



Eficiência do tratamento de esgotos sanitários no município de Garanhuns, PE, Brasil, após melhorias na estação de tratamento de efluentes *Efficiency of sanitary sewage treatment in the city of Garanhuns, PE, Brazil after improvements in the effluent treatment plant*

Venancio Ferreira de Moraes Neto¹, Juliana Hellen da Silva Melo², André Felipe de Melo Sales Santos³

¹ Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil.

² Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

Contato: andrefelipeufrpe@outlook.com

Palavras-Chave

tratamento de esgotos
monitoramento ambiental
corpo receptor
legislação ambiental

Key-word

sewage treatment
environmental monitoring
natural receiver
environmental legislation

RESUMO

As estações de tratamento de efluentes (ETEs), atuam na redução das cargas poluidoras dos esgotos brutos, sendo necessário realizar melhorias e ampliações constantes no sistema, assim como comprovar a efetividade dessas melhorias através do monitoramento sistemático uma vez que tratamento de esgoto doméstico tem associação direta com a saúde pública, com a melhoria da qualidade de vida e a proteção dos corpos hídricos receptores. Este estudo objetivou monitorar e avaliar o comportamento de parâmetros ambientais do efluente como a demanda química de oxigênio (DQO), pH, temperatura, alcalinidade total, ácidos graxos voláteis, turbidez e série de sólidos da ETE Garanhuns-PE, que trata parte dos efluentes da cidade de Garanhuns após melhorias no projeto. O monitoramento foi realizado em oito pontos do sistema, por dez meses, com coletas mensais. Os dados foram avaliados através de estatística descritiva e gráficos BoxPlot em comparação aos padrões da Resolução CONAMA nº 430/2011. O sistema apresentou elevada estabilidade operacional para os parâmetros monitorados e adequação aos padrões normativos, com eficiência média global em DQO de 81,8% no período. A inclusão do sistema preliminar e do reator UASB proporcionou redução de flutuações de carga no sistema e melhoria na qualidade do efluente final enviado ao corpo receptor.

ABSTRACT

The effluent treatment plants act to reduce the pollutant loads of raw sewage, being necessary to perform constant improvements and expansions in the system, as well as to prove the effectiveness of these improvements through systematic monitoring since the treatment of domestic sewage is directly associated with public health, with the improvement of the quality of life and the protection of the receiving water bodies. This study aimed to monitor and evaluate the behavior of environmental parameters of the effluent such as chemical oxygen demand (COD), pH, temperature, total alkalinity, volatile fatty acids, turbidity and series of solids of the effluent treatment plants from Garanhuns-PE, which treats part of the effluent of the city of Garanhuns after improvements in the project. The monitoring was carried out in 8 points of the system, for 10 months, with monthly collections. The data were evaluated through descriptive statistics, BoxPlot charts in comparison to the standards of CONAMA Resolution No. 430/2011. The system showed high operational stability for the monitored parameters and adequacy to the normative standards, with overall average efficiency in COD of 81.8% in the period. The inclusion of the preliminary system and the UASB reactor provided a significant improvement in the quality of the final effluent.

Informações do artigo

Recebido: 07 de dezembro, 2020

Aceito: 04 de abril, 2021

Publicado: 30 de abril, 2021

Introdução

O crescimento populacional, a melhoria dos indicadores de saúde pública e da qualidade de vida têm como consequência, levam a pressões para que haja melhoria contínua na qualidade dos recursos naturais, sobretudo relacionados à água potável. A água é imprescindível à vida e ao desenvolvimento econômico, sendo seu uso consciente e sustentável uma condição fundamental ao futuro das sociedades. Além disso a água tratada inadequadamente é um problema para saúde pública, uma vez que eleva o quantitativo de infecções gastrointestinais. Dessa forma estratégias devem prever sua conservação, a redução do consumo e o seu reuso. Com o aumento da demanda de água para consumo doméstico e industrial, temos a geração consequente e crescente de águas residuárias (METCALF; EDDY, 2003; MAYER et al., 2021).

O Brasil ainda apresenta grandes desafios quanto ao tratamento de esgotos sanitários. Sendo os mais evidentes o da baixa cobertura de atendimento dos serviços de coleta e tratamento desses efluentes à população. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) indicaram que em 2017 52,36% da população brasileira possuía coleta de esgotos sanitários.

Na região Nordeste, a oferta deste serviço alcançou apenas 26,87% da população. Em relação ao tratamento, a média do Brasil encontrava-se em 46%, enquanto no Nordeste, era de 34,73% (BRASIL, 2019). Os efluentes brutos ou não tratados adequadamente acabam dispostos em corpos hídricos receptores ou no solo, deteriorando sua qualidade e causando danos à saúde pública (METCALF; EDDY, 2003).

Esta situação ainda é mais crítica em municípios nordestinos com menos de 200.000 habitantes, tendo em vista as limitações técnicas e orçamentárias destes municípios. As cidades menores por vezes têm tratamentos de esgotos limitados a parcelas mais privilegiadas da população, regiões mais urbanizadas do município e mesmo assim com baixas coberturas do serviço o que proporciona problemas de poluição dispersa e acentua situações de desigualdade social e risco sanitário para populações não atendidas. Apesar desse problema bem evidente em cidades menores se observa também nos grandes centros problemas similares, sendo então estes provavelmente mais relacionados a falta de gestão e manutenção adequada, sucateamento dos sistemas e desinteresse político na priorização dessa questão (MOREIRA JUNIOR, 2010).

As Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's) têm a função de atenuar as cargas poluidoras orgânicas, inorgânicas e microbiológicas dos esgotos gerados pela população de forma que a carga residual seja assimilada nos corpos receptores, reduzindo seu impacto ambiental (SILVA, 2005).

O nível do tratamento que se deseja alcançar (preliminar, primário, secundário e terciário) vai variar de acordo com a tecnologia empregada, com as exigências dos órgãos de controle e fiscalização ambientais locais e da legislação aplicável.

No Brasil os sistemas de tratamentos comumente constituem-se de processos preliminares, primários e secundários (SILVA, 2005).

A qualidade do efluente obtido será proporcional ao nível de tratamento alcançado e a manutenção de uma elevada eficiência média global do sistema (BARROS et al., 1995). Em sua maioria os sistemas de tratamento de esgotos são biológicos aeróbios ou anaeróbios, sendo também comum o uso de processos mistos (aeróbios/anaeróbios) sequenciais (SCHLUSAZ, 2014).

A quantidade e a qualidade do efluente tratado ao longo destes processos necessitam de avaliação e monitoramento constantes. O objetivo do monitoramento é avaliar a efetividade do tratamento, o atendimento aos padrões normativos e indicar possíveis ajustes ou modificações na operação, sendo as informações geradas ao longo do tempo cruciais para a tomada de decisões técnico-administrativas (LAY-EKUAKILLE et al., 2019).

A destinação de esgotos e efluentes tratados em cursos hídricos deve atender aos padrões do seu corpo receptor, determinados pelas legislações vigentes (MMA, 2013). O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina, em suas Resoluções nº 357/2005 e nº 430/2011, a classificação dos corpos de água, as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e as condições e padrões de lançamento de efluentes em âmbito nacional.

Mesmo com as legislações para o controle e fiscalização dos efluentes tratados, diversas localidades não possuem ainda estrutura institucional para atuar de forma mais técnica e sistemática. Algumas possuem legislações próprias e graus de exigências distintos (CHERNICHARO et al., 2001).

Em âmbito estadual a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), vinculada à Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS) atua na fiscalização e controle ambiental, sendo responsável pela avaliação do desempenho ambiental de sistemas de tratamento de efluentes sanitários e industriais (SOARES; SANTOS; CAVALCANTI, 2013).

Apenas a operação adequada dos sistemas de tratamento não garantirá o alcance dos padrões normativos, sendo o monitoramento sistemático a ferramenta de controle mais efetiva para avaliar a qualidade da operação, sendo um importante registro do comportamento do sistema ao longo tempo e do seu efetivo resultado ambiental (LIU et al., 2020).

O monitoramento também permite avaliar o impacto ambiental daquele empreendimento no corpo receptor que recebe os efluentes tratados daquela ETE e que poderá levar a mudanças na tecnologia empregada, ampliação da capacidade do sistema, alterações na operação e na manutenção (SONG et al., 2020).

No estado de Pernambuco, a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) atua na gestão do tratamento de esgotos sanitários na Região Metropolitana do Recife (RMR) e em outros nove municípios do estado, incluindo o município de Garanhuns (ARAÚJO; ARAÚJO, 2018).

Garanhuns é um município localizado no Agreste do Estado de Pernambuco, distante 230 km da capital Recife. Ocupa uma área de 458,550 km², sendo 7,11 km² formando o perímetro urbano e 451,44 km² formando a zona rural.

O último Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicou que Garanhuns possuía uma população total de 129.408 pessoas (nono em número de habitantes no Estado), sendo que as projeções para 2019 apontavam aproximadamente 140.577 habitantes (IBGE, 2010).

Em 2017 a ETE Garanhuns sofreu uma grande ampliação incluindo uma etapa preliminar completa e um reator anaeróbio anterior ao sistema de lagoas, com o intuito de ampliar sua capacidade de tratamento e melhorar a qualidade do efluente tratado.

Neste sentido, esse trabalho teve como objetivo monitorar alguns parâmetros ambientais chave, em oito pontos da Estação de Tratamento de Esgoto que compõe o Sistema de Esgotamento Sanitário do município de Garanhuns-PE.

O monitoramento ocorreu durante 10 meses, após a estabilização do sistema ampliado, e avaliou as eficiências das unidades de tratamento em separado e globalmente, as faixas de variação e a adequação da tecnologia atualmente empregada.

Material e Métodos

Local do estudo

O trabalho foi realizado na Estação de Tratamento de Efluentes de Garanhuns (ETE Garanhuns), Pernambuco, que trata esgotos sanitários de origem doméstica e é operada pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

A ETE Garanhuns capta o esgoto bruto da cidade de Garanhuns e atende aproximadamente 18.000 habitações, realizando o tratamento desse efluente em nível preliminar e secundário, possuindo uma vazão afluente média de 41,25 L.s⁻¹.

O sistema é composto de elevatória de esgoto bruto, unidades de gradeamento, caixa de areia, seguido de um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), e pós-tratamento em seis lagoas em série, sendo as três primeiras facultativas e as três últimas de maturação (as últimas duas possuem chicanas alternadas).

A ETE atualmente é composta de elevatória de esgoto bruto, unidades de gradeamento, caixa de areia, seguido de um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), e pós-tratamento em 6 lagoas em série, sendo as 3 primeiras facultativas e as 3 últimas de maturação (últimas 2 com chicanas alternadas).

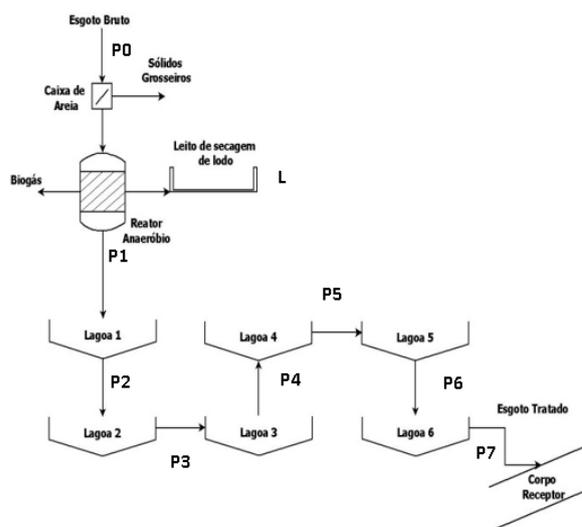
As unidades de pré-tratamento (elevatória de esgoto bruto, unidades de gradeamento, caixa de areia) e o reator UASB foram incorporados ao sistema de tratamento inicial de 6 lagoas, pré-existente no ano de 2017.

Coleta de amostras e parâmetros monitorados

O plano de amostragem definiu oito pontos de monitoramento ao longo da ETE (saídas de cada unidade), sendo que o período de coleta de dados contabilizou 10 meses ininterruptos (agosto de 2018 a maio de 2019), com uma coleta mensal (amostras simples) em cada ponto.

A coleta do biossólido (lodo seco) foi realizada apenas três vezes em virtude da frequência diferenciada de descarte do lodo no reator UASB (trimestral). Os pontos de monitoramento estão apresentados no fluxograma esquemático da Figura 1.

Figura 1. Fluxograma da ETE Garanhuns com destaque para os pontos de coletas das amostras.



Legenda:

- P0=saída da elevatória antes da caixa de areia/UASB;
- P1=saída do reator UASB; P2=saída da lagoa 1;
- P3=saída da lagoa 2; P4=saída da lagoa 3;
- P5=saída da lagoa 4; P6=saída da lagoa 5;
- P7=saída da lagoa 6; L= biossólido seco (lodo anaeróbio)

Fonte: Autores (2020)

Os parâmetros avaliados nos efluentes foram: demanda química de oxigênio (DQO), pH, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, série de sólidos totais (ST, STF, STV), alcalinidade total (AT), alcalinidade a bicarbonato (AB) e ácidos graxos voláteis (AGV) (Tabela 1). As análises físico-químicas foram realizadas segundo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

O método de Kapp foi adotado para determinação dos AGV, seguindo recomendação de Ribas, Moraes e Foresti (2007) e de Nunes et al. (2015). O método consiste em titular amostra com H₂SO₄ em três estágios: até pH 5, até pH 4,3 e concluir a titulação até pH 4 determinando-se então a alcalinidade total (AT), a alcalinidade a bicarbonato (AB) e a alcalinidade devida aos ácidos voláteis (AGV) em termos de g de ácido acético L⁻¹ (g.HAc.L⁻¹). Também foram realizadas análises de sólidos totais (ST, STF, STV) no biossólido seco obtido como subproduto do Reator UASB. As análises físico-químicas foram conduzidas no Laboratório de Meio Ambiente (LMA/UFRPE/UFPE), da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFPE).

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos avaliados e respectivos métodos utilizados

Parâmetro	Método
pH	Potenciométrico
Temperatura	Sonda Horiba
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Colorimétrico, refluxo fechado (5220 D)
Sólidos Totais, Fixos e Voláteis (ST, STF, STV)	Método Gravimétrico (2540)
Alcalinidade total e bicarbonato (AT, AB)	Titulométrico (Método <i>Kapp</i>)
Ácidos graxos voláteis (AGV)	Titulométrico (Método <i>Kapp</i>)
Turbidez	Turbidimétrico
Condutividade elétrica	Potenciométrico

Fonte: Autores (2020)

Foi realizada uma avaliação preliminar qualitativa da população de microalgas na última lagoa de maturação (P7). Esta avaliação objetivou apenas uma definição da existência potencial de microcistinas na população de microalgas observada. Foi utilizado um microscópio ótico Zeiss AxioScope A1 (aumento de 400 x), com câmara acoplada. Amostras coletadas foram preservadas em Lugol para observação imediata. Essa verificação foi realizada no Laboratório de Biotecnologia do CENLAG/UFPAPE.

Ferramentas estatísticas e gráficas utilizadas na análise dos dados

Os dados do monitoramento foram compilados em planilhas eletrônicas para facilitar a análise estatística (descritiva) dos dados e geração dos gráficos.

Foram utilizados os Softwares em suas versões livres e acadêmicas Excel 2018[®] e Software Statistica 7.0[®].

Também foram utilizados gráficos Boxplot, para representar a variação de dados observados das variáveis numéricas por meio de quartis. Os valores atípicos (*outliers*) podem ser plotados como pontos individuais. O gráfico Boxplot não é paramétrico, apresentando a variação em amostras de uma população estatística sem fazer qualquer suposição da distribuição estatística subjacente. Os espaços entre as diferentes partes da caixa indicam o grau de dispersão, a obliquidade dos dados e dos *outliers*. O gráfico Boxplot também permite estimar visualmente várias informações de forma prática, localizados 50% dos valores mais prováveis, média, a mediana e os valores extremos de um conjunto de dados. Os gráficos Boxplot foram desenvolvidos no Software Origin 2018[®].

Resultados e Discussão

Parâmetros físico-químicos

Os resultados dos parâmetros temperatura, DQO, série de sólidos (ST, STF, STV), pH, condutividade elétrica, turbidez estão apresentadas na Tabela 2.

Nas Figuras 2 a 7 apresentam-se os gráficos Boxplot para os parâmetros físico-químicos monitorados.

De acordo com os dados da Tabela 2 observou-se que os pontos P0 (esgoto bruto) e P7 (esgoto tratado) apresentaram menores desvios-padrões médios atestando que as características desses pontos são mais estáveis. Os valores obtidos para o esgoto bruto (P0) são típicos de esgotos sanitários (VON SPERLING, 2005). Ao longo do sistema (P1 a P6), entretanto, foram observadas maiores variações dos desvios-padrões podendo ser este um indicativo que o sistema ainda se encontrava em fase de adaptação, sendo que estas variações foram maiores nos pontos P2 a P4, atenuando no sentido dos pontos P5 a P7.

Os parâmetros temperatura (Figura 2) e condutividade elétrica (Figura 6) praticamente não apresentaram grandes variações médias ao longo do tratamento, entretanto ambos apresentaram grandes amplitudes médias e valores discrepantes (*outliers*). A temperatura é um dos fatores mais influentes em sistemas de tratamento biológicos, visto que interfere diretamente na velocidade metabólica dos microrganismos (WATANABE et al., 2017).

A temperatura das amostras coletadas não ultrapassou 40°C (Figura 2), sendo adequada para sistemas biológicos.

A condutividade elétrica é relacionada à capacidade de transmitir a corrente elétrica devido a presença de substâncias dissolvidas, em sua maioria inorgânicas e é proporcional à concentração de sólidos dissolvidos totais (TDS) e à salinidade (CAMPOS, 1999; BERGER et al., 2013). Esses sais inorgânicos dissolvidos no esgoto geralmente não são removidos por sistemas biológicos, sendo, portanto, este comportamento normal (BERGER et al., 2013).

Com a sazonalidade, a condutividade elétrica da água é alterada, sendo reduzida em períodos chuvosos pelo aumento da diluição dos íons, contudo o lançamento de efluentes pode elevar os valores da condutividade elétrica independentemente da sazonalidade. Não há um padrão de condutividade na legislação, porém, de acordo com Von Sperling (2007) em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (PIRATOBA et al., 2017).

Essas tendências observadas para a temperatura e condutividade são inerentes a fatores ambientais locais (clima) e características físico-químicas naturais do próprio esgoto sanitário. Os valores discrepantes podem ter relação com fatores de diluição e concentração do esgoto em função do período de coleta (verão/inverno) (VILLATE et al., 2013).

A DQO pode ser utilizada diretamente para quantificação da matéria orgânica oxidável presente (AQUINO; SILVA; CHERNICHARO, 2006).

A DQO é um parâmetro bastante avaliado no monitoramento de ETEs, considerado um indicador global da fração orgânica de fácil obtenção laboratorial.

A DQO (Figura 3) apresentou grande amplitude dos valores médios e as amplitudes dos valores máximos e mínimos provavelmente associados a variações sazonais nas características do próprio esgoto sanitário bruto (VILLATE et al., 2013).

Os pontos P1 (saída do reator UASB) e P2 (saída da primeira lagoa facultativa) apresentaram similaridades dos valores para DQO. Este pode ser um indicativo de que a primeira lagoa facultativa é mais impactada pela carga remanescente do reator o que ocasiona uma baixa eficiência dessa lagoa (HE et al., 2013).

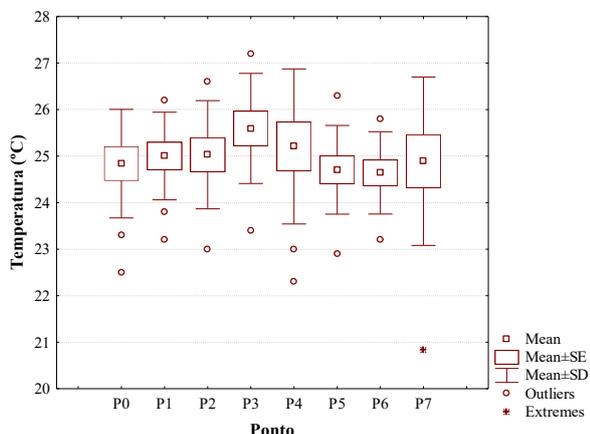
Nos pontos P5 a P7 observou-se um comportamento praticamente idêntico deste parâmetro, não havendo redução significativa.

Este comportamento é esperado em lagoas de maturação cuja função principal não é redução de material orgânico remanescente, mas redução da carga de microrganismos patogênicos pela ação da radiação ultravioleta (WU et al., 2021).

Embora a resolução CONAMA nº 357/05 não faça referência ao parâmetro DQO na classificação dos corpos d'água e nos padrões de lançamento de efluentes líquidos, algumas legislações ambientais estabelecem limites máximos para este parâmetro em seus padrões de lançamento, como a Semace nº 154/2002 que estabelece limite de 200 mg.L⁻¹ para o efluente de lançamento (P7), sendo o valor médio observado de 210 mg.L⁻¹, estando portanto ligeiramente acima deste. Destaca-se o comportamento do pH (Figura 4) ao longo do sistema indo de valores médios próximos a 7,0 até cerca de 7,3 do P0 ao P7. Este comportamento também é esperado em sistemas associados anaeróbios/aeróbios com sistemas de lagoa devido a geração de alcalinidade pelas algas durante o processo de fotossíntese (XIAO et al., 2021). Este comportamento pode ser observado claramente no ponto P4 (Figura 4) quando se observa um salto da alcalinidade justamente na lagoa que apresenta maiores concentrações destes organismos (Figura 12). O pH variou de 6,97 a 7,73, de acordo com a faixa recomendada pela resolução CONAMA nº 357/05 e nº 430/1.

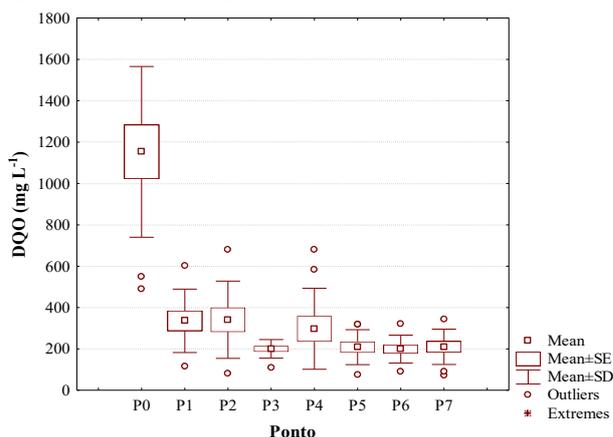
A alcalinidade (Figura 5) nas últimas três lagoas apresentou comportamento similar (P5 a P7) sendo este um fator importante para manutenção do pH na saída do sistema mais estável. A alcalinidade indica a capacidade de tamponamento, controlando oscilações de carga que podem alterar o pH ao longo da ETE (XIAO et al., 2021). A alcalinidade nos esgotos domésticos encontra-se na faixa de 100 a 250 mgCaCO₃.L⁻¹ (VON SPERLING, 2005), estando os resultados obtidos na faixa normal.

Figura 2. Gráfico Boxplot para temperatura



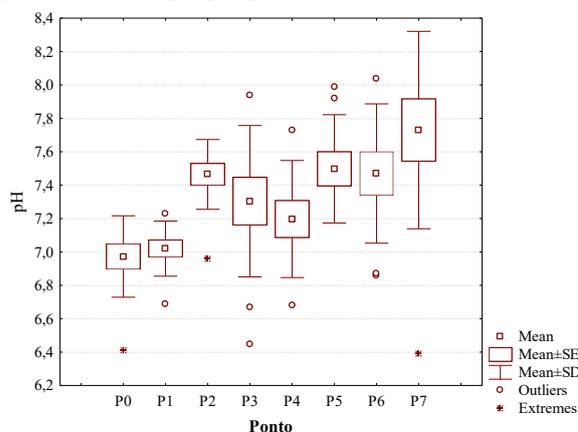
Fonte: Autores (2020)

Figura 3. Gráfico Boxplot para DQO



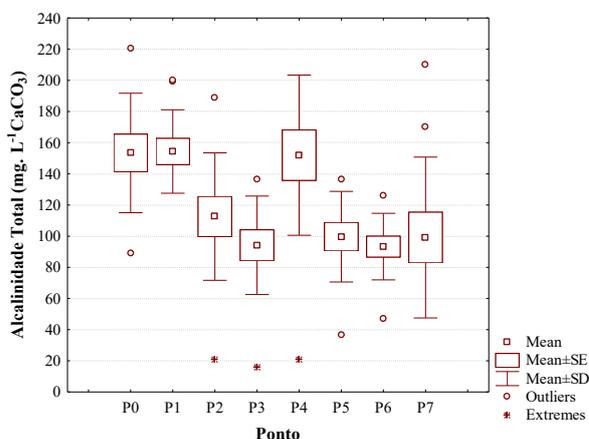
Fonte: Autores (2020)

Figura 4. Gráfico Boxplot para pH



Fonte: Autores (2020)

Figura 5. Boxplot para Alcalinidade Total



Fonte: Autores (2020)

Observou-se também comportamento similar para o parâmetro turbidez (Figura 7), com um aumento no ponto P4, também associado à produção excessiva de algas nesta lagoa (terceira facultativa), sendo que nas demais lagoas de maturação (P5 a P7) este comportamento se estabiliza.

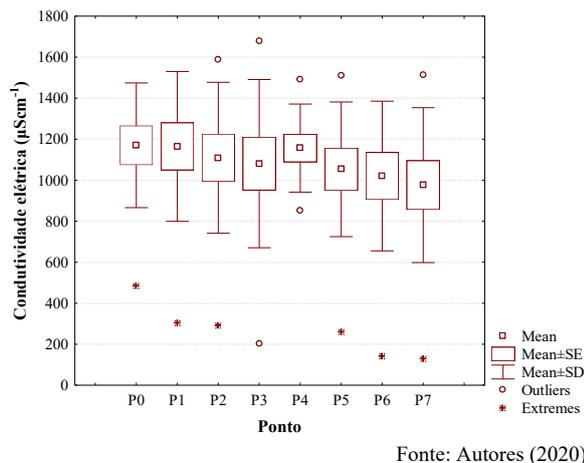
Destaca-se que a ação microbiana pode mudar o pH do meio, bem como íons de nitrogênio amoniacal proveniente da degradação de proteínas e o sódio originado da degradação de sabão aumentam a alcalinidade do meio (VENEGAS et al., 2020).

De acordo com Alcântara (2007), as principais causas da turbidez da água são: presença de matérias sólidas em suspensão, matéria orgânica e inorgânica finamente divididas, microrganismos e algas, originários do próprio esgoto, mas também provenientes do solo.

Além de reduzir a penetração da luz solar na coluna d'água, os sedimentos em suspensão podem carrear nutrientes e substâncias tóxicas e ainda podem absorver calor adicional da luz solar, aumentando a temperatura da camada superficial da água (ANDRADE; FELCHAK, 2009). O tratamento conferiu ao esgoto redução de mais de 83% da turbidez (Figura 7), sendo que esse parâmetro não sofreu redução gradativa, variando muito nas diferentes etapas do tratamento.

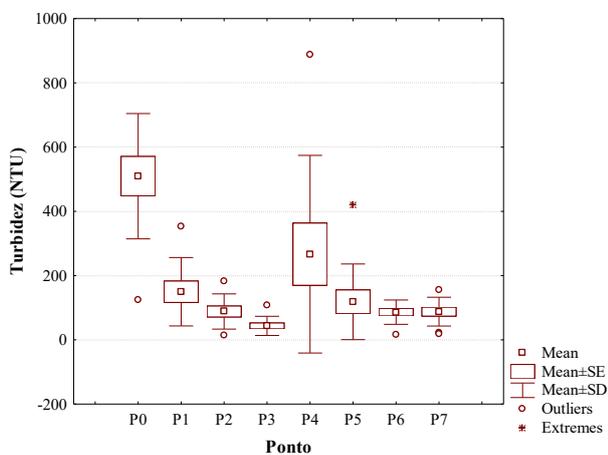
Em relação às frações de sólidos, observou-se nas Figuras 8, 9 e 10 que a fração mais significativa é a de STV, associado a material orgânico volátil e microrganismos, estando este na faixa normal para esgotos sanitários (VON SPERLING, 2005). No corpo receptor, os sólidos agem de maneira indireta sobre a vida aquática, impedem a penetração da luz, induzem o aquecimento da água o que, conseqüentemente, diminui a quantidade de oxigênio dissolvido no meio (LEITE, 1999). A eficiência média de remoção de sólidos totais foi de cerca 41,9%, mas vale ressaltar que ao longo do período de monitoramento da estação o sistema chegou a alcançar uma eficiência de 82,1% de remoção de sólidos totais.

Figura 6. Gráfico Boxplot Condutividade Elétrica



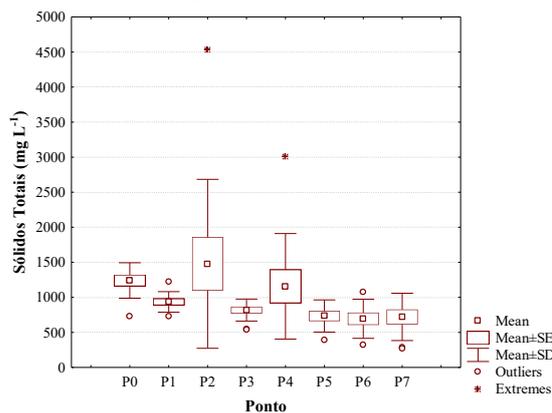
Fonte: Autores (2020)

Figura 7. Gráfico Boxplot para turbidez



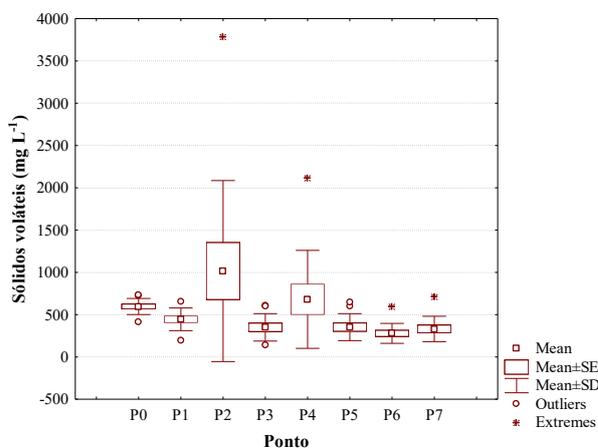
Fonte: Autores (2020)

Figura 8. Gráfico Boxplot para séries de sólidos totais



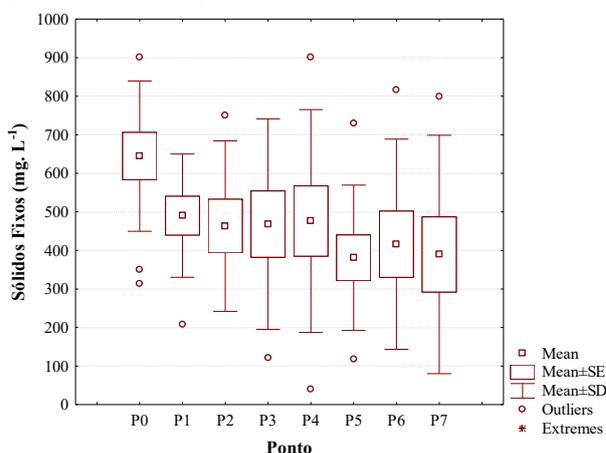
Fonte: Autores (2020)

Figura 9. Gráfico Boxplot totais voláteis



Fonte: Autores (2020)

Figura 10 - Gráfico Boxplot sólidos totais fixos



Fonte: Autores (2020)

Remoção de DQO e COV

Na Tabela 3 apresentam-se os dados médios de eficiência de remoção de matéria orgânica (DQO) e cargas orgânicas volumétricas (COV) para a ETE no período estudado.

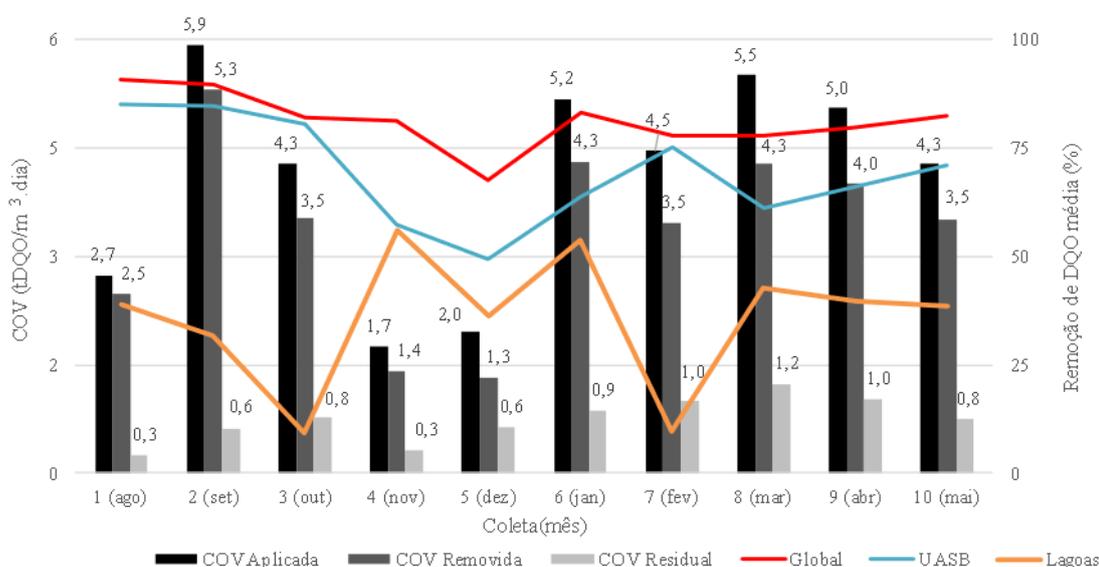
Tabela 3 – Eficiências de remoção em DQO (global, do reator UASB e lagoas) e COV (aplicadas, efluentes e removidas): valores médios, máximos, mínimos

Coletas	Eficiência de remoção em DQO (%)			COV (tDQO/m ³ .dia)		
	Global	UASB	Lagoas	Afluente	Efluente	Removida
Média ± desvio-padrão	81,7 ± 4,40	68,5 ± 9,86	38,7 ± 11,28	4,4 ± 1,18	0,8 ± 0,23	3,5 ± 0,97
Máximo	90,76	84,90	56,12	5,92	1,23	5,30
Mínimo	67,70	49,38	9,31	1,75	0,25	1,33
CV(%)	5,4	14,4	29,1	26,9	30,4	27,6

Legenda: CV = Coeficiente de variação; COV=Carga orgânica volumétrica calculado pela relação $COV=Q (m^3/h).C (gdQO/m^3)$ utilizando valores médios obtidos

Fonte: Autores (2020)

Figura 11 - Variações mensais de eficiência de remoção de DQO do sistema e sua relação com as cargas aplicadas (afluente) e remanescente (efluente)



Fonte: Autores (2020)

Observou-se que a instalação do sistema preliminar e do reator UASB tiveram um impacto positivo na qualidade do efluente tratado e na estabilidade das características do efluente final e reduziram a carga residual para o sistema de lagoas que podem operar da forma mais adequada e proporcionar um efluente de melhor qualidade.

Na Figura 11, apresentam-se as variações mensais de eficiência de remoção de DQO (%) da ETE e o comportamento simultâneo da COV aplicada (afluente a ETE), removida (pela ETE) e remanescente (efluente final da ETE). A eficiência da remoção de DQO média global no período estudado foi de 81,8%, sendo o valor máximo alcançado de 90,8% e mínimo de 67,7%.

Deve-se destacar adicionalmente que o baixo desvio-padrão deste parâmetro indica que há uma ação sinérgica do reator UASB com as lagoas favorecendo a manutenção de uma eficiência global elevada, impactando positivamente nos resultados de eficiência da ETE (CHENG et al., 2020).

O reator UASB apresentou eficiência média de 68,5% em DQO, que segundo Marques e Nunes (2018), geralmente situa-se na faixa de 65 e 75% em DQO, estando, portanto, dentro da faixa esperada para este tipo de reator. A atenuação de parte da COV efluente a ETE no reator UASB permite uma melhor operação do sistema de lagoas e o amortecimento de cargas de pico que podem ter rebatimento na qualidade do efluente enviado ao corpo receptor (PATUREAU et al., 2021).

Anteriormente a implantação do reator no sistema eram frequentemente evidenciados problemas de odores nas primeiras 3 lagoas facultativas, assim como acúmulo de materiais flutuantes e sólidos na superfície destas primeiras lagoas.

O pós-tratamento nas lagoas ainda reduziu a DQO remanescente do reator UASB em torno de 39% em média, sendo sua influência na eficiência global responsável por atenuar cargas remanescentes do reator UASB e atuar mais adequadamente na sua função de remoção de nutrientes (N e P) e carbono residual.

Em termos de carga residual (COV efluente) o sistema mostrou-se capaz de entregar um efluente com apenas cerca de 18% em média da COV afluente (aplicada a ETE), sendo essa redução bastante significativa para a tecnologia empregada. Observa-se também que a COV efluente a ETE, em relação a COV afluente, apresentou pequena variação atestando que a configuração atual da ETE é capaz de manter variações de carga afluentes significativas na ETE.

A utilização de parâmetros de controle de mais fácil obtenção como indicadores da estabilidade do sistema, facilita a avaliação de possíveis problemas operacionais de forma mais rápida e tomadas de decisão mais efetivas (DING et al., 2011).

Entretanto, não se deve negligenciar a importância de serem monitorados também de forma sistemática outros parâmetros de controle como nutrientes, parâmetros microbiológicos e de toxicidade, além do atendimento período e realização de uma caracterização mais detalhada do efluente de acordo com as recomendações das Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011,

Esta avaliação sistemática mostra que a operação da ETE pode ser sempre otimizada (CORREIA, 2009).

A alteração realizada na concepção da ETE Garanhuns realizada em 2017 de um sistema de concepção mais simples de lagoas facultativas e de maturação para um sistema combinado de reator anaeróbio tipo UAB e pós-tratamento em sistema de lagoas facultativas e de maturação foi uma decisão técnica acertada e que resultou em ganhos de estabilidade e robustez ao tratamento de efluentes no município de Garanhuns, com ganhos socioambientais evidentes.

Características do lodo anaeróbio do reator UASB

O lodo seco obtido do leito de secagem da ETE e originário do reator UASB apresentou características típicas de lodos de reatores anaeróbios tipo UASB tratando esgotos sanitários, como características morfológicas (baixa granulometria) floculentas e cor negra (comuns em esgotos sanitários devido a presença de sulfatos no esgoto que são convertidos a sulfetos e ficam adsorvidos nas estruturas dos lodos) (ZHANG et al., 2017).

A umidade média do resíduo seco esteve em torno de 47,4%.

Os lodos apresentaram concentrações de Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Voláteis (STV) e Sólidos Totais Fixos (STF) de 53,26 %, 45,63% e 7,63%, respectivamente. Esses percentuais estão dentro dos valores típicos para lodos anaeróbios floculentos (AQUINO; SILVA; CHERNICHARO, 2006).

As frações de ST, STF e STV e algumas relações entre estes podem ser utilizados como parâmetros para monitorar a estabilização da matéria orgânica.

Tabela 4. Série de sólidos (ST, STF, STV) para o lodo anaeróbio do reator UASB

Parâmetro	Valores absolutos* (g.kg ⁻¹ de lodo seco)	%
ST	532,60 ± 83,38	53,26
STV	456,30 ± 62,12	45,63
STF	76,30 ± 21,67	7,63

Legenda: ST=Sólidos Totais; STF=Sólidos Totais Fixos; STV=Sólidos Totais Voláteis; *Valores médios de 3 coletas de lodo seco em leito de secagem.

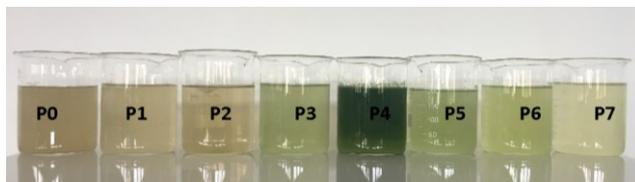
Fonte: Autores (2020)

Presença de microalgas

A presença de microalgas em lagoas de estabilização, facultativas e de maturação é comum e desejado visto sua elevada atividade fotossintética e possibilidade de remoção adicional de carbono e, sobretudo de nutrientes quando não realizada pelos sistemas secundários em etapas anteriores. Entretanto, hiperflorações e disposição de efluentes com elevadas concentrações de algas junto ao efluente tratado pode trazer problemas, caso existam concentrações elevadas de espécies de cianobactérias que podem liberar cianotoxinas sobre determinadas condições de estresse ambiental (HIDAKA et al., 2017; KUMAR et al., 2018).

Observou-se nas lagoas 2 a 6 (Pontos P3 a P7) concentrações elevadas de microalgas. Essa concentração confere uma intensa coloração esverdeada aos efluentes, como pode ser atestado numa amostra típica dos pontos estudados (Figura 12).

Figura 12. Registro fotográfico do aspecto típico das amostras em cada ponto de coleta



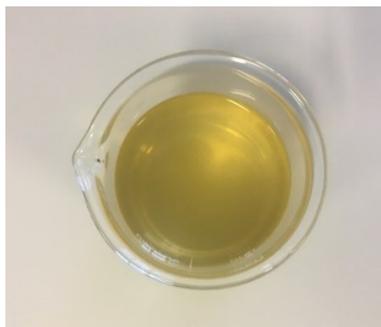
Fonte: Autor es(2020)

A lagoa 1 (facultativa) não apresentou coloração esverdeada, sendo o seu efluente muito similar ao do reator anaeróbio.

A lagoa 1 recebe a maior COV das três facultativas em série e que atuam como pós-tratamento do reator UASB. A concentração de microalgas aumentou da lagoa 1 (P2) até a 3 facultativa (P4), reduzindo desta até a última de maturação (P7) (Figura 13).

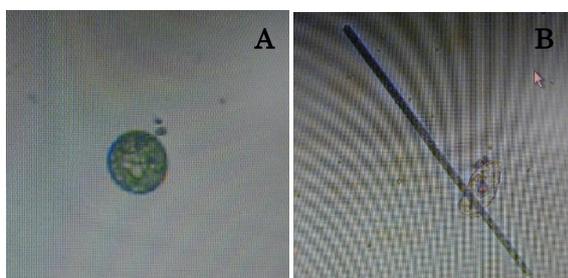
Associado ao aumento de microalgas observou-se que a alcalinidade (Figura 5) e a turbidez (Figura 7) foram maiores no ponto P4, atestando a influência desses organismos nestes parâmetros. A análise qualitativa da microscopia óptica indicou que a maioria dos organismos são microalgas comuns em sistemas lagunares. Registros fotográficos destes organismos observados são apresentados na Figura 14.

Figura 13. Registro fotográfico com detalhe do aspecto da amostra do efluente final da ETE (P7)



Fonte: Autores (2020)

Figura 14. Registro fotográfico de exemplar de microalga (*Chlamydomonas* sp.), (A) e cianobactéria (*Microcystis* sp.) (B) observados em amostras do P7 (última lagoa)



Fonte: Autores (2020)

Gêneros como *Clorella* sp. *Chlamydomonas* sp., (Figura 14-A), *Scenedesmus* sp. foram observadas mais frequentemente. Também pode-se observar em amostras do P7 a presença de cianobactérias provavelmente do gênero *Microcystis* sp. (Figura 14-B).

Como não foram feitas análises de toxicidade e esta primeira avaliação foi qualitativa, não é possível afirmar que a presença por si só desses organismos indique problemas de possível toxicidade do efluente final, entretanto a presença desses organismos evidencia a necessidade de futuros estudos para sua melhor caracterização.

A presença de cianobactérias é comum em sistemas lagunares com populações diversas que se encontram em equilíbrio ecológico e em situações naturais não representam, em geral, problemas com consequências de toxicidade para o efluente final.

Concentrações elevadas de algas são comuns em sistemas lagunares, sobretudo, em se tratando de efluentes de reatores anaeróbios, pois estes não removem adequadamente nutrientes (fósforo e nitrogênio) e a carga remanescente (em carbono) desse sistema aliado as condições ambientais favoráveis nas lagoas favorecem seu crescimento.

Nas lagoas, estes nutrientes são utilizados pelos organismos autotróficos para o seu crescimento, sendo assim grande parte desses nutrientes fica assimilado nesta biomassa que após seu ciclo vital se decompõem em gases ou fica retida no material sólido do fundo das lagoas (KOTUT et al, 2010; SIEDLEWICZ et al., 2020).

Deve-se observar que em hiperfloração esses organismos criam camadas densas na superfície das lagoas que podem ser arrastados junto ao efluente final, conferindo ao mesmo aspecto e características físico-químicas inadequadas a sua disposição nos corpos receptores. Avaliações periódicas de concentração algal e toxicidade podem ser necessárias para sistemas onde se observe tal fenômeno (KUMAR et al., 2018).

Conclusão

A inclusão do sistema preliminar e do reator UASB ao sistema de seis lagoas pré-existente na ETE Garanhuns proporcionou uma melhoria na qualidade do efluente final e sobretudo, na redução de oscilações de qualidade do efluente tratado.

O reator UASB foi capaz de reduzir em cerca de 68% da COV média aplicada a ETE, reduzindo assim a COV aplicada às lagoas facultativas e de maturação, atenuando efeitos de picos. As lagoas, neste sentido operam mais adequadamente na sua função principal de redução de níveis de nutrientes, patógenos além de contribuir na redução da matéria orgânica residual efluente do UASB.

A eficiência média da ETE foi de cerca de 81,7% em DQO, apresentando ainda a ETE baixos níveis de turbidez, pH adequado e baixo nível de sólidos no efluente.

Neste estudo, observou-se que mesmo utilizando parâmetros físico-químicos de simples obtenção laboratorial, estes quando realizados de forma sistemática, são úteis para manter um nível de controle satisfatório da qualidade do efluente final devolvido ao meio ambiente, sendo ferramentas básicas para tomadas de decisão técnicas e operacionais numa ETE.

Contribuição dos autores

Os autores desse artigo declaram que contribuíram de forma igualitária na sua elaboração.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Engenheiro Agrônomo Neemias de Oliveira Gueiros da Gerência de Meio Ambiente (GMA) da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) de Garanhuns pelo fornecimento de amostras para a realização deste trabalho. Ao Prof. D. José Renato Molica do Laboratório de Biotecnologia do CENLAG/UFPE pela avaliação preliminar das amostras de microalgas.

Referências

ALCÂNTARA, E. H. *Análise da turbidez na planície de inundação de Curuaí (PA, Brasil) integrando dados telemétricos e imagens MODIS/TERRA*, 2007, 217f, Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, São Paulo, 2007.

- ANDRADE, A. R.; FELCHAK, I. M. A.. A poluição urbana e o impacto na qualidade da água do rio das Antas - Irati/PR. **Geoambiente Online**, 1, 12, 01-25, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5216/rev.geoambie.v0i12.25985>.
- APHA, AWWA, WEF. "Standard methods for the examination of water and wastewater". 19. American Public Health Association. Washington, DC, 2005.
- AQUINO, S. F.; SILVA, S. Q.; CHERNICHARO, C. A. L. Practical aspects of the chemical oxygen demand (COD) test applied to the analysis of anaerobic effluents. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 11, 4, 295-304, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000400001>
- ARAÚJO, I. M.; ARAÚJO, X. M... Tratamento do Esgoto Sanitário como Alternativa para Minimizar os Efeitos da Seca no Agreste Pernambucano. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, 8, .2, 5-22, 2018.
- BARROS, R. T. V. Saneamento. Escola de Engenharia da UFMG, **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para Municípios**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 1995.
- BERGER, J. S.; HERMES, E.; ZENATTI, D. C.; GONÇALVES, M. P.; LINS, M. A.; WULF, V. S. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em biodigestor tubular utilizado no tratamento de efluente de amidonária. **Scientia Agraria Paranaensis - SAP**, 12, 10, 377-383, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.18188/sap.v12i0.9562>
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. Brasília, DF, Brasil, 2019.
- CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**, ABES, Rio de Janeiro, 1999.
- CHENG, P.; JIN, Q.; JIANG, H.; HUA, M.; YE, Z. Efficiency assessment of rural domestic sewage treatment facilities by a slacked-based DEA model. **Journal of Cleaner Production**, 267, 122111 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122111>
- CHERNICHARO, C.; COTA, R. S.; ZERBINI, A. M.; SPERLING, M.; BRITO, L H. Post-treatment of anaerobic effluents in an overland flow system. **Water Science and Technology**, 44, .4. 229-236, 2001. PMID: 11579922
- CORREIA, J. E. **Caracterização físico-química e microbiológica do lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto Contorno**, 2009, 94f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia, 2009.
- DING, D.; FENG, C.; JIN, Y.; HAO, C.; ZHAO, Y.; SUEMURA, T. Domestic sewage treatment in a sequencing batch biofilm reactor (SBBR) with an intelligent controlling system. **Desalination**, 276, 3, 260-265, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.059>
- HE, H.; LUO, N.; HUANG, B.; LI, B.; ZHANG, Z.; XU, Z.; PAN, X. Optical characteristics and cytotoxicity of dissolved organic matter in the effluent and sludge from typical sewage treatment processes. **Science of The Total Environment**, 725, 128381, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138381>
- HIDAKA, T., TAKABE, Y.; TSUMORI, J.; MINAMIYAMA, M. Characterization of microalgae cultivated in continuous operation combined with anaerobic co-digestion of sewage sludge and microalgae. **Biomass and Bioenergy**, 99, 139-146, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.02.019>
- IBGE, 2020, **Censo Brasileiro de 2010 - Estimativa da população de 2020**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/garanhuns/panorama> . Acesso em: 25 de novembro de 2020.
- KOTUT, K.; BALLOT, A.; WIEGAND, C.; KRIENITZ, L. Toxic cyanobacteria at Nakuru sewage oxidation ponds – A potential threat to wildlife. **Limnologia**, 40, 1, 47-53, 2010 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.01.003>.
- KUMAR, P.; HEGDE, K.; BRAR, S. K.; CLEDON, M.; POUR, A. K. Physico-chemical treatment for the degradation of cyanotoxins with emphasis on drinking water treatment—How far have we come?. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 6, 4, 5369-5388, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.032>
- LAY-EKUAKILLE, A.; DURICKOVIC, I.; LANZOLLA, A.; MORELLO, R.; DE CAPUA, C.; GIRÃO, P. S.; POSTOLA, O.. Effluents, surface and subterranean waters monitoring: Review and advances. **Measurement**, 137, 556-579,2019, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.052>
- LEITE, V. D.. Comportamento dos sólidos totais no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais. **Revista Engenharia Agrícola e Ambiental**, 3, 2, 229- 23, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n2p229-232>.
- LIU, W.; IORDAN, C. M.; CHERUBINI, F.; HU, X.; FU, D. Environmental impacts assessment of wastewater treatment and sludge disposal systems under two sewage discharge standards: a case study in Kunshan, China. **Journal of Cleaner Production**. 25046, 2020 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125046>
- MARQUES, L. C.; NUNES, A. B. A. Análise da eficiência do tratamento de efluentes em reatores UASB em Fortaleza/CE. **Revista DAE**, 212, 66, 95-104, 2018 DOI: 10.4322/dae.2018.025
- METCALF; EDDY. **Inc. Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th. ed. – New York: McGraw-Hill, 1819 p, 2003.
- MMA, 2013. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, Ano-base 2012**, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Distrito Federal, 2013.
- MOREIRA JUNIOR, O. Segregação urbana em cidades pequenas: algumas considerações a partir da escala intra e interurbana. **RA'EGA**, 20, 133-142, 2010.
- NUNES, A. C. D.; AMORIM, M. C.; REIS, S. R.; TORRES, P. T. T.; BARBOSA, P. S.; SOUZA, R. M. A. Determinação de AGV pelos métodos Kapp, Dillalo e Dillalo modificado em amostras de efluente de casas de farinha. In: **Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais**, 4, SBERA, Rio de Janeiro, 2015.
- PATUREAU, D.; MAILLER, R.; DELGENES, N.; DANIEL, A.; VULLIET, E.; DESHAYES, S., MOILLERON, R.; ROCHER, V.; GASPERI, J. Fate of emerging and priority micropollutants during the sewage sludge treatment – Part 2: Mass balances of organic contaminants on sludge treatments are challenging. **Waste Management**, 125, 122-131, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.034>
- PIRATOBIA A. R. A. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcacena, PA, Brasil. **Ver. Ambient. Água**, 12, 3, 435-456, 2017 DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1910>.
- RIBAS, M . F.; MORAES E. M.; FORESTI, E. M. Avaliação da acurácia de diversos métodos para determinação de ácidos graxos voláteis e alcalinidade e bicarbonato para monitoramento de reatores anaeróbios. **Engenharia Sanitária Ambiental**, 12, 3, 240-246, 2007.

SCHLUSAZ, M. **Avaliação da eficiência da estação de tratamento de efluente (ETE-Ronda, Ponta Grossa-PR) através da análise de parâmetros físico-químicos**, 2014, Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, 2014.

SIEDLEWICZ, G.; ZAK, A.; SHARMA, L.; KOSAKOWSKA, A., PAZDRO, K. Effects of oxytetracycline on growth and chlorophyll a fluorescence in green algae (*Chlorella vulgaris*), diatom (*Phaeodactylum tricornutum*) and cyanobacteria (*Microcystis aeruginosa* and *Nodularia spumigena*). **Oceanologia**, 62, 2, 214-225, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2019.12.002>

SILVA, A. L. **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico: um estudo de caso em uma cultura do cafeeiro (Coffea arabica L.) no Brasil**, 2005, 73 f. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2005

SOARES, A. B.; SANTOS, C. C.; CAVALCANTI, M. A. Problemática socioambiental urbana na nascente Pau Amarelo em Garanhuns-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 6, 5, 1140-1157, 2013. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6.5.p1141-1157>

SONG, X.; LIU, R.; YU, Q.; SHENG, X.; CHEN, L. Management mode construction for operation and supervision of rural sewage treatment facilities: Towards the information-to-intelligence strategy. **Bioresource Technology Reports**, 11, 100481, 2020 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100481>

VENEGAS, M.; LEIVA, A. M.; REYES-CONTRERAS, C.; NEUMANN, P.; PIÑA, B.; VIDAL, G. Presence and fate of micropollutants during anaerobic digestion of sewage and their implications for the circular economy: A short review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 9, 1, 104931, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104931>

VILLATE, F.; IRIARTE, A.; URIARTE, I.; INTXAUSTI, L.; DE LA SOTA, A. Dissolved oxygen in the rehabilitation phase of an estuary: Influence of sewage pollution abatement and hydro-climatic factors. **Marine Pollution Bulletin**, 70, 1, 234-246, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.010>

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ed Ed. UFMG. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2005.

WATANABE, R.; NIE, Y.; WAKAHARA, S.; KOMORI, D.; LI Y. Investigation on the response of anaerobic membrane bioreactor to temperature decrease from 25 °C to 10 °C in sewage treatment. **Bioresource Technology**, 243, 747-754, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.001>

WU, Y.; CHEN, Z.; LI, X.; WANG, Y.; LIU, B.; CHEN, G.; LUO, L.; WANG, H.; TONG, X.; BAI, Y.; XU, Y.; IKUNO, N.; LI, C.; ZHANG, H.; HU, H. Effect of ultraviolet disinfection on the fouling of reverse osmosis membranes for municipal wastewater reclamation. **Water Research**, 195, 116995, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116995>

XIAO, X.; AGUSTÍ, S.; YU, Y.; HUANG, Y.; CHEN, J.; LI, C.; LI, K.; WEI, F.; LU, Y.; XU, C.; CHEN, Z.; LIU, SH.; ZENG, J.; WU, J.; DUARTE, C. M. Seaweed farms provide refugia from ocean acidification. **Science of The Total Environment**, 776, 145192, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145192>

ZHANG, J.; ZUO, W.; TIAN, Y.; YIN, L.; GONG, Z.; ZHANG, J. Release of hydrogen sulfide during microwave pyrolysis of sewage sludge: Effect of operating parameters and mechanism. **Journal of Hazardous Materials**, 331, 117-122. 2017.