmente nas circunstâncias em que é necessário um nível alto de qualidade do efluente tratado e em que os requisitos de área são reduzidos (REVOLLAR, et. al., 2020). Isto porque, quando bem projetados e operados, os sistemas de lodo ativado podem chegar a uma eficiência a 98% na remoção de DBO solúvel (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Porém, Von Sperling (2005), ao comparar o sistema de lodos ativados com os outros processos de tratamento de esgoto, afirma que o primeiro possui um índice de mecanização superior o que implica em uma operação mais sofisticadas e um maior consumo de energia elétrica. Do mesmo modo, para Loo e Velázquez (2017) e Gu et al. (2017) a principal desvantagem do sistema de lodos ativados é o alto custo associado ao consumo de energia necessária para atender a demanda de oxigênio para oxidar a matéria orgânica.

O processo de lodos ativados, depende de cinco componentes inter-relacionados: o reator, o lodo ativado em si, o sistema de aeração e mistura, o tanque de sedimentação e a recirculação do lodo, conforme mostrado no Quadro 1 (METCALF, 2016).

Quadro 1: Principais componentes do sistema de lodos ativados.

Reator	Também chamado de tanque de aeração, é o local que ocorrem as reações bioquímicas de remoção de matéria orgânica, e em determinadas condições, nitrogenadas.
Lodo ativado	O lodo ativado pode ser entendido como um ecossistema vivo artificial, o qual está continuamente sob influência de fatores bióticos ou abióticos. Os micro-organismos crescem agregados, no formato de flóculos.
Sistema de mistura e aeração	A aeração possui a função de fornecer oxigênio para a respiração dos organismos aeróbios dentro do reator e também manter os flocos microbianos em contínuo estado de agitação a fim de garantir o contato máximo entre a superfície dos flocos e o esgoto.
Tanque de sedimentação	Local onde ocorre a sedimentação (também chamada de clarificação), em que se separa a biomassa do efluente tratado.
Recirculação do lodo	O lodo ativado sedimentado é devolvido para o tanque de aeração a fim de manter a população microbiana correta e assim garantir a continuação do tratamento.

FONTE: Metcalf (2016).

A operação de lodos ativados ocorre em duas fases distintas: aeração e sedimentação do lodo. Na primeira fase o esgoto proveniente do tratamento preliminar é adicionado ao tanque de aeração, onde ocorrem as reações bioquímicas realizadas pela densa população de micro-organismos heterotróficos sob a presença de ar ou oxigênio puro (BUI et. al., 2019). O oxigênio pode ser adicionado de diferentes formas ao sistema: por meio

de bolhas de ar injetado, difusores dentro da mistura lodo líquido, sob condições de turbulência, por aeradores mecânicos de superfície ou outros tipos de unidades de aeração (VON SPERLING, 2014).

Na segunda fase, a mistura sólida-líquida que contém micro-organismos é decantado no tanque de sedimentação. A biomassa floculada sedimenta rapidamente da suspensão e forma um lodo e o efluente clarificado e livre de sólidos, o qual é descarregado no efluente final. O lodo é recirculado para o reator a fim de aumentar a concentração da biomassa e assim melhorar a eficiência do sistema (VON SPERLING, 2014).

PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE LODOS ATIVADOS

As características dos sistemas de lodos ativados são usualmente avaliadas em termos da idade do lodo, do tempo de detenção hidráulica, da relação alimento/micro-organismo (A/M) e da eficiência de remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e da demanda química de oxigênio (DQO).

A eficiência do sistema, representada na equação (1), é caracterizada pela taxa de remoção da matéria orgânica por meio do metabolismo dos micro-organismos. A eficiência é calculada por meio da avaliação da concentração da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) ou da demanda química de oxigênio (DQO) no efluente de entrada e de saída do sistema de lodos ativados. A DBO mede a quantidade de oxigênio que uma população de micro-organismos consome para crescer quando em contato com o esgoto por um determinado período.

A DBO_5 é considerada um indicador da quantidade de matéria orgânica biodegradável em um sistema. Em contrapartida a DQO mensura a quantidade de oxigênio que é necessária para completa oxidação de toda a matéria orgânica presente no sistema (METCALF, 2016).

$$\eta(\%) = \frac{S_0 - S}{S_0}.100 \qquad \text{Equação (1)}$$

sendo:

$\eta(\%)$ = Eficiência em porcentagem.

S_0 = Concentração de DBO na entrada do tratamento, em $mg.L^{-1}$.

S = Concentração de DBO na saída do tratamento, em $mg.L^{-1}$.

VARIANTES DO SISTEMA DE LODOS ATIVADOS

O sistema de lodos ativados passou por muitas adaptações desde sua primeira versão. Essas alterações são resultado de inovações, avanços tecnológicos e do aprofundado no conhecimento dos processos microbiológicos (METCALF, 2003).

Von Sperling (2014) expõe as principais configurações de operação do sistema de lodos ativados: convencionais, aeração prolongada (fluxo contínuo) e fluxo intermitente (reatores sequenciais por batelada) e neste trabalho são abordadas as variantes de lodos ativados sob aeração prolongada.

Os sistemas de tratamento de lodos ativados convencionais constituem-se de um decantador primário seguido de um tanque de aeração e um decantador secundário, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1: Representação esquemática de um sistema de lodos ativados convencional
FONTE: O autor (2021).

De acordo com Von Sperling (2014), o processo de lodos ativados com aeração prolongada funciona de maneira similar ao sistema convencional. Porém neste modelo a idade do lodo é classificada como elevada, com a permanência da biomassa por um período entre 18 e 30 dias. Metcalf (2016) discorre sobre a necessidade de tanques de aeração maiores se comparados ao sistema convencional. Em decorrência do longo tempo de permanência do lodo no sistema, a estabilização da matéria orgânica é feita no próprio reator.

Deste modo, não é necessária a presença do decantador primário e do biodigestor. O tempo de detenção hidráulica também é mais elevado do que o sistema convencional, entre 16 e 24 horas (VON SPERLING, 2014). A representação esquemática de um sistema de lodos ativados por aeração prolongada está demonstrada na Figura 2.

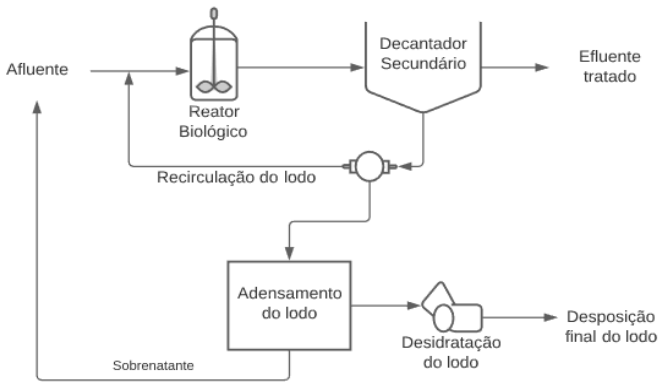


Figura 2: Representação esquemática de um sistema de lodos ativados por aeração prolongada
FONTE: O autor (2021).

METODOLOGIA UTILIZADA

Dentre as diversas ETEs que operam com sistema de lodos ativados por aeração prolongada no Brasil, foi escolhida uma que atendesse aos seguintes critérios:

- Estivesse no mínimo há 2 anos em operação. Neste caso, todas as unidades do sistema já estariam consolidadas e executadas conforme previstos em projeto;
- Possuísse dados operacionais do sistema disponível a fim de possibilitar a caracterização da qualidade do esgoto bruto e tratado;
- A empresa responsável pela operação aprovasse a utilização dos dados e recebesse positivamente a proposição de melhorias que foram destacadas neste estudo;

- Possuísse dados de um contexto geral do SES, contendo as características relevantes em termos de sistema de esgotamento sanitário.

A partir da escolha da ETE, deu-se início à caracterização. As premissas de projeto foram verificadas e os dados de operação e os parâmetros de qualidade do efluente bruto e tratado foram coletados, conforme descrito no Quadro 2. O período de coleta de dados foi de janeiro a setembro de 2019. As amostras para análises de qualidade foram coletadas mensalmente e analisadas em laboratório próprio da ETE.

Quadro 2: Dados da ETE selecionada levantados para a caracterização do sistema de lodos ativados.

Local de Coleta	Parâmetros de Qualidade	Unidade
Entrada do sistema de lodos ativados	Vazão de operação	$L.s^{-1}$
	Temperatura	ºC
Entrada e saída do sistema de lodos ativados	DQO	$mg.L^{-1}$
	DBO_5	$mg.L^{-1}$
	OD	$mg.L^{-1}$
	Turbidez*	NTU

* Os dados de Turbidez foram coletados também na saída do decantador secundário.
FONTE: O autor (2021).

Os parâmetros de operação e de qualidade da ETE e do reator de lodos ativados foram analisados em termos de valores médios. A eficiência do sistema de lodos ativados por aeração prolongada na ETE escolhida foi avaliada em termos de remoção de matéria carbonácea (DBO_5 e DQO), turbidez e aumento de OD. Os dados coletados foram tratados estatisticamente com o auxílio do *software* Minitab®.

RESULTADOS OBTIDOS

A ETE que se enquadrou nos critérios para o estudo de caso foi a ETE Manguinhos. A ETE Manguinhos entrou em operação no ano de 2010, sendo a empresa Odebrecht Ambiental a responsável pela operação até o ano de 2014. A Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) é a empresa encarregada pela operação e implantação de melhorias do sistema até o ano de 2023. A partir de 2023 a operação será assumida, por meio de concessão privada, pela empresa Serra Ambiental pertencente ao grupo AEGEA, a qual terá controle da operação do sistema até o ano de 2049.

O sistema de esgotamento sanitário (SES) de Manguinhos localiza-se na Avenida Brasil (Longitude UTM 372.621mE e Latitude UTM 7.764.836mS, Zona 24) no município de Serra, no estado do Espírito Santo e ocupa uma área total de 3,05 hectares sendo o seu perímetro integralmente delimitado por cerca e com toda a área com iluminação por postes e refletores. Ela opera 24 horas por dia e possui um operador em cada turno (3 turnos por dia) e um supervisor. Aos fundos do terreno há uma área para ampliação futura da ETE. As principais unidades componentes da ETE Manguinhos são:

I. Casa de operação: composta pelo laboratório, banheiro, vestiário, cozinha e depósito).
II. Tratamento preliminar: gradeamento manual, desarenador do tipo ciclônico e calha Parshall.
III. Tratamento biológico: sistema de lodos ativados de aeração prolongada, o qual opera em série e contém tanques de aeração e decantadores secundários.
IV. Adensador de lodo: centrífugas;
V. Desinfecção por ultravioleta (UV), e calha Parshall na saída do efluente tratado.

Na Figura 3 se observa o fluxograma da ETE Manguinhos. O processo se inicia com a entrada do esgoto bruto no sistema por meio de 3 canais e segue para o tratamento preliminar.

Os equipamentos do tratamento preliminar foram construídos elevados com o intuito de assegurar que todo o fluxo ao longo das unidades da ETE Manguinhos seja por gravidade e os sólidos retidos nas grades sejam transportados por uma correia até uma caçamba. Nos três canais de entrada estão instaladas grades grossas com abertura de 5 cm. Posteriormente, há uma peneira automatizada com abertura de 3 mm que atualmente se encontra desativada e sem condições de recuperação. Um dos três canais foi projetado para ser reserva, no qual foi instalada uma grade de limpeza manual, com abertura de 10 mm.

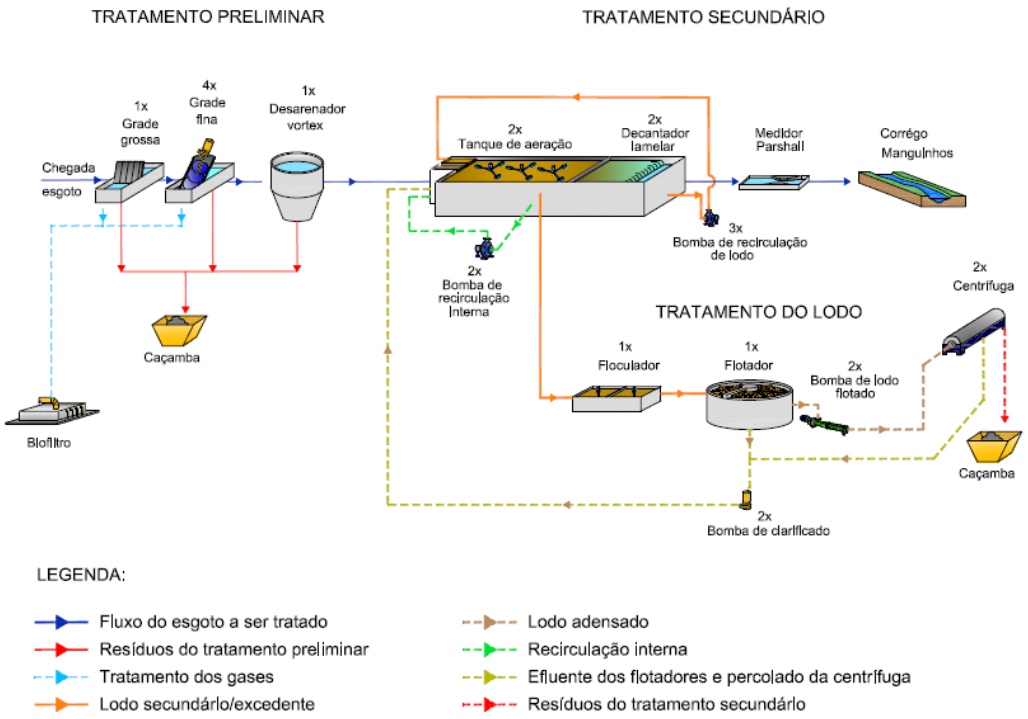


Figura 3: Fluxograma da ETE Manguinhos.
FONTE: Serra Ambiental (2015).

Após o gradeamento, o esgoto sanitário é encaminhado ao sistema desarenação e remoção de gordura (não indicados na Figura 3). A areia acumulada no fundo do desarenador é removida por parafuso tipo rosca sem fim e acondicionado em caçamba. Após a desarenação e a remoção de gordura, o esgoto é encaminhado para o sistema de lodos ativados por meio de duas câmaras de partição de vazões, sendo uma para cada tanque de aeração.

O desarenador possui fluxo induzido por uma turbina instalada no fundo do tanque. Quando há areia retida no fundo do tanque há o risco de ocorrer o travamento da turbina, impossibilitando o funcionamento do equipamento. A areia retida no tanque é removida para uma caixa ao nível do fundo de desarenador. Posteriormente, o material é transportado para uma caçamba. Durante a visita, verificou-se que este sistema estava inoperável e que areia do desarenador era retirada por caminhões tipo limpa fossa.

A ETE Manguinhos foi projetada como um sistema de lodo ativados operando com aeração intermitente, ou seja, sem zonas anóxicas em separado. Segundo relatos dos colaboradores da ETE, funcionou até 2015 conforme o projeto inicial. Posteriormente, em vista de alguns problemas operacionais o processo biológico foi modificado com a implantação de câmara anóxica na parte inicial dos reatores biológicos objetivando a remoção de material nitrogenado.

As câmaras de partição de vazão de cada tanque de aeração recebem também as correntes de recirculação interna do tanque de aeração. As câmaras foram projetadas para atender capacidade nominal de 100 a 200% da vazão média da ETE, ou seja, 222 $L.s^{-1}$ (799,2 $m^3.h^{-1}$). A soma de vazões é distribuída junto ao fundo do tanque de aeração mediante uma tubulação perfurada sob diâmetro nominal (DN) de 600 mm.

Com o propósito de maximizar a remoção de nitrogênio, o lodo interno é recirculado por meio da estação elevatória de recirculação interna. Ele é transportado a partir da saída do reator (parte aeróbia) até a entrada do sistema, localizada na câmara de partição. A estação elevatória de recirculação interna de lodo possui duas bombas, sendo uma em operação e outra reserva, cada uma com capacidade unitária de vazão de 165 $L.s^{-1}$ (594 $m^3.h^{-1}$). Ambas possuem inversores de frequência para flexibilizar a operação. As bombas operam sob vazão de 85 $L.s^{-1}$ (306 $m^3.h^{-1}$), o lodo é transportado até o início do sistema por meio de uma tubulação de DN de 400 mm. O excesso de lodos é removido do processo e encaminhado ao tratamento de lodos (fase sólida) por meio de uma tubulação de DN de 150 mm.

As bombas das estações elevatórias de lodo interno e secundário operam intercaladamente a fim de garantir a preservação da vida útil de ambas. Além disso, a bomba reserva é necessária em casos de eventuais problemas que podem ocorrer com a bomba em operação, como também em momentos em que ocorrem os picos de vazão.

A aeração no sistema de lodos ativados da ETE Manguinhos é realizada por meio de aeradores mecanizados submersos, os quais transferem oxigênio na faixa de 1 a 1,2 $kgO_2.kW^{-1}$ por aerador. O sistema de aeração é composto por 19 aeradores mecânicos, os quais estão distribuídos de forma inadequada, pois um tanque contém 10 e o outro 9 aeradores. O tempo de aeração e a idade do lodo previstos em projeto são de 12,35 horas e 18,7 dias, respectivamente.

Após o tratamento nos reatores de lodos ativados, o esgoto segue para os decantadores secundários. Cada decantador possui vazão unitária de 56 $L.s^{-1}$ (201,6 $m^3.h^{-1}$), totalizando uma capacidade de tratamento a uma vazão de aproximadamente 111,0 $L.s^{-1}$ (399,6 $m^3.h^{-1}$). Os decantadores são do tipo lamelares. Neste modelo de decantador, o efluente é recolhido em calhas, obtidas por intervenção em tubos perfurados originalmente implantados na superfície.

De acordo com a equipe operacional da ETE, os decantadores lamelares frequentemente apresentam disfunções como, por exemplo, a constante perda de sólidos suspensos. Deve-se ressaltar que esse modelo de decantadores possui um aspecto negativo quanto à manutenção, pois requer limpeza periódica das lamelas. Para isso é necessário interromper o funcionamento de um dos decantadores, o que pode ser prejudicial à qualidade do efluente por sobrecarregar o único decantador em operação. Além disso, foi possível notar durante a visita que os tubos perfurados dos decantadores apresentavam entupimentos.

O lodo sedimentado no fundo de cada decantador é removido por 3 tubulações perfuradas e encaminhado para a caixa distribuidora de vazão dos reatores. Esta configuração permite que, independentemente de qual seja a situação de operação dos decantadores, sempre ocorrerá à mistura total dos lodos retornados com o efluente a ser tratado.

O lodo que retorna ao reator é transportado por meio de uma tubulação de ferro dúctil de DN de 300 mm. O lodo é bombeado com auxílio da estação elevatória de recirculação de lodos secundários. Este processo tem a finalidade de aumentar a eficiência do sistema, pois o lodo depositado no fundo do decantador secundário possui uma elevada concentração de micro-organismos, os quais são capazes de estabilizar a matéria orgânica no reator. A estação elevatória de recirculação de lodos secundários possui 3 bombas, duas delas operando a uma vazão de 52 $L.s^{-1}$ (187,2 $m^3.h^{-1}$) no total e uma reserva (02+01R). As bombas possuem altura manométrica de 6,5 mca, uma capacidade unitária de vazão de 47 $L.s^{-1}$ (169,2 $m^3.h^{-1}$) e inversores de frequência, o que torna a operação flexível. As bombas operam em conjunto a uma vazão de 52 $L.s^{-1}$.

Após passar pelos decantadores secundários, o esgoto tratado segue por uma calha Parshall, que contém medidores de vazões, até o sistema de desinfecção por ultravioleta (UV). Em seguida o esgoto é lançado no corpo receptor por meio de uma tubulação de concreto, com DN de 800 mm, instalada na saída do canal da desinfecção (última etapa de tratamento). O efluente tratado é transportado por gravidade, sob declividade de 3% até o Córrego Manguinhos.

Na Figura 4 é mostrada uma vista geral do sistema de lodos ativados por aeração prolongada e seus reatores da ETE Manguinhos.



Figura 4: À esquerda vista geral do sistema de lodos ativados por aeração prolongada e à direita seus dois reatores existentes em operação da ETE Manguinhos.
FONTE: O autor (2019).

Na Tabela 1 estão mostradas as concentrações médias de entrada e saída do sistema de DBO_5 medidas de janeiro a setembro de 2019 na ETE Manguinhos.

Tabela 1: Concentração média, desvio padrão, valores mínimos, máximos, medianas e intervalo de confiança (IC) de 95% das médias de DBO_5 ($mg.l^{-1}$) na entrada e saída do sistema de lodos ativados ao longo dos meses de coleta.

Mês		Média	Desvio Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo	95% IC para média
Janeiro	**Entrada**	312,1	153	162,7	297,6	567,2	(122,1; 502,1)
	Saída	77,1	40,4	26,5	71,9	123,9	(27,0; 127,3)
Fevereiro	**Entrada**	354,7	157,1	206,2	321,5	569,4	(104,6; 604,7)
	Saída	74,2	46,1	29	71,2	125,5	(0,8; 147,6)
Março	**Entrada**	289,4	92,2	221,5	255,7	424,7	(142,6; 436,1)
	Saída	42,6	33,5	17,9	30,6	91,3	(-10,7; 95,9)
Abril	**Entrada**	255,1	102,9	109	287,8	335,7	(91,4; 418,8)
	Saída	43,4	19,9	23,32	39,7	70,81	(11,72; 75,04)
Maio	**Entrada**	267,8	90,8	169,4	246,9	443,1	(183,8; 351,8)
	Saída	52,6	30,8	9,7	58,9	101	(24,1; 81,0)
Junho	**Entrada**	245,2	101,8	86,2	275,9	339,3	(118,8; 371,7)
	Saída	49,28	20,14	31,03	45,25	80,15	(24,27; 74,29)
Julho	**Entrada**	258,4	117,1	97,3	241,5	415,7	(113,0; 403,8)
	Saída	35,1	23,8	5,8	32,6	59	(5,5; 64,7)
Agosto	**Entrada**	308,4	83,3	188,5	321,5	432,6	(220,9; 395,8)
	Saída	48,2	14,66	36,68	43,93	77,32	(32,81; 63,59)
Setembro	**Entrada**	261,3	129,3	121,7	229,8	415,6	(100,8; 421,8)
	Saída	47,3	22,7	14,7	47,6	78,7	(19,1; 75,6)

FONTE: O autor (2021).

Na Tabela 2 estão mostradas as concentrações médias de entrada e saída do sistema de DQO medidas de janeiro a setembro de 2019 na ETE Manguinhos.

Tabela 2: Concentração média, desvio padrão, valores mínimos, máximos, medianas e intervalo de confiança (IC) de 95% das médias de DQO (mg.l^{-1}) na entrada e saída do sistema de lodos ativados ao longo dos meses de coleta.

Mês		Média	Desvio Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo	95% IC para média
Janeiro	**Entrada**	421,7	213,7	196,5	417,7	755,9	(156,4; 687,0)
	Saída	99,3	56,7	32	82,9	171,7	(29,0; 169,7)
Fevereiro	**Entrada**	487,3	126,8	361,1	485,9	614,8	(172,1; 802,4)
	Saída	106	52,5	48,1	119,8	150,2	(-24,3; 236,4)
Março	**Entrada**	358,1	123,5	281,1	304,5	542,5	(161,6; 554,6)
	Saída	64	61	28,2	36,2	155,2	(-33,1; 161,1)
Abril	**Entrada**	439,6	194,5	214	433,9	676,7	(130,1; 749,2)
	Saída	67,7	43,2	21,9	62,6	123,7	(-1,0; 136,4)
Maio	**Entrada**	409,6	169,5	260,6	377,7	699,2	(199,1; 620,1)
	Saída	96,5	51,9	59	78	185,1	(32,0; 160,9)
Junho	**Entrada**	368,9	84,8	277,9	382,9	445,8	(158,2; 579,6)
	Saída	87,6	37,9	50,8	85,7	126,5	(-6,5; 181,8)
Julho	**Entrada**	353,1	165,4	147,8	314,9	599,3	(147,8; 558,5)
	Saída	79,5	55,5	13,9	75,8	139,4	(10,6; 148,4)
Agosto	**Entrada**	373,3	57,3	319,5	362,1	449,4	(282,1; 464,5)
	Saída	108,6	34,4	64,5	114,1	141,8	(53,9; 163,4)
Setembro	**Entrada**	346	134,3	156,2	330,7	498,8	(179,2; 512,8)
	Saída	77,1	32,9	27,5	77,4	118	(36,2; 118,0)

FONTE: O autor (2021).

Na Tabela 3 estão mostrados os resultados de eficiência de remoção de DBO_5 e DQO do sistema.

Tabela 3: Concentrações de DBO_5 e DQO na entrada e saída do sistema de lodos ativados, em mg.l^{-1}, a relação DQO/DBO_5 e a eficiência de remoção do sistema no período de janeiro a setembro de 2019.

Mês		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Média Período
Entrada do Sistema	**S_0 DBO_5** (mg.L^{-1})	312,1	354,7	289,4	255,1	267,8	245,2	258,4	308,4	261,3	**282,4**
	S_0 DQO (mg.L^{-1})	421,7	487,3	358,1	439,6	409,6	368,9	353,1	373,3	346	**392,2**
	DQO/DBO_5	1,35	1,37	1,24	1,72	1,53	1,5	1,37	1,21	1,32	**1,39**
Saída do Sistema	**S DBO_5** (mg.L^{-1})	77,2	74,2	42,6	43,4	52,6	49,3	35,1	48,2	47,3	**52,05**
	S DQO (mg.L^{-1})	99,3	106	64	67,7	96,5	87,6	79,5	108,6	77,1	**86,96**
	DQO/DBO_5	1,29	1,43	1,5	1,56	1,83	1,78	2,26	2,25	1,63	**1,67**
η(%) de remoção de DBO_5		75,28%	79,08%	85,28%	82,99%	80,38%	79,90%	86,42%	84,37%	81,88%	**81,57%**
η(%) de remoção de DQO		76,45%	78,25%	82,13%	84,60%	76,44%	76,25%	77,49%	70,91%	77,72%	**77,83%**

Na Figura 5 estão ilustrados os valores de DBO5 e DQO ao longo dos meses avaliados da ETE Manguinhos.

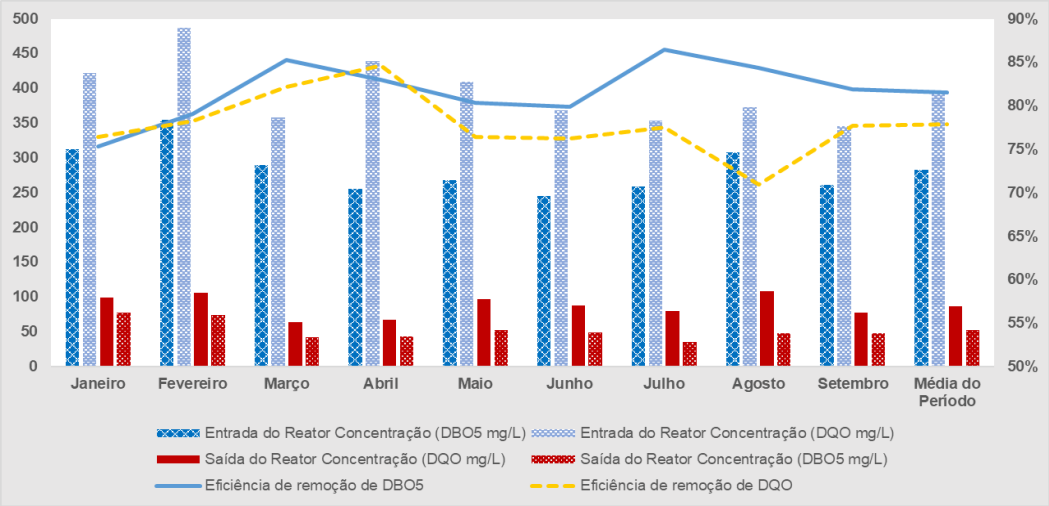


Figura 5: concentrações de DBO_5 e DQO, em $mg.l^{-1}$, na entrada e saída do sistema de lodos ativados e a eficiência de remoção de substrato do sistema.
FONTE: O autor (2021).

Para a remoção de DBO_5 e de DQO, as eficiências médias do período de estudo foram de 81,57% e 77,83%, respectivamente. Se percebe que a eficiência de remoção de DBO_5 foi inferior ao intervalo de 85 a 98%, descrito pelos autores Jordão e Pessoa (2011), Metcalf (2016), Von Sperling (2016), Samiotis et al. (2018), Qasim e Zhu (2017) e WEF (2010).

Importante destacar que a eficiência de qualquer variante do processo de lodos ativados está diretamente associada ao desempenho do decantador secundário, pois se houver perda de sólidos no efluente final, ocorrerá a deterioração da qualidade do efluente, independentemente do bom desempenho do sistema biológico na remoção de DBO_5.

Na Tabela 4, mostra-se a estatística descritiva para os dados de vazão do afluente coletado e as vazões médias mensais podem ser avaliadas na Figura 6. Se constata que a vazão média do período é de 66,96 $L.s^{-1}$ apesar do sistema possuir capacidade média de vazão projetada de 111 $L.s^{-1}$. Ou seja, em termos de vazão, opera-se abaixo da capacidade projetada. No período avaliado, o mês com menor vazão foi o de junho, com vazão média 54,44 $L.s^{-1}$ e os meses com maior vazão foram os meses de janeiro e fevereiro, com vazão média de 75,2 $L.s^{-1}$ e 75,94 $L.s^{-1}$, respectivamente.

Tabela 4: Variações média, desvio padrão, mínimas, medianas e máximas das vazões ($l.s^{-1}$) em cada mês da ETE Manguinhos e seus respectivos intervalos de confiança (IC) de 95%.

Período	Média ($L.s^{-1}$)	Desvio Padrão	Mínimo ($L.s^{-1}$)	Mediana ($L.s^{-1}$)	Máximo ($L.s^{-1}$)	95% IC para média
Janeiro	75,2	6,01	63,28	74,23	86,29	(73,00; 77,40)
Fevereiro	75,94	18,27	51,93	71,18	130,32	(68,85; 83,03)
Março	64,95	13,66	32,92	68,29	87,77	(59,94; 69,96)
Abril	63,58	18,56	22,6	66,87	98,69	(56,65; 70,51)
Maio	65,17	11,51	37,49	66,7	93,69	(60,95; 69,39)
Junho	54,44	21,03	21,29	49,43	89,49	(46,59; 62,29)
Julho	63,77	4,151	56,39	63,346	79,098	(62,247; 65,293)
Agosto	74,46	12,84	48,19	75,74	106,4	(69,75; 79,17)
Setembro	65,43	9,25	40,74	67,27	84,33	(61,98; 68,88)
Período	**66,96**	**15,12**	**21,29**	**68,355**	**130,32**	**(65,157; 68,761)**

FONTE: O autor (2021).

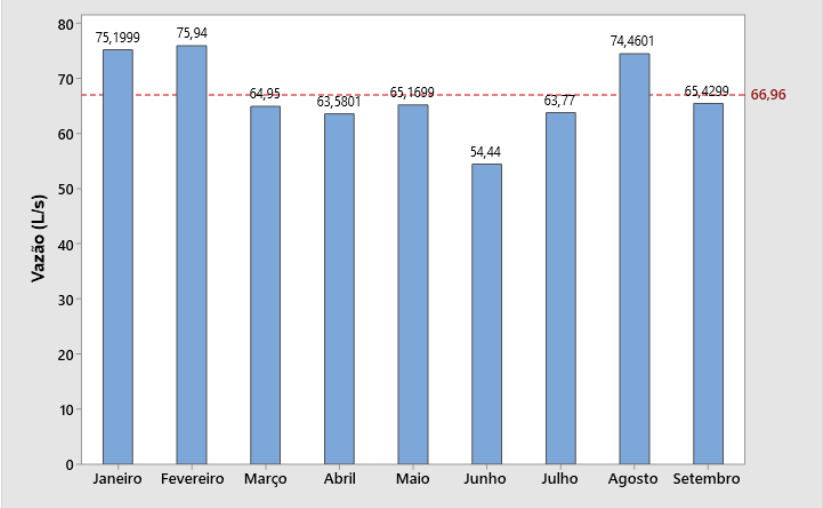


Figura 6: Vazões médias mensais (l.s^{-1}) do afluente da ETE Manguinhos.
FONTE: O autor (2021).

Como se observa na Figura 7, a temperatura ambiente média foi de 25,73 °C, sendo a temperatura mínima e máxima iguais a 22,21 e 28,65 °C, respectivamente. Os resultados na entrada do reator variaram entre 25,5 e 29,5 °C obtendo-se um valor médio de 27,4°C. No que tange aos valores de temperatura do esgoto na saída dos reatores, variaram entre 26,2 e 30,4 °C obtendo-se um valor médio de 28,1 °C.

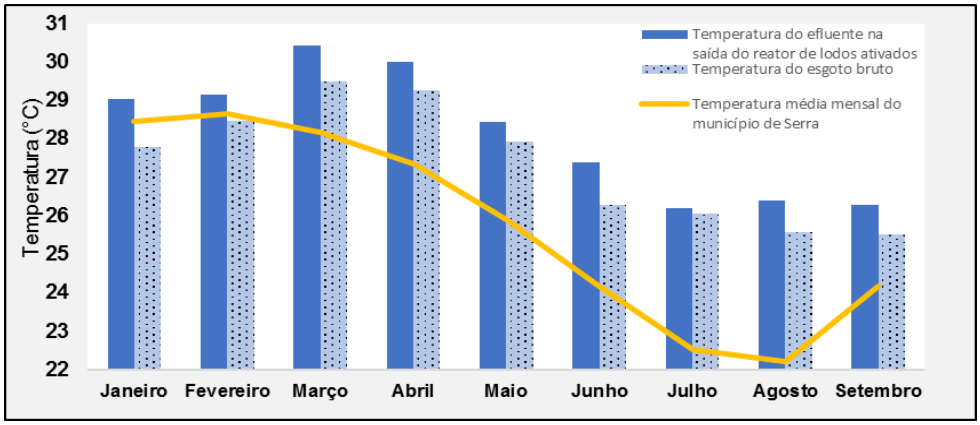


Figura 7: Temperatura de esgotos sanitários na entrada e saída do reator de lodos ativados proveniente da ETE Manguinhos em °C.
FONTE: O autor (2021).

A avaliação das temperaturas do efluente a ser tratado é importante para evitar erros de dimensionamento da ETE, principalmente do sistema de aeração dos reatores de lodos ativados. Isto porque a concentração de OD no sistema pode ser influenciada negativamente pelo aumento de temperatura. Por isso, para o desenvolvimento de um projeto do sistema de aeração, considera-se a temperatura máxima obtida no período analisado. Para o restante dos cálculos se utiliza a temperatura mais baixa ao longo do período, com o intuito de avaliar um cenário mais crítico, pois a qualidade do efluente tratado diminui com o decréscimo da temperatura devido à menor taxa metabólica dos micro-organismos.

Na Figura 8, pode-se perceber que a remoção de turbidez do sistema preliminar de esgoto possui eficiências muito próximas ao longo dos meses, mantendo-se praticamente constantes em torno de 40%. Porém, a eficiência do sistema de lodos ativados, constituído pelo reator e decantador secundário, é bastante variável, com eficiências abaixo de 20% para alguns meses e acima de 40% para outros. Com isso, a eficiência global do sistema também sofre variações, entre 51,26% e 80,66%.

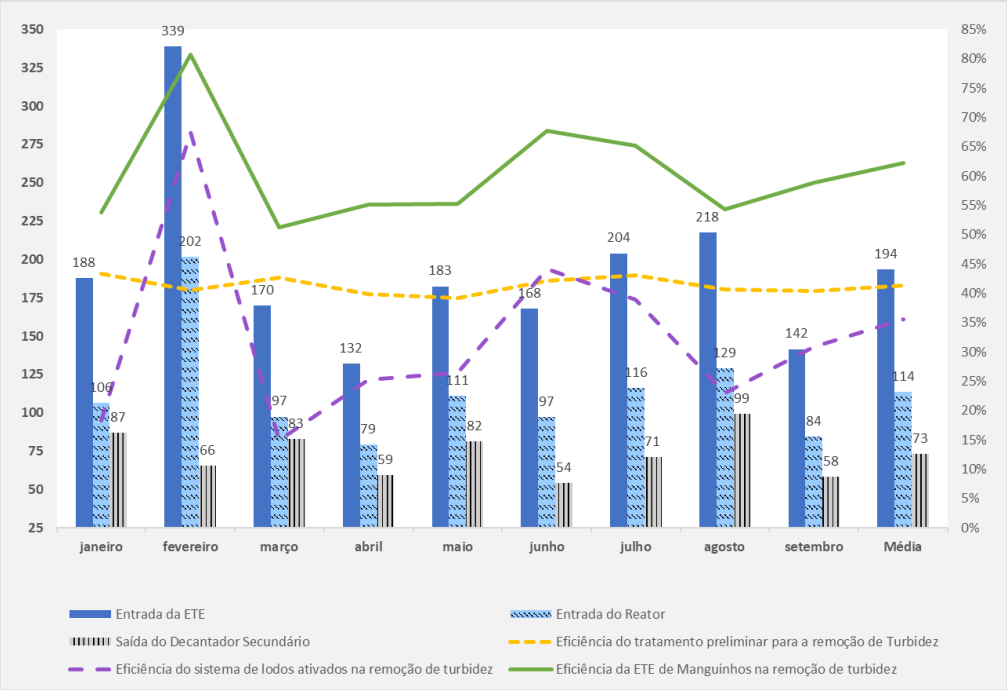


Figura 8: Valores médios mensais de turbidez na entrada da ETE, entrada do reator e saída do decantador secundário e as eficiências de remoção de turbidez no tratamento preliminar, do sistema de lodos ativados e da ETE.
FONTE: O autor (2021).

A variação de eficiência da etapa de lodos ativados pode ser atribuída aos decantadores secundários que apresentavam problemas operacionais no período avaliado neste estudo o que impactou na quantidade de SST no efluente, conforme constatado na visita à ETE. Para a ETE Manguinhos a eficiência de remoção de turbidez foi de 35,7% no sistema de lodos ativados, abaixo de valores obtidos pela literatura entre 62 a 90% (CAPODICI et al., 2019; REIJKEN et al., 2018; QASIN; ZHU, 2017), pois os decantadores operam sobrecarregados.

Na Figura 9, são mostrados os resultados obtidos para a análise de OD para a entrada e saída do sistema de lodos ativados, entre o período de janeiro a setembro de 2019. Na entrada do sistema, as análises demonstraram valores entre 0,68 e 1,78 $mg.L^{-1}$, um valor médio de 1,30 $mg.L^{-1}$. Na saída do sistema estes valores ficaram entre 1,01 e 3,23 $mg.L^{-1}$ e um valor médio de 2,08 $mg.L^{-1}$ para o período.

Segundo Metcalf e Eddy (2016), para degradação do material carbonáceo a concentração usual de OD deve ser de no mínimo 2 $mg.L^{-1}$. Já para a ocorrência de nitrificação a concentração ideal de OD é de 3 a 4 $mg.L^{-1}$. Desse modo, a quantidade de OD presente no tanque de reação não é suficiente para remover uma quantidade adequada de matéria carbonácea e nitrogenada da água residuária.

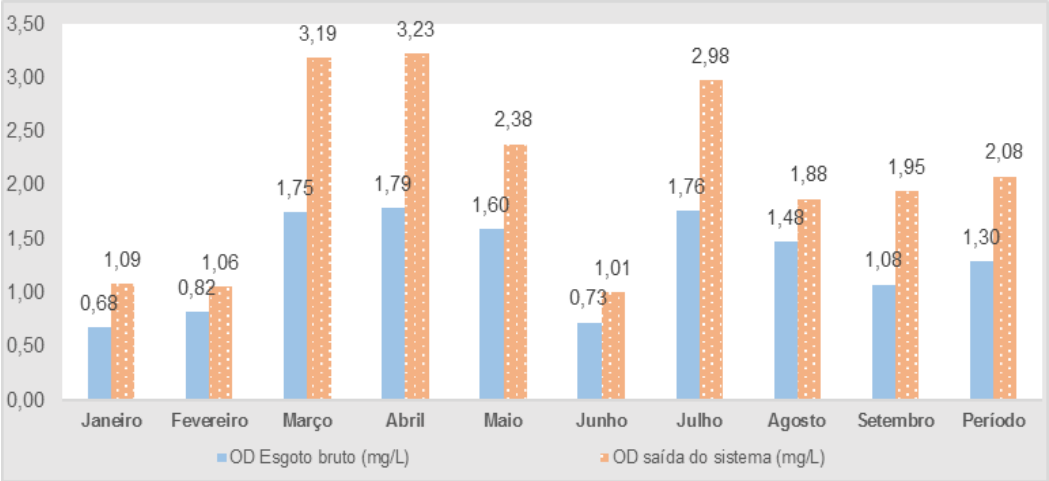


Figura 9: concentrações de OD na entrada e saída do sistema de lodos ativados em mg.l^{-1}.
FONTE: O autor (2021).

Bueno et. al. (2020) destacam que as bactérias nitratadoras parecem apresentar maior sensibilidade em baixas concentrações de OD (0,5 mg.L^{-1}). Queiroz (2006), por meio de um estudo realizado sobre a influência da concentração de OD na eficiência da remoção de nitrogênio, constatou que com a limitação de oxigênio, além de não aumentar o acúmulo de nitrito, a eficiência de remoção de NH_4 foi reduzida.

O controle da concentração de OD é crucial, uma vez que determina os processos dominantes no reator. A alta concentração de OD inibe a desnitrificação, ao passo que uma baixa concentração de OD causa uma limitação de oxidação da amônia (ZIELINSKA et al., 2012; HIDAKA et al., 2002). Baixas concentrações de OD afetam mais significativamente as velocidades de crescimento dos micro-organismos responsáveis pela oxidação do nitrito do que dos que oxidam a amônia (BERNET et al., 2001). Zoppas et al. (2016) afirmam que as bactérias desnitrificantes contêm enzimas que são inativadas na presença de OD excessiva. No entanto, apesar de aumentar a eficiência do processo, o fornecimento de maiores concentrações de OD por meio dos aeradores, causa um aumento no custo operacional, devido ao maior consumo de energia para manter os aeradores em maior potência. Também, a turbidez poderá se elevar devido à grande turbulência causada pelos aeradores o que pode resultar na quebra dos flocos.

O aumento da temperatura pode contribuir para a diminuição de concentração de OD do esgoto bruto. Por isso, é importante a coleta os dados de temperatura do ambiente quando se avalia a OD, pois isto garante maior confiabilidade na análise do efeito da temperatura sobre a concentração de OD.

A região de Manguinhos possui diversos restaurantes, que por sua vez, poderiam ser as responsáveis por estes lançamentos na rede coletora de esgotos sem tratamento prévio. As quantidades elevadas de nitrogênio no esgoto afluente à ETE requerem uma maior demanda de oxigênio como também um maior consumo de alcalinidade para a nitrificação. Isso pode dificultar a operação do sistema de lodos ativados, pois caso o mesmo não tenha alcalinidade suficiente para nitrificação, o pH reduzirá e assim comprometerá suas estruturas, ocorrendo corrosão e incrustação das unidades.

CONCLUSÕES

A ETE selecionada para o estudo de caso foi a ETE Manguinhos situada em Serra/ES, que possui capacidade máxima de projeto de 111 L.s^{-1}, operando durante o período do estudo sob uma vazão média de 66,99 L.s^{-1}. Nos meses de janeiro e fevereiro foram encontradas as maiores vazões no sistema e a temperatura do efluente permaneceu durante todo o período durante a faixa ideal para tratamento, favorecendo o crescimento microbiano no reator.

O parâmetro de qualidade de turbidez apresentou eficiência de remoção de 35,7% no sistema de lodos ativados valor abaixo do esperado pois os decantadores operam sobrecarregados.

As eficiências médias de remoção de DBO_5 e DQO da ETE foram de 81,57% e 77,83%, respectivamente, fora do desejável logo que um sistema de lodos ativados com aeração prolongada possui eficiência entre 85% e 98%. O que indicou que o sistema de lodos ativados da ETE Manguinhos, no período deste estudo, não estava tratando o efluente de forma adequada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALÉM SOBRINHO, P. Estudo dos fatores que influem no processo de lodos ativados – determinação de parâmetros de projeto para esgotos predominantemente domésticos. Revista DAE, v.132, p.49-85, 1983.
2. BERNET, N.; DANGCONG, P.; DELGENES, J.P.; MOLETTA, R. Nitrification at low oxygen concentration in biofilm reactor. Journal of Environmental Engineering, v. 127, n. 3, p. 266-271, 2001.
3. BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> Acesso em: 15 de maio de 2021.
4. BUENO, R. F.; CAMPOS, F.; ALÉM SOBRINHO, P.; PIVELLI, R. P. Remoção biológica de nitrogênio por meio do processo de Nitrificação e Desnitrificação Simultâneas (NDS) em Lodo Ativado de Fluxo Contínuo. Revista DAE, São Paulo, v. 68, n. 222, p. 65-87, 2020.
5. BUI, X.; CHART, C., TAKAHIRO, F.; SUNITA, E. D. S. Water and Wastewater Treatment Technologies. Springer Singapore, 2019.
6. DO AMARAL, K. G. C., DE SANTI SOARES, J., RIETOW, J., & AISSE, M. M. ACV ambiental de ETE que emprega lodos ativados como pós tratamento de reator UASB. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 3, 2021.
7. FERREIRA, M. P.; GARCIA, M. S. D. Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana. Dignidade Re-Vista. v. 2, n. 3, p. 12, 2017.
8. HIDAKA, T.; YAMADA, H.; KAWAMURA, M.; TSUNO, H. Effect of dissolved oxygen conditions on nitrogen removal in continuously fed intermittent-aeration process with two tanks. Water Science and Technology, v. 45, n. 12, p. 181-188, 2002.
9. JENKINS, David; WANNER, Jiri (Ed.). Activated sludge-100 years and counting. IWA publishing, 2014.
10. JORDÃO, E.P.; PESSÔA, CA. Tratamento de Esgotos Domésticos. 6ª Ed – Rio de Janeiro, 2011.
11. LOO, Ramón Merino; VELÁZQUEZ, Aída. " optimization of activated sludge process through energy saving. XVI Wold water congress, IWRA, Cancun, 2017.
12. METCALF, E. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. Tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5ª Ed. – Porto Alegre: AMGH, 2016.
13. METCALF, EDDY I. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th rev. ed.New York, 2003.
14. PESSOA, A.D. Os sistemas de saneamento na cidade do Rio de Janeiro. Coletânea em Saneamento ambiental, série temática Recursos hídricos e saneamento, Vol. 2, 1ª Edição, Rio de Janeiro- RJ, 2012.
15. QASIM, S. R.; ZHU, G. Wastewater treatment and reuse, theory and design examples, volume 1: Principles and basic treatment. CRC Press, 2017.
16. QUEIROZ, L.M.; Estudo da remoção biológica de nitrogênio via nitrito utilizando fenol como fonte de carbono operando um reator em bateladas sequenciais (SBR) em escala piloto. 150f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
17. RAFATI, M.; PAZOUKI, M.; GHADAMIAN, H.; HOSSEINNIA, A.; JALILZADEH, A. Effect of operating parameters on the performance of wastewater treatment plant (Case study: The south of Tehran wastewater treatment). Advances in Environmental Technology, v. 4, n. 4, p. 211-221, 2018.
18. REVOLLAR, S.; MENESES, M.; VILANOVA, R.; VEGA, P.; FRANCISCO, M. Quantifying the Benefit of a Dynamic Performance Assessment of WWTP. Processes, Barcelona, v.8, n.2, p.206, 2020.
19. SAMIOTIS, G.; TZELIOS, D.; TRIKOILIDOU, E.; KOUTELIAS, A.; AMANATIDOU, E. Innovative Approach on Aerobic Activated Sludge Process towards more Sustainable Wastewater Treatment. In Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings, v.2, n.11, p.645, 2018.
20. SÁNCHEZ, O. Environmental engineering and activated sludge processes: models, methodologies, and applications. CRC Press, 2016.
21. SOUZA, T.P. Análise da aplicabilidade do software WRc STOAT em um sistema de tratamento de esgoto. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.
22. VON SPERLING, M. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. 2ªEd. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
23. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ªEd. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.
24. VON SPERLING, M. Lodos Ativados. 2ªEd. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

25. VON SPERLING, M. Princípios básicos de tratamento de esgotos. 2ªEd. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2016a.
26. WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Facilities development subcommittee; American society of civil engineers. Committee on water pollution management. Design of municipal wastewater treatment plants. Fifth Edition, Water Environment Federation, 2010.
27. ZIELINSKA, M.; BERNAT, K.; CYDZIK-KWIATKOWSKA, A.; SOBOLEWSKA, J.; WOJNOWSKA-BARYLA, I. Nitrogen removal from wastewater and bacterial diversity in activated sludge at different COD/N ratios and dissolved oxygen concentrations. Journal of Environmental Sciences, China, v. 24, n. 6, p. 990-998, 2012.
28. ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. Engenharia sanitária e ambiental: órgão oficial de informação técnica da ABES, v. 21, n. 1, p. 29-42, 2016.