



NARALUCE DE LIMA

**ESTABILIDADE DOS REATORES UASB DA ETE-UFLA EM
UM PERÍODO DA PANDEMIA COM REDUZIDA CARGA
ORGÂNICA**

**LAVRAS – MG
2021**

NARALUCE DE LIMA

**ESTABILIDADE DOS REATORES UASB DA ETE-UFLA EM UM PERÍODO DA
PANDEMIA COM REDUZIDA CARGA ORGÂNICA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Ronaldo Fia
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

NARALUCE DE LIMA

**ESTABILIDADE DOS REATORES UASB DA ETE-UFLA EM UM PERÍODO DA
PANDEMIA COM REDUZIDA CARGA ORGÂNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de
Bacharel.

APROVADO em 24 de novembro de 2021.

Prof. Dr. Ronaldo Fia

UFLA

Prof^a. Dr^a. Fátima Resende Luiz Fia

UFLA

MSc. Dyego Maradona Ataide de Freitas

UFLA

Prof. Dr. Ronaldo Fia
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal de Lavras por todo suporte para a realização desses bons anos de curso, me permitindo acesso a uma formação profissional de excelência e contribuindo muito para meu crescimento pessoal.

Ao prof. Dr. Ronaldo Fia pela orientação no trabalho desenvolvido. Sua ajuda foi de fundamental importância para que este pudesse ser apresentado.

À Diretoria de Gestão da Qualidade e Meio Ambiente/DQMA pelo apoio e parceria para realização desse trabalho e aos operadores da ETA e da ETE pela ajuda na coleta de amostras e em outras tarefas realizadas durante a execução do presente trabalho.

Agradeço aos meus pais e minha irmã, que me apoiaram e me deram suporte durante essa jornada.

Aos meus amigos, brejeiros e não brejeiros, por compartilharem os momentos de alegria e os perrengues da vida universitária. Obrigado por me manterem de pé, ou não...

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram ao longo dessa minha jornada na UFLA.

RESUMO

A Universidade Federal de Lavras tem sua própria estação de tratamento de efluentes a ETE-UFLA que recebe todo o efluente sanitário gerado no campus. A ETE-UFLA possui tratamento secundário composto por unidades de reatores UASB seguidos de FBAS. Com a pandemia de COVID-19, em março de 2020 foram suspensas as atividades acadêmicas e estabelecidas restrições de acesso ao campus e como consequência houve uma redução considerável no volume de efluentes produzido na UFLA. Essa redução ocasionou variações tanto na vazão como na concentração do esgoto tratado pela ETE. Surgiu então a necessidade do monitoramento da estabilidade e da eficiência dos reatores UASB operando sobre essa nova condição. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho dos reatores UASB, durante um período de 105 dias, com base nas variáveis pH, alcalinidade, acidez, DQO, sólidos totais e vazão. Foram coletadas amostras do afluente (elevatória) e efluente (saída dos 6 reatores) durante os meses de julho a outubro de 2021. O efluente sanitário gerado na UFLA durante o período avaliado possuiu características semelhantes ao efluente gerado em outros períodos avaliados. Os reatores operaram com uma reduzida COV ($0,068 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO) e um elevado TDH (19,3 dias). Observou um aumento na massa total de lodo presente nos reatores em termos de ST, mas a proporção de sólidos voláteis foi inferior, comparado a um período anterior à pandemia em fevereiro de 2018. Ocorreu o arraste de lodo, caracterizado pelo aumento da concentração de ST no efluente dos reatores, em relação ao afluente. Houve uma redução na eficiência de remoção de matéria orgânica em parâmetros de DQO com média de 6% de eficiência no período avaliado.

Palavras-Chave: Efluente sanitário; tratamento anaeróbio; Universidade Federal de

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	8
1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1. Processos de tratamento de efluentes.....	9
2.2. Digestão anaeróbia.....	9
2.3. Reatores UASB.....	10
2.4. Fatores que interferem no processo de tratamento	12
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
SEGUNDA PARTE – ARTIGO	19
MONITORAMENTO DOS REATORES UASB DA ETE-UFLA EM UM PERÍODO DE PANDEMIA DE COVID-19.....	20

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento comum a necessidade do tratamento de efluentes para minimização da poluição ambiental e a importância das estações de tratamento nesse processo. O efluente gerado na Universidade Federal de Lavras (UFLA) é tratado em uma estação de tratamento de efluentes (ETE) localizada no próprio campus, a ETE-UFLA. Tal estação tem como tratamento secundário reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo do tipo UASB, do inglês *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, seguido de filtro biológico aerado submerso - FBAS.

Os reatores UASB, são unidades de tratamento biológico de efluentes mais utilizadas no Brasil, pois apresenta características operacionais compatíveis com o clima, custos de implantação relativamente baixos, simplicidade operacional, baixo consumo energético e uma menor produção de lodo (CHERNICHARO, 2018).

A eficiência de tratamento de um reator UASB é influenciada por diferentes fatores ambientais, como temperatura, e operacionais, como as características da água residuária, a carga orgânica aplicada, bem como o manejo e descarte do lodo. As características da água residuária e a carga orgânica aplicada nos reatores afetam a formação do lodo favorecendo ou não a formação do lodo granular que proporciona um maior contato e favorece o desempenho do sistema (LETTINGA, 2014).

Com a redução da população no campus da UFLA durante o período de pandemia onde ocorreu a suspensão das atividades presenciais, e conseqüentemente a redução do volume de efluentes a ser tratado na ETE por um período prolongado, surge a preocupação com o desempenho e eficiência dos reatores UASB e a necessidade de um monitoramento e avaliação desses reatores. Uma vez que há redução do volume de efluentes há conseqüentemente que se analisar o funcionamento dele, com foco na carga orgânica, a influência do tempo de detenção hidráulica (TDH), e a estabilidade do reator em termos de degradação anaeróbia.

Segundo Alves (2015) o desempenho e a estabilidade dos reatores UASB podem ser avaliados por variáveis físico-químicas caracterizadas no afluente e efluente do reator. Dito isto, torna-se importante avaliar as condições operacionais dos reatores UASB da ETE-UFLA após longo período de redução da carga orgânica afluente e, possivelmente, da eficiência operacional do reator, com a finalidade de que tais informações possam constituir uma importante ferramenta de tomada de decisão para otimização dos parâmetros operacionais de projeto, principalmente quando houver restrição à produção de efluentes na UFLA.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento dos reatores UASB da ETE-UFLA em período de baixa população no campus, quando o volume de efluente que entra na estação é reduzido drasticamente, para se obter uma base de dados que auxilie na tomada de decisões operacionais na estação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Processos de tratamentos de efluentes

Ao se falar de efluentes domésticos é de conhecimento comum que o destino destes são geralmente águas de superfície (rios, riachos, lagos, pântanos, mares) ou subsolo, que atuam como corpos receptores. Desta forma, a matéria orgânica é transformada naturalmente em produtos inertes pelos corpos receptores. Dito isto, os processos de tratamento de esgoto buscam realizar procedimentos similares se utilizando de fenômenos básicos que já ocorrem na natureza e se baseiam principalmente na performance metabólica de microrganismos, com ênfase em bactérias e algas. Contudo, a maior diferença entre essas conversões da matéria orgânica para produtos inertes entre processos naturais dos corpos receptores para os tratamentos de esgoto é a realização em ambientes controlados (controle de eficiência) e em uma maior taxa (solução mais compacta, ocupando menores áreas) (FAEDO, 2010).

É válido ainda mencionar que o tratamento de efluentes circunda um encadeamento de procedimentos que visam realizar a transformação ou a retirada de matérias inadequadas, nas quais destacam-se processos biológicos em duas modalidades de oxidação, a anaeróbia e a aeróbia. Dentre estas modalidades existem diferentes unidades de tratamento, como exemplo: lodos ativados, filtros biológicos, lagoas de estabilização, valas de oxidação, reatores UASB, filtros anaeróbios, tanques sépticos e digestores de lodo (VON SPERLING, 2014).

2.2. Digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia consiste na degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio por microrganismos que transformam os compostos orgânicos complexos em produtos simples como dióxido de carbono e gás metano.

O processo de digestão anaeróbia pode ser dividido em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, nas quais atuam diferentes gêneros de microrganismos (CHERNICHARO, 2016).

Na hidrólise, as bactérias fermentativas transformam compostos orgânicos complexos como carboidratos, proteínas e lipídeos em compostos mais simples, açúcares, aminoácidos e ácidos graxos. Na etapa seguinte as bactérias fermentativas acidogênicas, oriundos da etapa anterior utilizam os produtos da hidrólise para a produção de ácidos orgânicos voláteis como o propionato, butirato e outros (BOHRZ, 2010).

Em seguida as bactérias acetogênicas degradam os subprodutos da fase anterior para produzir acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. O acetato e o hidrogênio produzidos nessa etapa são consumidos pelas arqueias metanogênicas acetoclásticas e as arqueias metanogênicas hidrogenotróficas, respectivamente, e são convertidos em metano e dióxido de carbono, formando o biogás (SALOMON, 2007).

Na última etapa do processo de degradação anaeróbia de compostos orgânicos, denominada metanogênese, é a etapa que origina a produção direta de metano e dióxido de carbono. A maior parte da produção do metano em sistemas anaeróbios é originária do acetato por meio do metabolismo das arqueias metanogênicas acetoclásticas, que depende da eficiente conversão da matéria orgânica em acetato (ALVES, 2015).

2.3. Reatores UASB

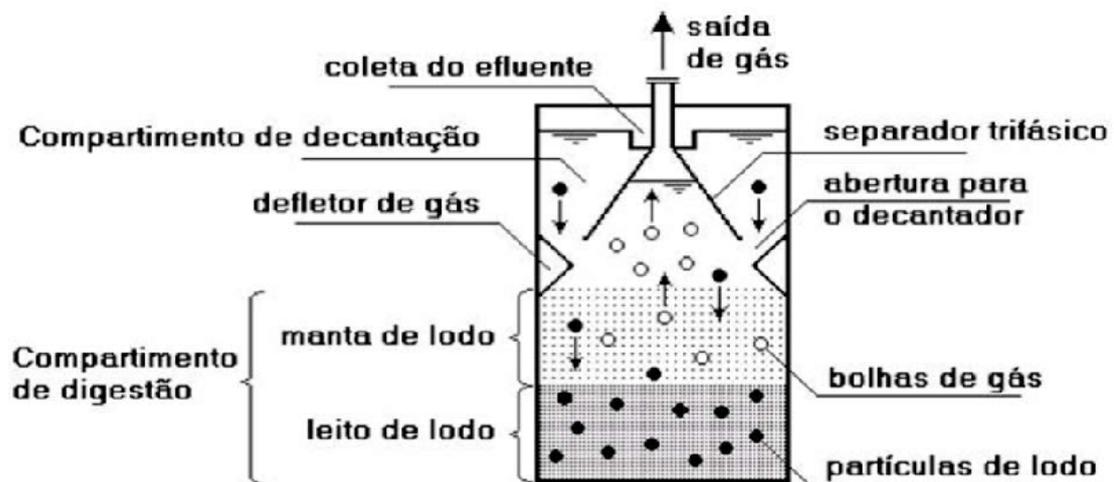
Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, do inglês UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), são a principal tendência atual de tratamento de esgotos sanitários no Brasil, como unidades únicas, ou seguidos de alguma forma de pós-tratamento (CHERNICHARO, 2018).

Os reatores do tipo UASB consistem em um tanque fechado no qual o efluente percorre um caminho ascendente até o topo do reator, permitindo maior contato com a biomassa de microrganismos que cresce dispersa por todo o corpo do reator, formando flocos e grânulos densos com alta resistência mecânica. Na parte superior do reator localiza-se um separador trifásico que proporciona a recuperação do biogás, a sedimentação dos sólidos, a biomassa, e a separação da parte líquida (CHERNICHARO, 2016).

Os reatores do tipo UASB são compostos por setores interdependentes, o compartimento de digestão, compartimento de decantação e separador trifásico. O compartimento de digestão é composto basicamente por duas partes, primeiro um leito de lodo, uma zona onde a biomassa bacteriana é mais densa com alta sedimentação onde o lodo já se encontra digerido ou em avançado estado de digestão. Em segundo, uma parte chamada de manta de lodo, onde a biomassa se encontra mais dispersa no líquido e com a presença de bolhas

de gás que auxilia no maior contato da biomassa com o efluente a ser tratado. A Figura 1, exemplifica esquematicamente um reator UASB:

Figura 1. Desenho esquemático de um reator UASB, com os principais compartimentos e partes construtivas.



Fonte: Chernicharo (2007).

Segundo Bittencourt e Paula (2014) é uma unidade de tratamento de efluentes que realiza a redução da carga orgânica por meio da decomposição anaeróbica do material orgânico, trabalhando conjuntamente com outras fases de tratamento, no caso da ETE-UFLA é o filtro biológico aerado submerso – FBAS, a unidade de pós-tratamento do reator UASB.

Vale ressaltar que o reator UASB é considerado uma unidade de tratamento de alta taxa, em que a biomassa é retida por um período maior que o tempo de detenção hidráulica (TDH). Ou seja, o efluente em tratamento passa pelo reator, mas a biomassa (lodo) permanece no reator por maior tempo. Isso se deve ao fato da sedimentação proporcionada pela configuração do sistema, devido ao decantador precedido por separador trifásico, que resulta diretamente na separação entre o biogás, a massa microbiana e o efluente líquido. Deste modo, há que se dizer que o escoamento do esgoto na unidade é ascendente, viabilizando tanto uma melhor relação de contato entre a biomassa e o substrato, quanto uma atividade mais efetiva da biomassa (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Um ponto importante a se mencionar é o ponto de partida das unidades de tratamento de efluentes, tendo em vista a complexidade dos processos biológicos realizados. Deste modo um reator UASB é afetado em sua estabilidade e eficiência por questões como fatores físicos,

químicos e biológicos, influenciados por questões como a características do esgoto, condições ambientais, condições operacionais (carga orgânica volumétrica - COV e TDH), bem como a viabilidade da população microbiana, quando esta é adicionada como inóculo, na partida do sistema (CHONG et al., 2012).

2.4. Fatores que interferem no processo de tratamento

Como mencionado, dentre os diversos fatores que afetam no processo de tratamento de efluentes, e nos reatores UASB em consequência, os fatores físico-químicos referem-se principalmente a temperatura operacional do reator, normalmente temperatura ambiente, o potencial hidrogeniônico - pH, a alcalinidade e a acidez do afluente ao reator e o comportamento destas variáveis durante o tratamento.

A temperatura atinge diretamente o metabolismo dos microrganismos, tanto em sistemas aeróbio ou anaeróbio. Dado que afeta a cinética do processo, interferindo nas mudanças específicas das reações enzimáticas e na difusão/utilização dos substratos. Isso ocorre, em decorrência de que os microrganismos não possuem meios de realizar o controle de sua temperatura interna, desta forma, correspondem às temperaturas determinadas com o ambiente externo (CHERNICHARO, 2007).

Quanto ao pH, há que se apontar que os processos de tratamento biológicos são também afetados, de forma direta ou indireta, posto que causa interferência na atividade microbiana e enzimática e na toxicidade de determinados compostos, particularmente o sulfeto de hidrogênio (AHMED; RODRÍGUEZ, 2018). Assim, a faixa de variação considerada ideal para a atividade microbiana é de 6 a 9 (METCALF; EDDY, 2016). Entretanto, alguns microrganismos mais especificamente as arqueias metanogênicas exigem valores mais restritos de pH para o desenvolvimento de suas atividades metabólicas, produção de metano e remoção de matéria orgânica do efluente em tratamento (CHERNICHARO, 2007).

Por último, dentro dos fatores físico-químicos, há que se mencionar a alcalinidade e os ácidos voláteis, que são muito importantes para o controle e a operação do reator anaeróbio. O impacto dessas duas variáveis na digestão anaeróbia, baseia-se no potencial da alcalinidade do próprio sistema, presente no efluente e gerado no sistema, em neutralizar os ácidos formados no processo, além de tamponar o pH, se houver uma acumulação de ácidos voláteis (LIMA, 2019). Assim, qualquer distúrbio na unidade de tratamento que venha acarretar o acúmulo de ácidos orgânicos no sistema e a consequente redução do pH, pela falta de alcalinidade, pode

levar à unidade de tratamento ao colapso operacional, com a perda efetiva da eficiência de tratamento.

Deste modo, se não houver o fornecimento de alcalinidade suficiente, ocorre a diminuição do pH gerando a possibilidade de ocorrer a inibição dos microrganismos metanogênicos, cuja faixa ideal de pH está entre 6,6 e 7,4 (METCALF; EDDY, 2016). Assim, destaca-se a importância e a magnitude de se realizar um controle permanente no sistema de tratamento de efluentes, indispensável sobre o pH, alcalinidade e acidez de forma a manter a eficiência do sistema de tratamento, principalmente dos reatores de alta taxa como o UASB.

Outros fatores que afetam o funcionamento do reator UASB, são os fatores operacionais, que se referem principalmente ao TDH, a velocidade do líquido dentro do reator (taxa de escoamento) e a carga orgânica volumétrica (COV) aplicada ao sistema de tratamento.

O TDH, é um fator operacional que indica o tempo em que o efluente é tratado passando por todo o processo biológico dentro do reator. Para o cálculo desse parâmetro considera-se a vazão afluyente ao reator, bem como o volume total do reator biológico (VON SPERLING, 2014).

A NBR 12.209/2011 (ABNT, 2011) recomenda diferentes faixas de TDH para reatores UASB (Tabela 1).

Tabela 1. Faixas recomendadas de TDH para reatores UASB.

Temperatura (°C)	Tempo médio (h)
15-17	≥ 10
18-21	≥ 8
22-25	≥ 7
>25	≥ 6

Fonte: ABNT (2011).

Por se tratar de um reator de alta taxa, o UASB apresenta mecanismos de retenção de lodo, como os defletores e o separador trifásico, reduzindo o TDH, tornando possível uma construção mais econômica do reator, e aumentando a retenção do lodo biológico, com aumento da eficiência de tratamento. De acordo com Jordão e Pessôa (2014) a idade do lodo observada em UASB é frequentemente superior a 30 dias. Após um período extenso de residência dos sólidos biológicos, há redução na produção de lodo, que é retirado da unidade de tratamento de forma digerida, com menor custo operacional para manejo do mesmo.

Outro fator que interfere diretamente no funcionamento do reator UASB, é a velocidade ascensional do efluente pelo reator (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Vale ressaltar que conforme apontado Metcalf e Eddy (2016) a velocidade ascensional, bem como o tempo de detenção hidráulica influenciam a remoção sólidos em suspensão, cujas variações são provenientes das características do esgoto, proporção de sólidos sedimentáveis, concentração de sólidos e outros fatores.

Para melhor compreensão, na Tabela 2 está demonstrada as velocidades ascensionais ideais em função das vazões observadas em um reator UASB para tratamento de esgotos domésticos, conforme estipulado na NBR 12.209 (ABNT, 2011).

Tabela 2. Velocidades ascensionais recomendadas para reatores UASB em função das vazões de projeto (máxima, média) observadas no reator.

Condição de vazão	Velocidade ascensional (m h ⁻¹)
Vazão média	< 0,7
Vazão máxima	< 1,2
Picos temporários (com duração entre 2 e 4h)	< 1,5

Fonte: ABNT (2011).

O último fator operacional a ser mencionado é a carga orgânica volumétrica, na qual pode ser entendida como a relação entre a quantidade de massa de matéria orgânica aplicada ao reator diariamente pela unidade de volume do mesmo. Vale ressaltar que, no que se refere ao reator UASB, o lodo desenvolvido é do tipo floculento o qual pode receber cargas orgânicas elevadas, alcançando até 15 kg m⁻³ d⁻¹ de DQO. Entretanto, esse valor só é alcançado para efluentes industriais. Normalmente, para atender aos valores de TDH recomendados pela NBR12.209, a COV aplicada ao reator UASB que trata efluentes domésticos e sanitários são inferiores a 3 kg m⁻³ d⁻¹ de DQO (CHERNICHARO, 2007).

Apesar de uma carga orgânica elevada ser prejudicial ao sistema de tratamento, no que se refere à possibilidade de causar um desequilíbrio operacional, interferindo diretamente no aumentos dos ácidos voláteis e redução do pH; valores reduzidos de COV aplicada ao reator limita o desenvolvimento microbiano, e quando da avaliação da cinética de degradação da matéria orgânica percebe-se ineficiência do sistema de tratamento, por falta de alimento para os microrganismos, tal como relatado por Lima (2019). O autor verificou que a COV aplicada em reatores UASB, a partir do esgoto sanitário da UFLA, proporcionou redução da eficiência

de tratamento e a não estabilização do sistema. Neste sentido, a carga orgânica deve ser observada, para que seja aplicada de maneira adequada aos processos biológicos, se atentando também a manutenção dos mesmos.

Diferentemente de uma ETE de uma cidade, que recebe efluentes diariamente, independente das restrições de circulação impostas pela pandemia, a ETE-UFLA sofreu uma forte restrição no recebimento dos efluentes sanitários dado o esvaziamento da Instituição devido à pandemia da COVID-19. Por isso, a importância de avaliar os reatores UASB para obter dados referentes à redução de eficiência e perda de material biológico por falta de alimento. Ressalta-se ainda que os dados coletados poderão servir de informação para tomada de decisão diante de eventos como esse, e diante da restrição de produção de efluentes durante os períodos prolongados de férias, que normalmente duram cerca de 60 dias.

2.5. Reatores UASB aplicados ao tratamento de efluentes sanitários

Os reatores do tipo UASB apresentam capacidade de remoção de matéria orgânica em termos de DQO em torno de 70%. (VON SPERLING, 2014). Em estudo realizado por Calijuri et al. (2009) no monitoramento de um reator UASB tratando esgotos sanitários, operados com TDH de 7h e obtiveram remoção média de 60% de DQO bruta. Já Mahmoud (2008) com um TDH em torno de 10 h e carga orgânica volumétrica de $3,35 \text{ g m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DOO, obteve média de remoção de DQO bruta de 54%. Xavier et al. (2020), aplicando uma carga orgânica de $0,549 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO com um TDH de 0,95 d (22,8h) o reator UASB tratando efluentes sanitários de obteve valores de remoção de DQO de 64%. Rissole (2004), após a fase de partida de um reator UASB em escala real tratando esgotos domésticos, obteve uma eficiência média de remoção de DQO de 63%, produzindo um efluente com teor médio de DQO de 316 mg L^{-1} .

Fialho (2019) verificou que os reatores UASB da ETE-UFLA, durante monitoramento em 2018, foram capazes de remover 50% da DQO e 8% dos ST, com TDH de 3,5 d em períodos de aulas e 5,7 d, no período de férias.

No estudo de estabilidade do reator, Rissole (2004) observou valores de pH variando de 6,5 a 7,0. A variável de alcalinidade apresentou um aumento na concentração do efluente, variando de 50% a 80%, em relação aos valores do afluente, com média de concentração no efluente do reator de variando de 112,6 a 251,6 mg L^{-1} . Para os valores de ácidos voláteis observou-se comportamento contrário onde constata-se valores na faixa de 60 a 100 mg L^{-1} no afluente e de 20 a 80 mg L^{-1} no efluente, e a relação AI/AP apresentou média de 0,26.

Moreira (2019) durante o monitoramento da partida de um reator UASB em escala real tratando esgotos doméstico com TDH de 9,3 h observou valores de pH efluente ao reator entre 7,1 e 7,6, com valor médio de 7,4, com temperatura variando entre 28,1 e 34,1°C. Quanto à alcalinidade total, os resultados obtidos revelaram média 349,7 mg L⁻¹ de CaCO₃, com valores mínimos e máximos respectivos de 231,9 e 421,6 mg L⁻¹ de CaCO₃. Já a concentração de ácidos voláteis apresentou valores que variaram entre 69,5 e 173,4 mg L⁻¹ de ácido acético, com média de 112,3 mg L⁻¹ de ácido acético.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para minimizar os impactos ambientais do lançamento de esgotos no ambiente, há necessidade de tratamento. Este pode ser realizado por diferentes unidades de tratamento, e no tratamento secundário, destaca-se o reator do tipo UASB, que além de remover a matéria orgânica, pode ainda gerar energia por meio do aproveitamento de metano gerado na degradação anaeróbia.

Destaca-se ainda que as unidades anaeróbias de tratamento como o reator UASB apresentam limitações quanto à remoção de nutrientes, e a remoção de matéria orgânica, normalmente, é conseguida em torno de 70%, para efluentes domésticos, o que demanda por unidades de pós-tratamento para atendimento à legislação ambiental vigente em Minas Gerais, e que dispõem sobre o lançamento de efluentes tratados em cursos d'água.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, W. RODRIGUES, J. **Modelling sulfate reduction in anaerobic digestion: Complexity evaluation and parameter calibration.** 1 March, Pages 255-262. 2018

ALVES, I. **Caracterização de grânulos de reator UASB empregado no processamento de vinhaça.** Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação e área de concentração em hidráulica e saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015. p. 23,24.

BRASIL (2011). Norma Brasileira nº 12.209 de 24 de dezembro de 2011. Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. **Agência Brasileira de Normas Técnicas.** Rio de Janeiro RJ. 2011.

BITTENCOURT, C; PAULA, M. A. S. D. **Tratamento de Água e Efluentes - Fundamentos de Saneamento Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. 9788536521770. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521770/>. Acesso em: 22 out. 2021.

BOHRZ, G. I. **Geração de metano em lagoa anaeróbia: um estudo de caso em abatedouro de bovinos**. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, 2010.

CHERNICHARO, C. A. L., BRESSANI-RIBEIRO, T., PEGORINI, E., POSSETTI, G. R. C., MIKI, M. K., NONATO, S. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 1: Tópicos de Interesse. **Revista DAE** – edição especial, v. 66, n. 214, p. 5-16, 2018.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte, UFMG. 2016.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, v. 5, 2007.

CHONG, S.; SEN, T.K.; KAYAALP, A.; ANG, H.M. The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment e a state-of-the-art review. **Water Research**, v. 11, n. 46, p. 3434-3470. 2012

FAEDO, A. M. **Tecnologias convencionais e novas alternativas para o tratamento de efluentes domésticos**. Florianópolis, 2010. Disponível em: http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/04/andreia_maria_faedo.pdf. Acesso em: 21 out. 2021.

JORDÃO, E P; PESSOA, C. A.; **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2014. 940 p.

LETTINGA, G. **My anaerobic sustainability story**. 2014. Disponível em: <https://research.wur.nl/en/publications/my-anaerobic-sustainability-story>. Acesso em: 22 out. 2021.

LIMA, L. C. **Tratamento do esgoto sanitário da Universidade Federal de Lavras, em estação piloto, objetivando sua caracterização, remoção de poluentes e cinética**. 2019. 179

p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras, 2019.

METCALF, EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Tradução: HESPANHOL, I.; MIERZWA, J.C. 5.ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980p.

MAHMOUD, N. High strength sewage treatment in a UASB reactor and an integrated UASB-digester system. **Bioresour. Technol**, v. 99, p. 7531–7538, 2008.

MOREIRA, Y. W. N.; LIMA, M. R. P.; JÚNIOR, J. L. O.; SILVA, P. B. A.; ALMEIDA, A. B. B. Partida de reator uasb em escala real no tratamento de esgoto doméstico em região de clima quente. **Revista DAE**, v. 68, p. 126-146, 2020.

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 2007. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, Itajubá, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. v. 1.

XAVIER, J. K. D. A. M., DE OLIVEIRA, M. L., SILVA, C. M., DE ANDRADE, C. C., & DE LIMA, Y. E. S. P. II-114-Pós-tratamento de efluente de reator UASB em filtro anaeróbio. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 13838-13847, 2020.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

MONITORAMENTO DOS REATORES UASB DA ETE-UFLA EM UM PERÍODO DE PANDEMIA DE COVID-19

RESUMO

A Universidade Federal de Lavras tem sua própria estação de tratamento de efluentes a ETE-UFLA que recebe todo o efluente sanitário gerado no campus. Com a pandemia de COVID-19, em março de 2020 foram suspensas as atividades acadêmicas e estabelecidas restrições de acesso ao campus e como consequência houve uma drástica redução no volume de efluentes produzido na UFLA. Essa redução ocasionou variações tanto na vazão como na concentração do esgoto tratado pela ETE, tornando necessário um monitoramento mais constante da estabilidade e da eficiência dos reatores UASB operando sobre essa nova condição. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho dos reatores UASB, durante um período de 105 dias, com base nas variáveis pH, alcalinidade, acidez, DQO, sólidos totais e vazão. Foram coletadas amostras do afluente (elevatória) e efluente (saída dos 6 reatores) durante os meses de julho a outubro de 2021. O efluente sanitário gerado na UFLA durante o período avaliado possui características semelhantes ao efluente gerado em outros períodos avaliados. Os reatores operaram com uma reduzida COV ($0,068 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO) e um elevado TDH (19,3 dias). Observou que os valores de pH do afluente sempre foram superiores à neutralidade sem grandes oscilações com média de 7,6(0,4), já o efluente ficou com média de 7,4(0,35). Os valores médios efluentes de DQO e ST dos reatores UASB foram superiores ao valor média afluente indicando ineficiência do sistema durante grande parte do período avaliado, com isso o sistema apresentou média de eficiência de remoção de 6% para ambas as variáveis no período. Avaliando os parâmetros que influenciam a estabilidade do funcionamento do reator tem-se que os valores da temperatura do esgoto em tratamento nos reatores variou de 20,1 a 20,4 °C. Houve tendência de aumento nos valores médios de alcalinidade parcial (AP) e alcalinidade intermediária (AI) do afluente para o efluente dos reatores UASB, porém os valores afluente e efluente foram próximos, resultando em valores elevados da relação AI/AP (0,49 a 0,68), indicando instabilidade do sistema. Observou um aumento na massa total de lodo presente nos reatores em termos de ST, comparado a um período anterior a pandemia em fevereiro de 2018. Entretanto, ocorreu o arraste de lodo, caracterizado pelo aumento da concentração de ST no efluente dos reatores, em relação ao afluente. Houve uma redução na eficiência de remoção de matéria orgânica em parâmetros de DQO com média de 6% de eficiência no período avaliado.

Palavras-Chave: Efluente sanitário; tratamento anaeróbio; Universidade Federal de Lavras.

1. INTRODUÇÃO

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) tem seu efluente tratado em uma estação de tratamento de efluentes (ETE) localizada no próprio campus, a ETE-UFLA. Equipada, com unidades secundárias de tratamento, composta por reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo do tipo UASB, seguidos de filtros biológicos aerados submersos - FBAS.

Reatores UASB são considerados reatores de alta taxa, por terem mecanismos que retêm os sólidos biológicos no reator em tempo maior que o tempo necessário para que o esgoto seja tratado. Desta forma, estes reatores apresentam reduzidos tempos de detenção hidráulica, otimizando o espaço físico para sua construção; elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica, em se tratando de digestores anaeróbios; e recebem elevadas cargas orgânicas volumétricas (DUTTA; DAVIES; IKUMI, 2018).

Por serem reatores de alta taxa, os UASB devem ser monitorados com frequência para avaliação de sua estabilidade e eficiência. A estabilidade do reator em relação ao tratamento do esgoto pode ser alterada por diferentes fatores, sejam eles ambientais, como a temperatura; inerentes à caracterização dos esgotos, como o pH, e a concentração de matéria orgânica, nutrientes e elementos tóxicos aos microrganismos, ou ainda em relação ao manejo, como a remoção do lodo biológico gerado durante o tratamento (METCALF; EDDY, 2016).

A concentração de matéria orgânica e a vazão dos esgotos sofrem variação ao longo do tempo, mas em uma cidade, por exemplo, tendem a ser relativamente constantes, com características padrão e variação cíclica da vazão (VON SPERLING, 2014). Na UFLA não é diferente. Entretanto, com a pandemia da COVID-19, suspensão das atividades acadêmicas e as restrições de acesso ao campus, tanto a vazão quanto a concentração sofreram variações bruscas. Nos primeiros meses de isolamento social, a partir do final de março de 2020, o acesso ao campus foi restrito aos discentes que tinham experimentos em andamento e que teriam perdas irreparáveis com a suspensão das atividades. Posteriormente, foi retomada de forma gradual as pesquisas, com acesso ao campus dos discentes de pós-graduação. Ainda assim, um número bem inferior à população universitária que é de cerca de 16 mil pessoas. Houve redução considerável da vazão produzida, e mudanças nas características dos efluentes, com maior produção de efluentes gerados em pesquisas em relação aos efluentes sanitários gerados pela população acadêmica.

Diante disso, torna-se necessário o monitoramento mais constante e a avaliação desses reatores, que foram submetidos à redução da carga orgânica aplicada. Em dados apresentados por Dutta, Davies, Ikumi (2018), foi verificado que pequenos aumentos da COV na forma de

DQO proveniente de água residuária sintética (de 2,28 para 4,36 kg m⁻³ d⁻¹; e de 2,3 para 5,6 kg m⁻³ d⁻¹) aumentaram as eficiências de remoção de matéria orgânica. Para maiores COV's houve redução da eficiência. Lima (2019) concluiu, ao tratar o esgoto sanitário produzido na UFLA em reatores UASB, que a falta de alimento, ou seja, a reduzida COV aplicada, proporcionou um elevado coeficiente de decaimento microbiano no sistema, resultando na baixa produção de lodo e reduzida eficiência de remoção de matéria orgânica em reator não inoculado.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento dos reatores UASB da ETE-UFLA nos períodos de baixa população no campus, quando o volume de efluente que entra na estação é reduzido drasticamente, para se obter uma base de dados que auxilie na tomada de decisões operacionais na estação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudos

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Efluentes da Universidade Federal de Lavras – ETE-UFLA, instalada no campus da UFLA, em Lavras-MG.

A ETE-UFLA, projetada para uma vazão de projeto de 800 m³ d⁻¹, é composta por gradeamento; medidor de vazão do tipo calha Parshall (entrada); caixa separadora de gordura; estação elevatória de esgoto; reatores UASB seguidos de filtros biológicos aerados submersos; filtros rápidos de areia descendentes; sistema de desinfecção por radiação ultravioleta e cloração, e medidor de vazão do tipo calha Parshall (saída). Uma parte do efluente tratado é enviado para o reuso no Viveiro Florestal para a produção de mudas e outra parte do efluente é lançado no Ribeirão Vermelho, afluente do Rio Grande.

Na ETE-UFLA estão instalados seis reatores UASB, confeccionados em fibra de vidro, com capacidade individual de 62 m³ (Figura 1).

Figura 1. Identificação dos seis reatores UASB instalados na ETE-UFLA.



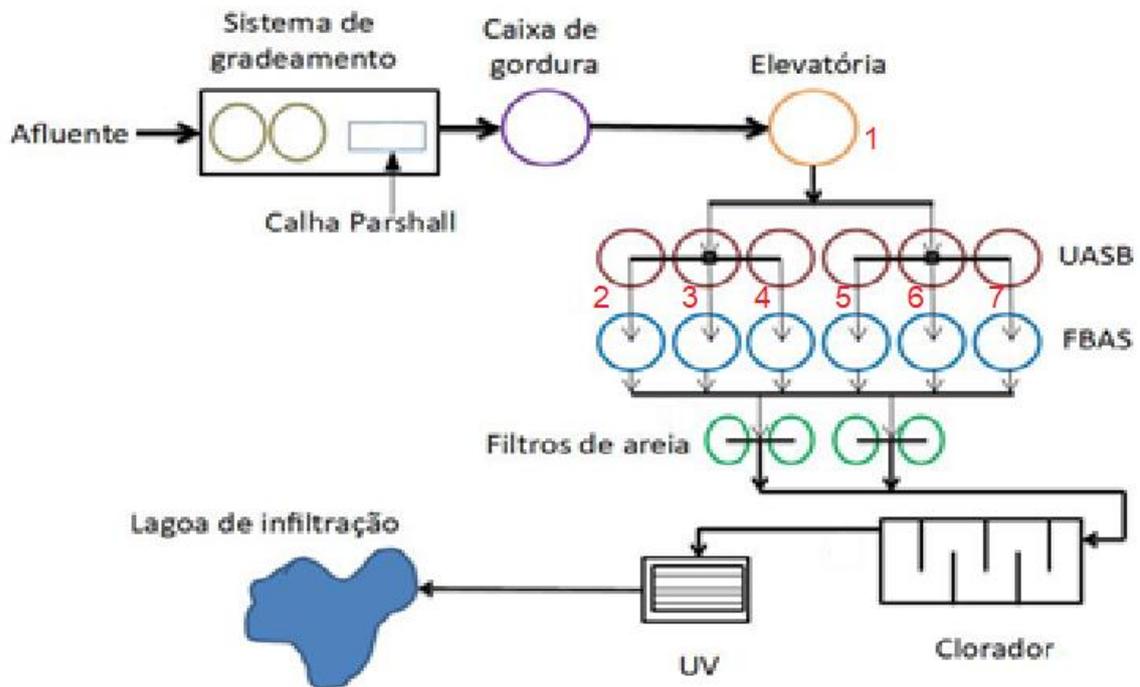
Fonte: Do autor (2021).

A ETE/UFLA recebe os efluentes sanitários provenientes de banheiros, pias e águas de limpeza de pisos. Os efluentes gerados nos laboratórios de análises e pesquisas da Instituição são encaminhados para a ETE/UFLA, após tratamento dos resíduos químicos separadamente no Laboratório de Gestão de Resíduos Químicos da UFLA. Os efluentes gerados no restaurante universitário são encaminhados para a ETE/UFLA após passar por um flutuador (JUNQUEIRA et al., 2017).

2. 2 Amostragem e análises

Para a avaliação as amostras foram coletadas no período da manhã pelos operadores da ETE em 7 pontos diferentes: estação elevatória (afluente do reator UASB) após o tratamento preliminar (Ponto 1) e na saída dos seis reatores UASB (Ponto 2, 3, 4, 5, 6, 7) como pode ser visualizado na Figura 2. O período de amostragem foi de julho a outubro de 2021, que correspondeu a 105 dias de monitoramento. A medição da vazão foi realizada a cada hora por um medidor de vazão automático instalado na calha Parshall de entrada da ETE-UFLA. A frequência analítica e a metodologia utilizada nas análises das amostras estão apresentadas na Tabela 1.

Figura 2 – Configuração da ETE-UFLA e identificação dos pontos de amostragem. Ponto de coleta do afluente (1)) e após tratamento UASB (2, 3, 4, 5, 6, 7).



Fonte: Fialho (2019).

Tabela 1. Variáveis físico-químicas e operacionais analisadas e frequência das análises realizadas.

Variáveis	Frequência	Metodologia
Vazão	diária	Medidor automático
Temperatura	diária	2550*
pH	2 x semana	4.500-H ⁺ - B*
Alcalinidade	2 x semana	Ripley et al. (1986)
Ácidos voláteis	2 x semana	DiLallo e Albertson (1961)
Demanda química de oxigênio - DQO	2 x semana	5220 D*
Sólidos Totais - ST	1 x semana	2540 D*

*APHA, AWWA, WEF (2005).

Fonte: Do autor (2021).

No dia 09 de novembro de 2021, foram coletados aproximadamente 80 mL de amostra em cada uma das cinco diferentes alturas (pontos de coleta) de cada UASB, para traçar o perfil do lodo dentro de cada reator. A coleta em cada reator foi realizada de cima para baixo, ou seja

da torneira localizada no topo para a torneira localizada no fundo, sempre deixando sair o lodo da canalização, com o uso de um recipiente de 90 litros. Após a homogeneização do escoamento pela tubulação, coletou-se a amostra da torneira da altura específica. Além disso, a coleta só ocorreu quando a elevatória interna de esgoto do UASB para FBAS estava em funcionamento, para se evitar coleta de lodo sedimentado, o que afetaria a concentração ao longo do perfil.

Para a criação do perfil do lodo foi preciso obter as dimensões de cada UASB e medir as alturas entre os amostradores de lodo. Isso foi realizado com auxílio de uma trena e uma escada, tal como realizado por Farias (2018). As amostras de lodo foram acondicionadas em uma caixa térmica com gelo e levadas para análises de sólidos (ST, STF, STV), pelo método gravimétrico (APHA; AWWA; WEF, 2005) no Laboratório de Análise de Águas Residuárias e Reuso de Água, no Departamento de Engenharia Ambiental da UFLA.

Tendo-se o diâmetro do reator (3,8 m), foi possível determinar a área circular do UASB e, tendo as alturas, o volume de lodo de cada uma das cinco camadas. A partir da concentração de sólidos de cada altura, e tendo o volume de lodo por camada, foi possível estimar a massa seca de lodo por camada e o total para cada reator.

3. RESULTADOS E DISCUSSAO

3.1. Características do efluente sanitário da UFLA

O efluente sanitário da UFLA, apresenta características que o tornam diferenciado em relação aos esgotos domésticos. Após a implantação da ETE-UFLA, alguns trabalhos foram conduzidos de forma a caracterizar o esgoto (Tabela 2) e avaliar a eficiência da estação de tratamento como um todo.

O valor médio de vazão observado no presente trabalho foi inferior ao valor observado por Fialho (2019) no período de férias, entre julho e agosto de 2018. Durante as férias escolares, o campus universitário ainda é frequentado por decentes, servidores técnico-administrativos e discentes de pós-graduação que mantêm em atividade suas pesquisas.

Os valores de pH sempre foram superiores à neutralidade, mas sem grandes oscilações pelas diferentes avaliações dos autores (Tabela 2). Da mesma forma, a concentração de sólidos totais, apesar da variação, não apresenta tendência de redução ou aumento ao longo do tempo, sendo mais influenciada pelas características específicas de cada período de monitoramento, que podem incluir as diferentes fontes (elevatória da Goiaba ou elevatória da Veterinária), e o maior ou menor tempo de avaliação dentro de um período de férias escolares, por exemplo.

Quanto à DQO, nota-se oscilação de valores, entretanto, na avaliação de Lima (2019) os valores foram superiores, com tendência de redução dos valores ao longo do tempo, como avaliado por Melo (2019), Barbosa (2021) e Soares (2021). Esse padrão de redução pode ser explicado pelos processos de conscientização dos usuários de laboratórios da UFLA, sobre o descarte de reagentes e resíduos gerados pelas atividades pesquisa na rede. Atualmente, todos os resíduos de tais atividades são encaminhados e tratados pelo Laboratório de gestão de resíduos químicos da UFLA. Comparando o esgoto afluyente à ETE, sem separação entre as elevatórias, o esgoto com características de matéria orgânica, com base na DQO, mais próximas aos do presente trabalho foram aqueles observados por Fialho (2019) entre março e novembro de 2018, considerando o período de aulas.

Tabela 2. Valores médios, desvio padrão (entre parênteses) das características do esgoto sanitário da UFLA monitorado ao longo do tempo por diferentes autores e os valores médios observados na realização do presente trabalho.

Referências	Q (m ³ d ⁻¹)	pH	DQO (mg L ⁻¹)	ST (mg L ⁻¹)	Período
Lima (2019) ¹	-	7,8 (0,3)	1.015 (441)	482 (221)	jun./2016 a abr./2017
Lima (2019) ²	-	8,5 (0,4)	1.096 (221)	561 (173)	mai./2016 a dez./2017
Fialho (2019) ¹	-	7,5 (0,4)	580 (236)	659 (286)	mar./2018 a nov./2018
Fialho (2019) ³	-	7,7 (0,4)	716 (391)	676 (214)	mar./2018 a nov./2018
Fialho (2019) ^{2;4}	105,5	7,6 (0,4)	675 (333)	748 (226)	mar./2018 a nov./2018
Fialho (2019) ^{2;5}	57,1	7,6 (0,4)	384 (196)	481 (233)	jul./2018 a ago./2018
Melo (2019)	-	7,5 (0,1)	275 (53)	470 (73)	mar.2019 a mai./2019
Barbosa (2021)	-	7,3 (0,3)	273 (142)	411 (145)	out./2019 a mar./2020
Soares (2021)	-	7,3 (0,3)	234 (205)	-	out./2019 a abr./2020
Do autor (2021)	27,8	7,6 (0,4)	597 (796)	588 (327)	jul./2021 a out./2021

¹Caracterização do esgoto proveniente apenas da elevatória da Goiaba; ²Caracterização do esgoto proveniente da elevatória da Goiaba juntamente com a elevatória da Veterinária; ³Caracterização do esgoto proveniente apenas da elevatória da Veterinária; ⁴Caracterização do esgoto no período de aulas; ⁵Caracterização do esgoto no período de férias.

Fonte: Do autor (2021).

Os valores encontrados de pH no monitoramento do esgoto sanitário afluyente à ETE-UFLA, encontram-se próximos a faixa de variação sugeridas por Von Sperling (2014) para esgoto de origem doméstica, entre 6,7 e 8,0.

O valor médio de DQO foi semelhante ao reportado por Von Sperling (2014) quanto à classificação de esgoto domésticos, cujo valor de referência é de 600 mg L⁻¹. Peixoto et al. (2012) verificaram que a DQO do esgoto sanitário IFCE alcançou valores de 465 mg L⁻¹. Maiores valores de DQO nos esgotos foram observados em outras instituições de ensino e pesquisa, com acréscimo substancial quando comparado a esgoto doméstico provenientes de centros urbanos. Turci et al. (2017) encontraram valores de pico no período de aulas de 1.262 mg L⁻¹ de DQO, contrastando ao período de férias, onde verificou-se concentrações de 151 mg L⁻¹ na UNIFAL, o que pode estar associado ao descarte incorreto de substâncias não biodegradáveis, ou inibidoras de biodegradação na rede coletora de esgoto sanitário. Pereira (2014) onde ao coletar efluentes em dois pontos distintos dentro da UFPel, encontrou valores médios para o ponto A de 298 mg L⁻¹ e de 936 mg L⁻¹ para o ponto B. De acordo com o autor, o ponto A representa os efluentes de pontos com características essencialmente domésticas; e o ponto B pode haver o incremento de efluentes de origem animal. Na UFOP, Bertolino et al. (2008) encontraram valores próximos aos observados no presente trabalho, variando na faixa de 403 a 670 mg L⁻¹ de DQO.

3.2. Variação dos valores de vazão e temperatura

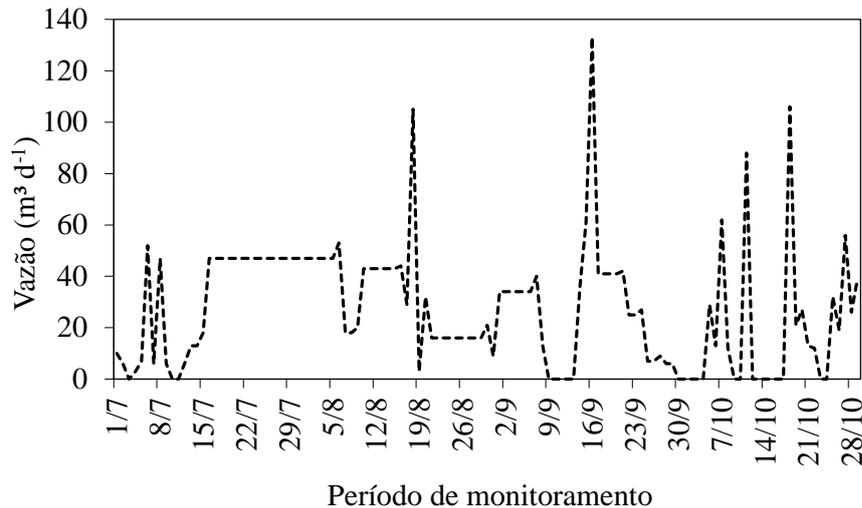
Nota-se na Tabela 3 que apesar de os valores de vazão máxima terem aumentado ao longo dos meses, principalmente pelo retorno das atividades de aulas práticas presenciais a partir do final de setembro e no mês de outubro a vazão máxima e a média de vazão afluyente foi reduzida. Nota-se na Figura 3 que no mês de outubro, com o aumento das atividades no campus da Universidade, houve aumento do número de picos de vazão, mesmo estes não sendo máximos para o período avaliado.

Tabela 3. Vazões médias (Q_{med}) e máximas (Q_{max}) diárias afluentes à ETE/UFLA e vazão média afluente aos reatores UASB (Q_{medR}).

Mês	Q_{med} ($m^3 d^{-1}$)	Q_{max} ($m^3 d^{-1}$)	Q_{medR} ($m^3 d^{-1}$)
JULHO	$30,29 \pm 20,30$	52,00	$5,05 \pm 3,38$
AGOSTO	$31,90 \pm 19,76$	105,00	$5,32 \pm 3,29$
SETEMBRO	$26,34 \pm 26,47$	133,00	$4,39 \pm 4,41$
OUTUBRO	$22,74 \pm 27,03$	106,00	$3,79 \pm 4,50$

Fonte: Do autor (2021).

Figura 3. Variação dos valores de vazão afluente a ETE-UFLA observada entre julho e outubro de 2021.



Fonte: Do autor (2021).

Ainda, observando a Figura 3, nota-se que a partir do dia 16 de julho a vazão permaneceu praticamente constante na faixa de $45 m^3 d^{-1}$, até o início do mês de agosto. A partir de setembro era esperado um aumento da vazão com a volta das aulas práticas presenciais na última semana do mês como consequência do aumento do número de pessoas no campus. Entretanto, tal mês apresentou média diária de vazão inferior aos dois meses anteriores, com o maior pico de $133 m^3 d^{-1}$, ocorrida no dia 16. No mês de outubro observou-se que os maiores picos de vazão ocorreram às segundas-feiras, provavelmente, pelo bombeamento do esgoto gerados durante o final de semana, que em volume menor, ficou armazenado temporariamente na elevatória. Vale destacar que nesse mês, houve problemas operacionais referentes ao

funcionamento das bombas da elevatória acarretando dias sem bombeamento de efluentes para a estação, o que justifica o aumento em número de picos de vazão.

Os valores da temperatura variaram conforme se avançou o período de amostragem com a tendência de aumento devido às mudanças de estações do ano ao longo do período amostrado. Em julho, no período de inverno, a temperatura média foi de 18°C para o afluente e de 16°C nos reatores. Avaliando todo o período, o esgoto em tratamento nos reatores apresentou valor médio variando de 20,1 a 20,4 °C, o que pode ser considerado uma faixa de transição ideal entre microrganismos psicrófilicos e mesofílicos, com predominância de psicrófilicos (METCALF; EDDY, 2016).

O horário no qual a temperatura foi amostrada, no período da manhã, bem como a temperatura ambiente, podem ter influenciado diretamente nos valores observados. A faixa de temperatura ótima para a operações dos reatores anaeróbios é entre 30° e 35°C, que favorece o crescimento microbiano (PRAMPERO, 2017). O autor ressalta ainda que a influência da temperatura na operação dos reatores anaeróbios depende não somente dos seus valores pontuais, mas no tempo em que o reator operou fora da faixa recomendada. Em razão que temperatura determina a velocidade de crescimento e a densidade de microrganismos da biomassa, sendo a temperatura ótima de crescimento aquela que possibilita o crescimento mais rápido, durante o menor período (PERREIRA, 2009).

3.3. Monitoramento da estabilidade dos reatores UASB

O pH do afluente variou entre 6,3 e 8,0, mantendo uma média durante o período avaliado de 7,6 (Tabela 4). Na Figura 4 nota-se que antes de setembro, houve uma forte variação dos valores de pH afluente à ETE-UFLA, com maior incidência de valores mínimos de pH. Com o retorno das atividades no campus com maior presença de pessoas, verificou-se uma tendência de estabilização dos valores afluentes de pH, e como consequência dos valores efluentes dos reatores UASB. Anterior ao mês de setembro, estima-se que os efluentes gerados pela lavagem de vidrarias e higienização dos materiais utilizados nas atividades de pesquisas nos laboratórios institucionais, contribuía mais para a caracterização dos efluentes gerados na UFLA, que a parcela de efluentes de origem sanitária. Logo, com o aumento da parcela de efluente sanitário a partir do retorno parcial das atividades de ensino, em relação aos efluentes laboratoriais, houve um aumento e tendência de estabilidade dos valores de pH.

A menor variação do pH efluente aos reatores UASB sugere que o meio estava propício à degradação anaeróbia, na qual os valores ideais de pH devem estar entre 6,6 e 7,4 para que

ocorra a produção de metano (CHERNICHARO, 2007). Para a grande maioria dos microrganismos, o pH ótimo de crescimento se localiza entre 6,5 e 7,5. As variações máximas e mínimas, para a maior parte deles, estão entre pH 4 e 9 (METCALF; EDDY, 2016).

Houve tendência de aumento nos valores médios de alcalinidade parcial (AP) e alcalinidade intermediária (AI) do afluente para o efluente dos reatores UASB. Apesar desta constatação, os valores afluente e efluente foram próximos, com valores consideráveis de AI em relação a AP, o que resultou em valores elevados da relação AI/AP (0,49 a 0,68). Ripley et al. (1986) afirmam que é possível ocorrer estabilidade no processo anaeróbio com valores superiores a 0,3, devido às variações das características únicas de cada efluente. Entretanto, valores superiores são observados para efluentes agroindustriais e não para efluentes sanitários. Além disso, deve-se sempre monitorar estas variáveis na partida dos reatores, a fim de comprovar o bom funcionamento e estabilidade dos mesmos (PEREIRA et al., 2010).

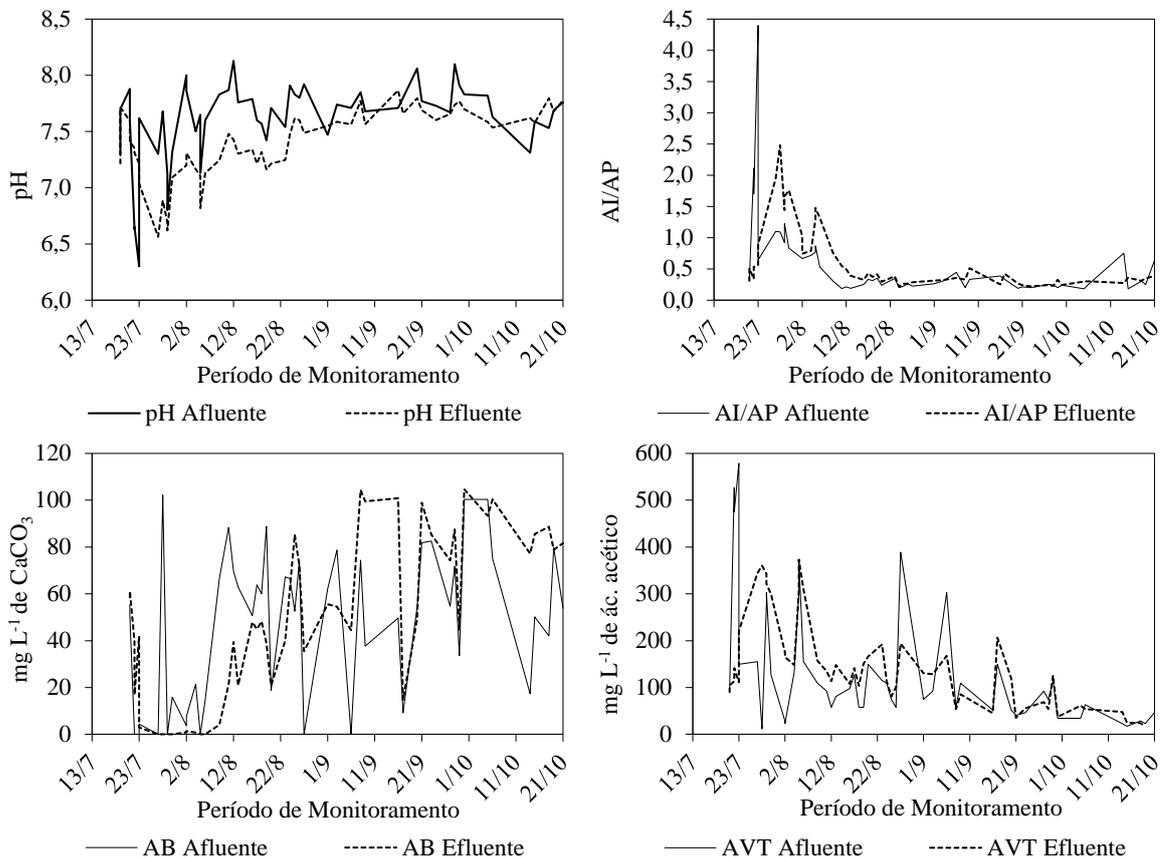
Tabela 4. Valores médios temperatura, pH, AP, AI, AB, relação AI/AP e AVT afluente e efluente dos seis reatores UASB da ETE UFLA durante o período de monitoramento.

Ponto amostral		T (°C)	pH	AP	AI	AI/AP	AB	AVT
AFLUENTE	Média	21,08	7,61	79,29	33,14	0,56	44,50	133,03
	DP	3,12	0,36	28,04	19,75	0,67	32,72	131,68
	CV	14,78	4,74	35,37	59,60	120,00	73,47	98,98
UASB 1	Média	20,3	7,42	87,78	36,55	0,49	46,30	135,75
	DP	3,19	0,27	20,50	14,25	0,35	34,60	91,18
	CV	15,67	3,61	23,35	38,98	71,40	74,68	67,17
UASB 2	Média	20,1	7,35	89,72	40,62	0,60	48,00	151,86
	DP	3,35	0,30	30,47	17,09	0,56	42,11	108,04
	CV	16,63	4,13	33,96	42,07	93,66	87,76	71,14
UASB 3	Média	20,2	7,40	85,75	41,08	0,60	42,50	150,81
	DP	3,52	0,29	23,91	19,23	0,50	36,22	96,42
	CV	17,42	3,97	27,88	46,82	83,36	85,22	63,93
UASB 4	Média	20,3	7,41	84,18	39,69	0,60	45,1	140,12
	DP	3,48	0,31	23,93	15,01	0,54	35,92	95,29
	CV	17,17	4,14	28,43	37,81	89,16	79,72	68,00
UASB 5	Média	20,2	7,42	85,38	39,60	0,62	50,60	134,81
	DP	3,56	0,35	26,51	16,22	0,56	37,70	97,40
	CV	17,60	4,67	31,05	40,96	90,69	74,50	72,25
UASB 6	Média	20,4	7,40	82,34	40,80	0,68	47,80	141,23
	DP	3,56	0,39	26,45	16,45	0,66	38,47	102,61
	CV	17,45	5,29	32,12	40,33	97,43	80,42	72,65

T - Temperatura, pH - Potencial hidrogeniônico, AP - Alcalinidade parcial (mg L⁻¹ de CaCO₃), AI - Alcalinidade intermediária (mg L⁻¹ de CaCO₃), AT - Alcalinidade total (mg L⁻¹ de CaCO₃), AB - Alcalinidade bicarbonato (mg L⁻¹ de CaCO₃), AVT - Ácidos voláteis totais (mg L⁻¹ de ác. acético).

Fonte: Do autor (2021).

Figura 4. Variação dos valores de pH, alcalinidade bicarbonato (AB), ácidos voláteis totais (AVT) e relação entre alcalinidade intermediária e parcial (AI/AP) afluente e média efluente dos seis reatores UASB da ETE-UFLA observada durante o período de monitoramento.



Fonte: Do autor (2021).

A partir de agosto, nota-se tendência de estabilidade dos valores da relação AI/AP. O valor médio da relação para o efluente dos reatores entre setembro e outubro foi de 0,31, o que conjuntamente com o pH apresenta uma melhora, em termos de estabilidade dos reatores UASB.

Os valores médios de alcalinidade bicarbonato (AB) relativamente baixos e os valores superiores de ácidos voláteis totais (AVT) (Tabela 4) indicam que o sistema está perdendo a capacidade tampão, ou seja, está havendo consumo de alcalinidade para manutenção dos valores de pH observados.

Amani; Nosrati e Sreekrishnan (2011) e Metcalf e Eddy (2016) determinam a faixa ideal de alcalinidade variando entre 1.300 e 3.000 mg L⁻¹ de CaCO₃. Contudo, no presente trabalho, a menor concentração não demonstrou problemas quando relacionada a possível decréscimo de

pH ou acúmulo de ácidos voláteis totais no meio. Os valores de AVT demonstram que os reatores operaram abaixo do limite máximo recomendado por Metcalf e Eddy (2016), que varia de 200 a 250 mg L⁻¹ de ácido acético.

Nota-se na Figura 4, tendência de aumento dos valores de AB e redução de AVT com o avanço do período de monitoramento do sistema. Mas ainda assim, quando avaliados os reduzidos valores médios de AB (77 mg L⁻¹ de CaCO₃) e os valores médios de AVT (75 mg L⁻¹ de ác. acético) entre setembro e outubro, em conjunto com o pH e a relação AI/AP verifica-se um indicativo de que o sistema pode melhorar com o aumento da produção ou com a mudança das características dos efluentes sanitários, mas ainda se encontra instável. E qualquer mudança repentina na carga orgânica pode levar ao acúmulo de ácidos, pois a AB é reduzida, e a consequente perda do sistema de tratamento.

3.4. Monitoramento da eficiência de remoção de DQO e sólidos totais

Os valores médios efluentes de DQO dos reatores UASB foram superiores ao valor médio afluente (Tabela 5). O que indica que o sistema, em média, não foi eficiente durante o período avaliado. Com a menor vazão de esgoto, devido à redução das atividades no campus universitário, as estações elevatórias passaram a direcionar os efluentes com menor frequência para os reatores, fato que pode ter influenciado na dinâmica da cinética de degradação da matéria orgânica, bem como no comportamento hidráulico do reator.

Tabela 5. Valores médios de demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos totais (ST) afluente e efluente dos seis reatores UASB da ETE-UFLA, e eficiência de remoção observada durante o período de monitoramento.

Variável		Afluente	UASB1	UASB2	UASB3	UASB4	UASB5	UASB6	E
DQO	Média	597	1.168	787	584	897	763	954	6
	DP	796	1.185	1.146	677	1.149	936	1.065	15
	CV	133	102	146	116	128	123	112	256
ST	Média	588	1.038	479	478	644	545	848	6
	DP	327	603	84	68	348	137	453	16
	CV	56	58	17	14	54	25	53	273

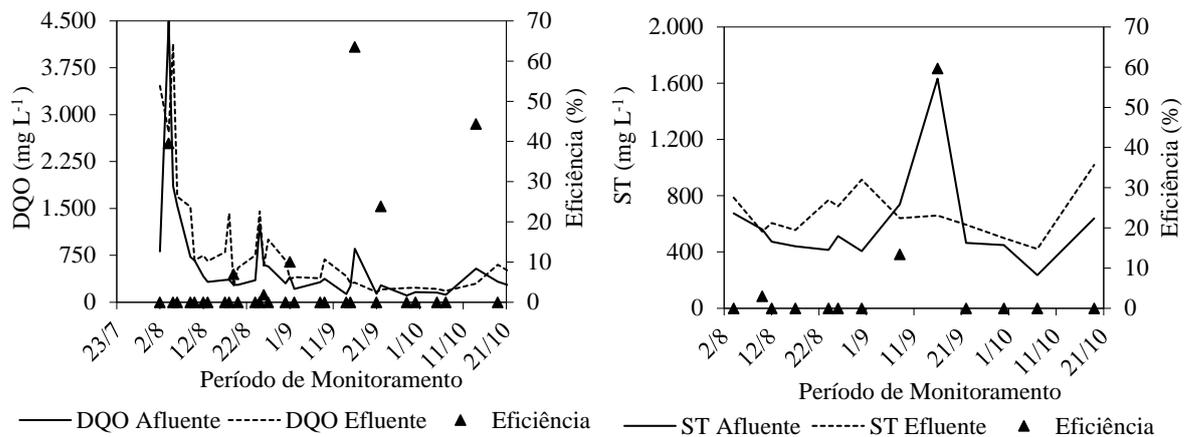
DQO – Demanda química de oxigênio (mg L⁻¹), ST – Sólidos totais (mg L⁻¹); E - Eficiência (%)

Fonte: Do autor (2021).

Nota-se na Figura 5 maior oscilação nos valores de DQO afluente e, conseqüentemente efluente, dos reatores antes de setembro. A partir deste mês, os valores foram mais constantes e menores, quando comparados ao período anterior. Mas, mesmo assim, a eficiência de remoção de matéria orgânica praticamente não ocorreu.

Além da interferência na dinâmica da degradação anaeróbia, percebe-se ainda que os reatores perderam sólidos. Os valores médios de sólidos totais efluentes dos reatores foram, em sua maioria, superiores aos valores afluentes. E o comportamento não foi pontual, e sim constante ao longo do monitoramento, conforme apresentado na Figura 5. Destaca-se ainda que no dia 16/09, o forte pico de vazão (Figura 3) acarretou uma maior quantidade de sólidos removida dos reatores (Figura 5).

Figura 5. Variação dos valores de demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos totais (ST) afluente e média efluente dos seis reatores UASB da ETE-UFLA, e eficiência de remoção observada durante o período de monitoramento.



Fonte: Do autor (2021).

De forma geral, ao se avaliar conjuntamente a estabilidade dos reatores com a sua eficiência de remoção de matéria orgânica, nota que os reatores perderam a capacidade de remover a matéria orgânica afluente ao sistema. Apesar dos valores de pH adequados à degradação anaeróbia, a maior concentração de ácidos voláteis e a maior relação AI/AP no sistema, indicam que os reatores UASB encontram-se com problemas operacionais. Em condições normais de operação, espera-se de reatores UASB, eficiências de remoção de DQO superiores a 70% (VON SPERLING, 2014).

Fialho (2019) verificaram que os reatores UASB da ETE-UFLA, durante monitoramento em 2018, foram capazes de remover 50% da DQO e 8% dos ST. O autor verificou que durante as aulas, o TDH foi 3,5 dias, enquanto nas férias o TDH foi de 5,7 dias. Sabendo que o TDH de projeto é de 8 horas, evidencia-se que a variação da vazão durante período de férias e de aulas, observado por Fialho (2019) e durante a condução do presente trabalho, com a redução da vazão no campus universitário, devido à pandemia da COVID-19, pode ser prejudicial a sistemas biológicos já que pode quebrar a homeostase do sistema forçando os microrganismos a se adaptarem à nova condição de disponibilidade de matéria orgânica (EJHED et al., 2018).

Com exceção dos picos de vazão, o arraste continuado de sólidos dos reatores podem estar relacionados à perda de qualidade do lodo do sistema. Com a redução da quantidade de matéria orgânica proveniente dos efluentes sanitários, que provavelmente apresentam maior biodegradabilidade em relação à matéria orgânica proveniente dos efluentes laboratoriais não perigosos, da carga orgânica volumétrica média aplicada aos reatores ($0,068 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO) e do elevado TDH média (19,3 dias), o lodo iniciou o processo de endogenia, no qual o próprio lodo é utilizado como fonte de alimento para os microrganismos, com a perda da qualidade, o lodo tende a flotar e ser arrastado do sistema. Tal fato foi observado por Lima (2019) ao iniciar o tratamento do esgoto da UFLA em reator UASB em escala piloto. O autor verificou que a reduzida carga orgânica afluyente ao reator ($0,72 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO) com inoculação não proporcionou o aumento de lodo, e sim a redução do inóculo inserido no sistema.

A perda de qualidade de lodo pode ser observada a partir da avaliação do perfil do lodo, no qual se verificou que a massa de lodo nos reatores não foi reduzida em relação ao perfil realizado por Farias (2018) em fevereiro de 2018 (Tabela 6).

Tabela 6. Valores da massa de sólidos totais (ST), e percentuais de sólidos totais voláteis (STV) observadas nos reatores UASB no presente trabalho (novembro de 2021) e avaliadas em fevereiro de 2018, por Farias (2018).

Reatores	Novembro de 2021			Fevereiro de 2018		
	ST (kg)	STV (kg)	% SVT	ST (kg)	STV (kg)	% SVT
UASB 1	1.789,3	667,2	37,3	1.751,5	1.121,4	64,0
UASB 2	3.814,8	1.395,3	36,6	1.823,5	1.136,9	62,3
UASB 3	3.725,4	1.497,5	40,2	1.695,2	1.048,4	61,8
UASB 4	3.292,5	1.238,2	37,6	2.004,2	1.224,5	61,1
UASB 5	4.152,4	1.792,2	43,2	2.319,3	1.545,9	66,7
UASB 6	2.709,5	1.109,8	41,0	2.473,3	1.496,3	60,5

Fonte: Do autor (2021).

Nota-se na Tabela 6 que a massa total de lodo aumentou em todos os reatores UASB. Entretanto, este aumento foi mais pronunciado nos UASB 2, 3, 4 e 5. A massa de SVT aumentou nos UASB 2, 3 e 5, mas não nos mesmos percentuais de aumento de massa total de lodo. Permaneceu praticamente constante no UASB 4, e reduziu nos UASB 1 e 6. Assim, entende-se que a redução na aplicação da COV durante o período de pandemia, fez com que o lodo perdesse qualidade, aumentando o processo de flotação e arraste do mesmo. Se a COV fosse mantida como aplicada antes da paralização das atividades, haveria, provavelmente, o aumento dos SVT de forma mais proporcional ao aumento de massa de lodo total.

Quanto à Carga Orgânica Biológica (COB) aplicada aos reatores, verifica-se que esta variou entre os reatores, de 0,004 a 0,010 kg kg d⁻¹, na forma de [DQO] [SVT]⁻¹ [dia]⁻¹. Na avaliação feita por Farias (2018), a COB variou entre 0,014 e 0,020 kg kg d⁻¹. O valor de COB aplicado a um reator UASB com biomassa desenvolvida e já adaptada deve ser de 2,0 kg kg d⁻¹. Os valores observados são cerca de 10 vezes inferiores aos recomendados para a partida do sistema de tratamento, que varia de 0,05 a 0,15 kg kg d⁻¹ (CHERNICHARO, 2007) o que confirma que a COV aplicada durante a pandemia contribuiu com a redução da massa de lodo no sistema, com o aumento do teor de sólidos fixos nos reatores.

Com o aumento da produção de efluentes sanitários com o retorno parcial das atividades presenciais no campus universitário, o sistema parece ter apresentado tendência de melhoria em relação à estabilidade, mas os reduzidos valores de AB significam que o sistema inspira

cuidados quanto à operação, fato refletido nas reduzidas eficiências de remoção de matéria orgânica e arraste de sólidos do sistema.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O efluente sanitário gerado na UFLA durante o período analisado apresentou características semelhantes ao efluente gerado em outros períodos, apesar da restrição de acesso da população universitária ao Campus.

Os reatores UASB da ETE-UFLA foram submetidos a uma reduzida carga orgânica volumétrica afluente durante o período avaliado ($0,068 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO) e a um elevado tempo de detenção hidráulica (19,3 dias), o que refletiu em uma reduzida carga orgânica biológica ($0,004$ a $0,010 \text{ kg kg d}^{-1}$, na forma de $[\text{DQO}] [\text{SVT}]^{-1} [\text{dia}]^{-1}$), e resultou em perda de biomassa com arraste de lodo, caracterizado como sólidos totais efluente do sistema, e redução na eficiência de remoção de matéria orgânica, com média de 6% de redução de DQO durante o período analisado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMANI, T.; NOSRATI, M.; MOUSAVI, S. M. Using enriched cultures for elevation of anaerobic syntrophic interactions between acetogens and methanogens in a high-load continuous digester. **Bioresource Technology on ScienceDirect** .v.102, n.4, 2011, p.3716-3723, 2011.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21^a ed. Washington: American Public Health Association. 2005.

BARBOSA, M. H. et al. **Sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial com chicanas**: desempenho, cinética, degradação e colmatação. 2021. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.

BERTOLINO, S.M. CARVALO, C.F. AQUINO, S.F. Characterization and biodegradability of wastewater produced in university campus. **Eng. sanit. ambient.** v.13 – n. 3 - jul/set, 271-277. 2008.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, v. 5, 2007.

DILALLO, R., ALBERTSON O. E. Volatile Acids by Direct Titration. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v. 33, n. 4, p. 356-365, 1961.

DUTTA A, DAVIES C, IKUMI DS. Performance of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor and other anaerobic reactor configurations for wastewater treatment: a comparative review and critical updates. **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua** 1 December 2018; 67 (8): 858–884.

EJHED, H.; FANG, J.; HANSEN, K.; GRAAE, L.; RAHMBERG, M.; DORGELOH, E.; OLAZA, G. The effect of hydraulic retention time in onsite wastewater treatment and removal of pharmaceuticals, hormones and phenolic utility substances. **Science of the Total Environment**, n. 618, p. 250-261, 2018.

FARIAS, M. S. **Caracterização do lodo gerado nos reatores UASB da estação de tratamento de esgoto da UFPA: perspectivas de aplicação agrícola**. 2018. 33f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Lavras, 2018.

FIALHO, D. E. S. **Caracterização do esgoto sanitário e avaliação da eficiência da ETE/UFPA na remoção de fármacos e desreguladores endócrinos**. 2019. 98 p. Dissertação (mestrado profissional) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, Universidade Federal de Lavras, 2019.

JUNQUEIRA, W.B.C; CAMPOS, C.M.M; FIA, R. FIA, F.R.L; AMORIM, F. Estudos hidrodinâmicos do escoamento em caixa de gordura empregada no tratamento preliminar dos efluentes de cozinha industrial. **Eng Sanit Ambient** | v.22 n.5 | set/out 911-919. 2017

LIMA, L. C. **Tratamento do esgoto sanitário da Universidade Federal de Lavras, em estação piloto, objetivando sua caracterização, remoção de poluentes e cinética**. 2019. 179 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras, 2019

MELO, A. F. S. R. de. **Remoção de contaminantes e hidrodinâmica em sistemas alagados construídos contendo chicanas dispostas de diferentes formas**. 2019. 108 p. Dissertação

(Mestrado acadêmico) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, 2019

METCALF, EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Tradução: HESPANHOL, I.; MIERZWA, J.C. 5.ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980p.

PEIXOTO, F.S. LIMA, B.G. BARROS, A.R.M. FILHO, H.A.S. SANTOS, E.V.M. **Importância da Caracterização de Esgotos Gerados em Instituições de Ensino – Estudo de Caso** – IFCE, Campus Limoeiro do Norte. VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas- Tocantins. 2012

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 157-168, 2009

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Avaliação do desempenho físico-químico de um reator UASB construído em escala piloto na remoção de poluentes de efluentes de suinocultura. **Revista Ambiente & Água**, v. 5, n. 1, p. 79-88, 2010

PEREIRA, H. S. **Estudo da Caracterização do Efluente do Campus Universitário Capão do Leão e Possibilidade de Reuso**. Universidade federal de Pelotas. Centro de engenharias Curso de engenharia ambiental e sanitária. Pelotas, 2014

PRAMPERO, J. C., **Fatores operacionais na manutenção da eficiência de um reator UASB compartimentado tratando esgoto sanitário**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação na Area de conhecimento: Recursos hídricos. Faculdade de engenharia. Universidade Estadual Paulista, 2017. p. 16.

RIPLEY, L.E.; BOYLE, W.; CONVERSE J. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high strength wastes. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v.58: p.406-411, 1986

SOARES, J. S. **Avaliação do uso de sistemas alagados construídos do tipo Bio-Rack como tratamento simplificado para soluções individuais**. 2021. 107 p. Dissertação (Mestrado acadêmico) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Lavras, 2021.

TURCI, L.F.R. MENEZES, L.C.C. MOURA, R.B. Caracterização Do Efluente Gerado No Campus Poços De Caldas Da Universidade Federal De Alfenas. **ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental** AE SABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp. FENASAN 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos:** princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014