Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Avaliação da influência da precipitação pluviométrica na qualidade do tratamento de esgoto tipo filtro biológico e decantação secundária

Diogo Botelho Correa de Oliveira¹, André Edson Lima de Andrade Silva², Marco Aurélio Calixto Ribeiro de Holanda³, Willames de Albuquerque Soares⁴

¹ Engenheiro Civil pela Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, PE. E-mail: diogobotelhocorrea@gmail.com; ² Engenheiro Civil pela Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, PE. E-mail: andreedsonlima@hotmail.com; ³ Engenheiro de Telecomunicações pela Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, PE. E-mail: holandamcr@yahoo.com.br; ⁴ Docente da Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, PE. E-mail: was@poli.com.br. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Rua Benfica, 455, CEP 50720-001, Madalena, Recife, Pernambuco.

Artigo recebido em 26/12/2019 e aceito em 20/07/2020

RESUMO

No sistema separador absoluto as águas pluviais e o efluente doméstico são transportados por canalizações distintas. Quando existem interferências entre esses dois sistemas, impactos diretos são encaminhados ao processo de tratamento de esgoto. Na estação de tratamento de Peixinhos, umas das principais da Região Metropolitana do Recife, PE, avaliou-se separadamente dias considerados secos e dias chuvosos, analisando parâmetros próprios para estes tipos de estudo: vazão de entrada, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, concentração de Óleos e graxas e a eficiência de tratamento. O aumento médio entre as vazões foi de 75 L.s⁻¹, cerca de 19% da vazão de projeto. A DBO, DQO, OG tiveram suas concentrações reduzidas devido ao aumento de fluxo e a eficiência do tratamento foi reduzida em aproximadamente 5%, com diferenças significativas entre as duas populações, segundo teste estatístico de intervalo de confiança.

Palavras-chave: eficiência de estação de tratamento de esgoto, drenagem urbana, DBO, DQO.

Evaluation of the influence of rainfall on the quality of biological sewage treatment and secondary decantation

ABSTRACT

In the absolute separator system, rainwater and domestic effluent are transported through different pipes. When there are interferences between these two systems, direct impacts are sent to the sewage treatment process. At the Peixinhos treatment plant, one of the main ones in the Metropolitan Region of Recife, PE, days considered dry and rainy days were evaluated separately, analyzing specific parameters for these types of studies: inlet flow, Biochemical Oxygen Demand, Chemical Demand of Oxygen, concentration of oils and greases and treatment efficiency. The average increase between flows was 75 L.s⁻¹, about 19% of the project flow. BOD, COD, OG had serious concentrations reduced due to increased flow and treatment efficiency was reduced by approximately 5%, with significant differences between the two populations, according to the statistical confidence interval test.

Keywords: efficiency of sewage treatment plant, urban drainage, BOD, COD.

Introdução

A Política Nacional de Saneamento (Lei 11.445/2007) estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, onde um de seus princípios fundamentais foi a universalização do acesso. A água tem aplicações diversas e primordiais para os processos antrópicos (Oliveira et al., 2018). Seu abastecimento se torna essencial para o bom funcionamento dos processos industriais e domésticos. Após a utilização dela, ela

se torna esgoto sanitário, devendo ser coletado e encaminhado para tratamento específico.

Segundo Machado et al. (2013), o Sistema de Esgotamento Sanitário inclui ligações prediais, atividades e estruturas físicas de coleta, transporte, tratamento e disposição final, de forma adequada das águas residuárias. A coleta e o tratamento de esgoto são diretamente ligados com a qualidade de vida e a conservação do meio ambiente.

A expansão das cidades, o des controle da urbanização e a insuficiência de investimentos em infraestrutura e saneamento acarretam diversos danos e impactos negativos aos recursos naturais e humanos, como a grande produção e a falta de destinação adequada de resíduos sólidos. Além disso, há o comprometimento das recargas das águas subterrâneas devido às impermeabilizações e ao aumento das recorrências de inundações em eventos de grande pluviometria (Holanda e Soares, 2019).

O lançamento do esgoto bruto (sem tratamento) já é bastante danoso por si só, podendo comprometer o solo (devido ao contato direto) e os corpos hídricos, em conjunto com a contaminação difusa do manejo das águas pluviais (Tucci, 2017).

No que se refere à infraestrutura de esgotamento sanitário (atividades, instalações, rede coletora, tratamento e disposição do efluente), estimou-se que 2.495 municípios nacionais não possuem rede coletora de esgoto (Costa et al., 2018). Desconsiderando-se a implantação de fossas sépticas (alternativa compensatória que ameniza os impactos ao meio ambiente, mas ainda longe do ideal), menos da metade da população brasileira é atendida com a coleta de esgoto (48,1%) e menos de 40% desta rede é tratada. Nas regiões urbanas a situação é ainda mais alarmante, pois apenas 15% do total de esgoto gerado nessas áreas é tratado e lançado nos corpos receptores de maneira adequada (Costa et al., 2018).

Na Região Metropolitana do Recife (RMR), uma das principais áreas urbanas do país, estimou-se que apenas 32% do esgoto é coletado e ainda que dessa fração, apenas cerca de 60% é tratado (COMPESA, 2019). Segundo Machado et al., (2017), essa realidade pode ser pior para alguns bairros específicos da RMR, como os de Casa Amarela, Iputinga e Várzea, onde a maioria da população não possui coleta das águas servidas e por isso convive com o esgoto a céu aberto. As problematizações não se atêm apenas ao esgoto, mas ao saneamento básico como um todo (Leoneti et al., 2011).

Apesar do esgoto bruto chegar às estações de tratamento e sofrerem alterações nas suas concentrações e composições, os efluentes precisam atender a certos parâmetros e indicadores de eficiência para lançar seus efluentes nos corpos receptores (Mendonça et al., 2015). A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, 430/2011 dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, sendo utilizada, então, como embasamento nacional para as operações de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's). Para isto, a

resolução padronizou que indicadores, como a temperatura inferior a 40°C, não excedendo em 3°C no limite da zona de mistura, pH entre 5 e 9, além da remoção mínima de 60% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ou concentração máxima de 120 mg/L

Quanto aos sistemas de coleta (esgoto e águas pluviais), alguns fatores influenciam em sua interação ou não. O sistema combinado tem melhor desempenho e são mais comuns em regiões subtropicais e de alto poder econômico (Europa ocidental), onde todos os lançamentos de águas residuais pluviais são direcionados para as redes de esgoto. Já em áreas tropicais, onde os índices pluviométricos são mais significativos e existe limitação ou redirecionamento de recursos financeiros à infraestrutura, pode-se utilizar os sistemas separadores mistos (ou parciais) ou separadores absolutos (Jamwal et al., 2015).

No sistema separador absoluto, o esgoto sanitário é coletado, transportado e tratado em redes completamente distintas das águas pluviais. Porém, na prática, isso não é o que acontece. De fato, existe comunicação entre os dois sistemas, seja pela existência de ligações não projetadas, ou por meio de interceptações acidentais. No caso dos Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES), isto pode acontecer através de várias formas: das infiltrações pluviais ocorridas no solo e, por consequência, nas redes de esgoto; das contribuições superficiais, através da entrada de águas de chuva em dispositivos como caixas de inspeção ou poços de visitas, através de contribuições irregulares, por meio da ligação direta com a rede de drenagem pública ou com canalizações de drenagem de águas pluviais prediais (Menezes et al., 2018; Ribeiro e Peixoto, 2018).

Fora os meios já apresentados, a água das chuvas também acaba entrando em contato com um SES através da sua precipitação direta sobre os dispositivos abertos de uma estação de tratamento de esgotos. A passagem de uma grande quantidade de águas pluviais em um sistema de tratamento de efluentes pode acarretar a queda na eficiência de tratamento do efluente, como também o aumento dos recursos utilizados para este fim, como de energia elétrica consumida pelos dispositivos mecânicos presentes (bombas e maquinários) (Siqueira et al., 2017).

De acordo com Vieira et al. (2016), a comunicação entre os sistemas de drenagem de águas pluviais e redes coletoras de esgoto é prejudicial em ambos os sistemas, no primeiro, o esgoto é conduzido pelos condutos e despejado diretamente nos corpos receptores sem nenhum tipo de tratamento adequado, enquanto que para o

segundo, a contribuição acarreta na sobrecarga das tubulações de esgoto, estações elevatórias e de tratamento e no custo operacional de manutenção, além de interferir diretamente no tratamento do próprio efluente, podendo influenciar em algumas ETE's mais que em outras, devido às particularidades dos processos de tratamentos de cada uma.

Os diversos tipos de tratamento podem reagir de diversas formas a este aumento de vazão causado pela intrusão parasitária de origem pluvial, principalmente os mais rudimentares, como as lagoas de estabilização, tanques sépticos, Imhoff com sistema secundário de filtro anaeróbio e até mesmo os filtros biológicos. Em geral, pode-se definir como mais influenciados por essa contribuição os sistemas altamente dependentes de tratamentos primários de decantação (Tonetti et al., 2012). Saliba e Sperling (2017) destacaram que, apesar de não alterar a eficiência do tratamento (remoção de carga orgânica) em sistemas de tratamentos mais avançados (como o de lodos ativados), em períodos de chuva é notório o aumento dos custos operacionais e de manutenção, além da redução do tempo de detenção do esgoto no tratamento.

O tratamento secundário caracterizado como filtro biológico, além deste, dispõe de decantação primária e secundária, onde o processo predominante é a oxidação biológica, em que matéria orgânica é absorvida pelas camadas do filtro, sofrendo degradação aeróbica. De acordo com o crescimento dos organismos, a espessura da camada biológica é incrementada, de modo que o oxigênio não consegue penetrar em maiores profundidades, sendo consumido pelos microrganismos antes de atingir as faces interiores do material filtrante (britas ou semelhantes) que se comportam anaerobicamente. O efluente que

percola entre o meio filtrante hidrata a camada de limo que o recobre e arrasta consigo os excessos de sólidos e do próprio limo, de modo a haver sempre substituição de novas camadas biológicas (Albuquerque et al., 2009).

Diante do exposto, este trabalho avaliou a influência da intrusão das águas pluviais no sistema de tratamento de esgoto de uma das principais ETE's da Região Metropolitana do Recife (RMR), quantificando e analisando a vazão de entrada dos efluentes além da avaliação de quatro parâmetros relevantes nestes tipos de estudo: DBO, Demanda Química de oxigênio (DQO), concentração de óleos e graxas, e eficiência do tratamento.

Material e métodos

A ETE Peixinhos está localizada na divisa dos municípios de Recife e Olinda. A estação atualmente recebe contribuições dos bairros de Parnamirim, Casa Forte, Aflitos, Encruzilhada, Espinheiro, Hipódromo, Campina do Barreto, Tamarineira, Rosarinho, Campo Grande, Torreão, Arruda, Beberibe, Água Fria e Jardim Brasil (Figura 1), sendo composta por uma rede coletora de esgoto de aproximadamente 112 km de extensão, operando em conjunto com 13 estações elevatórias de esgotos. Atualmente, a estação de tratamento comporta uma capacidade de tratamento de 400 L.s^{-1} , beneficiando aproximadamente 314.500 habitantes com o sistema de tratamento de esgotos (COMPESA, 2019), sendo inaugurada em 1972. O tratamento é do tipo secundário e utiliza o processo de filtração biológica. O afluente tratado da ETE Peixinhos é lançado no Rio Beberibe (Figura 2).

Figura 1. Localização da Região Metropolitana do Recife (RMR) e divisão política dos bairros que formam o Sistema de Esgotamento Sanitário da ETE Peixinhos. Fonte: ESIG, adaptado pelo autor (2018).

Figura 2. Vista aérea da ETE Peixinhos, em Peixinhos, Olinda. Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor, 2018.

O SES Peixinhos está localizado na faixa do litoral pernambucano. Esta é uma região de clima tropical, quente e úmido, do tipo Ams (classificação de Koppen). Segundo Manso et al. (2006), a região possui temperaturas médias anuais entre 25°C e 30°C e os meses onde a temperatura fica mais elevada são outubro, novembro e dezembro. Em junho, julho e agosto, durante o período de inverno, a temperatura não reduz significativamente, apresentando uma média de 23 °C. O litoral pernambucano registra uma precipitação média acumulada anual de 2050 mm, sendo a zona de maior pluviosidade do litoral nordestino. Geralmente, os meses de outubro a fevereiro são muito secos, com médias pluviométricas entre 50 e 100 mm mensais, e a partir de março é onde começa o período chuvoso. No mês de junho é registrada a precipitação máxima, que é superior à 600 mm acumulados (Wanderley et al., 2018).

Para realização do estudo, foram solicitados dados analíticos de qualidade de efluente à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e obtidos dados de precipitação pluviométrica diária de 5 postos pluviométricos da rede da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Para coleta dos dados de precipitação que influenciam no SES da ETE Peixinhos foram considerados cinco postos pluviométricos, devido às estratégias localizações

desses postos, em relação à área em estudo. Um deles se encontra inserido na própria bacia do SES Peixinhos e os outros quatro em locais vizinhos, sendo eles: Postos Várzea, Codecipe/Santo Amaro e Alto da Brasileira (em Recife), e Postos Olinda e Academia Santa Gertrudes (localizados em Olinda).

O período considerado para este estudo foi de março de 2016 a março de 2018, conforme Tabela 1. A escolha do mesmo foi realizada de forma a abranger meses anteriores (fevereiro, março e abril de 2016) e posteriores (março 2017 a março de 2018) ao processo de recuperação estrutural que a estação sofreu em maio de 2016 a janeiro de 2017, alterando significativamente sua operação e, consequentemente, o tratamento do esgoto afluente. Devido à esta recuperação, não foi possível realizar as coletas de agosto a dezembro de 2016 e no mês de fevereiro de 2017, inviabilizando as análises laboratoriais de qualidade de efluente nessas duas ocasiões.

Os dados foram divididos em duas populações amostrais, uma com os dias de baixo índice pluviométrico e com altos índices, utilizados para segregar suas médias e características específicas.

Para análise dos parâmetros e indicadores de tratamento do afluente/efluente, foram considerados, na entrada e na saída da ETE: a

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a Demanda Química de Oxigênio (DQO), a concentração de Óleos e Graxas, além da vazão de entrada do esgoto e o desempenho do tratamento através da remoção de matéria orgânica presente no fluído (Eficiência de Tratamento).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é o parâmetro mais utilizado para estimar a concentração de matéria orgânica biodegradável diluída no esgoto, através da necessidade de oxigênio para depuração exercida pelos microrganismos presentes no próprio efluente. O teste mais utilizado é a DBO_{5,20}, que é o obtido através de 5 dias de incubação a uma temperatura de 20°C. Através da diferença de concentração de oxigênio presente entre o início e o final do ensaio e o resultado da concentração de DBO (Commault et al., 2016).

Já a concentração de Óleos e graxas se referem ao material diluído no afluente que chega

à estação, onde sua origem serve para indicar a existência de resíduos não-domésticos (como os industriais), que devem ser tratados de forma diferente dos domésticos, podendo até prejudicar o desempenho devido às suas intrusões indevidas.

Para a eficiência do tratamento

O sistema de medição da ETE Peixinhos é composto de uma Calha Parshall, por onde o esgoto flui, um medidor ultrassônico, que faz a leitura do nível do esgoto no interior da calha, localizados em uma caixa de reunião na entrada da unidade, onde todos os emissários lançam o esgoto bruto recalcado através das estações elevatórias de esgotos. E por último um Data Logger, que recebe as alturas do nível de esgoto no interior do dispositivo, que realiza os procedimentos de cálculos e logo em seguida armazena as vazões obtidas.

Tabela 1. Parâmetros de DBO, DQO, Óleos e graxas, Vazão de entrada e Eficiência do tratamento para o período de estudo.

Data do evento	DBO (mg O ₂ . L ⁻¹)		DQO (mg O ₂ . L ⁻¹)		Óleos e graxas (mg. L ⁻¹)		Vazão (L. s ⁻¹)	Eficiência (%)
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída		
08/03/2016	230	95	276	147	34	5	187,42	58,70%
06/04/2016	205	70	250	165	51	76	193,87	65,85%
19/05/2016	150	80	229	150	2	0	--	46,67%
02/06/2016	100	95	151	146	16	9	--	5,00%
19/07/2016	260	130	515	293	140	82	410,44	50,00%
26/01/2017	250	90	317	129	38	18	127,70	64,00%
06/03/2017	290	52	302	90	73	65	415,11	82,07%
05/04/2017	280	80	328	129	22	10	272,59	71,43%
04/05/2017	135	70	144	88	48	30	380,60	48,15%
19/06/2017	160	62	213	96	1	15	552,62	61,25%
05/07/2017	125	32	162	60	35	27	513,13	74,40%
02/08/2017	170	60	251	108	10	5	472,39	64,71%
05/09/2017	220	70	285	115	16	1	416,71	68,18%
02/10/2017	150	70	412	160	83	44	329,65	53,33%
06/11/2017	285	77	388	139	61	36	377,05	72,98%
05/12/2017	215	72	289	127	117	41	339,51	66,51%
04/01/2018	270	110	296	160	102	30	310,24	59,26%
15/02/2018	180	70	282	122	48	6	404,79	61,11%
12/03/2018	275	82	368	127	45	36	302,05	70,18%

Fonte: Compesa, adaptado pelo autor, 2019.

Para Marciano et al. (2018), o método de Thiessen é o mais indicado para cálculo da precipitação média em áreas de estudo com diferentes postos pluviométricos. O diagrama de Voroni, também conhecido como Polígono de Thiessen, é empregado em diversas áreas da ciência, tais como cartografia, meteorologia, estatística e até no planejamento urbano. Este método determina as áreas de influência de postos pluviométricos. O método propicia a obtenção de bons resultados, desde que o terreno seja levemente acidentado, quando os pluviômetros estiverem expostos a ambientes de mesma característica e quando os postos não estiverem a distâncias relativamente grandes entre si. Na Figura 3 pode-se observar a metodologia aplicada ao SES estudado, considerando-se apenas as áreas da bacia de contribuição da ETE Peixinhos. As colorações aplicadas à cada subdivisão do SES correspondem às áreas de influência de cada posto pluviométrico.

Para quantificar as áreas de influência, foi utilizado o software ImageJ.

Para caracterização da pluviometria na bacia, foram considerados os dados de chuva referentes aos mesmos dias da coleta dos parâmetros do efluente da estação de tratamento de esgoto. Um dia de chuva efetiva é assim caracterizado quando a precipitação diária for maior ou igual a 10 mm (Souza et al., 2015; Souza et al., 2012), portanto os dias que apresentam valores de precipitação menores podem ser considerados como secos.

Isto se deve ao fato de que valores menores que 10 mm pouco impactam no abastecimento de água e na infiltração da água nos solos. Devido ao exposto, foi realizada uma separação nos dados analisados, a fim de quantificar esses casos, a partir do acumulado diário para cada evento, obtendo 3 dias ditos como chuvosos e 16 dias como secos, conforme Tabela 2.

Figura 3. Polígono de Thiessen aplicado ao SES Peixinhos. Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor, 2019.

Tabela 2. Precipitações em Recife para a bacia de estudo nos dias chuvosos (*) e dias secos.

Data do evento	Precipitação (mm)	Data do evento	Precipitação (mm)
08/03/2016	0,00	05/07/2017*	13,09
06/04/2016	4,13	02/08/2017	8,16
19/05/2016	0,17	05/09/2017	1,05
02/06/2016	0,25	02/10/2017	0,00
19/07/2016	0,00	06/11/2017	0,00
26/01/2017	0,34	05/12/2017	0,11
06/03/2017	1,70	04/01/2018	0,00
05/04/2017*	13,43	15/02/2018	7,42
04/05/2017	0,62	12/03/2018	0,00
19/06/2017*	10,30	-	-

Fonte: Apac, adaptado pelo autor, 2019.

Foi realizada análise estatística para os dados de eficiência do tratamento, que é o mais relevante para as verificações de atendimento ambiental, utilizando intervalo de confiança (IC). A confiança utilizada foi de 90% (um-sigma), devido a quantidade de dados disponíveis para o estudo. Os registros foram divididos em duas populações, dias com chuva e sem chuva, para verificar se existem diferenças significativas, onde não haja interseção entre os intervalos.

Resultados e discussão

A vazão de entrada, a princípio, é o parâmetro mais suscetível às alterações, já que este é o indicador a possuir maior variabilidade, tendendo ao incremento numérico, devido ao aumento do fluxo que chega à estação em decorrência das chuvas. Os demais se referem ao próprio tratamento, que é efetivamente biológico, onde a alteração da concentração prevista interfere no bioma das bactérias que tratam o efluente.

Vazão de entrada

A vazão máxima de entrada de efluentes na estação de tratamento foi prevista em projeto para 400 L.s⁻¹, embora pela análise da Figura 4, pôde-se inferir que quando as precipitações diárias se aproximam ou superam os 10 mm a vazão de entrada da estação atinge picos superiores ao suportado pelo dimensionamento inicial.

Houve 8 ocasiões onde a vazão de entrada atingiu picos próximos ou maiores que a de projeto (julho de 2016, março, junho, julho, agosto, setembro, novembro de 2017 e fevereiro de 2018), onde destas, as 4 maiores ocorreram em dias com índices chuvosos consideráveis, corroborando a

influência dos eventos pluviométricos neste indicador.

Rashid e Liu (2020) destacam que a relação entre a pluviometria e a vazão de entrada não ocorre de maneira diretamente proporcional, ou seja, não existe a relação direta entre a maior vazão registrada com o maior índice de pluviometria. Alguns fatores possuem influência direta sobre isso, como o fluxo máximo dentro das tubulações de coleta de esgoto (a intrusão das águas da chuva acarreta na lâmina total desses tubos), o volume que escoar sobre a superfície e não adentra nos condutos e a densidade de interferências diferentes para cada tipo de localidade (Schramm et al., 2019).

A média da vazão nos dias chuvosos foi de 401,57 L.s⁻¹, enquanto a média dos dias secos foi de 326,95 L.s⁻¹, um aumento de aproximadamente 23% em relação aos dias sem chuva (e 19% da de projeto).

Constatou-se que o aumento da vazão pontual em dias chuvosos (maior valor, que foi de 552,62 L.s⁻¹) em comparação com média de entrada do efluente em dias secos pode aumentar em até 225,67 L.s⁻¹. O dia de maior pico de vazão observado excedeu em 56% ao valor de projeto (400 L.s⁻¹), sobrecarregando assim as instalações da estação de tratamento e elevatórias, podendo ter gerado extravasamentos, acréscimo nas demandas operacionais e alguns ônus com a elevação no custo do tratamento do esgoto, frente ao aumento do consumo de energia elétrica, frequência da manutenção das bombas e desgastes nas estruturas que compõem o sistema. Esse efeito é mais intenso em ETE's de grande porte, que possuem vazão de projeto a partir de 400 L.s⁻¹ (Saliba e Sperling, 2017).

Figura 4. Histórico de vazões e precipitações diárias, além das médias para os dias secos e chuvosos, Fonte: autor.

O primeiro extremo de vazão, evidenciado em julho de 2016, não possui relação direta com a chuva do dia específico (19), mas o pico pode ser justificado por medidas operacionais relacionadas à recuperação da estação, já que a mesma estava no início do processo de recuperação civil e eletromecânica, e, para este tipo de obras, são necessárias medidas preliminares de adequação, como a implantação de ByPass da rede coletora interna à ETE para desvio do efluente de chegada e a paralisação temporária de estações elevatórias de esgoto, o que pode alterar consideravelmente sua vazão de entrada. Para grandes sistemas esse processo é realizado visando não paralisar todo o sistema de tratamento, nos casos em que o sistema é ativo (Oliveira et al., 2020; Branco, 2015).

Já o pico de março de 2017 deve-se ao aumento de demanda (período de carnaval, onde a concentração de turistas e visitantes aumenta consideravelmente, o mesmo pode ser identificado em fevereiro de 2018, além da contribuição da chuva próxima à 10 mm neste dia em específico).

DBO

Para Analisando-se a Figura 5, que teve como base os dados fornecidos pela COMPESA, da estação e do período em estudo, e que a média de DBO de entrada, considerando dias secos e chuvosos, foi de 208 mg. L⁻¹, pode-se inferir que em todos os dias chuvosos, a concentração da DBO de entrada se apresentou menor que a média dos dias secos, indicando a diluição do esgoto bruto que chega à estação.

Também é relevante destacar que o segundo menor valor de DBO registrado foi no dia com maior chuva, onde a precipitação diária aferida foi igual a 13,09 mm, e a concentração foi de 125 mg. L⁻¹, sendo este cerca de 40 % inferior à média de entrada da unidade (A menor DBO foi registrada em junho de 2016, período de recuperação estrutural da ETE).

Quando se trata da saída do sistema, após o efluente ter passado por todo o sistema de tratamento da estação, a influência das chuvas foi

ainda maior, atestando que a presença das chuvas não altera somente a característica do efluente que passa pela unidade, mas sim o processo de tratamento biológico em si, onde as menores concentrações também são identificadas nos dias com maior chuva (Zoppas et al., 2016).

É perceptível pela Figura 5 que a redução da concentração de DBO nos dias considerados chuvosos, devido ao aumento de volume de água

que adentra às redes coletoras de esgoto, meses de junho, julho e agosto de 2017 e fevereiro de 2018, reduzindo suas concentrações, onde o efluente destinado à estação não se apresentou necessariamente tratado, mas apenas com baixas concentrações de carga orgânica. Oliveira et al., (2020) destaca que este processo é comum quando há interferência destes dois tipos de sistema (esgoto e drenagem).

Figura 5. DBO de entrada, saída e precipitações para os dias de estudo, Fonte: autor.

DQO

O comportamento da DQO (Figura 6) foi bastante semelhante à DBO, onde suas concentrações apresentaram quedas consideráveis nos dias chuvosos. Correlacionando às Figuras 5 e 6, foi possível perceber o comportamento semelhante dos valores numéricos destes parâmetros, tanto no crescimento, como na queda de suas concentrações em quase todos os eventos, exceto nos meses de janeiro a abril de 2017 e janeiro e fevereiro de 2018, ambas no início dos anos, compreendendo períodos de abstinência de chuva, onde essas diferenças podem estar relacionadas ao tipo de afluente que adentra à

Estação de Peixinhos, dependendo diretamente da caracterização doméstica ou não do mesmo. A vazão nestas ocasiões foi próxima aos 300 L.s⁻¹, sendo considerada alta (já que a médias dos secos foi de 75 L.s⁻¹ a menos), logo existe grande variedade das origens dos afluentes que chegam à estação, onde possivelmente, podendo ser responsáveis por essas alterações (Lu et al., 2019; Zoppas et al., 2016).

As relações entre DBO/DQO devem se apresentar próximas ao intervalo de 0,20 a 0,90, indicando que o efluente possui grande quantidade de material biodegradável, já que essa relação pode ser até 5 para esgotos domésticos (Angulo M et al., 2016). Nos valores registrados nessa pesquisa, as

razões entre esses dois indicadores corroboraram em todo o período de estudo, que tem sua origem devido às características físico-químicas das efluentes associadas ao potencial de

biodegradabilidade do mesmo, além de haver fatores operacionais do sistema e variações nas cargas orgânicas de chegada do esgoto.

Figura 6. DQO de entrada, saída e precipitações para os dias de estudo, Fonte: autor.

Óleos e Graxas

Outro indicador que também se mostrou influenciado pela presença das precipitações pluviométricas foi o parâmetro que quantifica a concentração de Óleos e graxas na saída do sistema.

Como pode ser analisado a partir da Figura 7, em todos os 3 casos de dias chuvosos, os valores encontrados para óleos e graxas circundaram valores bem abaixo da média calculada. Inclusive em dias que a precipitação não foi superior aos 10mm, mas variaram de 4 a 8mm (abril de 2017 e fevereiro de 2018) as concentrações sofreram quedas consideráveis em relação ao histórico apresentado (Wallace et al., 2017).

Os valores de pico, registrados para este parâmetro, ocorreram apenas em dias considerados como secos, pois, sem o aumento da vazão de origem pluvial, as concentrações destes parâmetros aumentaram, já que, na maior parte do ano, as

contribuições de óleos e graxas são mantidas, em peso, já que nos dias de chuvas as concentrações diminuem, devido à diluição do afluente, reduzindo numericamente os valores de mg. L⁻¹ deste indicador (Khwakaram, 2016; Wallace et al., 2017).

Figura 7. Óleos e Graxa para a entrada e precipitações diárias, além das médias para os dias secos e chuvosos, Fonte: autor.

Eficiência do tratamento

De acordo com o CONAMA, segundo sua resolução 430 de maio de 2011, o percentual de eficiência do tratamento de uma estação de tratamento de esgoto deve atingir, no mínimo, 60% em remoção de DBO, entre outros indicadores. Tomando como base este, a Figura 8 apresenta a eficiência do tratamento da ETE Peixinhos para o período de estudo.

Foi possível identificar que, na ocorrência de eventos de grandes chuvas ou fluxos de vazão próximos ou superiores da vazão limite de projeto, as concentrações de DBO de entrada sofreram queda considerável e, conseqüentemente, a eficiência da estação de tratamento de Peixinhos ficou próxima ou abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA.

Dos 7 indicadores abaixo dos 60% de eficiência, apenas 1 possuiu vazão inferior a 320 L.s⁻¹ (08 de março de 2016 – antes da recuperação

da estação), enquanto que, para eficiências superiores a 65%, apenas 3 de 6 casos possuem vazões superiores à 320 L.s⁻¹, e para eficiências superiores a 60% apenas 6 dos 12 casos possuem vazão superior à mesma quantidade (em todas as ocorrências eficientes, as datas são posteriores à recuperação da ETE).

Nesses casos a diferença se encontra nos que permeiam entre 60% e 65% de eficiência, que, apesar de atenderem ao CONAMA poderiam ter sua eficiência incrementada pela redução das vazões de entrada da ETE.

Isto sugere a dependência do sistema de filtros biológicos à fatores naturais mais rudimentares, como tempo de detenção, a formação das colônias de bactérias nos filtros biológicos, à recirculação do afluentes não tratado e à dependência da sobrecarga da ETE devido ao incremento do fluxo originado pelo aumento da vazão de entrada. Para tratamentos mais modernos, como o de lodos ativados, esta redução

não é significativamente identificada, pois os mecanismos de controle do processo são mais eficientes (Oliveira et al., 2020)

Em tratamentos mais modernos, que possuem equipamentos como reatores anaeróbios, sopradores e demais dispositivos de oxigenação, é mais fácil de realizar a manutenção da eficiência da remoção da carga orgânica, reduzindo os impactos causados pela diluição do afluente pela contribuição parasitária de águas pluviais no sistema de coleta de esgoto (Saliba e Sperling, 2017).

Para o intervalo de confiança (Figura 9), foram identificadas diferenças significativas entre as duas populações, que foram identificadas como dias sem chuva (precipitação menor que 10mm) e dias com chuva (precipitação maior que 10mm). O primeiro apresentou limites de 0,65 a 0,69, enquanto o segundo apresentou 0,60 a 0,64. Com isso não existe interseção entre os seus intervalos, inferindo a queda na eficiência do processo de remoção biológica nos dias com chuvas.

Figura 8. Histórico de eficiência de tratamento para a ETE Peixinhos, Fonte: autor.

Figura 9. Intervalo de confiança para a eficiência do tratamento, Fonte: autor.

Conclusões

Através do estudo foi possível inferir que devido às interferências das águas pluviais no sistema de tratamento de efluentes:

- Para a bacia do sistema de Peixinhos (grande porte) houve aumento de aproximadamente 75 L. s^{-1} na vazão de entrada em dias chuvosos, o que corresponde a 19% da de projeto, onde as médias nesses dias superam 400 L. s^{-1} .
- Esse tipo de aumento reduz o tempo de detenção e o intervalo de manutenções, incrementando os custos de operação.
- Os parâmetros de DBO, DQO e óleos e graxas sofreram reduções em suas concentrações, o que interfere diretamente no tratamento e na caracterização do efluente.
- Houve alteração significativa na eficiência de operação da estação, onde ela é reduzida, em média, em 5%, o que pode ser decisivo para estar em acordo com as legislações ambientais.

Agradecimentos

Os dois primeiros autores agradecem à COMPESA pelo fornecimento dos dados e

juntamente com os demais autores ao apoio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco.

Referências

- Albuquerque, C. G.; Tavares, R. G.; Silva, V. P.; Bione, M. A. A., 2009; Relação entre os valores de DQO e DBO da estação de tratamento de esgoto de Peixinhos em Olinda – PE. IX Jornada de pesquisa e extensão. Recife, PE, Brasil.
- Angulo M, E.; Castellar O, G.; Cely B, M. M.; Ibáñez S, L.; Prasca M, L., 2017. Discoloration of wastewater from a paint industry by the microalgae *Chlorella* sp. Revista MVZ Córdoba, 22, 1, 5706 – 5717.
- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. 2018. Acesso em 22 de set. 2018, de <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>.
- Branco, M. A. T. P., 2015. Descargas não controladas de efluentes por efeito de aflúências indevidas. O caso de uma estação elevatória. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto. Lisboa, Portugal.
- Brasil, 2005. Resolução CONAMA n. 357 de 17 de março de 2005. Acesso em 27 dez. 2018, de <http://www2.mma.gov.br/port/conama/Legiabre.cfm?codlegi=459>.
- Brasil, 2011. Resolução CONAMA n. 430 de 13 de maio de 2011. Acesso em 27 dez. 2018, de <http://www2.mma.gov.br/port/conama/Legiabre.cfm?codlegi=646>.

- Chernicharo, C. A. L.; Nour, E. A. A.; Júnior, I. V.; Gonçalves, R. F., 2008. Processos de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 1, Brasília, DF, Brasil.
- Commault, A. S.; Lear, G.; Bouvier, S.; Feiler, L.; Kabacs, J.; Weld, R. J., 2016. Geobacter-dominated biofilms used as amperometric BOD sensors. *Biochemical Engineering Journal*, 109, 88-95.
- COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. Acesso em 20 maio 2019, de <https://servicos.compesa.com.br/esgotamento-sanitario/>.
- Costa, I. G. C.; Pierobon, F.; Soares, E. C., 2018. A efetivação do direito ao saneamento básico no Brasil: do PLANASA ao PLANAB. *Meritum*, 13, 2, 335-358.
- ESIG – Informações Geográficas do Recife. Acesso em 28 dez. 2018, de <http://www.recife.pe.gov.br/ESIG/>.
- Holanda, M. A. C. R.; Soares, W. A., 2019. Analysis of the effect of impermeability of urban soils on the infiltration of rainwater in the city of Recife, PE. *Revista Ambiente e Água*, 14, 4, 1-10.
- Jamwal, P.; Zuhail, T. M. D.; Urs, P. R.; Srinivasan, V.; Lele, S., 2015. Contribution of sewage treatment to pollution abatement of urban streams. *Current Science*, 108, 4, 677-685.
- Jordão, E. P.; Pessoa, C. A., 2011. Tratamento de esgotos domésticos. São Paulo, SP, Brasil.
- Khwakaram, A. I., 2016. Effects of fat, oil and grease (FOG) discharge pollutants on water quality of Qalyasan stream, Tanjero river and impact of fat, oil and grease on Darbandikhan reservoir in Sulaimani city-Kurdistan region of Iraq-Iraq. *International Journal of Environment, Ecology, Family and Urban Studies*, 6, 1, 1-12.
- Leoneti, A. B.; Prado, E. L.; Oliveira, S. V. W. B., 2011. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. *Revista de Administração Pública*, 45, 2, 331-348.
- Lu, Y.; Xu, Y.; Dong, B.; Dai, X., 2019. Effects of free nitrous acid and nitrite on two-phase anaerobic digestion of waste activated sludge: A preliminar study. *Science of the Total Environment*, 654, 1064-1071.
- Machado, A. S.; Borja, P. C.; Moraes, L. R. S., 2013. Desafios e oportunidades para implantação de uma das propostas do PEMAPES: o sistema combinado. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 1, 2, 234-250.
- Machado, J.; Novaes, M. B. A.; Queiroz, B. C. C.; Siqueira, L. C., 2017. Condições sanitárias em três bairros de Recife – Pernambuco. *Visão Acadêmica*, 18, 4, 107 – 114.
- Manso, V. A. V.; Coutinho, P. N.; Guerra, N. C.; Júnior, C. F. A. S., 2005. Erosão e Progradação Do Litoral Brasileiro, Pernambuco. Acesso em 02 nov. 2018, de http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/pe_erosao.pdf.
- Marciano, A. G.; Barbosa, A. A.; Silva, A. P. M., 2018. Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. *Revista Ambiente e Água*, 13, 1, 1-9.
- Mendonça, H. V.; Ribeiro, C. B. M.; Borges, A. C.; Bastos, R. R., 2015. Sistemas alagados construídos em Batelada: remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio e regulação de pH no tratamento de efluentes de laticínios. *Revista Ambiente e Água*, 10, 2, 442-453.
- Menezes, A. M.; Sodré, M. A. C.; Maciel, T. S.; Abreu, M. S. D.; Souza, G. H.; Silva, J. M. A., 2018. Impactos negativos em obras de sistema sanitário no bairro do Bessa, João Pessoa-PB. *Revista campo do saber*, 4, 4, 133-145.
- Oliveira, D. B. C.; Soares, W. A.; Holanda, M. A. C. R., 2020. Effects of Rainwater intrusion on the activated sludge sewer treatment system. *Revista Ambiente e Água*, 15, 3, 1-12.
- Oliveira, D. B. C.; Soares, W. A.; Holanda, M. A. C. R., 2018. Análise de desempenho de Modelos de Infiltração Unidimensional de água no Solo. *Revista de Águas Subterrâneas*, 32, 1, 35-42.
- Rashid, S. S.; Liu, Y. Q., 2020. Assessing environmental impacts of large centralized wastewater treatment plants with combine or separate sewer systems in dry/wet seasons by using LCA. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 15674-15690.
- Ribeiro, V. O.; Peixoto, M. S., 2018. Avaliação da contribuição pluvial parasitária no sistema de esgotamento sanitário afluente à ETE Guaxinim, Dourados/MS. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 10, 3, 144-155.
- Saliba, P. D.; Sperling, M., 2017. Performance evaluation of a large sewage treatment plant in Brazil, consisting of a UASB reactor followed by activated sludge. *Water Science & Technology*, Innsbruck, 76, 8, 2003-2014.
- Schramm, E.; Ebert, B.; Wang, B.; Winker, M.; Zimmermann, M., 2019. Keeping Flows Separate: Good Management Practices in Novel Urban Water Systems Derived from Error Analyses. *Water*, 11, 12, 1-15.
- Siqueira, B. F.; Correa, A. C. S. S.; Araújo, G. R. A., 2017. Estudo Da Influência Das Águas Pluviais Em Um Sistema De Tratamento De Esgoto Por Lodo Ativado. XXII Simpósio

- Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis, ES, Brasil. Acesso em 02 de mar. 2018, de http://evolvedoc.com.br/xxiisbrh/detalhes-274_estudo-da-influencia-das-aguas-pluviais-em-um-sistema-de-tratamento-de-esgoto-por-lodo-ativado.
- Souza, J. O. P.; Almeida, J. D. M.; Correa, A. C. B., 2015. Caracterização e Espacialização da precipitação em bacia hidrográfica com relevo complexo: sertão central pernambucano – Bacia do Riacho do Saco. *Revista de Geografia*, 32, 2, 106-126.
- Souza, W. M.; Azevedo, P. V. de; Araujo, L. E., 2012. Classificação da Precipitação Diária e Impactos decorrentes dos desastres associados às Chuvas na Cidade do Recife – PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2, 2, 250-268.
- Tonetti, A. L.; Coraucci Filho, B.; Nicolau, C. E.; Barbosa, M.; Tonon, D., 2012. Tratamento de esgoto e produção de água de reuso com emprego de filtros de areia. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 17, 3, 287-294.
- Tucci, C. E. M., 2017. Indicador de Sustentabilidade Hídrica Urbana. *REGA*, 14, 7, 1-12.
- Vieira, B. F.; Siliciano, B. G.; Neto, N. C.; Goulart, R. M.; Reda, A. L. L., 2016. Impacto da intrusão de águas pluviais na vazão e na qualidade do esgoto tratado. XIV International Conference on Engineering and Technology Education, Salvador, BA, Brasil.
- Wallace, T.; Gibbons, D.; O'Dwyer, M.; Curran, T. P., 2017. International Evolution of fat, oil and grease (FOG) waste management – a review. *Journal of Environmental Management*, 187, 424-435.
- Wanderley, L. S. A.; Nóbrega, R. S.; Moreira, A. B.; Anjos, R. S.; Almeida, C. A. P., 2018. As chuvas na cidade do Recife: Uma climatologia de extremos. *Revista Brasileira de Climatologia*. 22, 149-164.
- Zoppas, F. M.; Bernardes, A. M.; Meneguzzi, A., 2016. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21, 29-42.