

## CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO GERADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

### **Fátima Resende Luiz Fia<sup>(1)</sup>**

Engenheira Agrícola. Mestre e Doutora em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais). Professora Associada do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Lavras - UFLA. Diretora de Gestão da Qualidade e Meio Ambiente da UFLA.

### **Débora Ester Santos Fialho<sup>(2)</sup>**

Bióloga. Mestre em Tecnologias e Inovações Ambientais. Operadora de Estação de Tratamento de Água da UFLA.

### **Jacineumo Falcão de Oliveira<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Agrícola e Ambiental. Mestre e Doutor em Recursos Hídricos. Professor Adjunto da UFLA.

### **Lucas Cardoso Lima<sup>(4)</sup>**

Geógrafo. Doutor em Recursos Hídricos.

### **Ronaldo Fia<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Agrícola e Ambiental. Doutor em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais). Professor Associado do Departamento de Engenharia Ambiental da UFLA.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Engenharia Ambiental – Escola de Engenharia – Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG - CEP: 37.200-900 - Brasil - Tel: +55 (35) 3829-1028 - e-mail: fatimarlf@ufla.br.

## RESUMO

Os efluentes do Campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) são gerados por atividades diversificadas de ensino e pesquisa, e oriundos de banheiros, laboratórios, restaurante universitário, lanchonetes, bem como o Hospital Veterinário, o que resulta numa mistura de esgoto sanitário e químico. Assim, o objetivo do presente trabalho foi fazer a caracterização física e química dos efluentes gerados na UFLA e coletados pela Estação Elevatória da Goiaba (EEG), localizada na porção norte do Campus, e pela Estação Elevatória da Veterinária (EEV) situada na porção sul. Os esgotos foram monitorados em dois períodos: (I) entre agosto de 2016 e dezembro de 2017 com os esgotos recebidos na EEG e com mistura de esgotos da EEG e da EEV; (II) entre março e novembro de 2018 com os esgotos EEG e EEV, avaliados separadamente. A avaliação foi realizada por meio da determinação de pH, temperatura, turbidez, sólidos (totais, suspensos e dissolvidos), DBO, DQO, NTK e PT. No Período II, o esgoto da EEG apresentou maior biodegradabilidade com relação DBO/DQO de 0,53. Verificou-se diferença entre os esgotos da EEG e a mistura das EEs no Período I somente para as variáveis pH, ST e NTK ( $p < 0,05$ ) e para o Período II não foi verificada diferença entre os esgotos da EEG e da EEV ( $p > 0,05$ ), indicando que ambas as EEs contribuem de igual forma na composição geral do afluente tratado pela ETE/UFLA.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluente universitário, composição física e química, matéria orgânica e nutrientes.

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para sobrevivência da vida no planeta. Possui diversos usos como abastecimento público e industrial, dessedentação de animais, atividades agrícolas e recreação. Contudo, nas últimas décadas, as atividades antrópicas têm causado efeitos negativos à qualidade deste recurso. O lançamento indiscriminado de efluentes domésticos e agroindustriais sem tratamento prévio, tem afetado a qualidade da água do corpo hídrico receptor, provocando depleção do oxigênio dissolvido, aumento da turbidez, alteração de pH, entre outros efeitos, causando reflexos sobre a manutenção das condições ideais para a sobrevivência dos organismos e sobre a saúde humana.

Cada tipo de efluente é constituída por diferentes substâncias, materiais e organismos, que afetam o ambiente de diversas formas, desde os microrganismos até o ser humano. O esgoto doméstico é formado por urina, fezes, água de banho, sabão, detergentes, águas de lavagem geral, restos de comida e papel, provenientes de residências, comércio e instituições que utilizam a água para fins domésticos (VON SPERLING, 2014).

Segundo a USEPA (United States Environmental Protection Agency), as Instituições de Ensino Superior (IES) estão inseridas, no grupo de pequenas unidades geradoras de resíduos perigosos (Bertolino et al., 2008), e podem ser comparadas com pequenos núcleos urbanos, já que sua infraestrutura básica resulta na geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos (Lara, 2012).

No Campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) os efluentes são gerados por atividades diversificadas de ensino e pesquisa, e oriundos de banheiros, laboratórios, restaurante universitário, lanchonetes, bem como o Hospital Veterinário, o que resulta numa mistura do esgoto sanitário e químico, o que o difere do esgoto doméstico.

Segundo Bertolino et al. (2008), alguns laboratórios de ensino e pesquisa podem gerar considerável quantidade de efluentes líquidos que contém, por exemplo, material particulado orgânico e inorgânico de processos de filtração, soluções ácidas e alcalinas, compostos orgânicos e inorgânicos diversos, que acarretam em elevadas concentrações de matéria orgânica nos efluentes dos laboratórios, podendo apresentar características bastante agressivas, com pH extremamente baixo, altos valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO), elevado teor de sólidos, elevada condutividade e presença de compostos tóxicos orgânicos e inorgânicos.

Com isso percebe-se que os esgotos sanitários gerados em instituições de ensino representam uma importante rota de contaminação dos ambientes aquáticos, tendo em vista que as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) recebem uma grande carga desses poluentes que não são completamente removidos por sistemas de tratamento convencional (Vergeynst et al., 2015).

Nesse sentido, o monitoramento dessas substâncias no esgoto, pela caracterização e identificação dos diversos poluentes presentes no mesmo, é fundamental para avaliar a eficiência dos sistemas de tratamento comumente utilizados e a necessidade de adotar novas tecnologias, que possam aumentar as taxas de remoção e assim, possibilitar o lançamento seguro sem comprometer a saúde pública e o equilíbrio ambiental (Afonso-Oliveiras et al., 2017).

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do esgoto gerado pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) por meio de análises físicas e químicas, comparando o esgoto coletado por duas Estações Elevatórias (EE) com outras instituições brasileiras e internacionais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

O estudo foi realizado no Campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Minas Gerais (coordenadas 21°13'49.1"S 44°59'22.9"W). A UFLA é uma instituição que atua no ensino de graduação e de pós-graduação, na pesquisa e extensão, sob a forma de atividades presenciais e à distância, nas áreas do conhecimento das ciências exatas, engenharias, robótica, saúde e humanas.

As grandes instalações na instituição são constituídas por Restaurante Universitário, Hospital Veterinário, Estação de Tratamento de Água (ETA) e esgoto (ETE) e 17 laboratórios multiusuários mais uma centena de laboratórios acadêmicos. Para reduzir a diversidade e concentração poluente, a UFLA aplica um Plano Ambiental que coleta, processa e trata quimicamente os resíduos gerados nos laboratórios antes do lançamento no esgoto que é conduzido para ETE/UFLA junto com os efluentes gerados no hospital veterinário, nos banheiros, pias e águas de limpeza de pisos e também no restaurante universitário, após passar por um flotor (Junqueira et al., 2017).

O esgoto sanitário gerado no campus é coletado e encaminhado para ETE/UFLA por meio de duas estações elevatórias (EEs), conhecidas como Estação Elevatória da Goiaba (EEG), que recebe o esgoto gerado pela porção norte do Campus (restaurante universitário, pavilhões de aula, gabinetes de professores e laboratórios de Biologia, Fitopatologia, Ciências do Solo e Ciências Florestais) e Estação Elevatória da Veterinária (EEV) que coleta o efluente gerado pela porção sul do Campus (pavilhões de aula, gabinetes de professores, laboratórios de Engenharia, Química, Saneamento, Ciências dos Alimentos e Nutrição, bem como o hospital veterinário).

## **Amostragem e análises físicas e químicas do esgoto gerado**

A caracterização físico-química do esgoto gerado na UFLA foi realizada em dois períodos distintos (Período I e Período II). No Período I foi analisado o esgoto da Estação Elevatória da Goiaba (EEG) e o esgoto da EEG adicionado com o esgoto da Estação Elevatória da Veterinária (EEV). A mistura e coleta do esgoto das duas Estações Elevatórias (EEs) foi realizada em tanque de equalização com 310 L após gradeamento ( $\varnothing 0,02$  m) na ETE/UFLA. Nesse período de coleta que consistiu entre agosto de 2016 a dezembro 2017 foram coletadas 116 amostras, sendo 77 da EEG e 49 da mistura (EEG+EEV).

No Período II, entre março a novembro de 2018, os esgotos das EEs foram caracterizados com 19 amostragens coletadas após o gradeamento. O sistema de bombeamento de esgoto da UFLA é automatizado e permite identificar a origem e contribuição individual do esgoto que chega na ETE (EEG ou EEV) durante as coletas. Os dados coletados nesse período também foram caracterizados em período de férias escolares (07/03-11/03/2018 e entre 26/07-19/08/2018) e aulas (12/03-25/07/2018 e 20/08-26/11/2018).

Para análise de qualidade de esgoto universitário, foram coletados, nos Períodos I e II, 0,5L de amostra em frasco esterilizado e encaminhadas ao Laboratório de Águas Residuárias do Departamento de Engenharia Ambiental (DAM/UFLA), onde realizaram-se as análises de: pH, temperatura, sólidos (totais, suspensos e dissolvidos), DBO, DQO, Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Fósforo Total (PT) (APHA et al., 2005).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Caracterização físico-química do esgoto gerado na UFLA**

Os dados de caracterização do esgoto da EEG, EEV e da mistura das EEs, nos dois períodos de monitoramento, bem como os valores médios separados em período de férias escolares (07/03 a 11/03/2018 e entre 26/07 a 19/08/2018) e período de aulas (12/03 a 25/07/2018 e 20/08 a 26/11/2018), durante o Período II, encontram-se na Tabela 1.

Percebeu-se no Período I (2016/2017) acréscimo significativo de 0,8 no pH médio da mistura de esgoto das duas EEs (EEG+EEV), comparada à EEG que, provavelmente, está associado ao uso de sanitizantes nos ambientes, uma vez que a EEV agrega esgoto do Hospital Veterinário e laboratórios do Departamento de Química. Por outro lado, no Período II (2018) o pH da EEG e EEV permaneceram dentro da faixa de 6,7 a 8,0, comumente encontrada para esgoto sanitário (Von Sperling, 2014) e semelhantes aos observados por Sun et al. (2016), Renuka et al. (2016) e Roudbari and Rezakazemi (2018).

Os valores médios de DBO nos períodos monitoramentos (I e II) foram compatíveis aos relatados por Metcalf and Eddy (2016) e Roudbari and Rezakazemi (2018) para esgoto sanitário, porém, inferior a  $300 \text{ mg L}^{-1}$  observado por Von Sperling (2014) em esgoto sanitário no Brasil, sendo que os menores valores médios de DBO foram verificados no esgoto da EEV (Período II). Em relação à DQO, os resultados foram superiores à média de  $600 \text{ mg L}^{-1}$  (Von Sperling, 2014), principalmente no primeiro ano de avaliação (Período I), onde os valores obtidos foram superiores a  $1000 \text{ mg L}^{-1}$ . Belhaj et al. (2015) também encontraram um maior valor médio de  $1.500 \text{ mg L}^{-1}$  para esgoto urbano na Tunísia. No Período II, os valores foram semelhante a faixa de 388 a  $944 \text{ mg L}^{-1}$  obtida por Renuka et al. (2016) com águas residuárias municipais da Anna University e de residências em Kotturpuram, Índia, porém, superiores a  $340 \text{ mg L}^{-1}$  em esgoto sanitário de Sharood, Iran (Roudbari and Rezakazemi, 2018).

No esgoto universitário da UFLA, as maiores concentrações de DQO podem estar associadas às atividades dos laboratórios de Química, Engenharias, Saneamento e Ciências dos Alimentos, que geram esgotos ricos em material particulado orgânico e inorgânico de processos de filtração, soluções ácidas e alcalinas, solventes orgânicos, dentre outros (Guedes-Alonso et al., 2020; Bertolino et al., 2008).

Os valores da biodegradabilidade (DBO/DQO) foram de 0,26 e 0,21 para EEG e EEG+EEV no Período I e 0,53 e 0,37 para EEG e EEV no Período II, sendo esses últimos semelhantes aos valores de 0,40 a 0,53 verificados por Renuka et al. (2016) para a mistura de esgoto universitários e urbano, respectivamente em Chennai (Índia). Os valores de DBO/DQO na UFLA, em geral, mostram boa biodegradabilidade dos esgotos, pois ficaram próxima da relação apresentada como adequada por Sun et al. (2016), entre 0,4 e 0,6.

Constatou-se que a biodegradabilidade no Período II foi superior ao observado no Período I (Tabela 1), entretanto, ainda inferior nos esgotos da EEV, principalmente devido à contribuição de laboratórios e Hospital Veterinário. Além disso, o período de aula também contribuiu com a piora na relação DBO/DQO, corroborando, assim, para otimização dos mecanismos de remoção de resíduos antes do lançamento na rede de esgoto universitária e maior conscientização dos membros acadêmicos. Por outro lado, as maiores concentrações de matéria orgânica devido ao restaurante universitário e menor número de laboratórios na porção norte proporcionaram maior biodegradabilidade no efluente da EEG.

A composição sólida do esgoto universitário da UFLA apresentou maiores concentrações de ST (698 mg L<sup>-1</sup>) e SST (239 mg L<sup>-1</sup>) nas amostras EEV, contudo, as aulas incrementaram 7,6 % de ST (Tabela 1). Ambos os resultados são inferiores as médias de 1100 mg L<sup>-1</sup> de ST e 350 mg L<sup>-1</sup> de SST para esgoto brasileiro (Von Sperling, 2014) e inferiores a 314 mg L<sup>-1</sup> de SST para esgoto da Índia (Renuka et al., 2016).

As concentrações de NTK e PT situaram-se na faixa de esgotos domésticos de 35 a 60 mg L<sup>-1</sup> de N e 4 a 15 mg L<sup>-1</sup> de P (Von Sperling, 2014), sendo compatíveis aos valores de 24 a 44 mg L<sup>-1</sup> de NTK e de 4 a 7,2 mg L<sup>-1</sup> de PT relatados por Renuka et al. (2016) e de 19 a 51 mg L<sup>-1</sup> de NTK e 1,8 a 5,9 mg L<sup>-1</sup> de PT verificados por Sun et al. (2016) em esgotos urbanos na China. No Período II, os resíduos laboratoriais e limpeza das atividades de pesquisa contendo nitrogênio provavelmente contribuíram para concentrações de NTK de 94,5 mg L<sup>-1</sup> (EEG) e 90,1 mg L<sup>-1</sup> (EEV), valores fora do intervalo preconizado por Von Sperling (2014) e Metcalf and Eddy (2016), mas próximo de 75 mg L<sup>-1</sup> verificado por Belhaj et al. (2015) tratando esgoto urbano. Entretanto esses autores encontraram maiores valores de PT (35 mg L<sup>-1</sup>) quando comparado ao Período I (Tabela 1).

Os maiores valores de DP se justificam pelas oscilações dos números de estudantes, funcionários e visitantes nos períodos de aula e férias no campus acadêmico, alterando a qualidade e vazão do esgoto universitário (Tabela 1, Fig. 1). Além disso, fatores como a natureza do esgoto gerado, em função complexidade acadêmica, promovem alterações contínuas na qualidade do esgoto desde a coleta até tratamento (Bertolino et al., 2008).

A variação da vazão no Período II é visualizada na Figura 1. A dinâmica acadêmica refletiu em maiores oscilações nas vazões do esgoto universitário, com média, mínima e máxima, no Período II, de 105,5, m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, 21,7 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> e 327,0 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> durante as aulas e 57,1 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, 26,0 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> e 100,0 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> durante as férias.

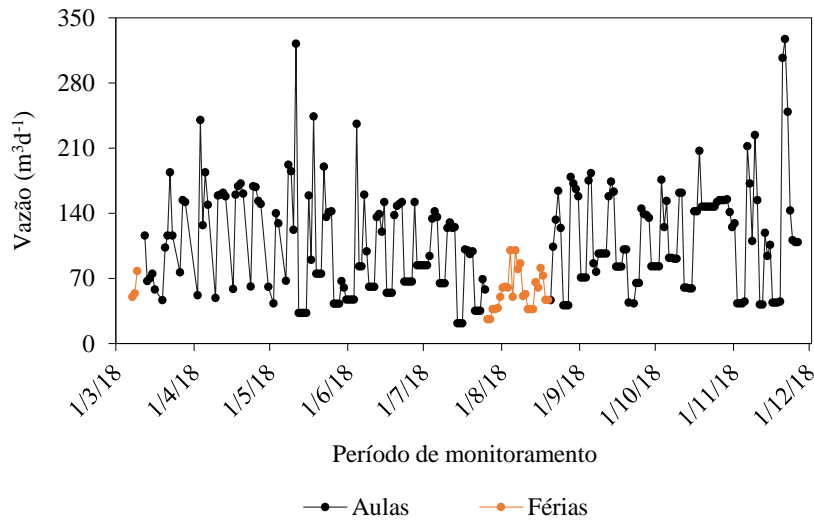
Constatou-se diferença entre o esgoto EEG e da mistura (EEG + EEV) no Período I somente para as variáveis pH, ST e NTK (p<0,05), não havendo significância entre os esgotos EEG e EEV (p>0,05), indicando que, apesar da variabilidade dos dados em relação à média, ambas as EEs contribuem de igual forma na composição geral do esgoto da ETE/UFLA.

**Tabela 1 - Valor médio e desvio padrão (DP) das variáveis monitoradas nos esgotos da EEG, EEV e EEG+EEV nos dois períodos de monitoramento e das mesmas variáveis separadas em período de férias escolares e período de aulas no Período II**

Variáveis	Período I		Período II					
	EEG	EEG+EEV	EEG	EEV	EEG		EEV	
					Aulas	Férias	Aulas	Férias
pH	7,8a ± 0,4 <sup>(77)*</sup>	8,6b ± 0,4 <sup>(39)*</sup>	7,5a ± 0,5 <sup>(15)</sup>	7,6a ± 0,3 <sup>(7)</sup>	7,4a ± 0,5 <sup>(12)</sup>	7,7a ± 0,2 <sup>(3)</sup>	7,6a ± 0,4 <sup>(14)</sup>	7,7a ± 0,3 <sup>(3)</sup>
Temperatura (°C)	-	-	23,2a ± 2,2 <sup>(15)</sup>	22,9a ± 2,2 <sup>(7)</sup>	23,3a ± 2,0 <sup>(12)</sup>	23,0a ± 3,2 <sup>(3)</sup>	23,2a ± 1,0 <sup>(4)</sup>	22,5a ± 3,6 <sup>(3)</sup>
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	222a ± 119 <sup>(38)</sup>	208a ± 64 <sup>(20)</sup>	243a ± 76 <sup>(4)</sup>	149a ± 98 <sup>(4)</sup>	243a ± 129 <sup>(2)</sup>	254a ± 16 <sup>(2)</sup>	116a ± 83 <sup>(2)</sup>	253a ± 54 <sup>(2)</sup>
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	1015a ± 419 <sup>(77)</sup>	1096a ± 224 <sup>(39)</sup>	565a ± 254 <sup>(13)</sup>	726a ± 245 <sup>(7)</sup>	570a ± 283 <sup>(10)</sup>	548a ± 161 <sup>(3)</sup>	812a ± 286 <sup>(4)</sup>	611a ± 151 <sup>(3)</sup>
DBO/DQO	0,26a ± 0,16 <sup>(36)</sup>	0,20a ± 0,08 <sup>(19)</sup>	0,53a ± 0,19 <sup>(4)</sup>	0,37a ± 0,19 <sup>(4)</sup>	0,37a ± 0,12 <sup>(2)</sup>	0,68a ± 0,09 <sup>(2)</sup>	0,23a ± 0,18 <sup>(2)</sup>	0,51a ± 0,05 <sup>(2)</sup>
ST (mg L <sup>-1</sup> )	482a ± 213 <sup>(76)*</sup>	561b ± 176 <sup>(39)*</sup>	692a ± 283 <sup>(12)</sup>	698a ± 187 <sup>(6)</sup>	756a ± 260 <sup>(10)</sup>	370a ± 164 <sup>(2)</sup>	752a ± 212 <sup>(4)</sup>	592a ± 78 <sup>(2)</sup>
SST (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	140a ± 75 <sup>(9)</sup>	239a ± 175 <sup>(6)</sup>	151a ± 83 <sup>(7)</sup>	101a ± 17 <sup>(2)</sup>	221a ± 192 <sup>(4)</sup>	275a ± 198 <sup>(2)</sup>
SDT (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	502a ± 246 <sup>(9)</sup>	468a ± 151 <sup>(6)</sup>	568a ± 233 <sup>(7)</sup>	269a ± 147 <sup>(2)</sup>	543a ± 101 <sup>(4)</sup>	317a ± 120 <sup>(2)</sup>
NTK (mg L <sup>-1</sup> )	42,4a ± 13,1 <sup>(39)*</sup>	51,2b ± 7,9 <sup>(20)*</sup>	94,5a ± 27,6 <sup>(7)</sup>	90,1a ± 10,1 <sup>(4)</sup>	101,5a ± 29,9 <sup>(5)</sup>	76,9a ± 11,4 <sup>(2)</sup>	95,5a ± 0,1 <sup>(2)</sup>	87,4a ± 12,6 <sup>(2)</sup>
PT (mg L <sup>-1</sup> )	7,7a ± 2,8 <sup>(37)</sup>	8,0a ± 1,6 <sup>(21)</sup>	-	-	-	-	-	-

Período I: 08/2016-12/2017; Período II: 03/2018-11/2018; Férias: 07/03-11/03/2018 e 26/07-19/08/2018; Aulas: 12/03-25/07/2018 e 20/08-26/11/2018. Números utilizados no cálculo médio estão entre parênteses. \*Variância significativa. Médias com mesma letra na linha (entre tratamentos: EEG e EEG + EEV no Período I; EEG e EEV, Aulas e Férias no Período II) não diferem significativamente entre si a 5% pelo teste de Tukey.

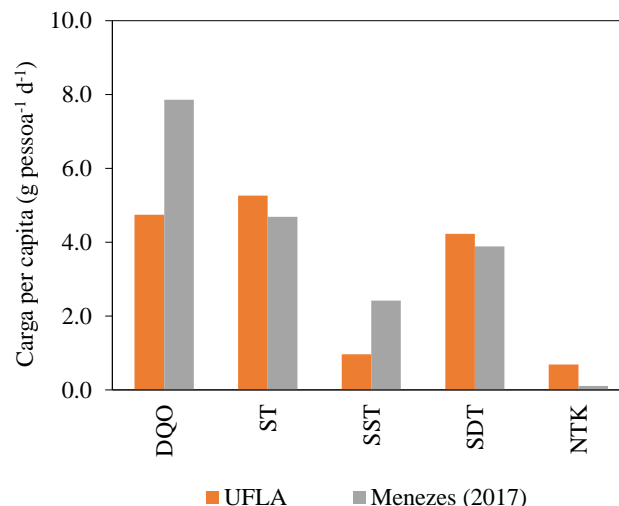
**Figura 1 - Vazão diária no Período II de monitoramento da ETE/UFLA**



### Estimativa da carga per capita dos variáveis analisadas

Considerando-se a vazão média de esgoto no período de aula (Período II) e as concentrações das diferentes variáveis avaliadas nesse período (Tabela 2) foi possível fazer uma estimativa da carga per capita desses poluentes (Tabela 4). Para o cálculo considerou-se que no ano de 2018, a comunidade acadêmica era de 15000 pessoas, incluindo alunos, professores, técnicos administrativos e terceirizados (UFLA, 2020). Na Figura 2 encontra-se a estimativa da carga per capita dos variáveis analisadas nesse trabalho comparado ao de Menezes (2017).

**Figura 2 - Estimativa da carga per capita (CP) dos variáveis analisadas nesse trabalho e no de Menezes (2017)**



Segundo Von Sperling (2014), para esgotos domésticos brutos, os valores típicos de CP são de 100 g pessoa<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de DQO; 180 g pessoa<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de ST; 4,5 g pessoa<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de Namoniacal. Dessa forma, os valores de CP nesta pesquisa não somente foram inferiores ao relatado no Brasil para esgoto urbano, mas também em outras partes do mundo, como 141 g pessoa<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de DQO e de 7,0 g pessoa<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de NTK observados em esgotos urbanos gerados por 526.800 habitantes e vazão de 49.500 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> na Tunísia (Belhaj et al., 2015). Por outro lado, com menor consumo de água em instituições acadêmicas no Brasil, os dados foram próximos a 7,86, 4,69, 2,42, 3,89 e 0,11 g pessoa<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de DQO, ST, SST, SDT e Namoniacal, respectivamente, em esgoto da Universidade Federal de Alfenas (Brasil) observados por Menezes (2017). Essa diferença de valores

encontrados nos *campus* Universitários com o proposto na literatura para esgoto doméstico está relacionado ao consumo de água e o volume estimado de esgoto produzido nessas instituições de ensino, que é bem menor do que em centros urbanos (cidades).

### **Avaliação de qualidade de esgoto entre Instituições de Ensino e Pesquisa**

Na Tabela 2 encontra-se a caracterização físico-química do esgoto gerado em alguns *campus* universitários. De acordo com dados apresentados na literatura, nota-se que os efluentes apresentaram valores de pH em torno da neutralidade, entretanto valores mais alcalinos, entre 8 e 9, foram observados por Albornoz et al. (2016) e Bertolino et al. (2008). No presente estudo, os valores ficaram mais próximos de 7,5, com exceção do valor de 8,6 que foi observado para a mistura dos efluentes das EEs, no Período I. Entretanto, todos os valores encontrados de pH nessas instituições, incluindo a UFLA, condizem com os relatados por Metcalf and Eddy (2016) e Von Sperling (2014) para esgoto sanitário.

Os valores de DQO encontrados no efluente das EEs no período I foram superiores aos listados na literatura, entretanto no Período II, os valores já foram mais condizentes aos observados. Os maiores valores encontrados estão vinculados ao descarte incorreto de reagentes químicos devido à falta de conscientização dos usuários dos laboratórios. Lavrnić et al. (2019) também obtiveram um valor médio de DQO mais alto, de 886 mg L<sup>-1</sup>, que provavelmente, também está associado a presença de laboratórios, já que o efluente foi proveniente de um edifício do Departamento de Engenharia Civil, Química, Ambiental e de Materiais (DICAM) da Universidade de Bolonha (Itália).

Para DBO, valores semelhantes foram verificados em diferentes instituições (Tabela 2), com exceção de Cavalcante (2017) que caracterizou os efluentes líquidos produzidos no Campus A. C. Simões (CACCS), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), localizado em Maceió e obteve uma concentração média maior de 416,86 mg L<sup>-1</sup>, para a mistura do efluente gerado no *campus*, incluindo os efluentes gerados no Restaurante e Hospital Universitário. Segundo o autor, apesar de ter ocorrido grandes oscilações nos valores de DQO (DQO variando entre 224 a 1696 mgL<sup>-1</sup>), o efluente da mistura manteve um alto potencial de biodegradabilidade (DBO/DQO entre 0,52 a 0,98) devido à alta carga orgânica apresentada pelos efluentes do restaurante e do hospital, embora no segundo sejam usados antibióticos e outras drogas.

Horn et al. (2014) também verificaram maior índice de biodegradabilidade (0,84) no efluente da Universidade de Santa Cruz do Sul, em Santa Cruz do Sul (RS) gerado a partir de mictórios e banheiros, sendo as águas residuárias de laboratório descartadas separadamente.

Papaevangelou et al. (2016) tratando efluentes de um *campus* universitário localizado no nordeste da Grécia, verificaram concentrações de DBO mais próximas da DQO e com índice de biodegradabilidade (DBO/DQO) de 0,69. De acordo com o autor, esse efluente assemelha-se ao esgoto doméstico por ser proveniente apenas de dormitórios dos estudantes, restaurantes, lavanderia, escritórios, teatro de eventos e de um pequeno mercado, o que justifica o maior índice de biodegradabilidade (DBO/DQO = 0,69) encontrado.

Bertolino et al. (2008) constataram que o efluente gerado no *campus* da UFOP também possui características típicas de esgoto doméstico e que a menor relação DBO/DQO (0,38) foi encontrada para a amostra A1, referente aos esgotos gerados pelo prédio de Ciência Exatas e Biológicas com um maior número de laboratórios, mas com um aumento gradativo da relação ao longo da rede, provavelmente devido à diluição dos despejos de laboratório com esgotos tipicamente domésticos oriundos do refeitório e das repúblicas estudantis.

Tendências semelhantes também foram verificadas por Herrera Melián et al. (2009) e Guedes-Alonso et al. (2020) que trabalharam com o efluente proveniente do Campus de Tafira da Universidade de Las Palmas de Gran Canaria na Espanha. Como o esgoto utilizado por Guedes-Alonso et al. (2020) foi coletado em uma parte do Campus que possui cafeterias, laboratórios, instalações esportivas e banheiros de diferentes edifícios e sabendo-se que os resíduos perigosos de laboratório são tratados de maneira seletiva, os autores consideraram o efluente como urbano, mas com características parcialmente diferentes devido à sua origem.

**Tabela 2 - Caracterização de esgotos gerados em diferentes campus universitários**

Variáveis	Brasil						Espanha	Grécia	Itália	Espanha	Quênia	
	UFAL <sup>(1)</sup>	UNIFAL <sup>(2)</sup>	UFRGS <sup>(3)</sup>	UFSCar <sup>(4)</sup>	UFOP <sup>(5)</sup>	UFRJ <sup>(6)</sup>	UNISC <sup>(7)</sup>	ULPGC <sup>(8)</sup>	DUTH <sup>(9)</sup>	UNIBO <sup>(10)</sup>	ITC/ULPGC <sup>(11)</sup>	JKUAT <sup>(12)</sup>
pH	6,95	7,07	7,56-8,38	7,40	7,35-8,23	-	7,90	7,70	7,50	6,65	7,10	-
DBO	417	-	144-400	175	171-300	155-246	224	314	242	-	292	232
DQO	472	625	169-897	479	403-670	434-559	266	416	350	886	473	424
DBO/DQO	0,73	-	0,16-0,53	0,36	0,38-0,45	0,36-0,46	0,84	0,75	0,69	-	0,62	0,55
ST	585	508	508-1738	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SST	201	134	107-524	-	140-296	215-500	-	158	131	168	310	118
SDT	337	399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	35,9	9,3	49,9-195,4	-	27,4-32,6	45,0	36,8	139,0	73,4	-	57	-
N-NTK	62,1	-	70,3-348,1	-	41,4-62,2	-	41,8	-	85,4	-	-	-
N-NT	-	-	-	61,9	-	-	-	-	-	65,0	64,0	-
PT	5,6	-	7,5-33,0	12,6	4,8-6,7	-	8,6	-	9,8	12,3	5,7	4,0

DBO, DQO, ST, SST, SDT, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NTK e N-NT em mg L<sup>-1</sup>. <sup>(1)</sup>Cavalcante (2017): UFAL-Universidade Federal de Alagoas; <sup>(2)</sup>Menezes (2017): UNIFAL-Universidade Federal de Alfenas; <sup>(3)</sup>Albornoz et al. (2016): UFRGS-Universidade Federal do Rio Grande do Sul; <sup>(4)</sup>Souza et al. (2015): UFSCar-Universidade Federal de São Carlos; <sup>(5)</sup>Bertolino et al. (2008): UFOP-Universidade Federal de Ouro Preto; <sup>(6)</sup>Oliveira et al. (2011): UFRJ-Universidade Federal do Rio de Janeiro; <sup>(7)</sup>Horm et al. (2014): UNISC-Universidade de Santa Cruz do Sul; <sup>(8)</sup>Herreira Melián et al. (2009): ULPGC-Universidad de Las Palmas de Gran Canaria; <sup>(9)</sup>Papaevangelou et al. (2016): DUTH-Democritus University of Thrace; <sup>(10)</sup>Lavrníć et al. (2019): UNIBO-Universidade de Bolonha; <sup>(11)</sup>Guedes-Alonso et al. (2020): ITC/ULPGC-Technological Institute of the Canary Islands/ULPGC; <sup>(12)</sup>Mburu et al. (2013): JKUAT-Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology.



Com isso, percebe-se que as universidades que incorporam os resíduos de laboratório tendem a apresentar um efluente com menor relação DBO/DQO. E mesmo que os resíduos de laboratório sejam coletados e tratados como acontece na UFLA ainda é esperado que um mínimo de reagentes químicos utilizados em laboratório seja incorporado no efluente, devido a lavagem de vidrarias com resquícios desses produtos. Além disso, a falta de conscientização dos usuários de laboratório pode ser a principal causa responsável pela maior disparidade entre os valores de DQO e DBO e que podem trazer consequências graves para as unidades de tratamento biológico, já que águas residuárias com baixa relação DBO/DQO ( $<0,3$ ) não podem ser tratadas biologicamente, pois segundo Abdalla and Hammam (2014), a toxicidade e as propriedades refratárias dos compostos presentes podem inibir a atividade metabólica das bactérias e resultar em queda na eficiência do tratamento. Entretanto, Souza et al. (2015) parece ser uma exceção a essa tendência pois verificaram uma menor biodegradabilidade (DBO/DQO média = 0,36) no esgoto bruto da Universidade Federal de São Carlos, no Centro de Ciências Agrárias, localizada na área rural do Município de Araras, que por ser proveniente apenas de refeitório e banheiros que são utilizados por funcionários, alunos e visitantes deveria se comparar com esgoto doméstico com maior índice de biodegradabilidade. Nesse estudo, os valores mínimos e máximos foram de 104,4 e 2044  $\text{mgL}^{-1}$  para DQO e de 68 e 465  $\text{mgL}^{-1}$  para DBO, respectivamente.

Os resultados médios de SST entre 101 a 275  $\text{mg L}^{-1}$  observados no esgoto universitário da UFLA (Tabela 1) refletem a variabilidade média entre todas as instituições observadas (Tabela 2). Entretanto, os valores de NTK ficaram levemente acima dos observados na literatura provavelmente devido a própria composição desse efluente que inclui resíduos de laboratórios. Herrera Melián et al. (2009) relata que a alta concentração de 139  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{N-NH}_4^+$  observada pode estar vinculada a presença de uma pequena fazenda bem perto do Campus de Tafira da Universidade de Las Palmas de Gran Canaria, e que o valor está dentro da faixa encontrada em pecuária.

Menores valores de PT em esgotos de instituições de ensino superior parece uma tendência (Tabela 2), como observado por Bertolino et al. (2008) que verificaram concentrações entre 4,8 e 6,7  $\text{mg L}^{-1}$  (UFOP) e Cavalcante (2017) na UFAL, Guedes-Alonso et al. (2020) em ITC/ULPGC e Mburu et al. (2013) em JKUAT que apesar de menores, foram próximos aos dados desta pesquisa.

Diante do exposto, notou-se uma grande variabilidade na concentração das variáveis analisadas o que está sujeita ao número de estudantes, de laboratórios, presença de restaurantes, hospitais ou outras atividades que possam contribuir com o aumento de sólidos, matéria orgânica e nutrientes no efluente gerado em cada Universidade. E embora o esgoto na UFLA tenha qualidade semelhantes a outras instituições (Tabela 2), algumas variáveis como DQO e NTK apresentam características parcialmente diferentes dos esgotos domésticos convencionais.

## CONCLUSÕES

O esgoto gerado na UFLA apresentou concentrações de DQO, DBO, NTK e PT dentro da faixa padrão para esgotos universitários e pode ser considerado como um esgoto com características parcialmente diferentes do esgoto doméstico urbano convencional.

Houve diferença entre os esgotos da EEG e a mistura (EEG+EEV) no Período I somente para as variáveis pH, ST e NTK e para o Período II não foi verificada diferença entre os esgotos da EEG e da EEV, indicando que, apesar da variabilidade dos dados em relação à média, ambas as EEs contribuem de igual forma na composição geral do afluente tratado pela ETE/UFLA.

## AGRADECIMENTOS

A pesquisa foi desenvolvida com auxílio de recursos financeiros da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG.

## REFERÊNCIAS

1. ABDALLA, K.Z., HAMMAM, G., 2014. Correlation between biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand for various wastewater treatment plants in egypt to obtain the biodegradability indices. *Int J Sci: Basic Appl Res.* 13, 42-48.
2. AFONSO-OLIVARES, C., SOSA-FERRERA, Z., SANTANA-RODRÍGUEZ, J.J., 2017. Occurrence and environmental impact of pharmaceutical residues from conventional and natural wastewater treatment plants in Gran Canaria (Spain). *Sci. Total Environ.* 599-600, 934-943.
3. ALBORNOZ, L.L., BERNARDES, A.M., TESSARO, I.C., et al., 2016. *Monitoramento, caracterização e avaliação da eficiência de remoção de poluentes em uma estação compacta de tratamento de efluentes.* X Simpósio internacional de qualidade ambiental: Porto Alegre, 16p.
4. APHA, 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, twenty-first ed. American Public Health Association, USA. 2005.
5. BELHAJ, D., BACCAR, R., JAABIRI, I., et al., 2015. Fate of selected estrogenic hormones in an urban sewage treatment plant in Tunisia (North Africa). *Sci. Total Environ.* 505, 154-160.
6. BERTOLINO, S. M.; CARVALHO, C. F. AQUINO, S. F. Caracterização e biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia dos esgotos produzidos em campus universitário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 271-277, 2008..
7. CAVALCANTE, J. C. Caracterização dos efluentes líquidos produzidos no Campus A. C. Simões da Universidades Federal de Alagoas. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento). Maceió, 2017. 78p.
8. GUEDES-ALONSO, R., MONTESDEOCA-ESPONDA, S., HERRERA-MELIÁN, J. A., et al., 2020. Pharmaceutical and personal care product residues in a macrophyte pond-constructed wetland treating wastewater from a university campus: Presence, removal and ecological risk assessment. *Sci. Total Environ.* 703, 135596.
9. HERRERA MELIÁN, J.A., ARAÑA, J., GONZÁLEZ DÍAZ, O., et al., 2009. Effect of stone filters in a pond-wetland system treating raw wastewater from a university campus. *Desalination.* 237, 277-284.
10. HORN, T.B., ZERWES, F.V., KIST, L.T., et al., 2014. Constructed wetland and photocatalytic ozonation for university sewage treatment. *Ecol. Eng.*, 63, 134-141.
11. JUNQUEIRA, W.B.C., CAMPOS, C.M.M., FIA, R., et al., 2017. Estudos hidrodinâmicos do escoamento em caixa de gordura empregada no tratamento preliminar dos efluentes de cozinha industrial. *Eng. Sanit. Ambient.* 22, 911-919.
12. LARA, P.T.R., 2012. Sustentabilidade em instituições de ensino superior. *Revista Remoa.* 7, 1646-1656.
13. LAVRNIĆ, S., CRISTINO, S., ZAPATER-PEREYRA, M., et al., 2019. Effect of earthworms and plants on the efficiency of vertical flow systems treating university wastewater. *Environ Sci Pollut Res.* 26, 10354-10362.
14. MBURU, N.; TEBITENDWA, S.M.; VAN BRUGGEN, J.J.A.; ROUSSEAU, D.P.L; LENS, P.N.L. (2013). Performance comparison and economics analysis of waste stabilization ponds and horizontal subsurfaceflow constructed wetlands treating domestic wastewater: A case study of the Juja sewage treatment works. *J. Environ. Manage.* 128, 220-225.
15. MENEZES, L.C.C., 2017. Caracterização do efluente gerado no campus Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 69p.

16. METCALF, E., EDDY, M., 2016. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5ed. New York: McGraw Hill.
17. OLIVEIRA, D.V.M., JUNIOR, I.V., JORDÃO, E.P., 2011. Comportamento e desempenho do processo reator biológico com leito móvel (MBBR) para a remoção da matéria orgânica e compostos nitrogenados. *AIDIS*. 4, 1, 12-26.
18. PAPAEVANGELOU, V., GIKAS, G.D., TSIHRINTZIS, V.A., 2016. Effect of operational and design parameters on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands treating university campus wastewater. *Water Resour Manage*. 30, 5875-5899.
19. RENUKA, R., MOHAN, S.M., SOWMIYA, B., et al., 2016. Performance evaluation of panelled anaerobic baffle-cum-filter reactor in treating municipal wastewater. *Ecol Eng*. 97, 1-12.
20. ROUDBARI, A., REZAKAZEMI, M., 2018. Hormones removal from municipal wastewater using ultrasound. *AMB Expr*, 8, 91.
21. SOUZA, C.F., BASTOS, R.G., GOMES, M.P.M., et al., 2015. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. *Rev. Ambient. Água*. 10, 587-597.
22. SUN, Y., CHEN, Z., WU, G., et al., 2016. Characteristics of water quality of municipal wastewater treatment plants in China: implications for resources utilization and management. *J. Clean. Prod*. 131, 1-9.
23. UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA), 2020. UFLA em números. <https://ufla.br/aceso-a-informacao/10-institucional/sobre-a-ufla/12848-ufla-em-numeros>. (accessed on 16th march 2020).
24. VERGEYNST, L., HAECK, A., WISPELAERE, P., et al., 2015. Multi-residue analysis of pharmaceuticals in wastewater by liquid chromatography-magnetic sector mass spectrometry: Method quality assessment and application in a Belgian case study. *Chemosphere*. 119, S2-S8.
25. VON SPERLING, M., 2014. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Universidade Federal de Minas Gerais, 4ed., Belo Horizonte, 472p.