IMPACTO DO RECEBIMENTO CONTÍNUO DE EFLUENTE NÃO DOMÉSTICO (END) NA OPERAÇÃO DE SISTEMA DE LODO ATIVADO - ESTUDO DE CASO NA ETE BARUERI

Mariana Garroux Montezuma[(1)]
Bióloga na Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP.
Jaqueline Amaral Barone[(2)]
Técnica em Sistemas de Saneamento na Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, Técnóloga Ambiental pelo SENAI, Pós graduada em ESG e Sustentabilidade Corporativa pela FGV e Estudante do curso de MBA em Saneamento Ambiental da FESPSP.

Endereço[(1)]**:** Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros – São Paulo - SP - CEP: 05429-060 - Brasil - Tel: +55 (11) 3388-9629 - e-mail: mmontezuma@sabesp.com.br

RESUMO

A tecnologia de lodos ativados é amplamente utilizada no tratamento de efluentes industriais devido ao seu baixo custo e alta eficiência de remoção. O trabalho analisa uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), predominantemente doméstica, que há 8 anos recebe uma pequena parcela de efluente não doméstico (END) de alta carga. O impacto dessa contribuição industrial na taxa de consumo de oxigênio (TCO) foi avaliado por meio de respirometria, em ensaios com e sem END. Estimou-se um aumento de aproximadamente 43,2% no consumo de oxigênio, e consequentemente de energia elétrica, provocado pela presença de END. A adaptação biológica também foi verificada comparando-se o desempenho de dois lodos biológicos distintos, no tratamento do esgoto misto típico da ETE avaliada. Os resultados mostraram eficiências similares de degradação da carga orgânica pelos dois tipos de lodo, porém com TCO e remoção de amônia distintas. Também se identificou a elevação da respiração endógena no lodo autóctone. Conclui-se que a introdução contínua de END em sistemas de esgotamento sanitário públicos pode representar um custo adicional significativo nas despesas operacionais, o qual deve ser considerado na definição das tarifas e fatores aplicados à prestação do serviço de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Consumo de Oxigênio. Adaptação Biológica. Respirometria.

INTRODUÇÃO

O termo END refere-se a qualquer tipo de efluente líquido gerado por atividades industriais, comerciais ou agrícolas que não sejam provenientes de fontes residenciais (domésticas). Esses efluentes podem conter uma variedade de substâncias, incluindo produtos químicos complexos, metais pesados, sais e nutrientes, microrganismos, entre outros, dependendo da natureza da atividade que os produz.

Pela legislação brasileira, o lançamento de despejos industriais na rede pública de esgotos, ou diretamente no corpo receptor, é permitido se este efluente líquido estiver enquadrado em relação a uma série de parâmetros de qualidade. Na esfera federal as Resoluções CONAMA nº 357/05 e nº 430/11 estabelecem os parâmetros de qualidade para o lançamento de efluentes em corpo receptor, os quais valem para qualquer fonte poluidora. A ABNT/NBR 9800 complementa esse regramento nacional estabelecendo alguns critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário.

No Estado de São Paulo, por sua vez, o Decreto Estadual nº 8468/76 define em seu artigo 19-A limites mais rigorosos para os parâmetros que devem ser observados no lançamento de efluentes no sistema coletor público de esgoto sanitário. Desse modo, as indústrias e aterros sanitários, dentre outros empreendimentos, devem operar sistemas de pré-tratamento próprios em suas plantas, ou então contratar esse serviço no mercado, a fim de atender pelo menos aos limites estipulados para despejo na rede coletora pública, sendo de responsabilidade das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) subsequentes o atendimento legal de seu efluente final para lançamento no corpo receptor.

Uma dessas iniciativas privadas, que presta serviço de tratamento de efluentes não domésticos (END) na Região Metropolitana de São Paulo, iniciou sua atividade em 2015, e lança seu efluente pré-tratado diretamente no interceptor de chegada na vizinhança da ETE Barueri, operada pela Sabesp. Os tipos de tratamento físico-químico oferecidos pela empresa mencionada variam em função do tipo de despejo recebido. Atualmente estão disponíveis quatro linhas de tratamento, cada uma delas dedicada a: alta carga orgânica; alta carga de sólidos; inorgânicos; e alta carga de óleos e graxas.

Em razão de possuir elevada carga e compostos recalcitrantes, a chegada de plumas de END em ETEs que tratam esgoto doméstico é visto como potencialmente desestabilizadora. Muitos compostos recalcitrantes podem ser tóxicos em determinadas concentrações, perturbando as relações ecológicas estabelecidas pela comunidade bacteriana responsável pela degradação da matéria orgânica. Ademais, durante os processos de degradação desses compostos, podem ser gerados, por exemplo, fenóis e quinonas, além de outros subprodutos secundários potencialmente mais tóxicos ou inibitórios do que o composto original (SchoÈberl *et al*., 1988 *apud* Burgess *et al*, 1999, p. 3707).

A despeito da aparente suscetibilidade ou sensibilidade da microbiota às plumas de END, as tecnologias de tratamento biológico são amplamente utilizadas como pré-tratamento desses efluentes, em razão do baixo custo de operação em relação aos resultados que podem ser alcançados. Segundo Shokrollahzadeh et al (2008) a principal tecnologia utilizada no tratamento de efluentes provenientes da indústria petroquímica em escala industrial é o lodo ativado convencional.

O estudo de Shokrollahzadeh et al (2008) exemplifica o alto desempenho que pode ser alcançado na biodegradação de compostos complexos em sistemas de tratamento por lodos ativados. Os autores observaram taxas máximas de redução de DQO de 89% para dicloreto de etileno, 99% para cloreto de vinil e 92% para hidrocarbonetos totais. As principais cepas bacterianas e fungo responsáveis pela degradação desses produtos petroquímicos pertenciam aos gêneros *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Comamonas*, *Cytophaga*, *Acidovorax*, *Sphingomonas*, *Bacillus*, *Acinetobacter* e *Trichoderma* sp.

Metcalf and Eddy (1991 *apud* Burgess *et al*, 1999, p. 3707) adotam como valor típico a variação de 75 a 95% na remoção de DBO para plantas de lodo ativado que tratam exclusivamente END. Henze *et al* (1995 *apud* Burgess *et al*, 1999, p. 3707), por sua vez, adotam a variação de 80 a 85% para remoção de DQO em plantas com o mesmo propósito. Esses valores não estão muito distantes da faixa esperada para plantas que tratam esgoto doméstico, qual seja: 85 a 95% de remoção em DBO (Nicoll, 1988 *apud* Burgess *et al*, 1999, p. 3707).

É amplamente reportado pela literatura que a potencial recalcitrância de muitos compostos presentes em efluentes industriais é, em alguma medida, contornada pelos mecanismos sintróficos, ou rede de rotas metabólicas, que ocorrem em culturas mistas, como aquelas presentes no lodo ativado (Burgess *et al*, 1999). No entanto, a presença de uma variedade de macro e micronutrientes é pré-requisito para efetivação dessas rotas metabólicas.

No tratamento de efluentes exclusivamente industriais, pode ser necessário adicionar os macronutrientes nitrogênio e fósforo, pois a indisponibilidade deles pode limitar a degradação de produtos orgânicos (Valo *et al*., 1985; Singleton, 1994 *apud* Burgess *et al*, 1999, p. 3707). Quanto aos micronutrientes, uma ampla gama deles, incluindo cobre, manganês e vitaminas, também podem ser demandados e dosados como aditivos (Lind, 1994; Lemmer *et al*, 1998 *apud* Burgess *et al*, 1999, p. 3707). No entanto, no tratamento de efluentes mistos, compostos por resíduos domésticos e industriais, a limitação causada pela falta de nutrientes essenciais pode não ser um problema significativo.

A comunidade bacteriana que forma o chamado lodo ativado é muito variável, relacionando-se com parâmetros operacionais, ambientais, e com a qualidade do efluente ao qual é exposta. No entanto, bactérias unicelulares não são identificáveis pela microscopia biológica comum. Sendo assim, os operadores de estações de lodo ativado descrevem e acompanham alterações em seus processos por meio da diversidade da chamada fauna associada aos flocos de lodo ativado, a qual é composta em sua maioria por protozoários, além de micro metazoários. *Opercularia* spp é um desses gêneros de protozoários bioindicadores, que tende a prevalecer em ambientes estressados, por exemplo após eventos de recebimento ocasional de efluentes industriais (Madoni; Davoli; Chierici, 1993).

Quanto à matéria orgânica presente no esgoto doméstico, esta é composta por frações particuladas e solúveis, as quais podem ser biodegradáveis ou inertes. Essa heterogeneidade se origina das diversas fontes que contribuem para o esgoto, como dejetos humanos, resíduos alimentares, detergentes e produtos de limpeza. Conhecer a fração não degradável solúvel (no inglês, *fus*) do esgoto é crucial para estabelecer a eficiência de seu tratamento, por representar

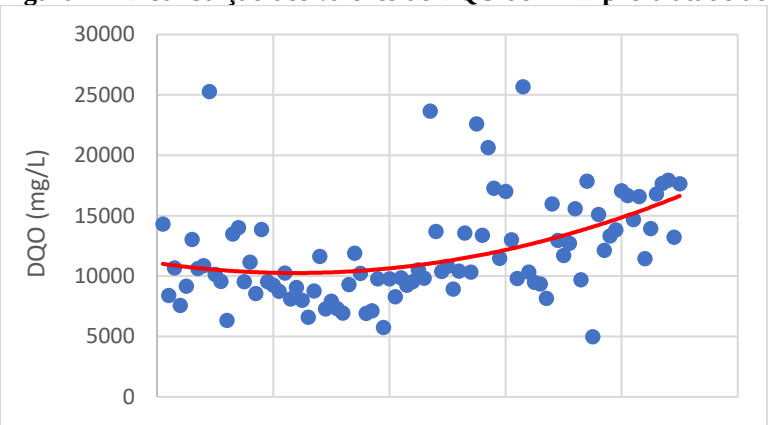
a matéria orgânica residual que contribuirá para a concentração final em DQO que será lançada no corpo hídrico. O valor da *fus* no esgoto doméstico pode variar de acordo com diversos fatores regionais e específicos. O trabalho de Pasztor et al (2008) avaliou as frações da DQO em 13 qualidades de efluente primário em uma série de países, e encontrou uma variação de 3% a 14,3%, com média de 8,7% para essa fração solúvel inerte.

Análises de DQO e DBO são utilizadas frequentemente para monitoramento indireto da concentração de matéria orgânica nas diversas etapas do processo de tratamento. Como o método da primeira se baseia em uma oxidação química, e o da segunda na oxidação biológica, o resultado da DQO de uma amostra é sempre maior ou igual ao valor da DBO para a mesma amostra. No caso do esgoto doméstico típico, observa-se um aumento na diferença entre DQO e DBO no efluente tratado em comparação ao afluente bruto. Essa discrepância indica a remoção de material orgânico biodegradável durante o tratamento, enquanto compostos recalcitrantes, menos suscetíveis à decomposição biológica, permanecem em dissolução. No entanto, mecanismos de adaptação dos microrganismos à matéria orgânica solúvel complexa (de degradação lenta) pode alterar a relação DQO/DBO esperada no efluente tratado de lodos ativados. A compreensão desses mecanismos é crucial para a otimização do processo de tratamento e a obtenção de um efluente de alta qualidade.

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Barueri, objeto de estudo deste trabalho, recebe efluentes domésticos de uma ampla bacia de esgotamento, totalizando uma vazão nominal de 16 m³/s, na qual está inclusa a contribuição de END`s pré-tratados em uma vazão média de 79 L/s (dados de 2023, comunicação pessoal), correspondendo, portanto, a cerca de 0,5% de sua vazão afluente global. No entanto, a contribuição de END, irrelevante em termos de volume, pode corresponder até a 22% da carga total de entrada, conforme variação da DQO observada na Figura 1.

O Decreto Estadual nº 8468/76, em seu artigo 19-A, estabelece que o END enviado à rede pública de coleta deve estar isento de solventes. No entanto, o contrato de prestação de serviço firmado pela Sabesp, que se sobrepõe à legislação estadual, não exige essa ausência. Essa anuência resulta na frequente detecção de solventes como benzeno, tolueno, xileno e dicloroeteno no efluente não doméstico pré-tratado enviado ao interceptor da ETE Barueri, por vezes em concentrações superiores a 1 mg/L.

Figura 1 – Distribuição dos valores de DQO do END pré-tratado ao longo do ano de 2023.



Nota: dados provenientes do laboratório de processo da ETE Barueri. A linha vermelha representa a tendência do período (janeiro a agosto de 2023).
Fonte: elaboração própria (2024).

Após oito anos de operação recebendo END pré-tratado da empresa vizinha, notou-se que a ETE Barueri apresentava um comportamento anômalo na relação DQO:DBO na entrada e na saída da Estação. A proporção na entrada, próxima a 2:1, se mantinha conforme o esperado para esgoto doméstico, mas divergia significativamente no efluente final, que se aproximava de 1,2:1. Essa discrepância motivou uma investigação aprofundada por meio de ensaios de respirometria.

OBJETIVO

Verificar o comportamento oxidativo da microbiota do tanque de aeração após 8 anos de recebimento contínuo de uma pequena fração volumétrica de END em uma estação convencional de lodos ativados, identificando como essa contribuição impacta nos custos e parâmetros operacionais.

METODOLOGIA UTILIZADA

- **Respirometria**

O ensaio de respirometria tem por objetivo simular em escala de bancada a tomada de oxigênio que ocorre em um tanque de aeração a partir da interrupção periódica do fornecimento de ar e do registro do decaimento do oxigênio dissolvido no licor. Respirômetros de mercado facilitam a montagem e execução desse experimento por quantificarem de maneira automática a demanda de oxigênio exigida por uma amostra de lodo, por meio de softwares apropriados. No entanto, neste trabalho, o ensaio de respirometria foi executado de forma manual.

Para todos os experimentos realizados foram utilizadas amostras de lodo ativado adensado e efluente primário da ETE Barueri, a qual trata majoritariamente esgoto doméstico. Nesta estação, o efluente primário, que sai das unidades de decantação primária, é efetivamente o que aflui aos tanques de aeração.

Um dia antes à data de execução do ensaio, a amostra de lodo ativado adensado foi preparada submetendo-a à aeração forçada, numa concentração de oxigênio dissolvido (OD) fixa em aproximadamente 3 mg/l, de modo a zerar o residual de matéria orgânica eventualmente presente nela. Após 3 horas de exposição, assume-se que a amostra já se encontra em endogenia, isto é, condição de equilíbrio na qual a demanda por oxigênio é considerada basal, isto é, na qual o consumo de oxigênio é suficiente apenas para manter a atividade metabólica mínima do lodo. Ao término desse procedimento, a taxa de consumo de oxigênio (TCO) na endogenia foi registrada como parâmetro de controle e uma alíquota da amostra de lodo ativado adensado foi separada para realização do ensaio de sólidos suspensos voláteis (SSV).

O lodo preparado, bem como o efluente primário (com ou sem END) foram armazenados em geladeira (<4ºC) até o momento de realização do ensaio, quando as amostras foram aclimatadas gradualmente à temperatura ambiente. A proporção entre o volume de efluente primário e o volume de lodo ativado adensado deve ser tal que permita a obtenção de uma concentração final ideal de lodo na mistura, qual seja: 1500 mg/L, sendo este o valor típico nos tanques de aeração da ETE Barueri.

O método manual é executado em reatores de 6L de capacidade, mantidos sob constante homogeneização, nos quais o lodo ativado mais o efluente primário a ser degradado são aerados artificialmente mantendo-se o valor médio de OD em torno de 3 mg/L. Em intervalos de 1h a aeração é interrompida e o declínio do OD é registrado a cada 15 segundos até atingir valor próximo de 0,5 mg/L. Toda a medição de OD foi feita por meio de duas sondas acopladas ao sistema, das marcas YSI e Xylem, devidamente verificadas e calibradas.

O tempo zero do ensaio de Respirometria manual inicia com a adição do efluente primário ao lodo ativado adensado, este já em condição de saturação com oxigênio. Assim que os licores são misturados procede-se com a interrupção da aeração e registro do decaimento do OD. O tempo de duração dos ensaios varia de 5 a 6 horas, que é o mesmo tempo de detenção hidráulica praticado nos tanques de aeração reais da ETE Barueri. A velocidade de decaimento na concentração de oxigênio é monitorada ao longo das horas de ensaio até que alcance valores próximos da endogenia.

Os dados registrados são convertidos em curvas de decaimento do OD por tempo, sendo geradas em torno de 5 a 6 curvas correspondentes a cada horário de interrupção da aeração, mais o tempo zero. A curva global de decaimento é obtida a partir da projeção gráfica dos valores de TCO horários, e ela reflete a cinética da degradação aeróbia, tanto da oxidação das fontes carbonáceas quanto das nitrogenadas.

Foram executadas variadas análises laboratoriais nas amostras brutas (efluente primário com e sem END), no lodo ativado adensado, e em alíquotas de licor misto e sobrenadante coletadas em alguns momentos importantes do ensaio de Respirometria (Figura 2), as quais estão descritas na Tabela 1. Para obtenção das frações solúveis as amostras foram filtradas em filtro de fibra de vidro de 1,2 µm, seguida de filtração em membrana de 0,45 µm.

Tabela 1 – Descrição das análises executadas nos ensaios de respirometria.

Parâmetro	Amostras	Método
SSV	lodo adensado, licor misto do TO, licor misto do Tf	Gravimétrico
DQO total	efluente primário, sobrenadante do T1, sobrenadante do Tf	Titulométrico em fluxo aberto (Experimento 1 e 2) e Colorimétrico (Experimento 3)
DQO solúvel	efluente primário, sobrenadante do T1, sobrenadante do Tf	Titulométrico em fluxo aberto (Experimento 1 e 2) e Colorimétrico (Experimento 3)
NH_3	efluente primário, sobrenadante do Tf	Colorimétrico (Nessler)

Nota: TO – Tempo virtualmente inicial do ensaio de Respirometria; T1 – Uma hora após início do ensaio de Respirometria; Tf – Tempo de encerramento do ensaio de Respirometria; Licor misto – mistura de lodo mais efluente; Sobrenadante – líquido decantado do licor reacional após cerca de 5 minutos de sedimentação.
Fonte: elaboração própria, 2024.

- **Experimento 1 e 2**

Os Experimentos 1 e 2 referem-se a ensaios de respirometria, conduzidos com o lodo proveniente da ETE Barueri, o qual foi submetido a dois tratamentos distintos: na presença e na ausência do END, isto é, a duas qualidades distintas de efluente primário.

A empresa privada, que lança END pré-tratado no interceptor de entrada da ETE Barueri, paralisou suas atividades por algumas horas a fim de realizar ajustes operacionais. Aproveitou-se de duas dessas ocasiões, em 25/04/23 e 14/05/23, para coletar o efluente primário isento da contribuição do END pré-tratado. Já o efluente primário com a presença típica de END foi coletado de dois a três dias após o evento de paralisação mencionado.

Figura 2 – Registro de momento da execução do Experimento 2.



Nota: Interrupção da aeração e da homogeneização para coleta de alíquota do sobrenadante.
Fonte: elaboração própria, 2024.

A coleta do efluente primário sem contribuição de END foi feita no vertedor do decantador primário da ETE Barueri, após 8 horas do início da parada operacional da empresa privada mencionada. Ele foi então armazenado em geladeira até o momento de aclimatação e realização do ensaio de respirometria, de dois a três dias depois.

Quanto ao lodo ativado adensado utilizado no Experimento 1, a montagem dos tratamentos com e sem END foram feitos com lodo ativado da mesma ETE Barueri, porém coletados em dias e horários diferentes. Já para o Experimento 2 utilizou-se a mesma qualidade de lodo ativado adensado, isto é, a amostra foi repartida em duas porções para montagem dos dois tratamentos.

Complementando as análises químicas mencionadas na Tabela 1, foram realizadas análises microbiológicas da fauna associada ao lodo ativado. Este ensaio consiste em classificar e quantificar os organismos bioindicadores que habitam os flocos de lodo ativado, em 6 categorias ou grupos morfofuncionais: amebas, flagelados, ciliados rastejantes, ciliados que nadam livre, ciliados fixos, e micrometazoários.

- **Experimento 3**

O Experimento 3, foi realizado em junho de 2024, cerca de um ano após os Experimentos 1 e 2. Ele também se refere ao ensaio de respirometria, nesse caso, executado em dois tratamentos conduzidos com a mesma qualidade de efluente primário, proveniente da ETE Barueri em dia normal de operação, portanto, com presença típica de END.

Os dois tratamentos do Experimento 3 diferenciam-se pela qualidade do lodo adensado que será exposto ao mesmo efluente. Foi utilizado lodo proveniente da ETE Barueri, e como contraponto a ele, o lodo ativado proveniente da ETE Laranjeiras, uma Estação isolada de menor porte, com capacidade de 80L/s, que trata essencialmente o esgoto doméstico da cidade de Caieiras. Essa configuração experimental tem por objetivo verificar a capacidade oxidativa de microbiotas com distintos graus de adaptação.

A qualidade do esgoto afluente e efluente, bem como das alíquotas de sobrenadante e licor intermediárias, para os dois tratamentos, também foi avaliada pelos parâmetros e métodos elencados na tabela 1. Complementando essas análises químicas, também foram realizadas análises microbiológicas da fauna associada ao lodo ativado antes a após os ensaios.

RESULTADOS OBTIDOS

Com relação às análises físico-químicas, nas Tabelas 3 e 4 estão descritos os resultados obtidos para cada um dos Experimentos 1 e 2.

Tabela 3 – Descrição dos resultados analíticos obtidos no Experimento 1.

	EXPERIMENTO 1 - abril/23							
Parâmetro	SSV (mg/L)		DQO total (mg/L)		DQO solúvel (mg/L)		NH_3 (mg/L)	
Tratamento	Com END	Sem END	Com END	Sem END	Com END	Sem END	Com END	Sem END
Lodo adensado	3560	3900						
Efluente primário			367	268	190	74	38,63	NR
Licor misto do T0	1400	1580						
Licor misto do Tf	1480	1480						
Sobrenadante do T1			248	NR	61,5	NR	24,95	21,88
Sobrenadante do Tf			134	132	46	40	15,27	16,09

Nota: NR – Ensaio Não Realizado
Fonte: elaboração própria, 2024.

Os valores obtidos em SSV no licor misto do T0 representam com quanto de lodo ativado cada ensaio iniciou. É importante que se mantenha um valor próximo à concentração média do tanque real, qual seja 1500 mg/L, e tendo em vista o erro do próprio ensaio, pode-se afirmar que esse objetivo foi atingido. Outro parâmetro importante para atestar uma correta montagem do ensaio é a relação alimento/microrganismo (A/M), que idealmente deve estar entre 0,2 a 0,7 DBO_5/SSV, em operação convencional (ABNT, 2011). Infelizmente, essa

relação se manteve ligeiramente mais baixa que 0,2 nos tratamentos do Experimento 1 e no tratamento sem END do Experimento 2.

Tabela 4 – Descrição dos resultados analíticos obtidos no Experimento 2.

	EXPERIMENTO 2 - maio/23							
Parâmetro	SSV (mg/L)		DQO total (mg/L)		DQO solúvel (mg/L)		NH_3 (mg/L)	
Tratamento	Com END	Sem END	Com END	Sem END	Com END	Sem END	Com END	Sem END
Lodo adensado	3360	3360						
Efluente primário			679	374	196	104	NR	NR
Licor misto do T0	1580	1440						
Licor misto do Tf	1720	1660						
Sobrenadante do T1			105	105	51	51	NR	NR
Sobrenadante do Tf			92	95	38	35	NR	NR

Nota: NR – Ensaio Não Realizado
Fonte: elaboração própria, 2024.

Com relação à eficiência global do tratamento aeróbio, considerando-se que o ensaio se deu em condições ideais de bancada, isto é: com fornecimento ideal de oxigênio, homogeneização adequada do licor, e tempo de detenção suficiente; eram esperados valores mais altos de remoção da DQO afluente. No Experimento 1 obteve-se remoção de 50,7% no tratamento sem END e 63,5% no tratamento com END. Já no Experimento 2 obteve-se remoção de 74,6% no tratamento sem END, e 86,4% no tratamento com END. Ou seja, uma possível interpretação para esse resultado é que surpreendentemente os tratamentos com END tiveram comparativamente um melhor desempenho da microbiota na degradabilidade do substrato. Porém, é preciso ponderar que a intensa aeração mecânica durante o ensaio aumenta a presença de fragmentos pequenos de flocos de lodo ativado ao final dos ensaios, conferindo uma baixa sedimentabilidade do lodo e consequentemente um aumento da turbidez no sobrenadante, o que contribui para o aumento da DQO total final.

Resultados experimentais indicam que a produção de massa bacteriana no metabolismo oxidativo está na faixa de 0,35 a 0,52gSSV/gDQO (Van Haandel e Marais, 1999). Essa taxa de crescimento de biomassa foi respeitada nos dois tratamentos executados com END, ainda que deva ser considerada a elevada incerteza do ensaio de sólidos suspensos voláteis. No tratamento sem END do Experimento 1, registrou-se uma redução da biomassa do início ao fim dos ensaios, o que pode estar relacionado tanto com a baixa oferta de alimento e performance de remoção, quanto com a incerteza do ensaio. Já para o tratamento sem END do Experimento 2, apresentou um aumento de biomassa superior ao da referência apresentada.

Nos dois experimentos verifica-se que a concentração de DQO total e solúvel nos efluentes primários com END superam àquelas dos respectivos efluentes primários sem END. No Experimento 1 com END foi utilizado um efluente primário com uma concentração de DQO total próxima daquela do Experimento 2 sem END. No entanto, conforme Figura 5, apesar do valor de DQO total afluente similar, o comportamento das curvas respirométricas foi bastante distinto.

Tabela 5 – Frações da matéria orgânica no Experimento 1 e 2.

		Experimento 1		Experimento 2	
Fração	**Descrição**	**Sem END**	**Com END**	**Sem END**	**Com END**
fus	Matéria orgânica inerte solúvel / Matéria orgânica total afluente	0,15	0,12	0,09	0,05
fup	Matéria orgânica inerte particulada / Matéria orgânica total afluente	0,34	0,24	0,16	0,08
fsb	Matéria orgânica biodegradável solúvel / Matéria orgânica biodegradável afluente	0,25	0,62	0,25	0,27

Fonte: elaboração própria, 2024.

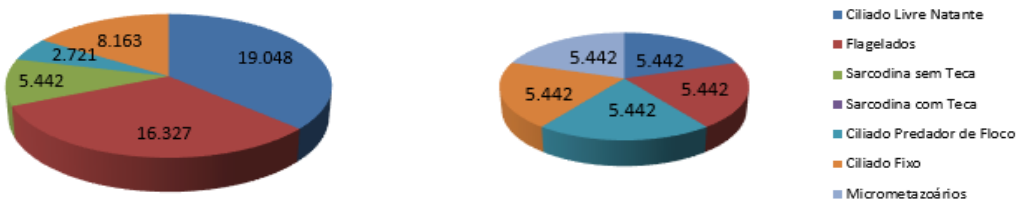
A partir dos resultados de DQO, calculou-se as frações da matéria orgânica para cada um dos tratamentos conforme Tabela 5. Para esgoto doméstico típico os valores esperados para as frações mencionadas são: 0,08 de *fus* (Pasztor et al, 2008); de 0,15 a 0,25 de *fup* (Brito, 2006); e 0,25 de *fsb*. Observa-se que os valores das frações inertes *fus* e *fup* para os afluentes com END, não são significativamente maiores que o valor indicado pela literatura para esgoto doméstico.

Com relação aos ensaios de hidrobiologia da fauna associada ao lodo ativado, na figura 3 e 4 têm-se os resultados obtidos, lembrando que para o Experimento 1 utilizou-se duas qualidades de lodo adensado coletados na ETE Barueri em datas próximas, mas diferentes. Já o Experimento 2 foi executado com somente uma qualidade de lodo adensado, o qual foi repartido em duas alíquotas para montagem dos dois tratamentos.

É possível identificar que os lodos (biomassa) utilizados no Experimento 1 possuíam composições hidrobiológicas bem diferentes, no caso, o lodo utilizado no tratamento sem END possuía maior abundância e riqueza de organismos. Nota-se também uma diferença significativa em termos de composição e quantidade das classes de organismos da fauna associada ao final do Experimento 2, ainda que o ensaio tenha sido iniciado com a mesma qualidade de lodo.

Figura 3 – Hidrobiologia realizada nos lodos ativados do Experimentos 1, antes do início do ensaio.

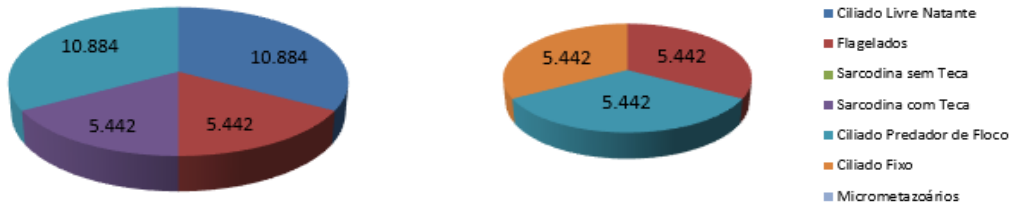
a) b)



Nota: a) tratamento sem incorporação de END; b) tratamento com incorporação de END
Fonte: elaboração própria, 2024.

Figura 4 – Hidrobiologia realizada no lodo ativado do Experimentos 2, ao fim do ensaio.

a) b)



Nota: a) tratamento sem incorporação de END; b) tratamento com incorporação de END
Fonte: elaboração própria, 2024.

As taxas de consumo de oxigênio (TCO) associadas a cada evento de interrupção da oxigenação, foram obtidas a partir da equação 1. Esses valores horários, por sua vez, foram utilizados na elaboração de uma curva contínua que descreve a tomada biológica de oxigênio presente no meio, ao longo das 7 horas de ensaio. A fim de obter a TCO média, a curva foi integrada com o objetivo de obter o total de oxigênio consumido, valor que foi então dividido pelo tempo total de ensaio.

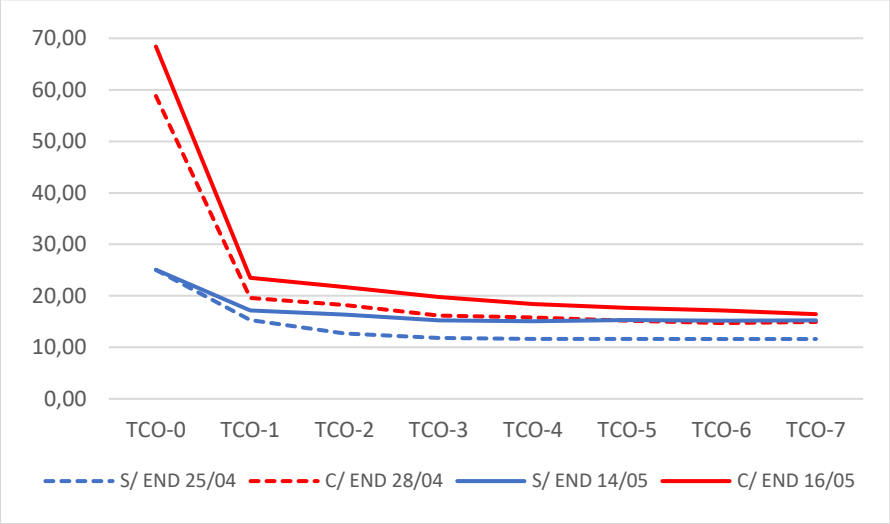
$$\mathbf{TCO_h} = \frac{\boldsymbol{\Delta OD}}{\boldsymbol{\Delta T}} \qquad \text{equação (1)}$$

Na Figura 5, apresenta-se de maneira unificada a representação gráfica das curvas obtidas em cada um dos Experimentos 1 e 2. As curvas vermelhas representam o desempenho dos tratamentos com END, e as azuis sem END. É notável a similaridade de formatos entre os tratamentos equivalentes. A repetição do resultado em dois ensaios realizados em momentos diferentes reforça e demonstra o aumento de demanda por oxigênio no tanque aeração provocado pela presença de afluente com contribuição de END.

Nota-se também que a presença de END aumenta o consumo de oxigênio na primeira hora de ensaio, provavelmente em função da presença adicional de matéria orgânica solúvel, dando ao formato da curva um pico mais sobressalente na hora inicial.

A TCO média obtida no tratamento sem END do Experimento 1 foi de 14,1 mg/L.h, e 17,2 mg/L.h no tratamento com END. Já para o Experimento 2 foram obtidos os valores de TCO média de 16,3 mg/L.h no tratamento sem END, e 23,2 mg/L.h no tratamento com END. Desse valor não foi subtraída a TCO correspondente ao metabolismo endógeno.

Figura 5 – Taxa de Consumo de Oxigênio ao longo de 7 horas de ensaio para os Experimentos 1 e 2.



Fonte: elaboração própria, 2024.

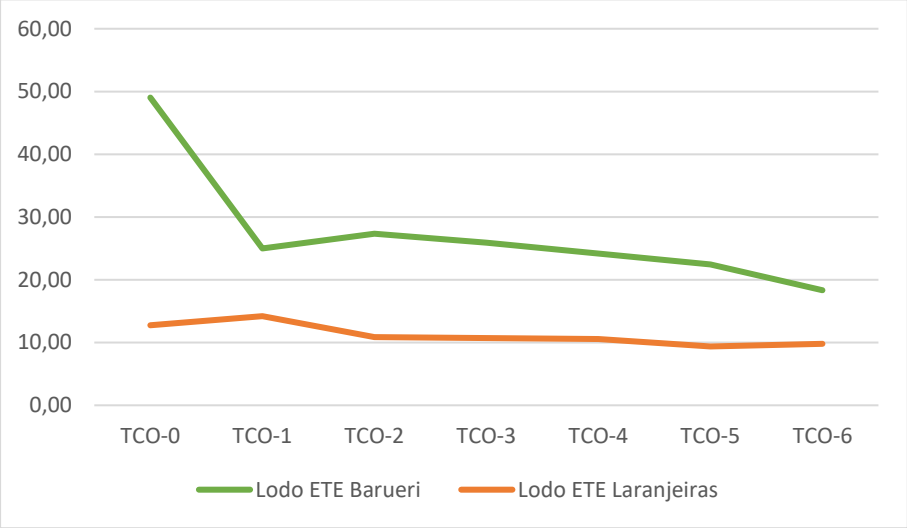
O Experimento 3 foi conduzido em junho de 2024, mais de um ano após os Experimentos 1 e 2. Ele foi executado com qualidades distintas de lodo ativado, isto é, um supostamente adaptado proveniente da ETE Barueri, e outro não adaptado proveniente da ETE Laranjeiras, sendo que ambos foram alimentados com efluente primário típico da ETE Barueri. A proporção de diluição utilizada nas montagens, isto é, volume de lodo adensado e de efluente, foi a mesma nos dois tratamentos, assim como a relação alimento/microrganismo que variou de maneira pouco significante: 0,20 DBO/SSV no tratamento com lodo de Barueri e 0,22 DBO/SSV no tratamento com lodo de Laranjeiras. O resultado da variação da taxa de consumo de oxigênio está apresentado na Figura 6.

Com relação às curvas apresentadas na Figura 6, é notável que o consumo de oxigênio utilizado pelo lodo da ETE Barueri é superior ao longo de toda a duração do ensaio, e significativamente superior no que se refere à respiração endógena, lembrando que foi utilizada aproximadamente a mesma quantidade de biomassa (em SSV) nos dois ensaios.

Confirmando essa observação, antes do início do Experimento 3, a respiração endógena de uma mesma quantidade de biomassa foi registrada, e obteve-se o valor de 2,63 mgO_2/gSSV.h para o lodo da ETE Barueri, e 0,86 mgO_2/gSSV.h para o lodo da ETE Laranjeiras. Ou seja, a respiração endógena do lodo da ETE Barueri apresentou-se cerca de 3 vezes maior em relação ao lodo da outra Estação.

Ainda com relação às curvas da Figura 6, na primeira hora de ensaio há um pico nítido que corresponde à degradação da maior parte da fração solubilizada da matéria orgânica ofertada. Já a curva correspondente ao tratamento realizado com lodo da ETE Laranjeiras, observa-se uma degradação inicial retardada, seguida de um pico suave deslocado para a segunda hora de ensaio.

Figura 6 – Taxa de Consumo de Oxigênio ao longo de 6 horas de ensaio para o Experimento 3.



Fonte: elaboração própria, 2024.

Na tabela 6 constam os resultados analíticos do Experimento 3. Verificou-se uma remoção mais pronunciada do nitrogênio amoniacal pelo lodo de Barueri (79%) em comparação com a remoção alcançada por meio do lodo de Laranjeiras (60%), o que pode sugerir uma presença maior de bactérias nitrogenadas capazes de realizar essa degradação no primeiro lodo. Observa-se também que, a despeito das diferenças observadas na curva, a remoção de DQO foi praticamente idêntica nos dois tratamentos, restando aproximadamente a mesma concentração residual recalcitrante.

A partir dos dados de DQO total e solúvel obtidas no T1, identifica-se também que o retardo inicial demonstrado pelo lodo de Laranjeiras se deve principalmente à uma dificuldade na solubilização e/ou hidrólise da matéria orgânica particulada.

Quanto à relação DQO/DBO, ao contrário do esperado em função da realidade e histórico da Estação, ao fim dos ensaios, obteve-se relações de DQO/DBO de 5,5 no tratamento com lodo próprio da planta de Barueri e 8,2 no tratamento com lodo de Laranjeiras.

Tabela 6 – Descrição dos resultados analíticos obtidos no Experimento 3.

	EXPERIMENTO 3 - junho/24									
Parâmetro	SSV (mg/L)		DQO total (mg/L)		$DBO_{5,20}$ (mg/L)		DQO solúvel (mg/L)		NH_3 (mg/L)	
Tratamento	Lodo Barueri	Lodo Laranjeiras	Lodo Barueri	Lodo Laranjeiras	Lodo Barueri	Lodo Laranjeiras	Lodo Barueri	Lodo Laranjeiras	Lodo Barueri	Lodo Laranjeiras
Lodo adensado	6680	6640								
Efluente primário			502		289,5		218		38,5	
Licor misto do T0	2680	2520								
Licor misto do Tf	2740	2600								
Sobrenadante do T1			196	236	NR	NR	83	80	NR	NR
Sobrenadante do Tf			189	182	34,3	22,3	50	52	8,21	15,48

Nota: NR – Ensaio Não Realizado

Fonte: elaboração própria, 2024.

Com relação à eficiência global dos tratamentos do Experimento 3, obteve-se remoção de 62,4% no tratamento com lodo da ETE Barueri e 63,7% no tratamento com lodo da ETE Laranjeiras. Ambos são valores inferiores ao esperado como performance para a tecnologia de Lodos Ativados, que é de aproximadamente 90%. Assim como apontado anteriormente em relação aos Experimentos 1 e 2, é preciso considerar que a vazão de aeração no ensaio de bancada acaba sendo um agente de cisalhamento dos flocos, o que prejudica sua sedimentabilidade final e consequentemente aumenta a turbidez do sobrenadante.

Na Tabela 7 estão apresentados os valores das frações do efluente obtidas a partir do Experimento 3. Como o efluente ofertado foi o mesmo para os dois tratamentos, e o desempenho dos dois tipos de lodo foi similar na degradação, as frações encontradas foram praticamente iguais, como esperado. O que reforça a boa degradabilidade do efluente misto pela microbiota não adaptada.

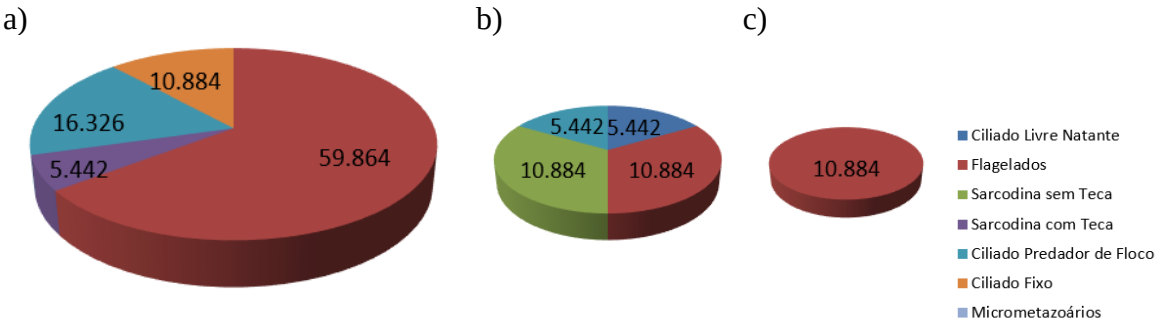
Tabela 7 – Frações da matéria orgânica no Experimento 3.

Fração	Descrição	Tratamento Barueri	Tratamento Laranjeiras
fus	Matéria orgânica inerte solúvel / Matéria orgânica total afluente	0,10	0,10
fup	Matéria orgânica inerte particulada / Matéria orgânica total afluente	0,27	0,26
fsb	Matéria orgânica biodegradável solúvel / Matéria orgânica biodegradável afluente	0,54	0,52

Fonte: elaboração própria, 2024.

A análise microbiológica dos lodos ativados utilizados no Experimento 3 também foi realizada, antes e ao final dos ensaios de respirometria. Tanto no Lodo de Barueri quanto no Lodo de Laranjeiras, foi observada uma queda no número de observações de organismos do início ao fim do ensaio. O lodo de Laranjeiras apresentou uma diversidade de fauna associada ruim, bem menor do que o de Barueri, e nula ao fim do ensaio (Figura 7).

Figura 7 – Hidrobiologia realizada nos lodos ativados do Experimentos 3, antes e ao fim do ensaio.



Nota: a) Lodo da ETE Barueri antes do ensaio; b) Lodo da ETE Barueri ao fim do ensaio; c) Lodo da ETE Laranjeiras antes do ensaio.
Fonte: elaboração própria, 2024.

Considera-se que a avaliação microbiológica da fauna do lodo ativado, no ensaio de respirometria, não é um bom indicador da performance geral exibida pelos tratamentos na remoção de matéria orgânica. O fato de as observações diminuírem ao fim do ensaio pode estar relacionado com o cisalhamento de flocos devido à intensidade da aeração.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

- **Adaptação microbiana**

Di Martino et al. (2012) realizaram o isolamento de linhagens de *Pseudomonas* sp em um sistema de lodos ativados dedicado ao tratamento de efluente industrial oleoso. As linhagens identificadas apresentaram características vantajosas para a degradação desse tipo de substrato, como: produção de surfactantes, alta tolerância a concentrações elevadas de hidrocarbonetos diversos (incluindo BTX) e capacidade de acumular biopolímeros. Essas características conferem às linhagens uma maior aptidão para sobreviver e se proliferar no ambiente, levando à sua seleção natural e predominância populacional dentro do ecossistema de tratamento. Sendo assim, de maneira correlata, como hipótese inicial considera-se que esse mecanismo de seleção deve ter ocorrido ao longo dos 8 anos de recebimento contínuo de END na ETE Barueri.

Já o estudo conduzido por Babaee et al (2010), investigou a degradação de estireno em conjunto com etanol por lodo ativado proveniente de duas estações de tratamento distintas: uma destinada ao tratamento de efluentes do processo petroquímico e outra voltada para o tratamento de esgoto doméstico. Os resultados revelaram que, ao empregar lodo ativado adaptado ao efluente industrial, não foi observada qualquer fase *lag* na biodegradação do estireno, mesmo em concentrações de até 100 mg/L. Por outro lado, utilizando lodo ativado não adaptado, uma fase *lag* foi identificada, mesmo quando a concentração de estireno era de apenas 50 mg/L. Entretanto, após essa fase de latência, a taxa de biodegradação do estireno pelo lodo ativado municipal se assemelhou àquela alcançada pelo lodo ativado industrial. Esses resultados sugerem que as espécies microbianas capazes de metabolizar o estireno estão presentes no lodo ativado doméstico, porém requerem um período para adaptação metabólica e ajuste em número em resposta ao substrato específico.

Além dos exemplos citados acima, existem inúmeros outros estudos científicos que reportam a capacidade da microbiota em se adaptar à degradação de compostos complexos, como solventes petroquímicos (incluindo BTX) e fármacos. Essa adaptabilidade depende de parâmetros cruciais: concentração e tempo de exposição aos compostos, além das relações sintróficas que se estabelecem no microbioma complexo do esgoto. No contexto específico deste trabalho, a variedade de organismos presentes naturalmente no efluente doméstico, e também ocasionalmente no END, mais a riqueza nutricional em macro e micronutrientes proporcionada pelo esgoto majoritariamente doméstico, podem favorecer a biodegradação de muitos compostos complexos. Além disso, o lançamento contínuo e sistemático do END, em um longo período de aplicação (8 anos), reforçam essa hipótese, sugerindo fortemente a adaptação da microbiota à presença desses compostos.

Neste trabalho, a adaptação biológica ao efluente misto, isto é, com presença de END, fica demonstrada pelo desempenho do lodo da ETE Barueri na degradação desse efluente, que se reflete inclusive em um aumento da demanda por oxigênio quando o END está presente. Nos Experimentos 1 e 2, o desempenho superior em remoção de DQO observado nos tratamentos com END, bem como seus picos mais elevados nas curvas respirométricas durante a primeira hora de reação, aponta para duas conclusões principais: i) a presença de uma alta concentração de substrato solúvel prontamente biodegradável no END, o que facilita a rápida assimilação da matéria orgânica pelos microrganismos, resultando em um desempenho superior no tratamento (em termos percentuais); ii) e uma boa adaptação microbiana à qualidade do substrato misto ofertado, o qual inclui o END.

No entanto, contrariando a hipótese inicial, o Experimento 3 revelou que o lodo da ETE Laranjeiras, a despeito da sinalização sutil de uma fase lag, é capaz de se adequar e degradar o efluente ofertado de maneira rápida ou instantânea. Ou seja, não houve prejuízo na degradação da matéria carbonácea acrescida com END quando ela foi ofertada ao lodo não adaptado, exceto em relação à oxidação da amônia. Provavelmente, a idade de lodo adotada na ETE Laranjeiras não seja suficiente para que as bactérias do gênero *Nitrosomonas* sp, que sabidamente possuem crescimento lento, tenham se estabelecido no lodo.

- **Caracterização do efluente misto a partir das frações da matéria orgânica**

Em ensaio de respirometria, convenciona-se que a queda brusca na curva de TCO indica o fim da biodegradação da matéria orgânica facilmente assimilável, e o substrato solúvel remanescente é a fração inerte (*fus*). No entanto, Orhon e Okutman (2003) argumentam que metodologias desse tipo negligenciam a formação de produtos microbianos solúveis decorrentes da própria atividade metabólica do lodo ativado.

Outra limitação do método adotado neste trabalho para avaliação das características do afluente foi apontada por Pasztor et al (2009). Segundo os autores, a filtração não separa completamente as frações biodegradáveis de rápida e lenta decomposição. Isto porque a matéria coloidal, com tamanho entre solúvel e particulado, pode estar presente em ambas as frações, dificultando sua distinção.

De todo modo, este trabalho não pretendia encontrar o valor exato da fração solúvel presente no afluente misto da ETE Barueri, e sim investigar, em termos comparativos, como a presença do END altera a proporcionalidade entre as frações da matéria orgânica. Sendo assim, torna-se irrelevante os erros de medição relativos à presença de matéria orgânica coloidal. Soma-se a isso o fato de que a qualidade deste afluente misto oscila frequentemente, e somente três medições não seriam suficientes para realizar essa caracterização em termos médios.

Também é preciso considerar que a intensa aeração do reator em bancada provoca muito cisalhamento dos flocos de lodo ativado ao longo do ensaio, o que aumenta a turbidez do sobrenadante do licor, interferindo no resultado das frações: biodegradável total, biodegradável particulada, não biodegradável total, não biodegradável particulada. Em

contrapartida, o valor de *fus* é confiável, por ser obtido a partir do valor de DQO total afluente e da DQO residual presente no sobrenadante após filtração em membrana de 0,45 µm.

A despeito das dificuldades e interferências apontadas, é nítida a diferença entre as curvas de TCO quando há presença de END comparativamente à sua ausência (Experimentos 1 e 2), demonstrando que o recebimento de uma pequena parcela de END em volume, altera a qualidade do efluente ofertado aos tanques de aeração, em contraposição ao efluente exclusivamente doméstico.

É esperado que, quanto maior a parcela de END no afluente, maior a presença de matéria orgânica recalcitrante no efluente final. No entanto, na ETE Barueri este comportamento não se confirmou. O que sustenta a ideia de que a matéria orgânica dissolvida proveniente do END, é capaz de ser metabolizada pela microbiota, e não só por aquela previamente adaptada, haja vista os resultados de *fus* e *fup* encontradas no tratamento com lodo da ETE Laranjeiras no Experimento 3.

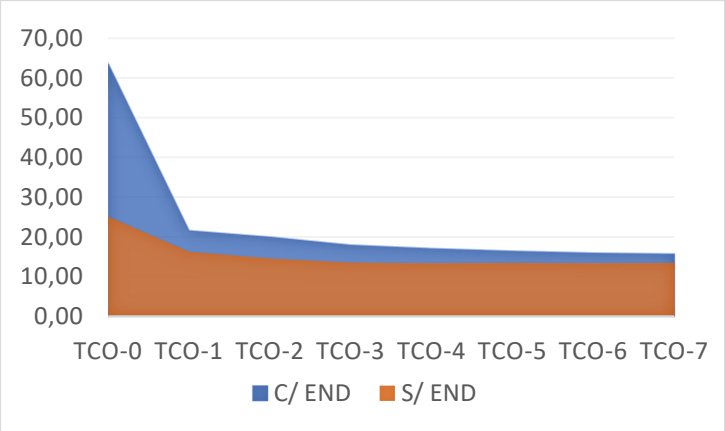
Para ampliar o entendimento sobre o efeito do END na proporcionalidade das frações da matéria orgânica ofertada, recomenda-se que, em testes futuros, seja utilizada a mesma qualidade de afluente livre de END em todos os tratamentos. A diferenciação deve ser feita pela presença do END, que deve ser dosado em volume equivalente à vazão que adentra a Estação.

- **Impacto sobre o consumo de energia**

A partir dos Experimentos 1 e 2, foi obtida uma curva média referente aos tratamentos com e sem END. Das duas curvas médias resultantes, foi calculada a integral, representando o total de OD consumido nas seis horas de ensaio, em mg/L. A integral foi determinada com base nos dados discretos que compõem as curvas (funções). A média dos tratamentos sem END corresponde a aproximadamente 103,7 mg/L, enquanto a integral da curva média dos tratamentos com END é de aproximadamente 148,5 mg/L. Isso indica que a diferença entre a quantidade de oxigênio total demandado nas duas situações é de aproximadamente 43,2% (Figura 8).

Aplicando esse valor ao consumo habitual de energia nos sopradores da ETE Barueri, que corresponde a 30% do consumo total da Estação (comunicação pessoal), obtém-se um consumo médio adicional de 873.096,44 kWh por mês, ao custo aproximado de R$ 366.943,64. Embora a TCO média possa variar em função das oscilações normais na qualidade do efluente misto, esse resultado fornece uma estimativa do aumento no consumo de energia elétrica devido ao END incorporado.

Figura 8 – Diferença média entre a quantidade de oxigênio demandado para tratamento de afluente sem e com END.



Fonte: elaboração própria, 2024.

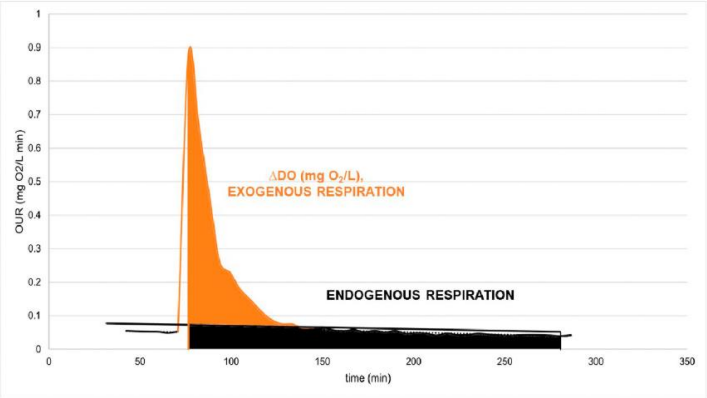
Foi significativa a diferença observada no consumo de oxigênio, e consequentemente na demanda energética, pela microbiota da ETE Barueri e da ETE Laranjeiras, e no entanto, a degradação orgânica foi similar. Equivocadamente poderíamos pensar que essa diferença se deve exclusivamente à oxidação do nitrogênio amoniacal, que foi superior no tratamento que utilizou o lodo autóctone. No entanto, pelo cálculo estequiométrico das reações químicas envolvidas, considera-se que, supondo uma oxidação completa, são necessários aproximadamente 1,71 mg de oxigênio para oxidar 38,5 mg de nitrogênio amoniacal a nitrato. De modo que a diferença de 91,56 mg não se justifica.

Segundo Mainardis et al (2021) a toxicidade pode ser detectada em testes respirométricos pela redução da TCO exógena (Figura 9), ou também por variações na TCO endógena, sendo que esta pode reduzir ou aumentar comparativamente ao controle (recebimento de esgoto bruto típico). Este fenômeno foi observado de maneira sutil nos Experimentos 1 e 2, e claramente aparente no Experimento 3 no que se refere à respiração endógena do lodo adaptado em comparação com o lodo não adaptado.

As curvas resultantes do Experimento 3 (Figura 6) indicam a existência de uma respiração endógena significativamente superior no lodo da ETE Barueri, ainda que a quantidade de biomassa (em SSV) e remoção de carga orgânica fossem idênticas nos dois tratamentos. Este fenômeno sugere que o lodo exposto ao END por 8 anos: ou precisa de mais oxigênio para degradação da mesma quantidade de matéria orgânica, ou seja, tem um baixo rendimento metabólico; ou pode ter acumulado compostos tóxicos particulados, portanto não contabilizados na carga do efluente ofertado, cuja hidrólise e degradação ocorrem de maneira mais lenta, superando o tempo de detenção adotado no processo.

A pesquisa realizada por Grekova-Vasileva e Topalova (2009) reforça a maior probabilidade de que tenha ocorrido o segundo fenômeno relatado. Os referidos autores relatam que enzimas específicas são responsáveis pela clivagem do anel aromático de vários compostos presentes em efluentes industriais. Ao avaliar a degradação de efluente da indústria têxtil, eles identificaram que cinco enzimas estudadas mostraram variações de suas atividades dependendo das condições oxirredutoras da Estação e da presença de fatores indutores sobre a resposta adaptativa do lodo ativado. Ou seja, condições operacionais e ambientais da Estação podem influenciar na capacidade dos microrganismos em relação a substratos de maior complexidade.

Figura 9 – Representação gráfica da área correspondente à respiração exógena.



Nota: OUR (*Oxygen Uptake Rate*)
Fonte: Mainardis, et al, 2021.

No caso em estudo, a manutenção do lodo biológico temporariamente em condição anóxica durante a etapa de decantação secundária pode favorecer a atividade de determinadas enzimas e rotas metabólicas que farão com que compostos complexos acumulados sejam degradados dentro do tempo de retenção celular (idade de lodo) praticado na planta.

A obtenção de curvas de TCO claramente distintas no Experimento 3, mais especificamente com relação à respiração endógena, sugere que a geração de produtos metabólicos pela microbiota pode aumentar em lodos continuamente expostos a um efluente complexo. Essa observação demanda uma investigação mais detalhada a partir de uma montagem experimental que permita a quantificação da contribuição oriunda da geração de produtos solúveis decorrentes da atividade metabólica da microbiota.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

O distúrbio observado na relação DQO/DBO no efluente final da Estação, o qual motivou a execução deste trabalho, permanece inconclusivo, haja vista que a relação DQO/DBO no experimento 3 manteve-se dentro do esperado, isto é, com a DQO superando em mais de 3 vezes a DBO, em contraposição aos dados históricos reais da ETE Barueri.

O END recebido na ETE Barueri aumenta consideravelmente a carga de substrato solúvel no tanque de aeração, que é rapidamente biodegradado pela microbiota adaptada, resultando em um aumento estimado de 43,2% no consumo de oxigênio. Esse resultado sugere que o acréscimo na energia demandada para a oxidação do END pode ser mais de duas vezes maior, percentualmente, do que a carga adicional que essa parcela representa (até 22%), e pronunciadamente maior do que ele representa em termos de vazão adicional (0,5%).

Além disso, o resultado do Experimento 3 sugere um efeito cumulativo que afeta e eleva a respiração endógena do lodo biológico que foi continuamente exposto ao END. A principal conclusão do estudo é a de que esse consumo adicional de oxigênio, e consequentemente de energia elétrica, decorrente do acréscimo de END em ETEs que tratam esgoto majoritariamente doméstico, precisa ser incorporado na definição das tarifas. Do contrário, o custo do tratamento do efluente não doméstico de terceiros pode superar o valor pago por eles pela prestação desse serviço.

É essencial considerar a adaptação biológica nas atualizações anuais de custo do tratamento, sendo a respirometria uma ferramenta adequada para essa avaliação. Uma adaptação biológica deficiente à qualidade do afluente misto resulta em uma maior parcela de DQO inerte no efluente final, o que pode comprometer o atendimento às normas legais. Ou seja, não há incremento do custo de tratamento, mas há um prejuízo da performance global. Por outro lado, uma adaptação biológica eficiente, ao passo que cumpre o objetivo do tratamento, pode elevar sobremaneira suas despesas operacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 12209: Estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

2. BABAEE, R., BONAKDARPOUR, B., NASERNEJAD, B., FALLAH, N. *Kinetics of styrene biodegradation in synthetic wastewaters using an industrial activated sludge. Journal of Hazardous Materials*, v. 184, n. 1-3, p. 111–117, 2010.

3. BRITO, M.F. Determinação das Frações Ogânicas de Efluentes de Reatores UASB. São Paulo, 2006. Dissertação de mestrado - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, 2006.

4. BURGESS, J. E., QUARMBY, J., STEPHENSON, T. *Micronutrient supplements for optimisation of the treatment of industrial wastewater using activated sludge. Water Research*, v. 33, n.18, p. 3707–3714, 1999.

5. DI MARTINO, C., LÓPEZ, N. I., RAIGER IUSTMAN, L. J. *Isolation and characterization of benzene, toluene and xylene degrading Pseudomonas sp. selected as candidates for bioremediation. International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 67, p. 15–20, 2012.

6. GREKOVA-VASILEVA, M., TOPALOVA, Y. *Enzyme Activities and Shifts in Microbial Populations Associated with Activated Sludge Treatment of Textile Effluents. Biotechnology & Biotechnological Equipment*, v. 23, n. 1, p. 1136–1142, 2009.

7. MADONI, P., DAVOLI, D., CHIERICI, E. *Comparative analysis of the activated sludge microfauna in several sewage treatment works. Water Research*, v. 27, n. 9, p. 1485–1491, 1993.

8. MAINARDIS, M., BUTTAZZONI, M., COTTES, M., MORETTI, A., GOI, D. *Respirometry tests in wastewater treatment: Why and how? A critical review. Science of The Total Environment*, v. 793, p. 148607, 2021.

9. ORHON, D., OKUTMAN, D. *Respirometric assessment of residual organic matter for domestic sewage. Enzyme and Microbial Technology*, v. 32, n. 5, p. 560–566, 2003.

10. PASZTOR, I., THURY, P., PULAI, J.*Chemical oxygen demand fractions of municipal wastewater for modeling of wastewater treatment. International Journal of Environmental Science & Technology*, v. 6, n. 1, p. 51–56, 2009.

11. SÃO PAULO. Decreto Estadual nº 8468/76. Disponível em https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html. Acesso em: 22/04/2024.

12. SHOKROLLAHZADEH, S., AZIZMOHSENI, F., GOLMOHAMMAD, F., SHOKOUHI, H., KHADEMHAGHIGHAT, F. *Biodegradation potential and bacterial diversity of a petrochemical wastewater treatment plant in Iran. Bioresource Technology*, v. 99, n. 14, p. 6127–6133, 2008.

13. VAN HAANDEL, A., MARAIS, G. O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operação. In: *O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operação.* p. xiii, 472-xiii, 472, 1999.

14. VON SPERLING, M. *Princípios básicos do tratamento de esgotos.* Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.