

MONITORAMENTO E RELACIONAMENTO DOS PARÂMETROS DQO E DBO₅ EM AFLUENTE E ESGOTO TRATADO DAS CIDADES DE ITAJUBÁ E PEDRALVA, MGMONITORING AND RELATIONSHIP OF COD AND BOD₅ PARAMETERS IN AFLUENT AND TREATED SEWAGE FROM ITAJUBÁ AND PEDRALVA CITIES, MG

BUDEIZ, Victor; AGUIAR, André*

Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais

* Autor correspondente

e-mail: andrepiranga@yahoo.com.br

Received 30 July 2019; received in revised form 09 January 2020; accepted 29 January 2020

RESUMO

Uma das principais características avaliadas no tratamento de esgotos municipais consiste no teor de matéria orgânica, geralmente baseado nas análises de Demandas Química e Bioquímica de Oxigênio, DQO e DBO respectivamente. O objetivo deste trabalho foi analisar e comparar a relação entre os parâmetros DQO e DBO₅ para esgotos domésticos brutos (afluentes) e tratados de duas estações de tratamento de esgoto (ETEs) pertencentes às cidades de Itajubá e Pedralva, ambas localizadas no sul de Minas Gerais, Brasil. Em função dos dados obtidos ao longo de dois anos junto à companhia de saneamento do Estado, analisaram-se as razões e a correlação linear entre DQO e DBO₅, assim como suas remoções percentuais como forma de verificar a eficiência das ETEs. Foram verificadas razões médias DQO/DBO₅ de 2,13 e 2,20 para os afluentes das ETEs de Itajubá e Pedralva, respectivamente. Esses valores estão na faixa típica de esgoto bruto doméstico, não sendo encontrados indícios de contribuição industrial. Os valores de coeficiente de correlação linear (R^2) entre os parâmetros DQO e DBO₅ para o esgoto bruto de Itajubá e Pedralva foram 0,8585 e 0,4863, respectivamente, sugerindo que pode-se estimar a DBO₅ a partir da DQO para a ETE da primeira cidade ($R^2 > 0.8$). Para as amostras de esgoto tratado de ambas as ETEs não se recomenda tal abordagem, pois os valores de R^2 foram menores que 0.3. De acordo com a legislação estadual vigente (COPAM/CERH nº 1), as duas ETEs removeram eficientemente a DBO₅, enquanto a ETE de Itajubá apresentou remoção de DQO levemente abaixo do estipulado. Em relação à legislação federal (CONAMA nº 430), ambas as ETEs reduziram eficientemente a DBO₅.

Palavras-chave: *Demanda química de oxigênio; Demanda bioquímica de oxigênio; Índice de biodegradabilidade; Esgoto doméstico; Efluente industrial.*

ABSTRACT

One of the main characteristics evaluated in municipal sewage treatment is the organic matter content, usually based on the analysis of Chemical and Biochemical Oxygen Demands, COD, and BOD respectively. The objective of this work was to analyze and compare the relation between the COD and BOD parameters for raw sewage (effluent) and treated sewage of two wastewater treatment plants (WWTPs) of the cities of Itajubá and Pedralva, both localized in the south of Minas Gerais, Brazil. Due to the data obtained over two years from the state sanitation company, the analysis of ratios and linear correlation between COD and BOD₅ were performed, as well as their removal (%) to verify the WWTP efficiencies. The COD/BOD₅ value of 2.13 was obtained for the affluent of Itajubá city, while for Pedralva was 2.20. These values are common at the typical range of raw domestic wastewater, and no evidence of industrial contribution was found. The values of the linear correlation coefficient (R^2) between the COD and BOD₅ parameters for affluent of Itajubá and Pedralva were 0.8585 and 0.4863, respectively, suggesting that BOD₅ value can be estimated from COD only in the first case ($R^2 > 0.8$). For treated sewage samples from both WWTPs, this approach is not appropriate because the R^2 values were lower than 0.3. According to current state legislation (COPAM/CERH nº 01), the two WWTPs efficiently removed the BOD₅, while Itajubá WWTP showed COD removal slightly below the stipulated. Following federal legislation (CONAMA nº 430), both WWTPs have efficiently removed BOD₅.

Keywords: *Chemical oxygen demand; Biochemical oxygen demand; Biodegradability index; Domestic wastewater; Industrial effluent.*

1. INTRODUÇÃO:

Atualmente, em torno de 4,5 bilhões de pessoas não usufruem de um sistema de coleta e tratamento de esgoto gerido de forma segura no mundo (ONU, 2019). No Brasil, a falta de saneamento básico em determinadas localidades, principalmente em regiões mais carentes como a Norte, favorece a manifestação de diversas doenças de veiculação hídrica (Sousa *et al.*, 2018). Problemas correlatos à falta de saneamento também são comuns na região Sul (Rudy e Goulart, 2018). Nesse contexto, a ausência ou até mesmo a ineficiência de tratamento de esgoto e saneamento básico podem contribuir para a propagação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas, além da degradação do corpo hídrico (Pinho *et al.*, 2017; Rudy e Goulart, 2018). Projeto, instalação e operação confiáveis de um sistema de coleta e tratamento de esgoto devem propiciar a melhoria do saneamento básico e da saúde global, que por sua vez levam à diminuição da proliferação dessas doenças de veiculação hídrica e com isso aliviar o sistema de saúde (Soares *et al.*, 2002; Pereira *et al.*, 2018).

O lançamento sem tratamento prévio do esgoto num corpo hídrico pode ser muito danoso também ao meio ambiente. Alta concentração de matéria orgânica favorece a multiplicação de bactérias heterotróficas, reduzindo o oxigênio dissolvido necessário para a sobrevivência de organismos aquáticos superiores. O excesso de nutrientes a base de nitrogênio e fósforo pode proporcionar a eutrofização, que corresponde ao crescimento acelerado de organismos aquáticos autotróficos, particularmente algas planctônicas e ervas aquáticas. Esses organismos conferem odor, turbidez, reduzem a penetração de luz, a fotossíntese e conseqüentemente o oxigênio do meio, aspectos esses que impactam de forma negativa o ecossistema (Jordão e Pessoa, 2011). Apesar de os mananciais possuírem capacidade de autodepuração, ou seja, degradação de matéria orgânica carbonácea e remoção de nutrientes, os mesmos não toleram concentrações elevadas desses poluentes (Pinho *et al.*, 2017). A partir disso, o tratamento do esgoto sanitário é uma medida fundamental para se prevenir as inúmeras patologias e desequilíbrios possíveis de um descarte incorreto de esgoto sanitário e de efluentes.

Existem diversos métodos que permitem o tratamento de águas residuárias. As instalações com esse propósito são conhecidas por Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Os tratamentos

podem ser preliminares, visando principalmente a remoção de materiais mais grosseiros; como exemplo tem-se o uso de grades e os desarenadores. Em seguida, têm-se os tratamentos primários para remoção de material sedimentável ou flutuante; podem ser usados os decantadores ou flutuadores, respectivamente. Tratamentos secundários consistem na remoção de matéria orgânica biodegradável, dissolvida ou em suspensão, por ação predominante de bactérias. Polimentos ou tratamentos terciários podem ser empregados, a depender da eficiência das etapas anteriores, assim como das características do corpo receptor (Archela *et al.*, 2003; Jordão e Pessoa, 2011; Pinho *et al.*, 2017). Em resumo, a decisão de quais operações unitárias requeridas deve se basear nas características do curso d'água, capacidade de autodepuração do mesmo e dos limites definidos pela legislação para o descarte (Pinho *et al.*, 2017; Moraes e Santos, 2019).

A nível federal, a resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, além de estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes. No ano de 2011, a resolução nº 430 complementou e alterou a resolução de 2005, dispondo sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA, 2011). Além disso, cada estado ou município pode apresentar sua legislação própria ou complementar à federal (Moraes e Santos, 2019). Por exemplo, o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) de Minas Gerais fazem uso da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01 (2008) que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes nesse estado.

O conhecimento sobre as características dos esgotos que chegam às ETEs é fundamental para o projeto e a operação de forma eficiente das mesmas. Usualmente para se determinar a quantidade de matéria orgânica presente em águas residuárias faz-se uso dos parâmetros de Demandas Bioquímica e Química de Oxigênio, DBO e DQO respectivamente. A DBO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por meio da decomposição microbiana aeróbia em um determinado tempo e temperatura estabelecidos. Para efeitos de comparação e praticidade, padronizou-se o

ensaio incubando-se a amostra à 20 °C por 5 dias (DBO₅). A DBO₅ em mg L⁻¹ pode ser calculada pela equação 1:

$$DBO_5 = (OD_1 - OD_2)/P \quad (1)$$

onde OD₁ corresponde a concentração de oxigênio dissolvido da amostra diluída; OD₂ à concentração residual de oxigênio dissolvido na amostra após transcorridos 5 dias e; P é a fração de amostra em relação ao volume total do frasco (Jordão e Pessoa, 2011).

A DQO refere-se à quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica por um agente químico, geralmente dicromato de potássio (Jordão e Pessoa, 2011). A oxidação de uma determinada substância orgânica (C_xH_yO_z) contida em águas no ensaio de DQO pode ser representada pela equação 2, onde $n = 4x + y - 2z$. Por convenção, o número de equivalentes de dicromato reduzido (n) corresponde ao número de equivalentes de oxigênio que seria consumido. Após a reação, a DQO é determinada a partir do dicromato residual (titulometria) ou do Cr³⁺ formado (colorimetria) (Zuccari *et al.*, 2005).

A DBO corresponde ao teor de matéria orgânica biodegradável, enquanto a DQO ao teor de matéria orgânica biodegradável mais a fração não-biodegradável (Jordão e Pessoa, 2011; Zuccari *et al.*, 2005; Quintana *et al.*, 2018; von Sperling, 2014). O custo envolvido na análise de DBO é cerca de 4,5 vezes o custo de uma análise de DQO. Além disso, o tempo necessário para a obtenção de resultados de DBO é de 5 dias no mínimo, enquanto o de DQO é no mínimo 2 h (Silva e Mendonça, 2003).

Uma relação importante entre esses parâmetros, a razão DQO/DBO₅, varia de acordo com o uso ao qual a água foi submetida. Para águas residuárias de origem doméstica, essa razão varia de 1,7 a 2,4. Com base nesse intervalo, uma fração significativa da matéria orgânica poderia ser removida por tratamentos biológicos, os quais são eficientes e de baixo custo (von Sperling, 2014). Por outro lado, valores acima desta faixa indicam recalcitrância dos componentes ou também pode indicar contribuição de efluente industrial (Jordão e Pessoa, 2011), o que prejudicaria a execução de tratamentos biológicos nas ETEs devido à toxicidade de certas substâncias sobre os microrganismos. Ao inverter essa razão, ela é conhecida por índice de biodegradabilidade (DBO₅/DQO), a qual também serve para mensurar a biodegradabilidade de águas residuárias (Silva e Mendonça, 2003).

Em vista do exposto, o presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo envolvendo os parâmetros DQO e DBO₅ nos afluentes e esgotos tratados das cidades de Itajubá e Pedralva, localizadas no sul do estado de Minas Gerais. A primeira possui aproximadamente 96 mil habitantes, além de contar com um parque industrial, enquanto a segunda possui em torno de 11 mil habitantes (IBGE, 2019), mas isenta de indústrias. A eficiência das ETEs de cada município será verificada com base na redução desses parâmetros, enquanto a razão entre eles poderá fornecer indícios de presença ou não de efluente industrial, além da biodegradabilidade dos esgotos a serem tratados. Também foi verificada a presença ou não de correlação linear entre os valores de DQO e DBO₅ como forma de facilitar a caracterização de águas residuárias com base no primeiro parâmetro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

Os dados utilizados referentes ao monitoramento dos parâmetros DQO e DBO₅ dos afluentes e esgotos tratados das ETEs Capim Fino, pertencente ao município de Pedralva, e Sapucaí, de Itajubá, foram fornecidos pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), a qual é responsável pela operação e administração de ambas as estações.

A Figura 1 consiste num fluxograma contendo as etapas envolvidas na ETE de Pedralva, a qual possui tratamentos preliminares (gradeamento seguido de desarenador), secundários (reator anaeróbio de fluxo ascendente – RAFA seguido de lagoa de estabilização facultativa) até etapas finais de polimento (duas lagoas de polimento em série). Além disso, a mesma possui tratamentos do lodo (leito de secagem) e queimador do biogás, ambos gerados no reator. Para a ETE de Itajubá as etapas são as mesmas, exceto pela ausência das lagoas facultativa e de polimentos, sendo que o esgoto tratado que sai do reator é descartado diretamente no corpo receptor.

As Figuras 2 e 3 mostram imagens por satélite de ambas as ETEs constando suas principais etapas em destaque.



Figura 2. Vista aérea da ETE Capim Fino (Pedralva-MG): A – Grade + Desarenador; B – Reator Anaeróbio; C – Lagoa de Estabilização Facultativa; D e E – Lagoas de Polimento em Série; F – Leito de Secagem do Lodo; G – Queimador do Biogás. Fonte: Google Earth.



Figura 3. Vista aérea da ETE Sapucaí (Itajubá-MG): A – Gradeamento + Desarenador; B – Reatores Anaeróbios em Paralelo (4); C – Leitões de Secagem do Lodo; D – Queimador do Biogás. Fonte: Google Earth.

Para a ETE Sapucaí, a COPASA coletou 25 amostras mensais, no período de maio de 2016 a maio de 2018, realizando análises dos parâmetros supracitados. Para a ETE Capim Fino, a COPASA coletou 11 amostras, uma vez que o monitoramento dos parâmetros é realizado a cada dois meses para a mesma. Os dados para esta ETE compreenderam de junho de 2016 a abril de 2018. Ainda segundo a COPASA, utilizaram-se os métodos 5210 B e 5220 D para se determinar respectivamente DBO_5 e DQO. Esses métodos estão descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Clesceri et al., 1998).

A interpretação destas informações foi realizada por meio do *software Microsoft Excel 2016*, o qual permitiu o desenvolvimento matemático dos dados de DBO_5 e DQO para verificar a presença ou não de correlação linear. Além disso, foram calculadas as porcentagens de remoção desses parâmetros e as razões entre os mesmos.

A partir dos valores de DBO_5 e DQO, verificou-se o atendimento do tratamento de esgoto frente às legislações vigentes estadual (COPAM/CERH-MG nº 01, 2008) e federal (CONAMA nº 430, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Além dos dados de DBO_5 e DQO referentes aos afluentes e efluentes das ETES Sapucaí e Capim Fino, a COPASA informou a data de coleta das amostras e o tempo meteorológico para eventuais discussões. Em seguida, realizaram-se os cálculos das razões DQO/DBO_5 , DBO_5/DQO e das remoções percentuais de DBO_5 e DQO com base no mesmo dia de coleta. As Tabelas 1 e 2 apresentam os dados descritivos da ETE de Itajubá e Pedralva referentes aos afluentes, respectivamente.

O parâmetro DBO_5 para esgotos predominantemente sanitários situa-se na faixa de 250 a 400 $mg L^{-1}$ (von Sperling, 2014), e no presente trabalho o valor médio observado para a ETE de Itajubá foi de 300 $mg L^{-1}$. Com relação à DQO, o valor médio foi de 609 $mg L^{-1}$, dentro da faixa da literatura, a qual compreende de 450 a 800 $mg L^{-1}$ (von Sperling, 2014). Dessa forma, os valores médios para essa ETE estão dentro da faixa usual. No entanto, os resultados apresentados pela ETE de Pedralva possuem valores médios acima da faixa típica, uma vez que a DBO_5 e a DQO nos afluentes foram respectivamente 420 e 911 $mg L^{-1}$. Por outro lado, em algumas amostragens observaram-se

também valores de DBO_5 e DQO abaixo da faixa típica. Não foi possível encontrar padrões de interferência de sazonalidade que justificassem os valores apresentados para a ETE de Pedralva. No entanto, foi possível observar que em dias chuvosos ou nublados os valores de DQO e DBO_5 para esgoto bruto de Itajubá foram geralmente menores.

A razão DQO/ DBO_5 para o afluente da ETE de Itajubá está compreendida entre 1,37 a 3,39, com média de 2,13. Para o afluente da ETE de Pedralva a razão possui média de 2,20, com valores entre 1,65 e 3,21. Segundo von Sperling (2014), esses valores médios estão de acordo com o valor típico de esgotos domésticos brutos e também está justificada a utilização do tratamento biológico pelas estações, uma vez que o índice médio é menor que 2,5. Tais valores médios são um indicativo de alta biodegradabilidade das amostras de esgoto e, portanto, a realização de tratamento biológico para os mesmos é apropriada (von Sperling, 2014). Penido *et al.* (2018) encontrou um valor médio de 1,7 para DQO/ DBO_5 a partir de esgoto da ETE Onça de Santa Luzia (MG), representando uma maior biodegradabilidade frente às amostras de esgoto de Itajubá e Pedralva. Os valores médios de DQO e DBO_5 reportados por esses autores estão praticamente na faixa típica, assim como foi observado para a ETE de Itajubá.

Ambas as ETEs apresentaram valores de razão DQO/ DBO_5 acima de 2,5 em alguns dos meses. Segundo a literatura (Jordão e Pessoa, 2011; Zucacari *et al.*, 2005; Quintana *et al.*, 2018; Von Sperling, 2014), esses valores podem indicar a presença de efluentes industriais no esgoto ou, mais comumente, a uma menor fração de matéria orgânica biodegradável inerente à amostra. No entanto, sabe-se que a cidade de Pedralva não conta com a instalação de indústrias. Sendo assim, essa razão pode não ser apropriada para afirmar se há contribuição de efluente industrial em ETEs, inclusive para cidades industrializadas, como é o caso de Itajubá, no presente trabalho, e também Jundiá (SP), para a qual também foram verificados valores DQO/ DBO_5 acima de 2,5 (Giansante, 2002).

Apesar da razão mencionada anteriormente indicar a biodegradabilidade de esgotos domésticos e efluentes industriais, o seu inverso (DBO_5 /DQO) é também usual. Observou-se que os índices médios de biodegradabilidade dos afluentes das ETEs de Itajubá e de Pedralva foram respectivamente 0,50 e 0,47. Silva e Mendonça (2003) monitoraram seis ETEs na região da grande Vitória-ES, obtendo para esgoto

bruto um índice de biodegradabilidade médio igual a 0,47, mesmo valor encontrado para duas ETEs de Araraquara-SP (Scalize *et al.*, 2004). Índices nessa faixa indicam que os esgotos brutos das quatro cidades, incluindo Itajubá e Pedralva, podem ser tratados biologicamente (von Sperling, 2014). Ao estudar oito ETEs do Egito, Abdalla e Hammam (2014) encontraram índices numa faixa de 0,30 a 0,96, com valor médio igual a 0,67. Desta forma, os índices de biodegradabilidade apresentados pelas ETEs de Itajubá e Pedralva estão entre os valores observados por outros autores.

Os dados referentes às amostras de esgoto tratado são apresentados nas Tabelas 3 e 4. Ao compará-los com aqueles encontrados para afluentes, foram observadas reduções de DBO_5 e DQO em função dos tratamentos empregados nas duas ETEs para todos os meses avaliados. De acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de Maio de 2008, o descarte de matéria orgânica deve atender os limites máximos de 60 mg L^{-1} para DBO_5 e 180 mg L^{-1} para DQO. Conforme os dados para esgoto tratado, a maior parte deles atende a deliberação do COPAM/CERH-MG. No entanto, quando não se atende a remoção estipulada, a mesma deliberação determina para sistemas de esgotos sanitários uma remoção mínima de 60% para DBO_5 , com média anual de 70%, e de 55% para DQO, com média anual de 65%. Baseado neste critério, casos pontuais de não atendimento à legislação ocorreram por parte da ETE de Itajubá, enquanto a ETE de Pedralva atendeu totalmente no período avaliado.

Quanto às remoções médias, obtiveram-se os valores para a ETE de Itajubá de 76% e 63% para DBO_5 e DQO, respectivamente, enquanto para a ETE de Pedralva foram 93% e 77%. A maior eficiência da segunda ETE é provavelmente devida aos tratamentos biológicos adicionais: uma lagoa de estabilização facultativa e duas lagoas de polimento. Geralmente, processos anaeróbios como o RAFA costumam remover até 70% de matéria orgânica, necessitando muitas vezes de tratamentos posteriores (Jordão e Pessoa, 2011; von Sperling 2014). No caso da ETE de Pedralva, a mesma conta com etapas adicionais que promoveram mais de 90% e quase 80% nas remoções de DBO_5 e DQO, respectivamente. As remoções de DBO_5 apresentadas pelas ETEs atenderam a deliberação nº 01 COPAM/CERH-MG, uma vez que são maiores do que os 70% de média anual exigido. Contudo, a remoção de DQO pela ETE de Itajubá está levemente abaixo de 65%. É importante frisar que as amostras

coletadas e analisadas de esgoto bruto e tratado foram realizadas em intervalos mensais, podendo não representar precisamente a remoção de matéria orgânica ocorrida. Estudos realizados anteriormente, com o propósito de avaliar outras ETEs brasileiras, também observaram eficiência (Oliveira *et al.*, 2016; Marçal e Silva, 2017; Ribeiro e Silva, 2018), mas também ineficiência na remoção de matéria orgânica (Orssatto *et al.*, 2009; Tardivo, 2009; Lopes, 2015; Michalake *et al.*, 2016). Essa é uma constatação de que muitas delas necessitam de melhorias.

A cidade de Pedralva é cortada pelo Ribeirão Anhumas, que nasce nas matas próximas à mesma. Esse ribeirão possui pequeno porte, tendo uma vazão média de aproximadamente 500 L s^{-1} . Por possuir tais características, o tratamento de efluentes realizado na ETE Capim Fino deve possuir de fato uma maior remoção de matéria orgânica quando comparado à ETE Sapucaí, a qual despeja o esgoto tratado no Rio Sapucaí, de maior porte e vazão de $21,33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ próxima à Itajubá (Resumo Executivo, 2010).

Quanto à resolução CONAMA nº 430, as duas ETEs analisadas atenderam o limite máximo de 120 mg L^{-1} de DBO_5 para esgoto tratado ou remoção mínima de 60% do mesmo parâmetro. Entretanto, limite de lançamento ou remoção mínima de DQO não constam na resolução federal. Assim como Minas Gerais, para outros estados e municípios os padrões de lançamento de efluentes são mais rígidos que a legislação federal, adotando padrões adicionais, como é o caso da DQO. Esse aspecto é uma forma de adequação a cada contexto econômico e ambiental (Morais e Santos, 2019).

As amostras de esgoto tratado das ETEs de Itajubá e Pedralva apresentaram índices de biodegradabilidade médios de 0,34 e 0,15 respectivamente. Para a cidade de Vitória (ES), os valores encontrados variaram entre 0,18 e 0,27 (Silva e Mendonça, 2003). Observou-se aqui uma já esperada diminuição nos índices de biodegradabilidade, justificado pelo emprego de tratamentos secundários nas ETEs, os quais visam principalmente a remoção de matéria orgânica biodegradável do esgoto por atuação microbiana e desta forma reduzir mais acentuadamente a carga de DBO_5 em relação à fração de matéria orgânica não biodegradável. Baseado nessa mesma interpretação, a razão DQO/DBO_5 se elevou para os esgotos tratados das duas ETEs.

Procurou-se avaliar também nesse

trabalho uma correlação linear entre os dados de DQO e DBO_5 , pois a obtenção do primeiro parâmetro é mais rápida e prática (Silva e Mendonça, 2003; von Sperling, 2014). Realizou-se então a plotagem dos valores DQO *versus* DBO_5 para os afluentes e também para as amostras de esgoto tratado de cada cidade separadamente. A Figura 4 mostra a plotagem dos dados do afluente da ETE de Itajubá. As equações de ajuste linear dos parâmetros supracitados de ambas as ETEs são mostradas na Tabela 5.

Os parâmetros coletados de DBO_5 e DQO para o esgoto bruto de Itajubá permitiram a obtenção de uma equação de reta que permite estimar a DBO_5 por meio da determinação de DQO, uma vez que o coeficiente de correlação linear é alto. Esse aspecto é bastante relevante, pois a análise de DQO é mais rápida que a DBO_5 e mais barata, podendo conduzir a redução de custos operacionais e maior agilidade em tomadas de decisão sobre medidas de correção operacional. Entretanto, para o afluente da ETE de Pedralva, assim como para o esgoto tratado das duas ETEs, os coeficientes de correlação linear observados foram baixos, contraindicando as respectivas equações obtidas para estimar um parâmetro em função do outro. É importante frisar que a correlação para uma mesma ETE pode variar, pois os parâmetros de DQO e DBO_5 sofrem mudanças condicionadas ao clima, costumes sociais, disponibilidade de água, tamanho da população, presença de indústrias, etc (Abdalla e Hammam, 2014).

A literatura também reporta valores altos de correlação linear entre esses dois parâmetros, principalmente para afluentes. Abdalla e Hammam (2014) observaram para ETEs do Egito valores de R^2 entre 0,64 e 0,983, sendo a maioria deles acima de 0,8. Silva e Mendonça (2003) verificaram que os valores de R^2 para afluentes da maioria das ETEs da grande Vitória (ES) foram entre 0,80 e 0,89, enquanto para a maioria das amostras de esgoto tratado os valores foram inferiores a 0,6. Ao estudar uma ETE de Cascavel (PR), Orssatto *et al.* (2009) obtiveram valores de R^2 iguais a 0,987 e 0,76 para afluente e esgoto tratado, respectivamente. Por outro lado, para uma das ETEs do município de Araraquara (SP) foi possível obter um R^2 igual a 0,81 para o esgoto tratado, enquanto para o esgoto bruto observou-se um valor abaixo de 0,6 (Scalize *et al.*, 2004).

Para efluentes industriais também é possível existir correlação linear entre parâmetros de análise de águas. Para efluentes brutos de diferentes laticínios mineiros, Batista e Aguiar

(2018) observaram um R^2 de 0,9231 a partir dos dados de DBO₅ e DQO. Para efluentes brutos provenientes de quatro indústrias têxteis da China, Liang *et al.* (2018) observaram correlação linear entre DQO e o parâmetro de toxicidade ao obter valores de R^2 superiores a 0,82 para todas elas separadamente.

4. CONCLUSÕES:

Com base nos valores médios dos parâmetros de DBO₅ e DQO, apenas a ETE de Itajubá apresentou valores dentro das faixas típicas de esgoto predominantemente domésticos brasileiros. Esporadicamente, ambas as ETEs apresentaram valores fora da faixa típica. Em termos de eficiência de tratamento, as remoções médias de DBO₅ e DQO foram respectivamente 76% e 63% para a ETE de Itajubá e 93% e 77% para a ETE de Pedralva. A maior remoção na segunda ETE é justificada pelo emprego adicional de uma lagoa facultativa e duas de polimento em série, etapas inexistentes na primeira. Em termos legais, com exceção da remoção um pouco abaixo de 65% de DQO pela ETE de Itajubá (63%), todos os valores estão de acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01. Em relação à resolução CONAMA nº 430, praticamente todos os valores de DBO₅ para esgoto tratado estão de acordo com a mesma. Os valores médios de DQO/DBO₅ encontrados justificam a viabilidade de tratamentos biológicos empregados nas duas ETEs. Ainda, ressalta-se que foram observados valores de DQO/DBO₅ acima de 2,5, sobretudo para a ETE de Pedralva. Tal razão pode não ser apropriada para assegurar a presença de efluentes industriais na rede de esgoto de nenhuma delas, uma vez que a cidade de Pedralva não possui indústrias. Ao confrontar os dados de DBO₅ e DQO, apenas houve correlação linear para afluentes da ETE de Itajubá ($R^2 = 0,8585$). Desta forma, pode-se usar a equação de reta obtida para estimar a DBO₅ a partir da DQO, de forma a auxiliar na tomada de decisões de operação da própria ETE.

5. AGRADECIMENTOS:

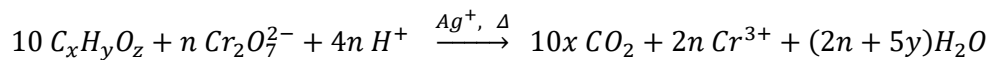
Os autores agradecem à COPASA pelo fornecimento dos dados referentes às ETEs Sapucaí e Capim Fino.

6. REFERÊNCIAS:

1. Abdalla, K. Z., Hammam G. *Int. J. Sci.: Basic Appl. Res.*, **2014**, 13, 42.

2. Archela, E., Carraro, A., Fernandes, F., Barros, O. N. F., Archela, R. S. *Geografia*, **2003**, 12, 517.
3. Batista, N. B. S., Aguiar, A. *Trabalhos do 22º Encontro Latino Americano de Iniciação Científica*, São José dos Campos, Brasil, **2018**.
4. Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., Eaton, A. D. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed., American Public Health Association: Washington, **1998**.
5. COPAM/CERH - Conselho Estadual de Política Ambiental/Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Deliberação Conjunta nº 01, 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/DeliberaNormativaConjuntaCOPAM-CERHno01-2008.pdf>, acessada em junho **2019**.
6. Giansante, A. E. *Trabalhos do 6º Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SIBESA)*, Espírito Santo, Brasil, **2002**.
7. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/pedralva/panorama>, acessada em abril de **2019**.
8. Jordão, E. P., Pessoa, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*, 6ª ed., ABES: Rio de Janeiro, **2011**.
9. Liang, J., Ning, X., Sun, J., Song, J., Lu, J., Cai, H., Hong, Y. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **2018**, 166, 56.
10. Lopes, T. R. *Dissertação de Mestrado em Tecnologias Ambientais*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil, 2015.
11. Marçal, D. A., Silva, C. E. *Eng. Sanit. Ambient.*, **2017**, 22, 761.
12. Michalake, A. E., Silva, C. R., Silva, F. F. *Ciênc. Nat.*, **2016**, 38, 1560.
13. Morais, N. W. S., Santos, A. B. *Revista DAE*, **2019**, 67, 40.
14. Oliveira, E. M. S., Andrade, E. L. B., Fernandes, A. I. A., Varela Neto, R. F., Villar, S. B. B. L. *Trabalhos do 7º Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, Campina Grande, Brasil, **2016**.

15. ONU (2019). Disponível em: <https://nacoesunidas.org/mais-de-2-bilhoes-de-pessoas-no-mundo-sao-privadas-do-direito-a-agua/amp/>, acessada em novembro de **2019**.
16. Orssatto, F., Hermes, E., Vilas Boas, M. A. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, **2009**, 6, 155.
17. Penido, D. L. A., Marques, M. V. A., Matos, A. T., Costa, M. T. M., Silvério, T. H. R. *Periódico Tchê Quim*, **2018**, 15, 95.
18. Pereira, R. C., Lima, F. C., Rezende, D. *Revista da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*, **2018**, 9, 852.
19. Pinho, E. A. S., Ferreira, L. F. R., Américo-Pinheiro, J. H. P., Torres, N. H. *Bioenergia em Revista: Diálogos*, **2017**, 7, 46.
20. Quintana, G. O., Fagnani, E., Candello, F. P., Guimarães, J. R. *J. Braz. Chem. Soc.*, **2018**, 29, 490.
21. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legi-abre.cfm?codlegi=646>, acessada em novembro de **2019**.
22. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legi-abre.cfm?codlegi=459>, acessada em novembro de **2019**.
23. Resumo Executivo. Disponível em: [/planos_diretores_BH/sapucaia.pdf](http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/planos_diretores_BH/sapucaia.pdf), acessada em janeiro de **2020**.
24. Ribeiro, J. C., Silva, G. H. R. *Eng. Sanit. Ambient.*, **2018**, 23, 27.
25. Rudy, L. M., Goulart, A. A. *Revista UniANDRADE*, **2018**, 20, 18.
26. Scalize, P. S., Leite, W. C. A., Rodrigues, J. M., Correa, M. S., Venuzo, S. B., Lombardi, R., Oliveira, S. C., Santos, M. F. *Trabalhos da 34ª Assembleia Nacional da ASSEMAE*, Rio Grande do Sul, Brasil, **2004**.
27. Silva, S. R., Mendonça, A. S. F. *Eng. Sanit. Ambient.*, **2003**, 8, 213.
28. Soares, S. R. A., Bernardes, R. S., Netto, O. M. C. *Cad. Saúde Pública*, **2002**, 18, 1713.
29. Sousa, E., Ramos, G. O., Santos Júnior, J. S., Beltrão, N. E. S. *R. Gest. Sust. Ambient.*, **2018**, 7, 487.
30. Tardivo, M. Tese de Doutorado em Ciências, Universidade de São Paulo, Brasil, 2009.
31. von Sperling, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4ª ed. UFMG: Belo Horizonte, **2014**.
32. Zuccari, M. L., Graner, C. A. F., Leopoldo, P. F. *Eng. Agr.*, **2005**, 20, 69.



Equação 2. Reação envolvida na determinação da DQO a partir do dicromato residual. Fonte: Zuccari et. al (2005).

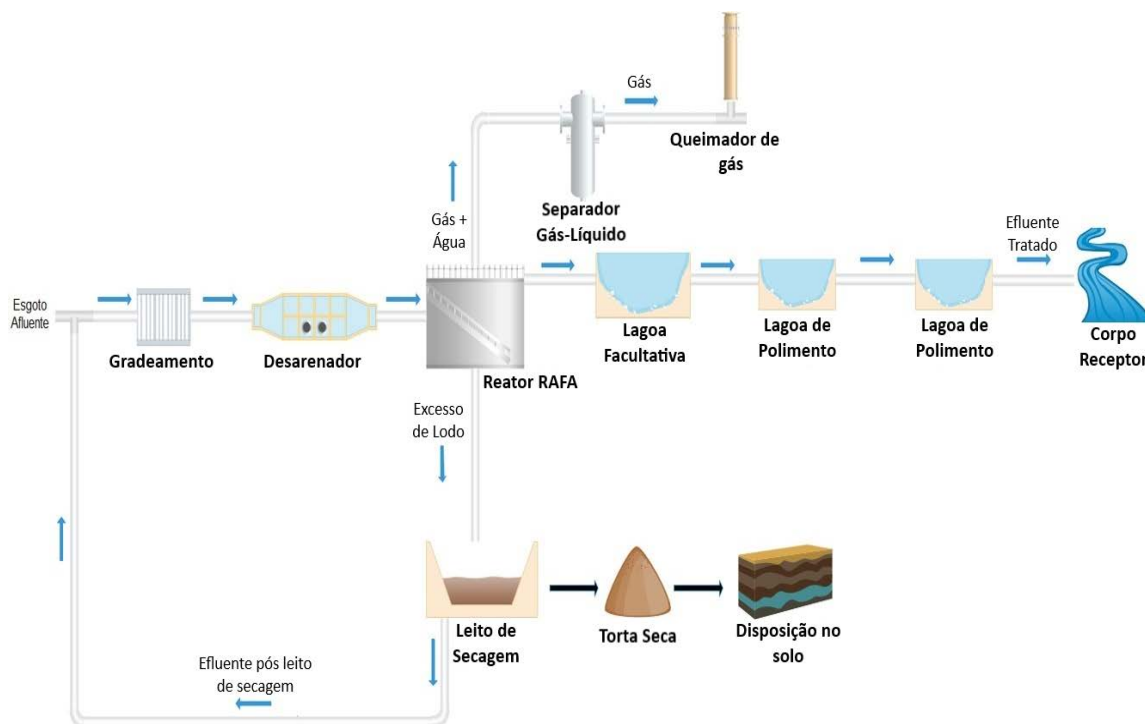


Figura 1. Etapas envolvidas na ETE Capim Fino – Pedralva (MG). RAFA – reator anaeróbico de fluxo ascendente.

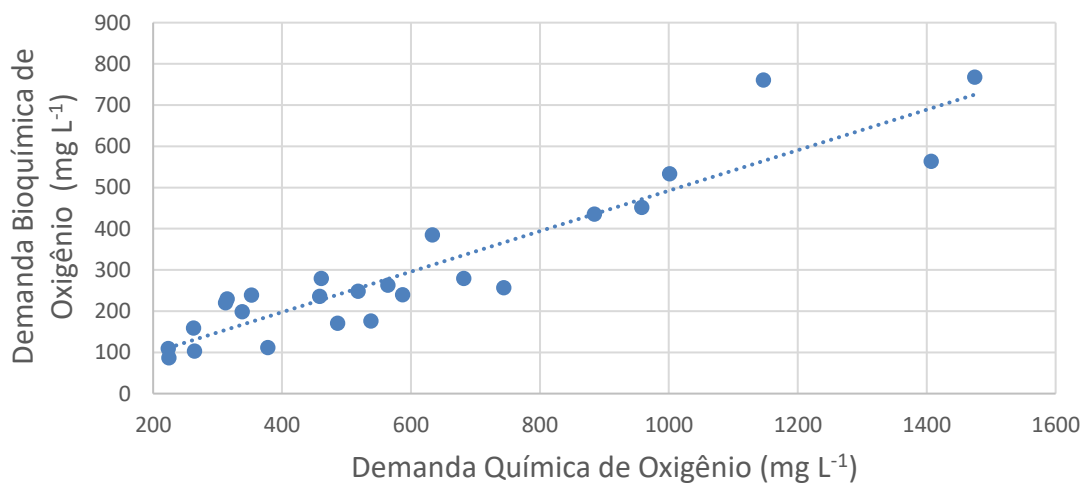


Figura 4. Dados de DQO × DBO₅ para amostras de afluente da ETE Sapucaí – Itajubá (MG).

Tabela 1. Dados descritivos referentes ao afluente da ETE Sapucaí – Itajubá.

Data da coleta	Tempo	DBO ₅ (mg L ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	DQO/DBO ₅	DBO ₅ /DQO
11/05/2016	Nublado	257,0	744,0	2,89	0,35
14/06/2016	Bom	248,0	518,0	2,09	0,48
12/07/2016	Bom	278,8	460,8	1,65	0,61
03/08/2016	Bom	451,7	958,3	2,12	0,47
14/09/2016	Bom	384,6	633,0	1,65	0,61
04/10/2016	Nublado	158,6	262,6	1,66	0,60
23/11/2016	Nublado	235,4	458,4	1,95	0,51
06/12/2016	Bom	170,6	486,1	2,85	0,35
18/01/2017	Chuvoso	108,8	223,3	2,05	0,49
15/02/2017	Bom	111,4	377,8	3,39	0,29
07/03/2017	Nublado	86,8	224,7	2,59	0,39
05/04/2017	Bom	175,8	537,7	3,06	0,33
02/05/2017	Bom	229,6	315,1	1,37	0,73
07/06/2017	Bom	239,1	352,8	1,48	0,68
04/07/2017	Bom	278,9	681,9	2,44	0,41
09/08/2017	Bom	563,4	1407,1	2,50	0,40
13/09/2017	Bom	435,3	884,5	2,03	0,49
16/10/2017	Bom	767,9	1474,7	1,92	0,52
07/11/2017	Nublado	220,2	312,2	1,42	0,71
05/12/2017	Bom	532,9	1001,5	1,88	0,53
02/01/2018	Nublado	103,1	264,1	2,56	0,39
20/02/2018	Nublado	198,8	338,0	1,70	0,59
06/03/2018	Bom	760,4	1146,7	1,51	0,66
03/04/2018	Bom	263,1	564,3	2,14	0,47
08/05/2018	Bom	239,6	587,2	2,45	0,41
Média	-	300,0 ± 188,4	608,6 ± 355,3	2,1 ± 0,6	0,5 ± 0,1

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 2. Dados descritivos referentes ao afluente da ETE Capim Fino – Pedralva.

Data da coleta	Tempo	DBO ₅ (mg L ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	DQO/DBO ₅	DBO ₅ /DQO
14/06/2016	Bom	331,0	685,0	2,07	0,48
02/08/2016	Bom	535,7	1081,8	2,02	0,50
08/11/2016	Bom	279,4	658,1	2,36	0,42
20/12/2016	Bom	216,3	553,6	2,56	0,39
07/02/2017	Bom	543,7	1101,5	2,03	0,49
05/04/2017	Bom	411,5	764,6	1,86	0,54
07/06/2017	Bom	454,2	1229,0	2,71	0,37
01/08/2017	Bom	442,4	1419,6	3,21	0,31
05/12/2017	Nublado	440,3	728,2	1,65	0,60
19/02/2018	Nublado	394,8	778,8	1,97	0,51
03/04/2018	Bom	562,6	1019,2	1,81	0,55
Média	-	419,3 ± 110,0	910,9 ± 274,2	2,2 ± 0,5	0,47 ± 0,09

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 3. Dados descritivos referentes ao esgoto tratado da ETE Sapucaí – Itajubá.

Data da coleta	DBO ₅ (mg L ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	DQO/DBO ₅	DBO ₅ /DQO	Remoção de DBO ₅ (%)	Remoção de DQO (%)
11/05/2016	54,0	120,0	2,22	0,45	79,0	83,9
14/06/2016	116,0	255,0	2,20	0,45	53,2	50,8
12/07/2016	74,5	172,3	2,31	0,43	73,3	62,6
03/08/2016	117,6	447,4	3,80	0,26	74,0	53,3
14/09/2016	85,4	239,0	2,80	0,36	77,8	62,2
04/10/2016	45,8	94,0	2,05	0,49	71,1	64,2
23/11/2016	80,2	164,0	2,04	0,49	65,9	64,2
06/12/2016	21,4	123,6	5,78	0,17	87,5	74,6
18/01/2017	33,3	114,6	3,44	0,29	69,4	48,7
15/02/2017	31,3	156,0	4,98	0,20	71,9	58,7
07/03/2017	24,0	101,1	4,21	0,24	72,4	55,0
05/04/2017	41,3	139,3	3,37	0,30	76,5	74,1
02/05/2017	67,3	229,0	3,40	0,29	70,7	27,3
07/06/2017	35,9	243,6	6,79	0,15	85,0	31,0
04/07/2017	85,1	285,4	3,35	0,30	69,5	58,1
09/08/2017	77,4	588,5	7,60	0,13	86,3	58,2
13/09/2017	111,6	170,0	1,52	0,66	74,4	80,8
16/10/2017	55,4	201,0	3,63	0,28	92,8	86,4
07/11/2017	56,5	83,0	1,47	0,68	74,3	73,4
05/12/2017	57,9	237,9	4,11	0,24	89,1	76,2
02/01/2018	29,6	132,1	4,46	0,22	71,3	50,0
20/02/2018	36,20	133,90	3,70	0,27	81,8	60,4
06/03/2018	29,40	64,50	2,19	0,46	96,1	94,4
03/04/2018	97,20	201,20	2,07	0,48	63,1	64,3
08/05/2018	48,00	236,40	4,93	0,20	80,0	59,7
Média	60,5 ± 29,5	197,3± 115,4	3,5 ± 1,6	0,3 ± 0,2	76,3 ± 9,6	62,9 ± 15,7

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 4. Dados descritivos referentes ao esgoto tratado da ETE Capim Fino – Pedralva.

Data da coleta	DBO ₅ (mg L ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	DQO/DBO ₅	DBO ₅ /DQO	Remoção de DBO ₅ (%)	Remoção de DQO (%)
14/06/2016	21,0	160,0	7,62	0,13	93,7	76,6
02/08/2016	41,1	205,3	5,00	0,20	92,3	81,0
08/11/2016	24,8	178,0	7,18	0,14	91,1	73,0
20/12/2016	43,0	244,8	5,69	0,18	80,1	55,8
07/02/2017	20,9	100,2	4,79	0,21	96,2	90,9
05/04/2017	36,2	177,6	4,91	0,20	91,2	76,8
07/06/2017	16,2	238,1	14,70	0,07	96,4	80,6
01/08/2017	19,6	308,4	15,73	0,06	95,6	78,3
05/12/2017	33,2	227,7	6,86	0,15	92,5	68,7
19/02/2018	17,8	142,3	7,99	0,13	95,5	81,7
03/04/2018	21,3	140,3	6,59	0,15	96,2	86,2
Média	26,8 ± 9,7	193,0 ± 59,1	7,9 ± 3,8	0,15 ± 0,05	92,8 ± 4,7	77,2 ± 9,3

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 5. Ajuste linear a partir dos dados de DBO₅ e DQO para as duas ETEs em estudo.

ETE	Esgoto	Equação de reta	Coefficiente de correlação linear (R ²)
Sapucaí (Itajubá)	Bruto	DBO ₅ = 0,491*DQO + 1,057	0,8585
	Tratado	DBO ₅ = 0,140*DQO + 32,926	0,2992
Capim Fino (Pedralva)	Bruto	DBO ₅ = 0,280*DQO + 164,490	0,4863
	Tratado	DBO ₅ = 0,727*DQO – 113,488	0,0512

Fonte: Dados da pesquisa.