

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA NA ETE- UFLA

Talita Amorim Santos ⁽¹⁾

Bióloga, Doutora em Biologia Celular e Técnica de Laboratório de Análises da Qualidade de Água e Efluentes da Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: talita.amorim@ufla.br

Laize Aparecida Ferreira Andrade ⁽²⁾

Química, Doutora em Agroquímica e Agrobioquímica Celular e Técnica de Laboratório de Análises da Qualidade de Água e Efluentes – UFLA.

Gustavo Bruno Novais Gonzalez ⁽³⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitário – UFLA

Ronaldo Fia ⁽⁴⁾

Engenheiro Agrícola e Ambiental, Doutor em Engenharia Agrícola e Professor no Departamento de Engenharia Ambiental - UFLA

Fátima Resende Luiz Fia ⁽⁵⁾

Engenheira Agrícola, Doutora em Engenharia Agrícola, Professora no Departamento de Engenharia Ambiental e Diretora da Diretoria de Gestão da Qualidade e Meio Ambiente da UFLA.

Endereço ⁽¹⁾: Universidade Federal de Lavras, Laboratório de Análises da Qualidade de Água e Esgoto - Lavras - MG - CEP 37200-900 – Tel: (35) 3826 -7005 – e-mail: talita.amorim@ufla.br.

RESUMO

A Universidade Federal de Lavras possui uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE-UFLA) que é responsável por todo o efluente sanitário gerado nas dependências do campus universitário. O objetivo do presente trabalho foi monitorar as características do esgoto sanitário da UFLA, abrangendo dois períodos de férias escolares e dois períodos de aula. Para isso foram feitas análises para o monitoramento no período entre maio e dezembro de 2022. Após o primeiro recesso, em junho de 2022, o efluente dos reatores UASB teve elevação da concentração orgânica na forma de Demanda Química de Oxigênio e dos Sólidos Totais, já a concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio se manteve relativamente constante ao longo do período avaliado. Os resultados obtidos demonstraram que apesar da ETE - UFLA não atender a legislação vigente em relação a DBO, atende a DQO, para disposição de efluentes tratados em cursos d'água. O sistema biológico de tratamento da ETE-UFLA precisa de intervenção nas condições atuais de operação para a melhoria das eficiências de remoção de matéria orgânica de menor biodegradabilidade que compõe a DQO afluente à ETE.

Palavras-Chave: Efluente, reator, filtro.

INTRODUÇÃO

O tratamento de esgotos é um importante pilar do saneamento básico tanto na minimização e controle da poluição ambiental, quanto na prevenção de inúmeras doenças, sobretudo, aquelas cujos contágios se dão por meio da veiculação hídrica, designando-se em um problema de saúde pública ainda muito comum em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde este tipo de serviço não é igualitário.

A geração de esgoto é uma consequência do uso da água. E nas universidades, cujos campi não estão inseridos no meio urbano, os efluentes podem ser estabelecidos como o despejo oriundo principalmente das atividades de ensino, pesquisa e, às vezes de extensão, ocorridas no campus da instituição. Águas utilizadas em banheiros, cozinhas, laboratórios, atividades de assistência à saúde humana e animal, alojamentos estudantis, restaurante universitário e lanchonetes, entre outras atividades, formam o esgoto sanitário. É

composto basicamente por água, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem, tal como os esgotos domésticos descritos por Jordão e Pessoa (2011).

Apesar da similaridade com os esgotos domésticos quanto à geração, os esgotos produzidos na Universidade Federal de Lavras (UFLA) apresentam maior concentração de matéria orgânica não biodegradável, provavelmente pela contribuição das atividades de pesquisas em laboratórios (FIALHO, 2019). Tal fato demanda por maior controle operacional das unidades de tratamento.

Neste contexto, as estações de tratamentos de efluentes (ETEs), por meio de processos físicos, químicos e biológicos têm como finalidade a redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário, e destinação adequada da matéria residual resultante do tratamento.

Dentre as diversas alternativas para se tratar o esgoto sanitário, normalmente, os processos biológicos anaeróbios e aeróbios são os mais utilizados. Preferencialmente, a combinação destes dois processos, como uma opção eficiente de tratamento, assume algumas vantagens. Com a primeira parte do tratamento biológico anaeróbio, diminui-se a carga orgânica de entrada no reator aeróbio, ampliando os benefícios de se reduzir o consumo de energia e a produção de lodo no sistema, além de promover maior faixa de remoção de matéria orgânica (acima de 90%).

Como processo biológico anaeróbio, destacam-se os reatores UASB, unidades de tratamento de efluentes mais utilizadas no Brasil, que apresentam características operacionais compatíveis com o clima, custos de implantação relativamente menores, simplicidade operacional, baixo consumo energético e uma menor produção de lodo (CHERNICHARO et al., 2015).

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 (VÍTEZOVÁ et al., 2020).

Diante do exposto torna-se importante avaliar as características operacionais e de eficiência das unidades de tratamento de esgotos gerados nas instituições de ensino para aprimorar os parâmetros operacionais, principalmente pela variabilidade dos esgotos gerados diariamente bem como pela variação de vazão em função da flutuação da população universitária diariamente e ao longo do ano nos períodos letivos e de férias escolares.

OBJETIVOS

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência do tratamento dos reatores UASB e FBAS instalados na estação de tratamento de esgotos da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA), bem como avaliar a eficiência global da ETE e o atendimento à legislação vigente para disposição dos esgotos tratados em cursos d'água.

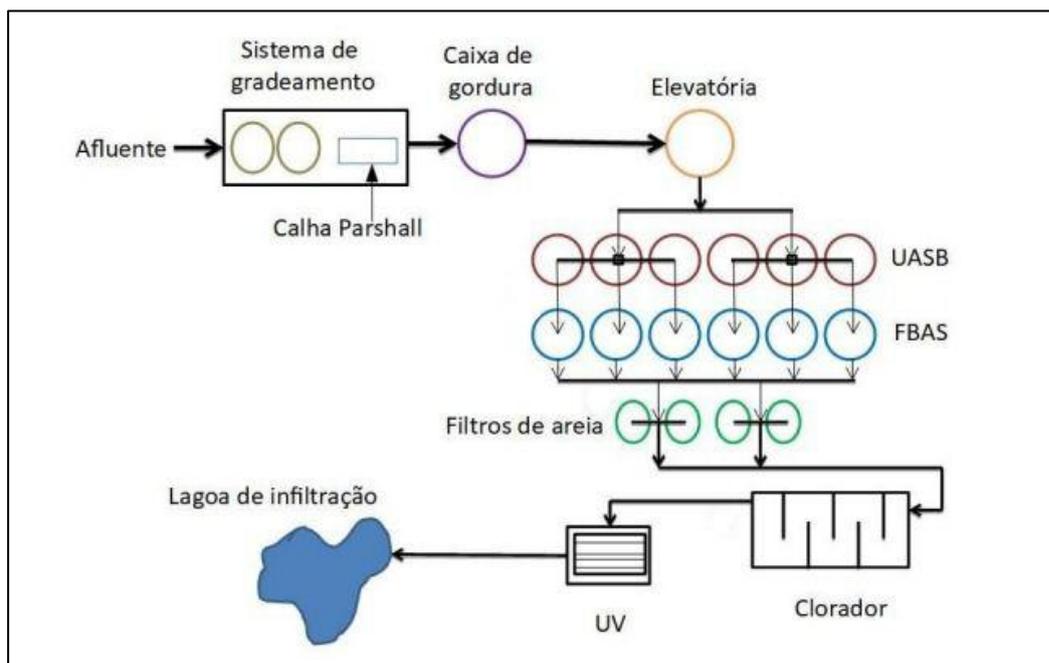
MATERIAIS E MÉTODOS

1.1. Caracterização da área estudada

A coleta de dados e análises do presente trabalho foi realizada na Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal de Lavras – ETE-UFLA – e no Laboratório de Análises da Qualidade de Água e Esgoto – LAQUAE-UFLA, na cidade de Lavras-MG.

A Estação de Tratamento é constituída por sistema de gradeamento grosso (orifícios de 2 cm) e fino (0,5 cm de abertura); dois medidores de vazão do tipo calha Parshall (entrada e saída da ETE); caixa retentora de gordura; estação elevatória do efluente; seis reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) construídos em fibra de vidro, com capacidade individual de 62 m³, seguidos de seis filtros biológicos aerados submersos (FBAS), com as mesmas dimensões dos anteriores; quatro filtros de areia para filtragem por gravidade; tanque de contato onde é feita a cloração e câmara de desinfecção por radiação ultravioleta.

Figura 1 - Esquemática da Estação de Tratamento de Esgotos da UFLA.



Fonte: Fialho (2019).

A ETE-UFLA é dimensionada para atender uma vazão de 800 m³ d⁻¹, incluindo todos os esgotos gerados nos banheiros, pias, bebedouros e água de limpeza do chão do campus universitário. O efluente gerado no restaurante universitário passa por um flutuador (separador de gordura) anexo ao RU, e é então encaminhado à ETE-UFLA (JUNQUEIRA et al., 2017). Os resíduos dos laboratórios da Universidade são previamente tratados pelo Laboratório de Gestão de Resíduos Químicos (LGRQ-UFLA), e então conduzidos à ETE-UFLA. Após tratado, o efluente é lançado no Ribeirão Vermelho, curso d'água que percorre o interior do campus universitário, afluente do Rio Grande e parte é reaproveitado no viveiro de mudas da UFLA.

1.2. Levantamento de dados e análises

Foram coletadas amostras do afluente e dos efluentes dos seis reatores UASB e dos seis FBAS, bem como do efluente da ETE-UFLA entre os meses de maio e dezembro de 2022, para caracterização quanto à demanda química de oxigênio - DQO (n = 27), demanda bioquímica de oxigênio - DBO (n = 25), sólidos totais – ST (n = 25), sólidos totais fixos – STF (n = 25) e voláteis – STV (n = 25).

As amostragens foram simples, e as amostras foram condicionadas em recipientes plásticos com capacidade de 0,5 L, e encaminhadas para o LAQUAE-UFLA. As análises seguiram a metodologia proposta por APHA, AWWA e WEF (2012). A DQO foi determinada pelo método colorimétrico, após digestão da amostra em refluxo fechado (5220 D); a DBO pela medição do oxigênio dissolvido pelo método de Winkler após 5 dias de incubação (5210 B), e ST, STF e STV pelo método gravimétrico (2540 D e 2540 E).

1.3. Avaliação dos dados

Os dados obtidos foram plotados em gráficos e comparados ao longo do tempo, entre os períodos letivos e de férias escolares. Os valores médios e as eficiências médias de remoção dos poluentes foram comparados com a literatura e com a legislação vigente para disposição de efluentes em cursos d'água no estado de Minas Gerais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.1. Características do efluente tratado na ETE-UFLA

Os valores médios para a DQO e ST observados para o efluente da UFLA durante o período de monitoramento estão apresentados na Tabela 1. Ainda, os valores de DBO observados durante o período total de monitoramento e o período de férias foram de $1.338 \pm 868 \text{ mg L}^{-1}$ e $1.569 \pm 897 \text{ mg L}^{-1}$.

Nota-se que durante o período de férias houve aumento da concentração de matéria orgânica e sólidos comparada à média total do período experimental, diferentemente do observado por Fialho (2019).

Acredita-se que, no presente trabalho, o efeito da maior concentração possa ter ocorrido, em que com o menor número de pessoas utilizando as instalações da instituição tenha havido menor consumo de água em relação à produção orgânica. No período de férias escolares, normalmente há redução da população universitária, entretanto, as pesquisas e usos dos laboratórios continuam e mantêm a geração de efluentes não perigosos e que são recebidos pela ETE-UFLA. Neste contexto, Pereira (2014) ao avaliar 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} de DQO para o ponto B, salientando que de acordo com o autor, o ponto A representa os efluentes dos prédios da Prefeitura do Campus, Restaurante Universitário, Faculdade de Ciências Domésticas; e o ponto B os efluentes do Departamento de Zootecnia, Piscicultura, Departamento de Ciências dos Alimentos e Faculdade de Agronomia, locais com maior concentração de laboratórios.

Os valores observados durante o monitoramento do presente trabalho são superiores aos demais valores observados por outros autores que monitoraram o esgoto sanitário da UFLA (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios 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
Fialho (2019) ¹	57,1	7,6	384 (196)	481	jul./2018 a ago./2018
Fialho (2019) ²	105,5	7,6	675 (333)	748	mar./2018 a nov./2018
Melo (2019)	-	7,5	275 (53)	470	mar.2019 a mai./2019
Soares (2021)	-	7,3	234 (205)	-	out./2019 a abr./2020
Lima (2021)	27,8	7,6	597 (796)	588	jul./2021 a out./2021
Do Autor ³	-	-	2.136 (2.508)	896 (495)	mai./2022 a dez./2022
Do Autor ⁴	-	-	2.983 (2.462)	1.128 (62)	mai./2022 e set-out./2022

¹Caracterização do esgoto proveniente da elevatória da Goiaba juntamente com a elevatória da Veterinária no período de férias; ²Caracterização do esgoto proveniente da elevatória da Goiaba juntamente com a elevatória da Veterinária no período de aulas; ³Caracterização do afluente à ETE considerando período total da análise; ⁴Caracterização do afluente à ETE no período de férias. Entre parênteses o desvio padrão.

Os valores médios de DQO e DBO obtidos ao longo do experimento foram superiores à faixa de caracterização de esgoto doméstico sugerido por Von Sperling (2014) e Jordão e Pessoa (2014) entre 200 e 800 mg L⁻¹ de DQO e 100 a 400 mg L⁻¹ de DBO. Os valores verificados no presente trabalho confirmam que o efluente tratado na ETE-UFLA não pode ser considerado simplesmente como doméstico, pois, teoricamente, tem maior concentração orgânica quando comparado ao efluente doméstico, entre outros fatores, devido à maior diluição devido à presença de águas de banho e máquina de lavar que diluem o esgoto, diminuindo a concentração orgânica, o que não ocorre na universidade. Para os sólidos, os valores observados são similares à faixa estabelecida pelos referidos autores entre 370 e 1.350 mg L⁻¹.

Outros trabalhos que avaliaram os efluentes gerados em instituições de ensino observaram valores inferiores aos observados no presente trabalho. Bertolino, Carvalho e Aquino (2008), na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), verificaram DBO entre 171 a 300 mg L⁻¹; e Minegatti, Volschan, Jordão (2011) que ao analisarem o tratamento de esgoto da Universidade Federal do Rio de Janeiro, obtiveram DBO média de 227 mg L⁻¹.

Semelhante ao ocorrido com a DBO, o aumento do valor de DQO nos esgotos pode ser observado em outras instituições de ensino e pesquisa, onde a concentração tem um acréscimo substancial quando comparado a esgoto doméstico provenientes de centros urbanos. Peixoto et al. (2012) verificaram que a DQO do esgoto sanitário IFCE alcançou valores de 465 mg L⁻¹, e o esgoto provindo dos laboratórios se mostram bem mais concentrados, tendo dias que a concentração passou de 6.000 mg L⁻¹. Menezes (2017) encontrou 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, embasando ainda mais a justificativa da presença de substâncias não biodegradáveis, ou inibidoras de biodegradação, provenientes de laboratórios.

Sustentando a maior contribuição dos laboratórios no afluente à ETE-UFLA, Peixoto et al. (2012) obtiveram concentrações de 246 e 2.064 mg L^{-1} de ST, respectivamente para esgoto doméstico, proveniente de banheiros e cantina, e efluentes de laboratório, composição de todos os efluentes com características especiais lançados pelos laboratórios. Bertolino, Carvalho e Aquino (2008), caracterizando o efluente da UFOP, encontraram valores semelhantes a Peixoto et al. (2012) quando comparado ao de origem doméstica, obtendo valores na faixa entre 140 a 296 mg L^{-1} de ST.

Apesar da DQO elevada, a elevação dos valores médios de DBO faz com a relação DQO/DBO para o período de estudos seja de 1,60, propicia à degradação biológica dos efluentes e aplicáveis o tratamento por reator UASB e FBAS (VON SPERLING, 2014).

1.2. Monitoramento da eficiência de remoção de DQO, DBO e Sólidos

A variação dos valores de DQO afluente e efluente dos reatores UASB e dos FBAS estão apresentados nas Figuras 2 e 3. Nota-se que houve significativa variação nos valores afluentes à ETE na estação elevatória, principalmente no período entre maio e junho, onde ocorreram férias escolares (09 de maio a 05 de junho). O período de férias escolares também é um fator com grande relevância na análise de eficiência da estação de tratamento de efluentes da UFLA, havendo significativa redução na vazão afluente à ETE.

Fialho (2019) observou vazão média afluente à ETE-UFLA cerca de duas vezes maior durante o período de aulas ($105,5 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$), comparada às férias escolares ($57,1 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$). Melo (2019) observou a diminuição da eficiência no tratamento juntamente com redução na vazão da ETE-UFLA devido ao período de recesso e associou à presença de resíduos com baixa degradabilidade, possivelmente provenientes das atividades laboratoriais da universidade, em que há falta de conscientização dos usuários dos laboratórios.

Os valores médios da DQO afluente à ETE obtidos durante o período de amostragem apresentaram valores mais elevados no período de férias escolares e os valores efluentes aos seis reatores foi inferiores, evidenciando que os reatores UASB foram capazes de absorver o aumento da concentração orgânica afluente, o que se refletiu também no efluente dos FBAS (Figura 3).

Figura 2 - Variação dos valores de DQO afluente e efluente dos reatores UASB ao longo do período de monitoramento.

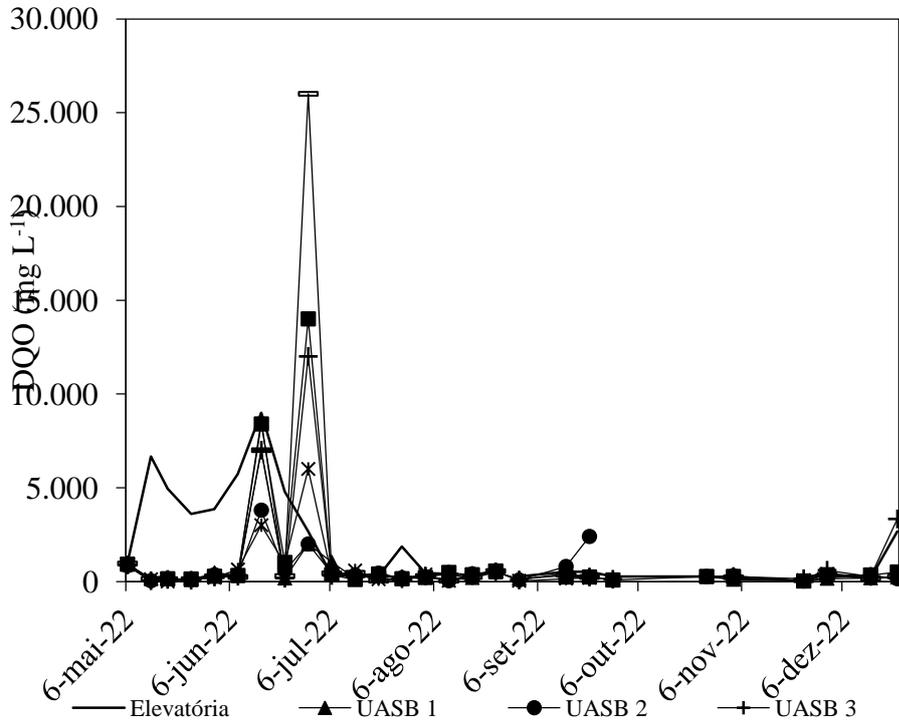
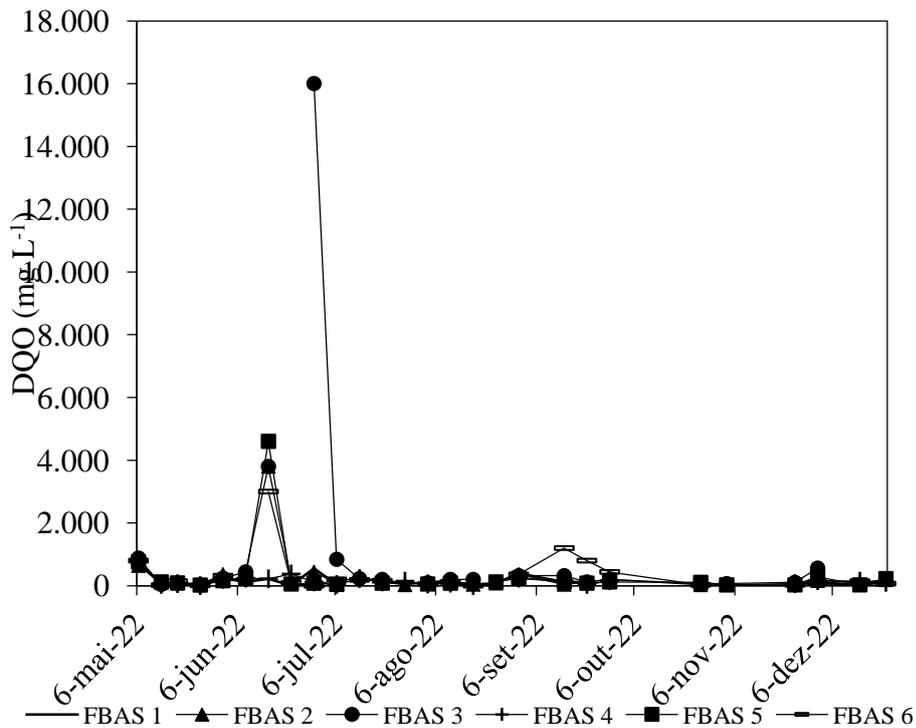


Figura 3 - Variação dos valores de DQO efluente dos FBA ao longo do período de monitoramento.



Entretanto, após o término das férias escolares e aumento da população circulante no campus da UFLA, houve um aumento significativo da DQO afluente e os reatores UASB não conseguiram suportar a carga orgânica aplicada (Figura 2), o que refletiu, em menor grau, nos FBAS (Figura 3). Tal fato não foi observado após as férias escolares de outubro (26 de setembro a 23 de outubro). Após o período de pandemia da COVID-19, no qual a vazão dos esgotos foi reduzida drasticamente pela restrição de acesso das pessoas ao campus da UFLA, houve perda de qualidade do lodo dos reatores. Lima (2021), ao avaliar as características do lodo presente nos reatores UASB da UFLA em novembro de 2021, verificou que a massa total de lodo aumentou em todos os reatores UASB. Entretanto, a redução na aplicação da COV durante o período de pandemia, fez com que o lodo perdesse qualidade (redução de STV em relação aos STF), comparado ao levantamento realizado em fevereiro de 2018, aumentando o processo de flotação e arraste do mesmo. Se a COV fosse mantida como aplicada antes da paralização das atividades devido à COVID -19, haveria, provavelmente, o aumento dos SVT de forma mais proporcional ao aumento de massa de lodo total. A autora concluiu que durante a pandemia 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.

Assim, com o retorno da população universitária ao campus em 14/02/2022 houve o restabelecimento das condições de alimentação dos microrganismos. Entretanto, acredita-se que não tenha sido suficiente para a recuperação total dos microrganismos, e com as férias escolares de maio/2022 houve ainda mais perda da qualidade do lodo, e o aumento da vazão, com o retorno das atividades escolares em junho/2022, proporcionou o arraste do lodo de pior qualidade dos reatores.

Este fato pode ser comprovado, pois houve grande quantidade de sólidos totais no efluente dos reatores UASB no mesmo período de aumento da DQO efluente dos UASB (Figura 4). E este lodo apresentou elevada quantidade de sólidos fixos (média de 462 mg L^{-1}), comparado aos sólidos voláteis (média de 775 mg L^{-1}) (Figura 5), ou seja, um lodo caracterizado por grande quantidade de material recalcitrante, que com o aumento da vazão com o retorno das atividades escolares pode ter promovido o arraste do material depositado na estação elevatória que antecede os reatores UASB bem como do lodo de dentro dos reatores. Assim, com o retorno das atividades e aumento da vazão na ETE-UFLA após as férias escolares de outubro/2022, acredita-se que o lodo de pior qualidade já estava presente em menor quantidade, o que não refletiu em arraste do lodo.

Figura 4 - Variação dos valores de sólidos totais afluente e efluente dos reatores UASB ao longo do período de monitoramento.

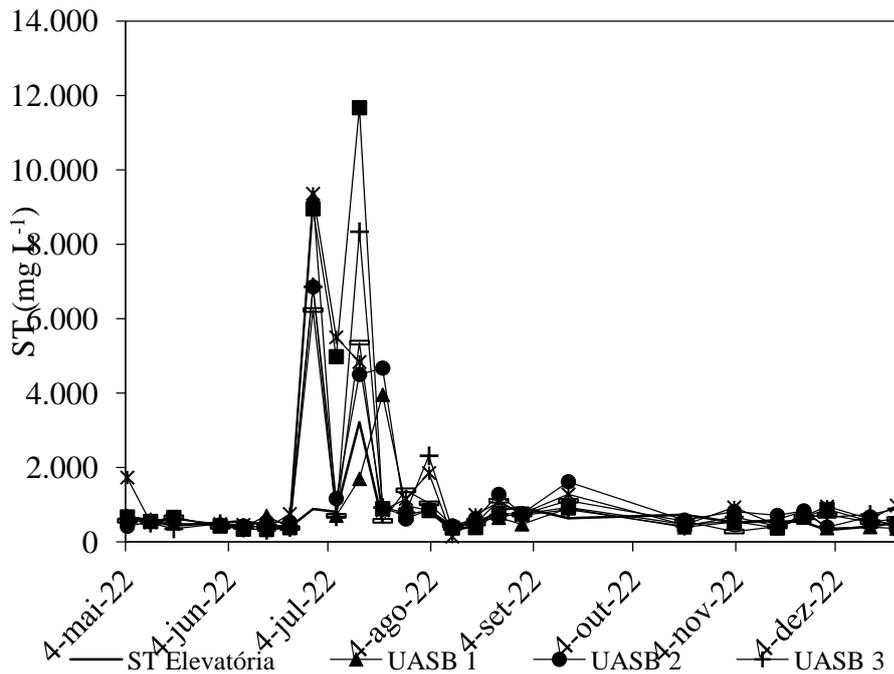
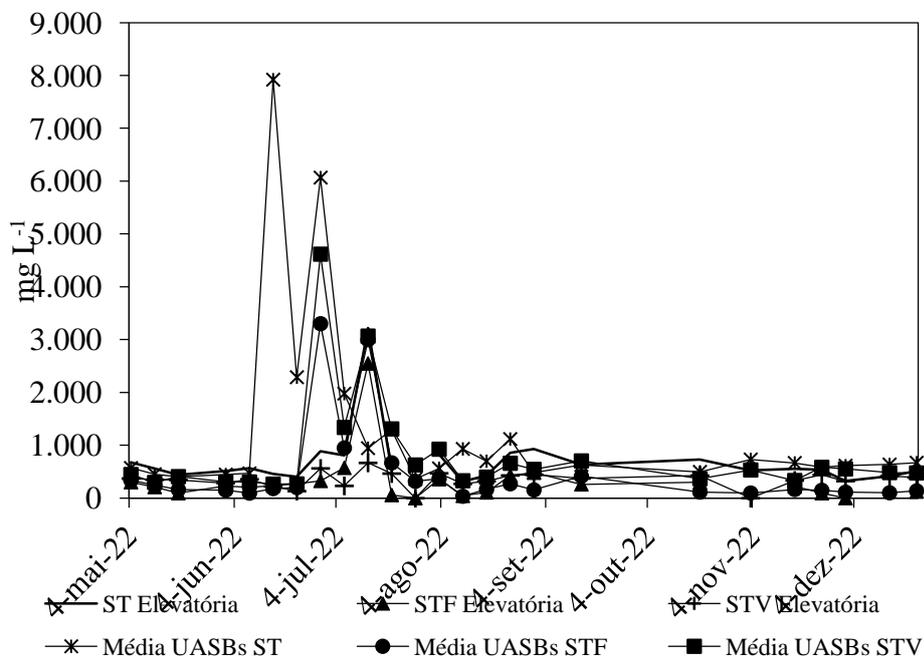


Figura 5 - Variação dos valores médios de sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV) afluente e efluente dos reatores UASB ao longo do período de monitoramento.

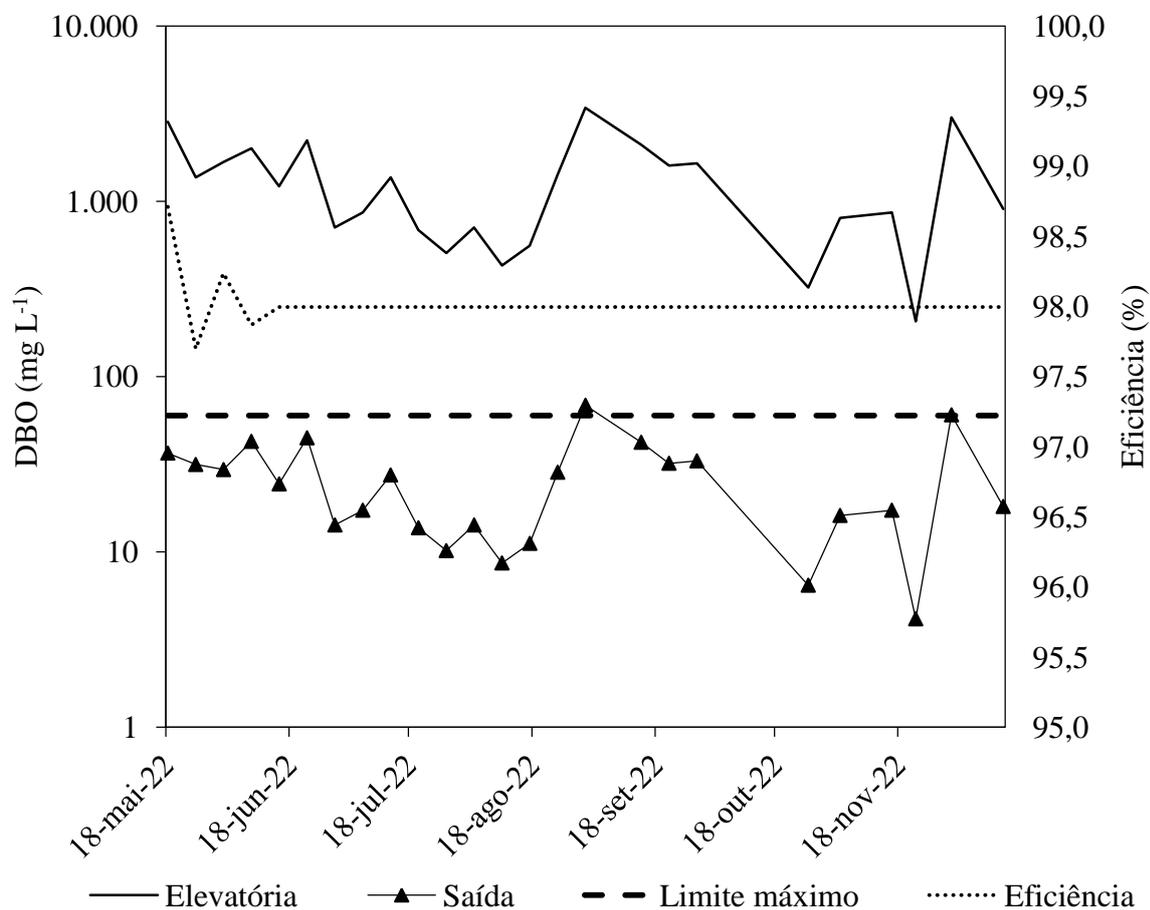


Para reforçar a hipótese de arraste de lodo de menor qualidade dos reatores UASB, está apresentado na Figura 6, a variação dos valores afluente e efluentes de DBO dos reatores UASB. Apesar de terem sido observados picos nos valores de DQO e ST, após o retorno das atividades escolares em junho/2022, os mesmos não foram observados para a DBO, confirmando que o material expelido pelos reatores na forma de

sólidos, apesar de orgânico (média de 775 mg L⁻¹ de SVT), era de baixa biodegradabilidade (relação média DQO/DBO = 37,5).

Desta forma, observa-se ainda na Figura 6, que os reatores UASB seguidos dos FBAs foram capazes de remover a DBO a valores que atendem a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°8/2022, que estabelece valor máximo para disposição em cursos d'água de 60 mg L⁻¹ de DBO. Ou ainda, que o sistema de tratamento tenha eficiência média anual de maior ou igual a 70% e eficiência mínima pontual de 60% (MINAS GERAIS, 2022). No presente trabalho, a eficiência média foi de 98%, e a concentração média efluente de 26 mg L⁻¹ de DBO.

Figura 6 - Variação dos valores de DBO afluente e efluente da ETE/UFLA e eficiência de remoção de DBO ao longo do período de monitoramento, e limite máximo permitido para lançamento em cursos d'água pela DN Conjunta COPAM/CERH n°8/2022.

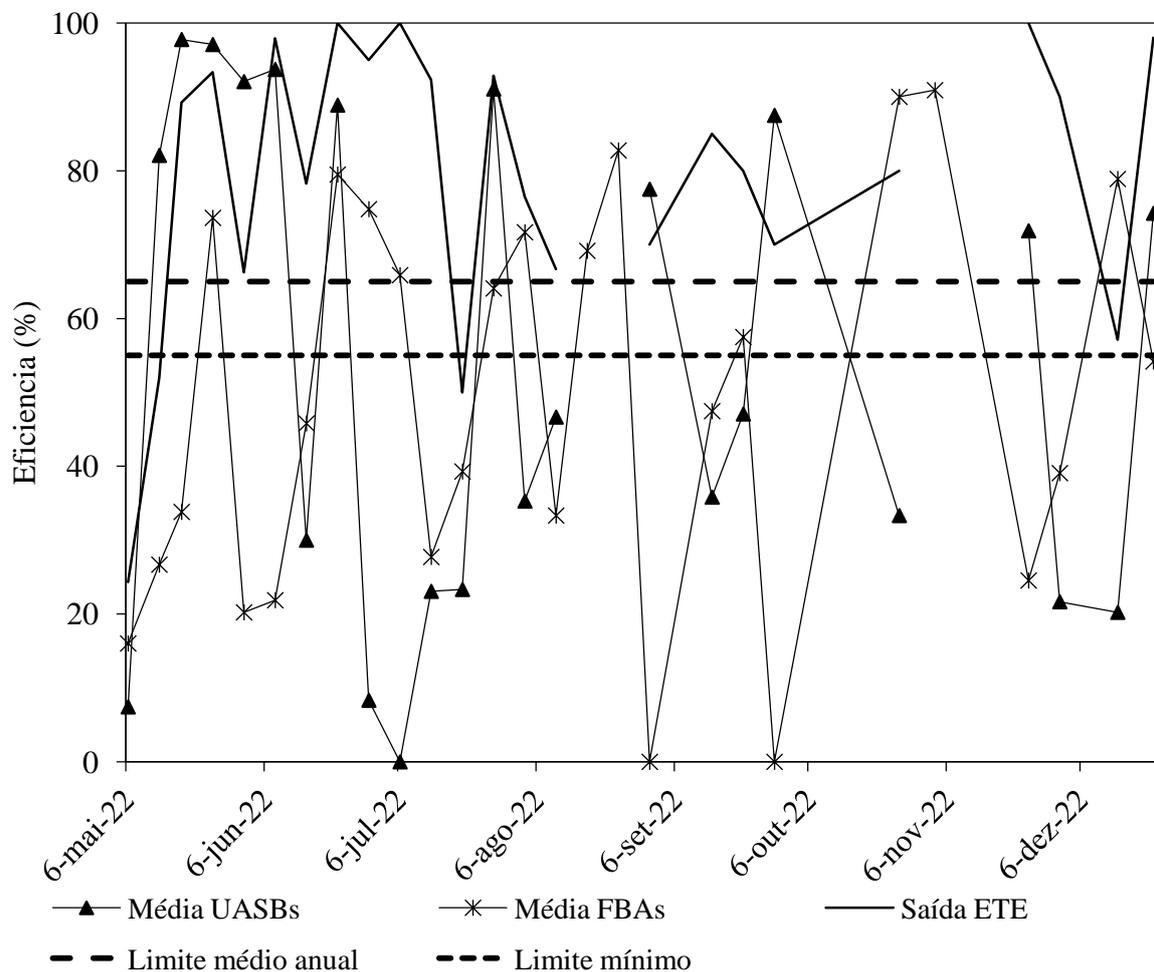


Fonte: Do Autor (2023).

Em relação à remoção de DQO (Figura 7) nota-se forte oscilação nos valores, e muitos valores abaixo do que a normativa ambiental estabelece. A variação dos valores de remoção de DQO está relacionada à baixa eficiência de remoção de sólidos (Figura 8). O arraste do lodo dos reatores UASB e, posteriormente dos FBAS, proporcionaram elevados valores de DQO efluente do sistema e consequentemente redução da

eficiência de remoção de DQO. Em média, os reatores UASB e os FBAS removeram 54% e 49% de DQO ao longo do período de monitoramento. Valores médios ainda menores foram observados para remoção de ST nos UASB, de 8%. O que resultou, durante o monitoramento, em uma eficiência global média da ETE de remoção de DQO e ST de 79% e 19%, e concentrações médias efluentes para as respectivas variáveis de 406 mg L⁻¹ e 986 mg L⁻¹.

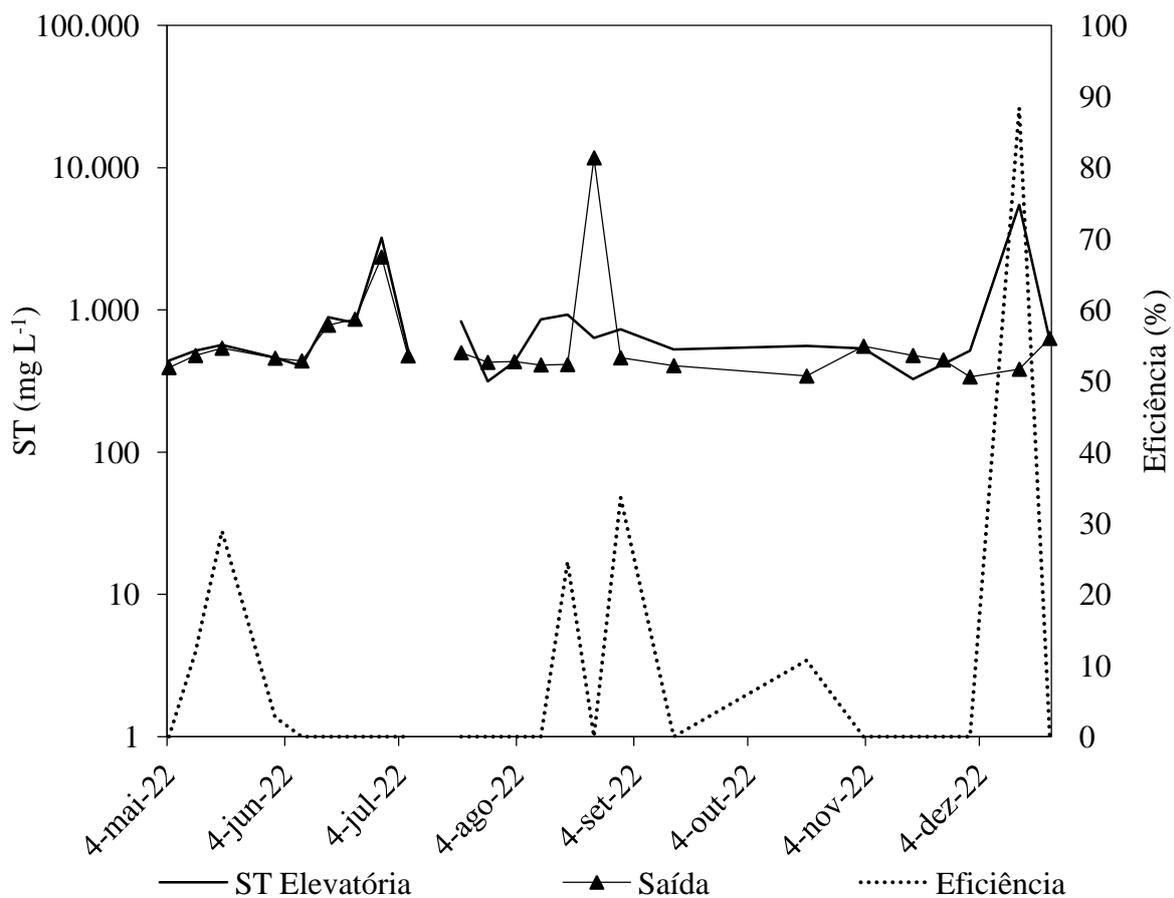
Figura 7 - Variação dos valores de eficiência de remoção de DQO média pelos seis reatores UASB, pelos seis FBAS e pela ETE/UFLA ao longo do período de monitoramento, e limite mínimo médio anual e mínimo pontual permitido para lançamento em cursos d'água pela DN Conjunta COPAM/CERH n°8/2022.



No caso da DQO, o valor foi bem superior ao descrito pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°8/2022, que estabelece valor máximo para disposição em cursos d'água de 180 mg L⁻¹ de DQO. Ou ainda, que o sistema de tratamento tenha eficiência média anual de maior ou igual a 65% e eficiência mínima pontual de 55% (MINAS GERAIS, 2022). Neste caso, como eficiência média a ETE atende à legislação, mas ocorreram eficiências mínimas iguais a zero, o que desrespeita a legislação vigente. Destaca-

se ainda que as deficiências podem ser consideradas desde que não seja alterada a qualidade da água do corpo hídrico receptor, que no caso do presente trabalho é o Ribeirão Vermelho, sabidamente de vazão reduzida e de qualidade deteriorada pela contribuição pontual de esgotos não tratados da cidade de Lavras (MENEZES et al., 2016).

Figura 8 - Variação dos valores de sólidos totais (ST) afluente e efluente da ETE/UFLA e eficiência de remoção de ST ao longo do período de monitoramento.



Para os ST não há critério normatizado para o lançamento. Entretanto, há padrão de 100 mg L⁻¹ de sólidos suspensos (SST). Partindo do princípio que tenha ocorrido arraste do lodo do sistema, acredita-se que o padrão de SST tenha sido superado.

Corroborando com a necessidade de melhorias no sistema, maiores eficiências foram observadas por Li, Gao e Yue (2012) que avaliaram o tratamento de efluente de produção de proteína de soja com DQO da ordem de 18.000 mg L⁻¹, e o conjunto UASB-FBAS foi capaz de remover 99% da DQO e dos 8.000 mg L⁻¹ de DBO afluente ao sistema. Ainda no tratamento de esgoto doméstico, Gonçalves, Araújo e Bof (1999) obtiveram remoção de sólidos, DBO e DQO de 95%, 95% e 88%, respectivamente em um conjunto UASB-FBAS.

Em média, Von Sperling (2014) estabelece eficiências de remoção de DBO e para reatores UASB e FBAS, operando em conjunto no tratamento de efluentes domésticos, da ordem de 83-93% e 75-88%, nos

quais os valores médios observados no presente trabalho se enquadram. Entretanto, quando se avalia as curvas de eficiência ao longo do tempo (Figuras 6, 7 e 8), percebe-se que medidas devem ser tomadas para a melhoria do sistema de tratamento, devido aos elevados valores de matéria orgânica de menor biodegradabilidade no efluente.

CONCLUSÃO

Após a avaliação da remoção da matéria orgânica nos reatores UASB e FBAS da ETE-UFLA, é possível concluir que durante o período avaliado houve arraste de sólidos do reator UASB ocasionado pelo aumento da vazão quando do retorno das atividades escolares em junho de 2022.

A eficiência da ETE-UFLA quanto à remoção de DBO atendeu às exigências ambientais durante o período avaliado (98% de eficiência média e DBO média efluente de 26 mg L⁻¹). Porém, a eficiência de tratamento quanto à remoção de sólidos totais foi relativamente baixa (19% e média efluente de 986 mg L⁻¹), e a remoção de DQO não atendeu à legislação vigente quanto ao valor de disposição (média de 406 mg L⁻¹) ou eficiência mínima pontual de remoção, que foi igual a zero em nove das 22 amostragens.

O sistema biológico de tratamento da ETE-UFLA composto pelos reatores UASB e FBAs precisam de intervenção nas condições atuais de operação para a melhoria das eficiências de remoção de matéria orgânica de menor biodegradabilidade que compõe a DQO afluente à ETE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABOU-ELELA, S.I.; FAWZY, M.E.; EL-GENDY, A.S. Potential of using biological aerated filter as a post treatment for municipal wastewater. *Ecological Engineering*, v.84, p.53-57, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.07.022>.
2. ADEKUNLE, K. F.; OKOLIE, J. A. A review of biochemical process of anaerobic digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, n.6, p.205-212, 2015. <https://doi.org/10.4236/abb.2015.63020>.
3. ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS, J. R. Introdução. In: Campos, J. R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 1999. Cap. 1, p 1-28.
4. AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. L. Build up of volatile fatty acids (VFA) in anaerobic reactors under stress conditions: causes and control strategies. *Eng. sanit. ambient.*, v.10, n.2, p.152-161, 2005.
5. 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, p.271-277, 2008.
6. BRAGA, L. N.; TRABLY, E.; SANTA-CATALINA, G.; BERNET, N.; DELGENÈS, J.P.; ESCUDIÉ, R. Biomethanation processes: new insights on the effect of a high H₂ partial pressure on microbial communities. *Biotechnol. Biofuels*, v.13, p.1-17, 2020.
7. BREMER, J. R. A. Aerobic and anaerobic biodegradation. *J Ecosys Ecograph.*, v.12, 325, 2022. <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000325>.
8. BRITO, M.G.S.L.; NUNES, F.C.B.; MAGALHÃES, H.L.F.; LIMA, W.M.P.B.; MOURA, F.L.C.; FARIAS NETO, S.R.; LIMA, A.G.B. Hydrodynamics of UASB reactor treating domestic



- wastewater: a three-dimensional numerical study. **Water**, v.12, 279, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12010279>
9. CAMPOS, C. M. M. et. al. Avaliação da eficiência do reator UASB tratando de efluente de laticínio sob diferentes cargas orgânicas. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 28, n. 6, p. 1376 – 1384, nov./dez., 2004.
 10. CAMPOS, J. R. et. al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. São Carlos: PROSAB, 1999. *E-book*. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabcamposfinal.pdf>. Acesso: 10 out. 2022
 11. CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, v. 5, 2007.
 12. CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. 2ª ed. ampliada e atualizada. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007. 379p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.5).
 13. CHERNICHARO, C.A.L.; VAN LIER, J.B.; NOYOLA, A.; RIBEIRO, T.B. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v.14, n.4, p.649-679, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11157-015-9377-3>
 14. CHONG, S.; CHONG, J. Methane: a natural gas. **Microbiology Today**. p. 124-127, 2008.
 15. COLLIVIGNARELLI, M. C. Applications of Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) and characteristics of its microbial community: A review of bibliometric trend and recent findings. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. Basel, v. 18, n. 10326, set. 2021.
 16. COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. J. M. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Edição Especial, p. 51-60, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000171>
 17. DAUD, M. K. et. al. Review of upflow anaerobic sludge blanket reactor technology: effect of different parameters and developments for domestic wastewater treatment. **Journal of Chemistry**. Londres, v. 2018, n. 1596319, 13 p., 2018.
 18. DHAKED, R. K.; SINGH, P.; SINGH, L. Biomethanation under psychrophilic conditions. **Waste Manag.**, v.30, p.2490–2496, 2010.
 19. EL HOUARI, A.; RANCHOU-PEYRUSE, M.; RANCHOU-PEYRUSE, A.; BENNISSE, R.; BOUTERFAS, R.; URRIZA, M.S.G.; QATIBI, A-I.; GUYONEAUD, R. Microbial communities and sulfate-reducing microorganisms abundance and diversity in municipal anaerobic sewage sludge digesters from a wastewater treatment plant (Marrakech, Morocco). **Processes**, v. 8, n.10,1284. 2020. <https://doi.org/10.3390/pr8101284>.
 20. FARABEGOLI, G.; CHIAVOLA, A.; ROLLE, E. The Biological Aerated Filter (BAF) as alternative treatment for domestic sewage. Optimization of plant performance. **Journal of Hazardous Materials**, v.17, n.1-3, p.1126-1132, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.128>.
 21. FIALHO, D. E. S. **Caracterização do esgoto sanitário e avaliação da eficiência da ETE/UFLA na remoção de fármacos e desreguladores endócrinos**. 2019. 98 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Inovações Ambientais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.
 22. GONÇALVES, R. F.; ARAÚJO, V. L. BOF, V. S. Combining Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors and Submerged Aerated Biofilters for Secondary Domestic Wastewater Treatment. **Water Science and Technology**, v.40, n.8, p.71–79, 1999. <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0389>.

23. GRESES, S.; TOMÁS-PEJÓ, E.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, C. Short-chain fatty acids and hydrogen production in one single anaerobic fermentation stage using carbohydrate-rich food waste. **J. Clean. Prod.**, v.284, 124727, 2021.
24. GUERI, M. V. D. MELEGARI S. N. S. KUCZMAN, O. Operational parameters of anaerobic digestion process of food waste: a review. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p.17-25, 2018.
25. GUIMARÃES, J. R.; NOUR, E. A. A. Tratando esgotos: Processos que imitam a natureza. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola – Química ambiental**, p. 19 – 30, 2001.
26. HANSEN, R.; THOGERSEN, T.; ROGALLA, F. Comparing cost and process performance of activated sludge (AS) and biological aerated filters (BAF) over ten years of fullscale operation. **Water Sci. Technol.**, v.55, n.8–9, p.99–106, 2007.
27. HE, K.; LI, W.; TANG, L.; LI, W.; LV, S.; XING, D. Suppressing methane production to boost high-purity hydrogen production in microbial electrolysis cells. **Environ. Sci. Technol.**, v.56, p. 11931–11951, 2022.
28. IORHEMEN, O. T.; LIU, Y. Effect of feeding strategy and organic loading rate on the formation and stability of aerobic granular sludge. **Journal of Water Process Engineering**, v.39, 101709, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101709>.
29. JIANG, M.; WESTERHOLM, M.; QIAO, W.; WANDERA, S.M.; DONG, R. High-rate anaerobic digestion of swine wastewater in an anaerobic membrane bioreactor. **Energy**, v.193, 116783, 2020.
30. JO, Y.; RHEE, C.; CHOI, H.; SHIN, J.; SHIN, S.G.; LEE, C. Long-term effectiveness of bioaugmentation with rumen culture in continuous anaerobic digestion of food and vegetable wastes under feed composition fluctuations. **Bioresour. Technol.**, v.338, 125500, 2021.
31. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014. 1050 p.
32. LI, Z.; GAO, B.; YUE, Q. UASB-A/O-BAF treatment of high strength wastewater: a case study for soybean protein wastewater. **Desalination and Water Treatment**, v.47, n.1-3, p.24-30, 2012. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.696406>.
33. LIMA, N. **Estabilidade dos reatores UASB da ETE-UFLA em um período da pandemia com reduzida carga orgânica**. 2021. 40p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.
34. LIU, Y.Q.; ZHANG, X.; ZHANG, R.; LIU, W.T.; TAY, J.H. Effects of hydraulic retention time on aerobic granulation and granule growth kinetics at steady state with a fast start-up strategy. **Appl Microbiol Biotechnol.**, v.100, n.1, p.469-77, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6993-3>
35. MACHADO, E.S.; KNAPIK, H. G.; BITENCOURT, C. C. A. Considerações sobre o processo de enquadramento dos corpos de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 17-27, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019181252>
36. MARTÍNEZ, Lucía García. **Densificación y torrefacción de biomasa de chumbera (Opuntia SPP) y jara (Cistus SPP)**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – E.T.S.I. Industriales (UTM). Madrid, 2016.
37. MAURUS, K.; KREMMETER, N.; AHMED, S.; KAZDA, M. High-resolution monitoring of VFA dynamics reveals process failure and exponential decrease of biogas production. **Biomass Convers. Biorefinery**, v.1, p.1–11, 2021.
38. MENEZES, J. P. C. et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.3, p.519-534, 2016.



39. MENEZES, L. C. C. **Caracterização do efluente gerado no campus Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas**. 2017. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2017.
40. METCALF, EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Tradução: HESPANHOL, I.; MIERZWA, J.C. 5.ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980p.
41. MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 08, de 21 de novembro de 2022. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Executivo Minas Gerais, 02 de dezembro de 2022.
42. MULYANI, H.; BUDIANTO, G.P.I.; MARGONO, KAAVESSINA, M. The influence of pH adjustment on kinetics parameters in tapioca wastewater treatment using aerobic sequencing batch reactor system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL, MECHANICAL, ELECTRICAL, AND CHEMICAL ENGINEERING, 3., 2018. **Proceedings....** Melville, NY: AIP Publishing, 1931, 030007-1–030007-5. <https://doi.org/10.1063/1.5024066>
43. NAVARRO, S.S.; CIMPOIA, R.; BRUANT, G.; GUIOT, S. R. Biomethanation of syngas using anaerobic sludge: shift in the catabolic routes with the CO partial pressure increase. **Front Microbiol.**, v. 7, 1188, 2016.
44. NKAMGA, V. D.; HENRISSAT, B.; DRANCOURT, M. Archaea: Essential inhabitants of the human digestive microbiota. **Human Microbiome Journal**, v.3, p.1-8, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.humic.2016.11.005>.
45. NYIKA, J.; DINKA, M. O. A mini-review on wastewater treatment through bioremediation towards enhanced field applications of the technology. **AIMS Environmental Science**, v.9, n.4, p.403-431, 2022. <https://doi.org/10.3934/environsci.2022025>.
46. OLIVEIRA, J.F.; FIA, R.; FIA, F.R.L.; RODRIGUES, F. N.; MATOS, M.P.; SINISCALCHI, L.A.B. Principal component analysis as a criterion for monitoring variable organic load of swine wastewater in integrated biological reactors UASB, SABF and HSSF-CW. **Journal of Environmental Management**, v.262, 110386, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110386>.
47. OLIVEIRA, D. V. M.; VOLSCHAN JUNIOR, I.; JORDAO, E. P. Comportamento e desempenho do processo reator biológico com leito móvel (MBBR) para a remoção da matéria orgânica e compostos nitrogenados. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, v. 4, n.1, p. 12-26, 2011.
48. OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. **Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias**. Parte 1: Análise de desempenho. Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2005.
49. PAN, S.; TAY, J.-H.; HE, Y.-X.; TAY, S.T.-L. The effect of hydraulic retention time on the stability of aerobically grown microbial granules. **Letters in Applied Microbiology**, v.38, p.158–163, 2024.
50. PEIXOTO, F.S.; LIMA, B.G.; BARROS, A.R.M.; SILVA FILHO, H.A.; SANTOS, E.V.M. Importância da caracterização de esgotos gerados em instituições de ensino – estudo de caso – IFCE, Campus Limoeiro do Norte. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7. 2012. **Anais eletrônicos...** Palmas: IFTO. Disponível em: <<https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/845/2233>>. Acesso em: 15 fev. 2023.
51. PEREIRA, H. S. **Estudo da caracterização do efluente do campus universitário capão do leão e possibilidade de reúso**. 2014. 64p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

52. REZASOLTANI, S.; SHAYEGAN, J.; JALALI, S. Effect of pH on aerobic granulation and treatment performance in sequencing batch reactors. **Chemical Engineering & Technology**, v.38, n.5, p.851–858 2015. <https://doi.org/10.1002/ceat.201400400>.
53. RISSOLI, César Augusto. **Estudo de parâmetros operacionais do reator UASB tratando esgoto doméstico e avaliação da biodegradabilidade do seu efluente**. 2004. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM – 073/04, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 125p.
54. RUFFINO, B.; CERUTTI, A.; CAMPO, G.; SCIBILIA, G.; LORENZI, E.; ZANETTI, M. Thermophilic vs. mesophilic anaerobic digestion of waste activated sludge: modelling and energy balance for its applicability at a full scale WWTP. **Renew. Energy**, v.156, p.235–248, 2020.
55. SANTOS, S. L.; VAN HAANDEL, A. Influência da temperatura sobre o desempenho do tratamento anaeróbio de esgoto. **Revista DAE**. v. 67, n. 216, p. 52 - 69, 2019.
56. SEGHEZZO, L. et. al. A review: The anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. **Bioresource Technology**. v. 65, n. 3, p. 175 – 190, 1998.
57. SHAKERKHATIBI, M.; GANJIDOUST, H.; AYATI, B.; FATEHIFAR, E. Performance of aerated submerged fixed-film bioreactor for treatment of acrylonitrile-containing wastewater. **Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.**, v.7, n.4, p.327-336, 2010.
58. SIKOSANA, M. L.; SIKHWIVHILU, K.; MOUTLOALI, R.; MADYIRA, D. M. Municipal wastewater treatment technologies: A review. *Procedia Manufacturing*, v.35, p.1018-1024, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.051>.
59. SOARES, C. M. T.; FEIDEN, A.; TAVARES, S. G. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. **Nativa**, v. 5, p. 522-528. 2018
60. STAZI, V.; TOMEI, M. C. Enhancing anaerobic treatment of domestic wastewater: state of the art, innovative technologies and future perspectives. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 78-91, 2018.
61. VÍTEŽOVÁ, M.; KOHOUTOVÁ, A.; VÍTEŽ, T.; HANIŠÁKOVÁ, N.; KUSHKEVYCH, I. Methanogenic microorganisms in industrial wastewater anaerobic treatment. **Processes**, v. 8, n.12, 1546, 2020. <https://doi.org/10.3390/pr8121546>
62. 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. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.1).
63. ZAMRI, M.F.M.A.; HASMADY, S.; AKHIAR, A.; IDERIS, F.; SHAMSUDDIN, A.H.; MOFIJUR, M.; FATTAH, I.M.R.; MAHLIA, T.M.I. A comprehensive review on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. **Renew. Sustain. Energy Rev.**, v.137, 110637, 2021.
64. ZIELINSKI, M.; KAZIMIEROWICZ, J.; DEBOWSKI, M. Advantages and limitations of anaerobic wastewater treatment—technological basics, development directions, and technological innovations. **Energies**, v.16, 83, 2023. <https://doi.org/10.3390/en16010083>