



XVII Fórum Ambiental

Alta Paulista

27 a 29 de outubro de 2021

Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo

ISBN - 978-65-86753-38-7

EIXO TEMÁTICO:

- () Ambiente e Saúde pública
- () Bacias Hidrográficas, Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos
- () Biodiversidade e Unidades de Conservação
- () Campo, Agronegócio e as Práticas Sustentáveis
- () Cidades Sustentáveis
- () Conforto Ambiental no Ambiente Construído
- () Desastres, Riscos Ambientais e a Resiliência Urbana
- () Direito Ambiental
- () Educação Ambiental e Práticas Ambientais
- () Geotecnologias Aplicadas à Análise Ambiental
- () Patrimônio Histórico, Turismo e o Desenvolvimento Local
- (x) Saneamento e Ambiente
- () Segurança e Saúde do Trabalhador

Esgoto sanitário: caracterização, tratamento e ecotoxicidade

Sanitary sewage: characterization, treatment and ecotoxicity

Aguas residuales sanitarias: caracterización, tratamiento y ecotoxicidad

Isadora Vitali Lobo

Mestranda em Engenharia Civil, UNESP, Brasil.
isadora.vitali@unesp.br

Juliana Heloisa Pinê Américo-Pinheiro

Professora Doutora, UNESP, Brasil.
juliana.heloisa@unesp.br

RESUMO

O tratamento e disposição do esgoto doméstico é um dos principais desafios do Brasil. A composição do esgoto varia com os hábitos da população e frequência com que novos contaminantes são lançados no ambiente. O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre os principais aspectos relacionados à caracterização e composição do esgoto sanitário, tipos de sistemas de tratamento de esgoto e legislação pertinente; e toxicidade dos efluentes domésticos. A revisão foi fundamentada em publicações disponíveis no Science Direct, Google Acadêmico e Scielo, bem como em publicações impressas, legislações e instruções normativas pertinentes. O período de pesquisa adotado para seleção dos estudos foi de 2005 a 2021. Constatou-se que, além dos teores de matéria orgânica provenientes do esgoto doméstico, resíduos de produtos utilizados no cotidiano como fármacos e produtos de limpeza podem ser encontradas nos efluentes em concentrações prejudiciais ao meio ambiente. Muitas vezes, o tipo de tratamento utilizado nas estações de tratamento de esgoto municipais não permite a remoção eficiente desses contaminantes. Dessa forma, mesmo que o esgoto seja tratado visando atender os limites exigidos para os parâmetros físico-químicos e biológicos estabelecidos por lei, o efluente doméstico pode apresentar um alto potencial de toxicidade para várias espécies aquáticas como microcrustáceos, moluscos e peixes. Assim, as análises ecotoxicológicas representam um notável mecanismo para indicação da eficiência da remoção dos contaminantes emergentes presentes em efluente sanitário tratados, além da indicação dos efeitos deletérios provocados por esses resíduos ao meio ambiente e aos ecossistemas associados ao corpo hídrico receptor.

PALAVRAS-CHAVE: Ecotoxicologia, efluentes, ambientes aquáticos.

ABSTRACT

The treatment and disposal of domestic sewage is one of Brazil's main challenges. The composition of sewage varies with the habits of the population and the frequency with which new contaminants are released into the environment. This work aimed to carry out a bibliographical review on the main aspects related to the characterization and composition of sanitary sewage, types of sewage treatment systems and pertinent legislation; and toxicity of domestic effluents. The review was based on publications available on Science Direct, Google Scholar and Scielo, as well as on printed publications, relevant legislation and normative instructions. The research period adopted for the selection of studies was from 2005 to 2021. It was found that, in addition to the levels of organic matter from domestic sewage, residues from products used in daily life such as pharmaceuticals and cleaning products can be found in effluents in concentrations harmful to the environment. Often, the type of treatment used in municipal sewage treatment plants does not allow for the efficient removal of these contaminants. Thus, even if the sewage is treated to meet the limits required for the physical-chemical and biological parameters established by law, domestic effluent can present a high potential for toxicity to various aquatic species such as microcrustaceans, molluscs and fish. Thus, ecotoxicological analyzes represent a remarkable mechanism for indicating the efficiency of removal of emerging contaminants present in treated sanitary effluent, in addition to indicating the deleterious effects caused by these residues to the environment and ecosystems associated with the receiving water body.

KEYWORD: Ecotoxicology, effluents, aquatic environments.

RESUMEN

El tratamiento y disposición de las aguas residuales domésticas es uno de los principales desafíos de Brasil. La composición de las aguas residuales varía con los hábitos de la población y la frecuencia con la que se liberan nuevos contaminantes al medio ambiente. Este trabajo tuvo como objetivo realizar una revisión bibliográfica sobre los principales aspectos relacionados con la caracterización y composición de las aguas residuales sanitarias, tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales y legislación pertinente; y toxicidad de los efluentes domésticos. La revisión se basó en publicaciones disponibles en Science Direct, Google Scholar y Scielo, así como en publicaciones impresas, legislación relevante e instrucciones normativas. El período de investigación adoptado para la selección de estudios fue de 2005 a 2021. Se encontró que, además de los niveles de materia orgánica de las aguas residuales domésticas, se pueden encontrar residuos de productos utilizados en la vida diaria como productos farmacéuticos y de limpieza en los efluentes. en concentraciones nocivas para el medio ambiente. A menudo, el tipo de tratamiento utilizado en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales no permite la eliminación eficiente de estos contaminantes. Así, aunque las aguas residuales sean tratadas para cumplir con los límites exigidos por los parámetros físico-químicos y biológicos establecidos por la ley, los efluentes domésticos pueden presentar un alto potencial de toxicidad para diversas especies acuáticas como microcrustáceos, moluscos y peces. Así, los análisis ecotoxicológicos representan un mecanismo notable para indicar la eficiencia de remoción de los contaminantes emergentes presentes en el efluente sanitario tratado, además de indicar los efectos deletéreos que estos residuos provocan al medio ambiente y ecosistemas asociados al cuerpo de agua receptor.

KEYWORD: Ecotoxicología, aguas residuales, ambientes acuáticos.

1 INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade do meio ambiente sob o efeito das atividades antrópicas vem proporcionando uma discussão aprofundada. Dentre os assuntos destacados, o tratamento e a disposição adequada do esgoto doméstico representam uma preocupação universal em função do seu potencial poluidor (COLAÇO; ZAMORA; GOMES, 2014). No Brasil, grandes volumes de esgoto doméstico são gerados por dia com um valor estimado de 21.267.971 m³, dos quais 51,6% recebe tratamento em estações adequadas para tal finalidade e a outra parcela é descartada sem tratamento, ou tratada em sistemas individuais nem sempre satisfatórios (IBGE, 2020).

O esgoto doméstico é definido pela NBR 9648 como despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas contribuindo com a formação do esgoto sanitário, que por sua vez, é definido como despejo líquido constituído por esgotos domésticos, industrial, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária (ABNT, 1986).

A composição do esgoto varia de acordo com os hábitos de vida da população e a frequência com que novos tipos de contaminantes são produzidos e lançados no ambiente. O esgoto doméstico apresenta, além de altos teores de matéria orgânica e patógenos, contaminantes utilizados em nosso cotidiano como produtos de limpeza doméstica, higiene pessoal e fármacos (DEL-GUERCIO; CHRISTOFOLETTI; FONTANETTI, 2017).

Além dos constituintes tradicionais, o esgoto sanitário possui outros contaminantes cuja presença está associada principalmente aos despejos em rede coletora de esgoto por atividades como indústrias químicas responsáveis pela formulação de compostos orgânicos e inorgânicos, curtumes, indústrias farmacêuticas, galvanoplásticas, fundições, lavanderias, indústrias de petróleo e outros tipos de indústrias responsáveis pela formulação de corantes e pigmentos (VON SPERLING, 2014).

Em um levantamento apresentado na última versão publicada do Atlas do Saneamento, os principais contaminantes da água captada para abastecimento público são o esgoto sanitário, os resíduos de agrotóxicos e resíduos sólidos com destinação inadequada. Nesse contexto, o esgoto sanitário é responsável por 72% das incidências de poluição na captação de água em mananciais superficiais, 60% em poços rasos e 54% em poços profundos (IBGE, 2011).

A poluição causada aos corpos hídricos pelo lançamento de esgoto sem tratamento ou parcialmente tratado pode ocasionar diversos inconvenientes em função das alterações da qualidade da água no corpo hídrico receptor, promovendo grande preocupação em relação ao seu grau de tratamento e disposição bem como suas consequências sobre o meio em que é lançado (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Resíduos e subprodutos de diferentes tipos de contaminantes existentes em caracterizações de esgoto sanitário, tratados ou não, são destinados a ambientes aquáticos como forma de disposição final, o que pode induzir efeitos crônicos e mutagênicos aos organismos presentes no corpo d'água receptor e contaminar os sedimentos existentes no meio (HAMADA et al., 2011).

Portanto, é fundamental caracterizar a constituição dos esgotos domésticos, determinar o tipo de sistema de tratamento apropriado, compreender as legislações pertinentes e analisar a ecotoxicidade desse contaminante para organismos aquáticos visando minimizar os impactos associados ao aporte de efluentes em corpos hídricos receptores.

2 OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre os principais aspectos relacionados à caracterização e composição do esgoto sanitário, tipos de sistemas de tratamento de esgoto e legislação pertinente; e toxicidade dos efluentes domésticos.

3 METODOLOGIA

A revisão bibliográfica foi fundamentada em publicações científicas disponíveis nas plataformas de pesquisa do Science Direct, Google Acadêmico e Scielo, bem como em publicações impressas, legislações e instruções normativas pertinentes ao tema. As palavras-chave utilizadas para pesquisa em periódicos eletrônicos foram *ecotoxicology*, *aquatic ecotoxicology*, *domestic sewage* e *wastewater*. O período de pesquisa adotado para seleção dos estudos compreendeu os anos de 2005 a 2021.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO

As características do esgoto sanitário são divididas entre três categorias distintas que consistem em: características físicas englobando a matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez; características químicas segmentada em matéria orgânica e inorgânica; e por fim as características biológicas associadas a bactérias, fungos, protozoários e vírus (JORDÃO; PESSÔA, 2014; VON SPERLING, 2014; METCALF; EDDY, 2016).

Alguns fatores são importantes no processo de caracterização dos efluentes sanitários destacando-se a influência direta da temperatura nas reações físicas, químicas e biológicas utilizadas no tratamento (KLÜSENER, 2006), a classificação da matéria sólida por tamanho que é separada em sólidos suspensos (10^3 a $100 \mu\text{m}$), sólidos coloidais (100 a $10^{-3}\mu\text{m}$) e sólidos dissolvidos (10^{-3} a $10^{-6} \mu\text{m}$) (CETESB, 2018).

Em relação ao mau cheiro, no caso do esgoto doméstico, a decomposição anaeróbia de compostos de enxofre é a principal causa atribuída à geração de odores (BRANDT; SOUZA; CHERNICHARO, 2017). A cor e a turbidez evidenciam o estado de decomposição do esgoto, com isso, o esgoto fresco possui cor típica acinzentada e a cor preta indica sua decomposição parcial (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Nos esgotos domésticos, a matéria orgânica pode ser encontrada em solução, representada pelos sólidos orgânicos dissolvidos, que são rapidamente biodegradáveis, e em suspensão, refletida nos sólidos suspensos em meio líquido, que são lentamente biodegradáveis (SILVA; BERNARDES; RAMOS, 2015).

Segundo Jerônimo et al. (2012), a concentração de matéria orgânica pode ser determinada de forma indireta pela análise de consumo do oxigênio e oxidação química. As principais variáveis envolvidas nesse processo são a concentração de oxigênio dissolvido (OD), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO).

Nutrientes como o nitrogênio e fósforo, presentes na caracterização do esgoto doméstico, permanecem em abundância na sua composição mesmo pós-tratado, tornando-se um problema desafiador, onde a poluição promovida por seu lançamento em excesso nas águas

resulta na eutrofização, que por sua vez estimula um crescimento excessivo de algas nos ambientes aquáticos exercendo ações deletérias e levando à degradação da qualidade dos mananciais (LI et al., 2020; PENG et al., 2020; ZHANG et al., 2021).

As características biológicas do esgoto sanitário são determinadas por uma complexa variedade de patógenos que é excretada por humanos nas fezes, urina e descamação da pele (MARTÍNEZ-PUCHOL et al., 2020). A contaminação ocasionada por esses patógenos provenientes do esgoto contribui para a perda da qualidade da água (BETANCOURT et al., 2014; GARCÍA-ALJARO et al., 2018) e pode causar prejuízos à saúde pública, visto que os corpos hídricos receptores tornam-se reservatórios de microrganismos patogênicos resistentes à antibióticos (AMÉRICO-PINHEIRO et al., 2021; STORTO et al., 2021).

Os principais microrganismos presentes nos efluentes sanitários são fungos, protozoários, vírus, algas e bactérias. As bactérias desempenham função primordial na estabilização da matéria orgânica tanto na natureza quanto nas estações de tratamento. Da mesma forma, algumas dessas bactérias como as do grupo dos coliformes termotolerantes são utilizadas como indicadores de contaminação fecal de corpos d'água (BRASIL, 2019). Nesse grupo, destaca-se a *Escherichia coli* amplamente utilizada em estudos de monitoramento de qualidade de águas superficiais (AMÉRICO-PINHEIRO et al., 2021; STORTO et al., 2021).

Os vírus entéricos originários de águas residuais humanas sofrem transporte rápido por meio de ambientes aquáticos e em contrapartida, possuem difícil remoção do meio (FARKAS et al., 2020). No cenário mundial atual, a pandemia do novo Corona Vírus (SARS-CoV-2) marcou um aumento da consciência pública sobre o saneamento (BOGLER et al., 2020) relacionada diretamente à detecção de SARS-CoV-2 no esgoto sanitário (RIMOLDI et al., 2020; TRAN et al., 2021; THAKUR et al., 2021; AHMED et al., 2021).

Estudos apontam que outros contaminantes podem estar presentes na caracterização dos esgotos sanitários entre eles destacam-se as drogas ilícitas e produtos farmacêuticos (BAKER; KASPRZYK-HORDERN, 2011), os agentes tensoativos presentes em produtos de limpeza (GRANATTO et al., 2019), antibióticos (CUNHA et al., 2021), anti-inflamatórios (AMÉRICO et al., 2012; RAGASSI et al., 2019), fibras microplásticas resultantes de produtos têxteis de higiene pessoal (BRIAIN et al., 2020), metais pesados (MOLOI; OGBEIDE; OTOMO, 2020; CHAI et al., 2021), produtos farmacêuticos para cuidados pessoais (RASHID; LIU, 2021) e nanocelulose proveniente do papel higiênico (ESPÍNDOLA et al., 2021). A ocorrência desses contaminantes pode estar associada ao fato de que muitas estações de tratamento de esgoto urbano também tratam, simultaneamente, águas residuais industriais (GAO et al., 2020).

Alguns desses compostos presentes nos esgotos sanitários em baixas concentrações ($\mu\text{g L}^{-1}$ a ng L^{-1}) podem causar efeitos tóxicos sobre os seres vivos expostos (LEITE; AFONSO; AQUINO, 2010). Nesse contexto, o lançamento e diluição de efluentes merece acompanhamento adequado por parte dos órgãos gestores, por meio do seu monitoramento e controle dos impactos provocados por eles nos cursos d'água receptores (MARÇAL; SILVA, 2017).

4.2 LEGISLAÇÕES PERTINENTES AO LANÇAMENTO DE EFLUENTE SANITÁRIO NO BRASIL

A gestão dos recursos hídricos está associada aos processos de decisões políticas no âmbito ambiental, social, econômico e cultural (SILVA et al., 2018). O impacto do lançamento de efluentes originados de estações de tratamento de esgotos sobre esses recursos gera grande

preocupação a fim de se assegurar a qualidade das águas, a seleção dos locais de descarga bem como o nível de tratamento exigido para a destinação final ambientalmente adequada. Esses aspectos são balizados por uma série de legislações, critérios, políticas e revisões que tem por finalidade garantir que os impactos causados pelo lançamento desses efluentes sejam aceitáveis e não prejudiciais ao meio (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2005).

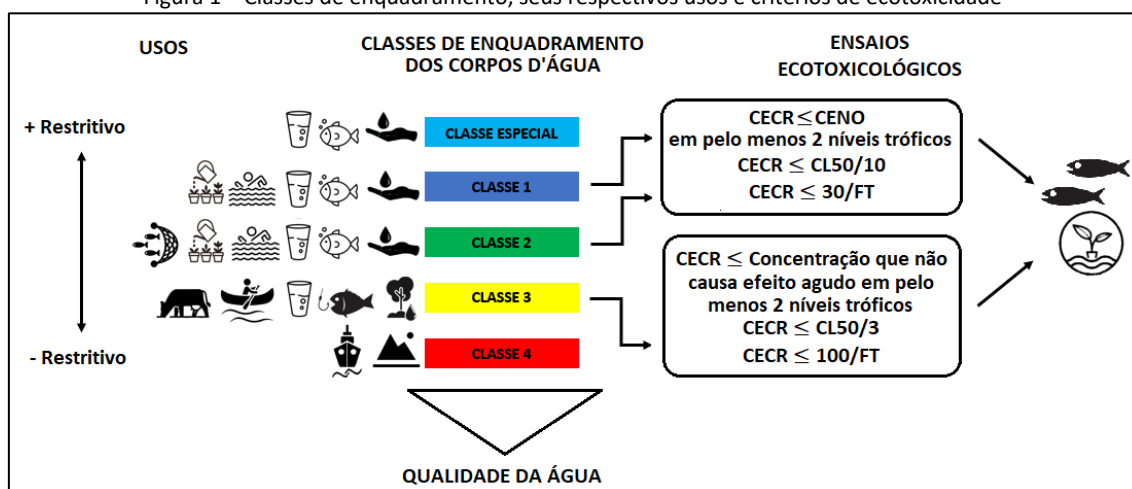
Dessa forma, a toxicologia regulatória é responsável por estabelecer padrões de qualidade e critérios específicos para cada classe de enquadramento e uso da água, ocupando um papel chave na proteção dos recursos hídricos, fundamentada nas normas nacionais, estaduais e municipais, regulamentando a disposição de efluentes em corpos hídricos e garantindo a proteção aos múltiplos usos da água (UMBUZEIRO; KUMMEOW; REI, 2010).

As resoluções federais brasileiras que estabelecem parâmetros de qualidade da água e padrões de lançamento são, respectivamente, a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para seu enquadramento (BRASIL, 2005), e a Resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementando e alterando a resolução anteriormente citada (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA 430/2011, representa um considerável avanço em relação à ecotoxicologia (ALMEIDA; ROSA; PAIXÃO, 2013), esta determina que os efluentes lançados em corpo hídrico receptor não podem possuir potencial ou causar efeitos tóxicos nos organismos aquáticos que ali vivem, baseando-se em resultados de ensaios ecotoxicológicos realizados com referência na concentração do efluente no corpo receptor (CECR) e seus efeitos para com os organismos aquáticos de pelo menos dois níveis tróficos diferentes (BRASIL, 2011).

Os resultados para ensaios de ecotoxicidade são expressos na forma de concentração da amostra que causa mortalidade de 50% dos organismos testados (CL50), concentração da amostra que causa um efeito agudo em 50% dos organismos testados (CE50), concentração de efeito não observado (CENO) e concentração de efeito observado (CEO). Para efluentes, os resultados são expressos em porcentagem e representam relação inversa à toxicidade, ou seja, quanto menor o valor numérico, maior a toxicidade (COSTA et al., 2008). Na Figura 1 encontram-se as classes de enquadramento para cursos d'água de acordo com seu uso e a caracterização dos ensaios ecotoxicológicos de acordo com o lançamento de efluentes.

Figura 1 – Classes de enquadramento, seus respectivos usos e critérios de ecotoxicidade



Fonte: Adaptado de Brasil (2005) e Brasil (2011).

Apesar dos avanços na legislação, apenas metade do esgoto tratado no Brasil está atingindo os padrões nacionais de qualidade para lançamento, demonstrando que os municípios que implantaram políticas para o tratamento dos esgotos gerados não possuem a preocupação de atingir os índices estabelecidos para lançamento pela legislação (PASSARINI et al., 2014).

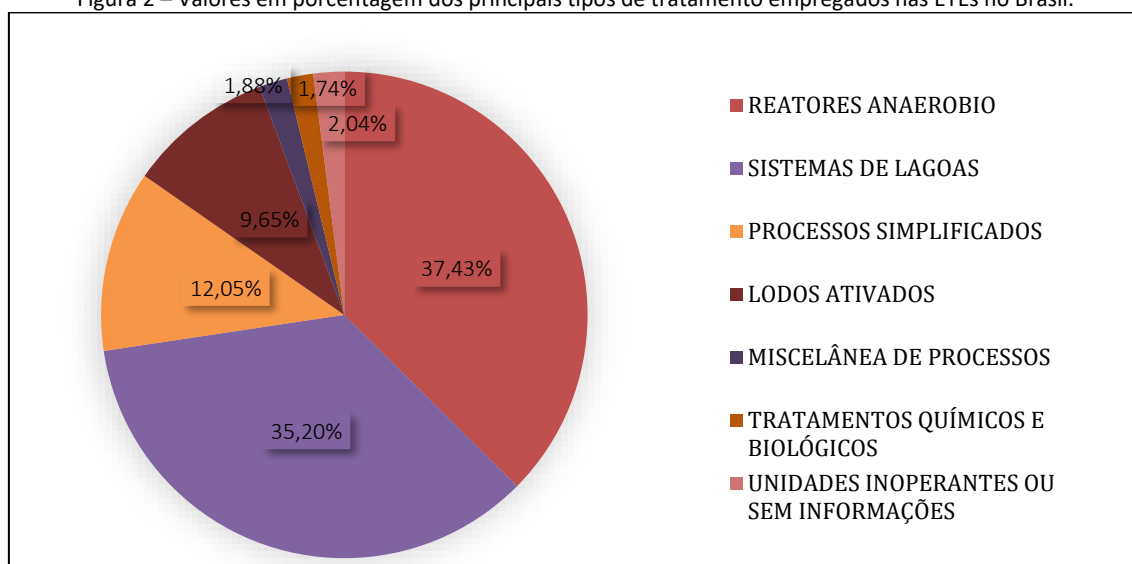
4.3 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

De acordo com a NBR 12.209, a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é definida como um conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades que tem como finalidade diminuir cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento (ABNT, 1992).

Os sistemas de tratamento das ETEs podem ser classificados por definição (aeróbio, anaeróbio), operação (física, química e biológica) e nível de tratamento (pré-tratamento, primário, secundário, terciário) (CORNELLI et al., 2014). As ETEs assumem a responsabilidade, através de processos químicos, físicos e biológicos, que o efluente lançado esteja de acordo com seu respectivo enquadramento para que haja não comprometa da capacidade de autodepuração intrínseca aos corpos hídricos (SILVA et al., 2016).

Em levantamento realizado pela Agência Nacional das Águas (ANA) em 2020, foram identificadas 3.668 estações de tratamento de esgotos (ETEs) no Brasil, sendo que 3.419 se encontram no *status* “ativa”. Os principais tipos de tratamento utilizados são reatores anaeróbios (1.373 unidades), sistemas de lagoas (1.291 unidades), processos simplificados (442 unidades), lodos ativados (354 unidades), miscelânea de processos (69 unidades) e tratamentos químicos e biológicos (64 unidades). As demais unidades estavam inoperantes ou não possuíam informações (BRASIL, 2020). Os valores em porcentagem dos sistemas de tratamento de esgoto empregados no Brasil estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Valores em porcentagem dos principais tipos de tratamento empregados nas ETEs no Brasil.



Fonte: Adaptado de Brasil (2020).

No Estado de São Paulo, a Companhia de Saneamento Básico do Estado (CETESB) é responsável pelo tratamento do esgoto proveniente de 364 municípios, com cerca de 487 ETEs, que recebem efluentes de residências, estabelecimentos comerciais e indústrias. As principais

tecnologias usadas pela companhia para o tratamento são os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA), lagoas facultativas, lagoas anaeróbias, lagoas aeradas, valas de infiltração, flotores e lagoas de maturação (SÃO PAULO, 2014).

Em uma análise de confiabilidade realizada com ETEs em operação no Brasil, com seis processos de tratamento diferentes, Oliveira e Von Sperling (2008), identificaram que poucos dos sistemas de tratamento, nas condições de operação observadas, apresentavam desempenho confiáveis capazes de atender os padrões analisados (DBO, DQO, sólidos suspensos totais, nitrogênio total, fosforo total e coliformes termotolerantes).

Gonçalves, Marques e Saraiva (2015), identificaram a ineficiência ao atendimento da remoção de parâmetros como DBO, DQO e sólidos suspensos totais, na avaliação de duas ETEs de grande porte e em escala real em Belo Horizonte - MG. Ao analisar cinco diferentes estações de tratamento de esgoto em Aracaju, Chaves et al. (2017), identificou que as eficiências de remoção de poluentes de todas as estações apresentaram valores abaixo do esperado para o tipo de tratamento adotado para os parâmetros DBO, nitrogênio, fósforo total e coliformes termotolerantes. Apenas duas das ETEs analisadas cumpriram todas as condições exigidas pela Resolução CONAMA 430 de 2011 (BRASIL, 2011).

O tratamento de esgotos sanitários em ETEs pode apresentar adequado enquadramento segundo os padrões de lançamento em corpos hídricos estabelecidos pela legislação, porém, determinados parâmetros que não são contemplados pelas leis e estão presentes em sua composição podem comprometer a qualidade do ambiente em que são lançados (RODRIGUES; JÚNIOR; SALEH, 2015). Considerando-se os contaminantes emergentes, as ETEs não estão devidamente equipadas para remover essas substâncias contidas nas águas residuais domésticas e industriais em concentrações traço (MARTÍN-POZO et al., 2019). A ocorrência de fármacos como anti-inflamatórios foi registrada em esgoto bruto e tratado de ETEs no Brasil com diferentes sistemas de tratamento, evidenciando a persistência desses compostos após o tratamento (AMÉRICO et al., 2012; RAGASSI et al., 2019).

Traços de contaminantes orgânicos como produtos farmacêuticos e de cuidados pessoais representam ameaças globais ao ecossistema aquático, diante disso, a escolha da tecnologia de tratamento de esgoto eficaz requer uma consideração cuidadosa de implicações ambientais, econômicas e sociais, visando não apenas as adequações aos parâmetros físico-químicos e biológicos tradicionais inseridos nas legislações (MELVIN; LEUSCH, 2016). Dessa forma, para garantir a segurança e qualidade da água e de seus múltiplos usos, seu monitoramento deve ser realizado de forma integrada, utilizando organismos bioindicadores aliados aos parâmetros tradicionais de qualidade da água (SILVA et al., 2021).

4.4 ECOTOXICIDADE DO ESGOTO SANITÁRIO

A ecotoxicologia é uma ciência com instrumentos de análise capazes de responder de forma preditiva à toxicidade de compostos químicos, sinalizando os potenciais efeitos ecotoxicológicos e seus mecanismos de ação nos organismos, avaliando a concentração-efeito e concentração-resposta por meio de ensaios de exposição aguda e crônica (MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008).

A toxicidade remanescente dos efluentes pós-tratados pode indicar efeitos deletérios aos organismos aquáticos presentes nos corpos hídricos receptores. Diante do exposto, os ensaios ecotoxicológicos possuem a peculiaridade de caracterizar os efluentes líquidos de forma

mais abrangente, englobando todos os seus constituintes químicos, principalmente pelo fato de acusar a biodisponibilidade das substâncias presentes, detectando assim os possíveis efeitos tóxicos das substâncias constituintes bem como de suas interações (BERTOLETTI, 2013).

Diversos estudos registraram a toxicidade de esgoto sanitário tratado ou não para organismos aquáticos de diferentes níveis tróficos como crustáceos, moluscos e peixes. Os principais efeitos observados são alterações no comportamento, estresse oxidativo, fecundidade e desregulação endócrina (BARTOLINI et al., 2009; WAN et al., 2015; CHEN et al., 2016). No Quadro 1 são apresentados resultados de ensaios ecotoxicológicos com organismos aquáticos exposto a efluentes sanitários.

Quadro 1 – Efeitos ecotoxicológicos em organismos aquáticos expostos a efluentes sanitários

Referência	Ensaio	Resultados
Movahedian, Bina e Asghari (2005)	Toxicidade aguda de efluente doméstico bruto e tratado para <i>Daphnia magna</i>	CL50 do esgoto bruto: 30% CL50 do esgoto após tratamento preliminar: 32% CL50 após tratamento primário: 53% CL50 após tratamento secundário: 85%
Diniz et al. (2005)	Exposição do peixe <i>Carassius carassiu</i> durante 28 dias a efluentes doméstico tratados	Em machos: atividade estrogênica com indução de vitelogenina (biomarcador encontrada em fêmeas) e alterações histológicas nos testículos. Em fêmeas: degeneração oocitária, oócitos atréticos e inibição de oogênese.
Bartolini et al. (2009)	Exposição duas espécies de caranguejo violinista (<i>Uca annulipes</i> e <i>Uca inversa</i>) a esgoto doméstico	Efluente promoveu modificação no comportamento dos organismos nas diluições de 20%, 40% e 60% na água do mar.
Wan et al. (2015)	Exposição do molusco <i>Meretrix meretrix</i> por 15 dias a diferentes concentrações de efluentes domésticos	Alterações bioquímicas nas brânquias e estresse oxidativo.
Chen et al. (2016)	Exposição do peixe <i>Oryzias melastigma</i> a esgoto doméstico com presença de produtos farmacêuticos em por 21 dias	Alterações na fecundidade, comportamento sexual e expressão gênica.
Barszcz et al. (2019)	Desempenho de sistemas alagados construídos na redução da toxicidade de efluentes domésticos por ensaios de toxicidade aguda com o microcrustáceo <i>Daphnia similis</i> .	CE50 para esgoto bruto: 1,33%. CE50 para o efluente tratamento: de 59 a 78%. Sistemas alagados construídos são eficientes na redução da toxicidade de efluentes domésticos.
Ribeiro et al. (2020)	Ensaio de embriotoxicidade por meio de exposição do peixe <i>Danio rerio</i> (paulistinha) a efluente de ETE com tratamento primário quimicamente assistido	Letalidade de embriões. Embriões com alterações fisiológicas, sensoriais, esquelética e musculares.
Silva et al. (2021)	Exposição do peixe <i>D. rerio</i> a efluentes municipais tratados em reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) com parâmetros de eficiência aceitáveis pela legislação	O efluente tratado atingiu eficiência aceitável para os parâmetros contidos na legislação, porém, promoveu efeitos tóxicos agudos e crônicos para os diferentes estágios de vida do <i>D. rerio</i> (embrião, larval e adulto) exposto ao efluente bruto e tratado, classificado como altamente tóxico (25% < CL 50 < 50%). Aumento da atividade estrogênica do esgoto tratado em relação ao bruto.

Fonte: Elaborado pelos autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A composição do esgoto sanitário pode variar e não deve ser baseada apenas nos parâmetros inseridos nas legislações brasileiras de água e efluentes. A complexidade de sua caracterização está relacionada às atividades exercidas pela população, bem como pela capacidade suporte das estações de tratamento municipais em receber efluentes provenientes de indústrias. Dessa forma, mesmo que o esgoto seja tratado visando atender os limites exigidos para os parâmetros físico-químicos e biológicos estabelecidos por lei, o efluente doméstico pode apresentar um alto potencial de toxicidade para várias espécies aquáticas.

Resíduos de contaminantes emergentes como fármacos, produtos de higiene pessoal, metais e microplástico não são totalmente removidos em sistemas de tratamento de esgoto convencionais, visto que são detectados em efluentes sanitários tratados. Consequentemente, as análises ecotoxicológicas representam um notável mecanismo para indicação da eficiência da remoção dos contaminantes emergentes presentes em efluente sanitário tratados, além da indicação dos efeitos deletérios provocados por esses resíduos ao meio ambiente e aos ecossistemas associados ao manancial receptor.

A inserção de parâmetros para contaminantes emergentes nas legislações que definem padrões de lançamento de efluentes e implantação de sistemas de tratamento objetivando a remoção desses compostos é fundamental para reduzir ou impactos nos recursos hídricos. Outra medida válida é a promoção de políticas públicas para conscientização do consumo indiscriminado de fármacos e de produtos químicos inseridos no uso cotidiano da população, bem como a obrigatoriedade da logística reversa para alguns tipos de produtos com maior potencial nocivo ao meio ambiente e a garantia do descarte adequado dos mesmos, promovendo assim a proteção da qualidade da água e de seus usos múltiplos.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1992.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.
- AHMED, W. et al. SAR-CoV-2 RNA monitoring in wastewater as a potential early warnig system for COVID-19 transmission in the community: A temporal case study. **Science of the Total Environment**, v. 761, 144216, p. 1-9, 2021. Disponível em: <<http://twixar.me/SN8m>>. Acesso em: 17 maio 2021.
- ALMEIDA, E. dos. S.; ROSA, E. V. C.; PAIXÃO, J. F. da. Avaliação da legislação para lançamento de efluentes em relação à ecotoxicidade. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 4., Salvador. **Anais eletrônicos [...]** Salvador: IBEAS, 2013. Disponível em: <<http://twixar.me/kQ8m>>. Acesso em 21 maio 2021.
- AMÉRICO, J. H. P. et al. Fármacos em uma Estação de Tratamento de Esgoto na Região Centro-Oeste do Brasil e os Riscos aos Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p. 61-67, 2012. Disponível em: <<http://twixar.me/xC8m>>. Acesso em: 21 de maio de 2021.
- AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. et al. Monitoring microbial contamination of antibiotic resistant *Escherichia coli* isolated from the surface water of urban park in southeastern Brazil. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 15, 100438, p. 1- 9, 2021. DOI 10.1016/j.enmm.2021.100438
- BAKER, D. R.; KASPRZYK-HORDERN, B. Multi-residue determination of the sorption of illicit drugs and pharmaceuticals to wastewater suspended particulate matter using pressurised liquid extraction, solid phase extraction and liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. **Journal of chromatography A**, v. 1218, p. 7901-7913, 2011. Disponível em: <<http://twixar.me/JV8m>>. Acesso em: 28 maio 2021.

- BARSZCZ, L. B. et al. Avaliação ecotoxicológica de efluentes tratados por alagados construídos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 1147-1156, 2019. Disponível em: <<http://twixar.me/D28m>>. Acesso em: 21 mai. 2021.
- BARTOLINI, F. et al. Behavioural responses of the mangrove fiddler crabs (*Uca annulipes* and *U. inversa*) to urban sewage loadings: Results of a mesocosm approach. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, p. 1860-1867, 2009. Disponível em: <<http://twixar.me/528m>>. Acesso em: 22 mai. 2021.
- BERTOLETTI, E. **Controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo**. CETESB: São Paulo, 42 p. 2013. Disponível em: <<http://twixar.me/ZC8m>>. Acesso em 20 mai. 2021.
- BETANCOURT, R. Q. et al. Cryptosporidium and Giardia in tropical recreational marine Waters contaminated with domestic sewage: Estimation of bathing-associated disease risks. **Marine Pollution Bulletin**, v. 85, n. 1, p. 268-273, 2014. Disponível em: <<http://twixar.me/ZN8m>>. Acesso em: 16 mai. 2021.
- BOGLER, A. et al. Rethinking wastewater risks and monitoring in light of the COVID-19 pandemic. **Nature Sustainability**, v. 3, p. 981-990, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/gN8m>>. Acesso em: 16 mai. 2021.
- BRANDT, E. M. F.; SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A. L. Alternativas para o controle de odores e corrosão em sistemas de coleta e tratamento de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 611-623, 2017. Disponível em: <<http://twixar.me/QV8m>>. Acesso em: 09 mai. 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 2011.
- BRASIL. Agência Nacional das Águas. **Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil**. Brasília: ANA, 2020. 44 p. Disponível em: <<http://twixar.me/DQ8m>>. Acesso em: 20 maio 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Sanemaneto**. 5 ed. Brasília: FUNASA, 2019. 545 p. Disponível em: <<http://twixar.me/cN8m>>. Acesso em: 17 mai. 2021.
- BRIAIN O. O. et al. The role of wet wipes and sanitary towels as a source of white microplastic fibres in the marine environment. **Water Research**, v. 182, 116021, p. 1-12, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/XV8m>>. Acesso em: 01 mai. 2021.
- CHAI, W. S. et al. A review on conventional and novel materials towards heavy metal adsorption in wastewater treatment application. **Journal of Cleaner Production**, v. 296, 126589, p. 1-16, 2021. Disponível em: <<http://twixar.me/bV8m>>. Acesso em: 28 mai. 2021.
- CHAVES, V. S.; et al. Desempenho das estações de tratamento de esgoto de Aracaju. **Revista DAE**, v. 66, n. 209, p. 51-58, 2018. Disponível em: <<http://twixar.me/xx8m>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- CHEN, T. H. et al. Endocrine disrupting effects of domestic wastewater on reproduction, sexual behavior, and gene expression in the brackish medaka *Oryzias melastigma*. **Chemosphere**, v. 150, p. 566-575, 2016. Disponível em: <<http://twixar.me/w28m>>. Acesso em: 22 mai. 2021.
- COLAÇO, R.; ZAMORA, P. G. P.; GOMES, E. C. Poluição por resíduos contendo compostos farmacologicamente ativos: aspectos ambientais, geração a partir dos esgotos domésticos e a situação do Brasil. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 35, n. 4, p. 539-548, 2014. Disponível em: <<http://twixar.me/488m>>. Acesso em: 04 abr. 2021.
- CORNELLI, R. et al. Métodos de tratamento de esgotos domésticos revisão sistemática. **Revista de estudos ambientais**, v. 16, n. 2, p. 20-36, 2014. Disponível em: <<http://twixar.me/3C8m>>. Acesso em: 19 mai. 2021.
- COSTA, C. R. et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008. Disponível em: <<http://twixar.me/d28m>>. Acesso em: 21 mai. 2021.

- CUNHA, C. C. R. F. da. et al. Low-temperature partitioning ex-traction followed by liquid chromatography tandem mass spectrometry determination of multiclass antibiotics in solid and soluble wastewater fractions. **Journal of Chromatography A**, v. 1650, 462256, p. 1-11, 2021. Disponível em: <<http://twixar.me/zV8m>>. Acesso em: 28 mai. 2021.
- DEL-GUERCIO, A. M. F.; CHRISTOFOLETTI C. A.; FONTANETTI, C. S. Avaliação da eficiência do tratamento de esgoto doméstico pelo teste do micronúcleo em *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1121-1128, 2017. Disponível em: <<http://twixar.me/gR8m>>. Acesso em: 07 abr. 2021.
- DINIZ, M. S. et al. Estrogenic effects in crucian carp (*Carassius carassius*) exposed to treated sewage effluent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 62, p. 427-435, 2005. Disponível em: <<http://twixar.me/z28m>>. Acesso em: 22 mai. 2021.
- ESPÍNDOLA, S. P. et al. Nanocellulose recovery from domestic wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, 124507, p. 1-10, 2021. Disponível em: <<http://twixar.me/hV8m>>. Acesso em: 01 mai. 2021.
- FARKAS, K. et al. Viral indicators for tracking domestic wastewater contamination in the aquatic environment. **Water Research**, v. 181, 115926, p. 1-20, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/4N8m>>. Acesso em: 16 mai. 2021.
- GAO, L. et al. Simultaneous nitrate and dissolved organic matter removal from wastewater treatment plant effluent in a solid-phase denitrification biofilm reactor. **Bioresource Technology**, v. 314, 123714, p. 1-8, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/xN8m>>. Acesso em 17 mai. 2021.
- GARCÍA-ALJARO, C. et al. Pathogens, faecal indicators and human-specific microbial source-tracking markers in sewage. **Journal of Applied Microbiology**, v. 126, p. 701-717, 2018. Disponível em: <<http://twixar.me/hN8m>>. Acesso em: 16 mai. 2021.
- GONÇALVES, C. A. M.; MARQUES, J. R.; SOARES, A. F. S. Avaliação da eficiência de duas modalidades de tratamento de esgoto em escala real e de grande porte. **Periódico Científico do Núcleo de Biociências**, v. 5, n. 10, p. 6-15, 2015. Disponível em: <<http://twixar.me/wx8m>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- GRANATTO, C. F. et al. Scale-up evaluation of anaerobic degradation of linear alkylbenzene sulfonate from sanitary sewage in expanded granular sludge bed reactor. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 138, p. 23-32, 2019. Disponível em: <<http://twixar.me/pV8m>>. Acesso em: 01 mai. 2021.
- HAMADA, N. et al. Avaliação Ecotoxicológica da Estação de Tratamento de Esgotos Suzano (São Paulo) Utilizando *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri*. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 6, n. 1, p. 31-35, 2011. Disponível em: <<http://twixar.me/dY8m>>. Acesso em: 07 abr. 2021.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas do saneamento 2011**. Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro, IBGE, 2011. Disponível em: <<http://twixar.me/w88m>>. Acesso em: 04 abr. 2021.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Coordenação de População e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro, IBGE, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/g88m>>. Acesso em: 04 abr. 2021.
- JERÔNIMO, C. E. M. et al. Estudo comparativo entre técnicas de determinação da matéria orgânica em efluentes industriais de composição carbonácea. **HOLOS**, v. 2, p. 34-44, 2012. Disponível em: <<http://twixar.me/J4Pm>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014. 1087 p.
- KLÜSENER, J. J. **Influência da temperatura sobre o processo de decomposição dos esgotos domésticos em lagoas facultativas**. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006. Disponível em: <<http://twixar.me/YV8m>>. Acesso em: 09 mai. 2021.
- LEITE, G. S.; AFONSO, R. J. C. F.; AQUINO, S. F. de. Caracterização de contaminantes presentes em sistemas de tratamento de esgotos, por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas tandem em alta resolução. **Química Nova**, v. 33, n. 3, p. 734-738, 2010. Disponível em: <<http://twixar.me/QN8m>>. Acesso em: 17 mai. 2021.
- LI, X. et al. Nitrogen and phosphorus removal performance and bacterial communities in a multi-stage surface flow constructed wetland treating rural domestic sewage. **Science of Total Environment**, v. 709, 136235, p. 1-9, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/J78m>>. Acesso em: 16 mai. 2021.

- MAGALHÃES, D. de. P.; FERRÃO FILHO, A. da. S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 355-381, 2008. Disponível em: <<http://twixar.me/qC8m>>. Acesso em: 21 mai. 2021.
- MARÇAL, D. A.; SILVA, C. E. Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 761-772, 2017. Disponível em: <<http://twixar.me/MN8m>>. Acesso em: 17 mai. 2021.
- MARTÍNEZ-PUCHOL, S. et al. Characterisation of the sewage virome: comparison of NGS tools and occurrence of significant pathogens. **Science of Total Environment**, v. 713, 136604, p. 1-9, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/Y78m>>. Acesso em: 16 mai. 2021.
- MARTÍN-POZO, L. et al. Analytical methods for the determination of emerging contaminants in sewage sludge samples. A review. **Talanta**, v. 192, p. 508-533, 2019. Disponível em: <<http://twixar.me/WQ8m>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- MELVIN, S. D.; LEUSCH, F. D. L. Removal of trace organic contaminants from domestic wastewater: a meta-analysis comparison of sewage treatment technologies. **Environment International**, v. 92-93, p. 183-188, 2016. Disponível em: <<http://twixar.me/ZQ8m>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980 p.
- MOLOI, M.; OGBEIDE, O.; OTOMO, P. V. Probabilist health risk assessment of heavy metals at wastewater discharge points within the Vaal River Basin, South Africa. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 224, 113421, p. 1-10, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/9V8m>>. Acesso em: 01 mai. 2021.
- MOVAHEDIAN, H.; BINA, B.; ASGHARI, G. H. Toxicity Evaluation of Wastewater Treatment Plant Effluents Using *Daphnia magna*. **Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering**, v. 2, n. 2, p. 1-4, 2005. Disponível em: <<http://twixar.me/QH8m>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. Reability analysis of wastewater treatment plants. **Water Research**, v. 42, p. 1182-1194, 2008. Disponível em: <<http://twixar.me/LQ8m>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte I – Análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005. Disponível em: <<http://twixar.me/kM8m>>. Acesso em: 18 mai. 2021.
- PASSARINI, K. C. et al. Assessment of the viability and sustainability of an integrated waste management system for the city of Campinas (Brazil), by means of ecological cost accounting. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 479-488, 2014. Disponível em: <<http://twixar.me/CM8m>>. Acesso em: 18 mai. 2021.
- PENG, S. et al. Iron-carbon galvanic cells strengthened anaerobic/anoxic/oxic process (Fe/C-A2O) for high-nitrogen/phosphorus and low-carbon sewage treatment. **Science of Total Environment**, v. 722, 137657, p. 1-13, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/y78m>>. Acesso em: 16 mai. 2021.
- RAGASSI, B. et al. Monitoramento e remoção de anti-inflamatórios em estação de tratamento de esgoto com lagoas de estabilização. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 53, p. 1-12, 2019. Disponível em: <<http://twixar.me/sC8m>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- RASHID, S. S.; LIU, Y. Q. Comparison of life cycle toxicity assessment methods for municipal wastewater treatment with the inclusion of direct emissions of metals, PPCPs and EDCs. **Science of the Total Environment**, v. 756, 143849, p. 1-13, 2021. Disponível em: <<http://twixar.me/lV8m>>. Acesso em: 01 mai. 2021.
- RIBEIRO, R. X. et al. Ecotoxicological assessment of effluents from Brazilian wastewater treatment plants using zebrafish embryotoxicity test: A multibiomarker approach. **Science of the Total Environment**, v. 735, 139036, p. 1-10, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/W28m>>. Acesso em: 21 mai. 2021.
- RIMOLDI, S. G. et al. Presence and infectivity of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers. **Science of the Total Environment**, v. 744, 140911, p. 1-8, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/bN8m>>. Acesso em: 16 mai. 2021.

- RODRIGUES, A. de. M.; JÚNIOR, E. D. da. S.; SALEH, B. B. Estudo qualitativo da água do Ribeirão Campo Alegre mediante influência da Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Santa Helena de Goiás. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 752-760, 2015. Disponível em: <<http://twixar.me/n68m>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emissões do setor de resíduos sólidos e efluentes líquidos (2009-2010)**. São Paulo: CETESB, 2014. 99 p. Disponível em: <<http://twixar.me/FQ8m>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Fundamentos do controle de poluição das águas**. São Paulo: CETESB, 2018. Disponível em: <<http://twixar.me/fv8m>>. Acesso em: 01 mai. 2021.
- SILVA, A. R. da. et al. A gestão e o monitoramento das águas: uma abordagem das legislações em Portugal e no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n.4, p. 1512-1525, 2018. Disponível em: <<http://twixar.me/QM8m>>. Acesso em: 18 mai. 2021.
- SILVA, D. dos. S.; et al. A multibiomarker approach in the caged neotropical fish to assess the environment health in a river of central Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v. 751, 141632, p. 1-12, 2021. Disponível em: <<http://twixar.me/hQ8m>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- SILVA, I. M. da.; et al. Caracterização do efluente da estação de tratamento de esgoto – Unidade Mangabeira – João Pessoa/PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., 2016, Campina Grande. **Anais eletrônicos [...]** Campina Grande: IBEAS, 2016. Disponível em: <<http://twixar.me/0Q8m>>. Acesso em: 18 mai. 2021.
- SILVA, P. R. da. et al. Evaluation of toxicity and estrogenicity in UASB- Treated municipal sewage. **Chemosphere**, v. 268, 128778, p. 1-9, 2021. Disponível em: <<http://twixar.me/v28m>>. Acesso em: 22 mai. 2021.
- SILVA, S. C. da.; BERNARDERS, R. S.; RAMOS, M. L. G. Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 533-542, 2015. Disponível em: <<http://twixar.me/L78m>>. Acesso em: 16 mai. 2021.
- STORTO, D. et al. Seasonal Dynamics of Microbial Contamination and Antibiotic Resistance in the Water at the Tietê Ecological Park, Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 232, n. 257, p. 1-18, 2021. DOI 10.1007/s11270-021-05207-Y
- THAKUR, A. K. et al. Secondary transmission of SARS-CoV-2 through wastewater: Concerns and tactics for treatment to effectively control the pandemic. **Journal of Environmental Management**, v. 290, 112668, p. 1-11, 2021. Disponível em: <<http://twixar.me/yN8m>>. Acesso em: 17 mai. 2021.
- TRAN, H. N. et al. SARS-CoV-2 coronavirus in water and wastewater: a critical review about presence and concern. **Environmental Research**, v. 193, 110265, p. 1-12, 2021. Disponível em: <<http://twixar.me/9N8m>>. Acesso em: 16 mai. 2021.
- UMBUZEIRO, G. de. A.; KUMMROW, F.; REIS, F. F. C. Toxicologia, padrões de qualidade de água e Legislação. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 1-15, 2010. Disponível em: <<http://twixar.me/KQ8m>>. Acesso em: 18 mai. 2021.
- VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4. ed. Belho Horizonte: Editora UFMG, 2014. 452 p.
- WAN, R. et al. Biochemical responses in the gills of *Meretrix meretrix* after exposure to treated municipal effluent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 111, p. 78-85, 2015. Disponível em: <<http://twixar.me/b28m>>. Acesso em: 22 mai. 2021.
- ZHANG, M. et al. Simultaneous aerobic removal of phosphorus and nitrogen by a novel salt-tolerant phosphate-accumulating organism and the application potential in treatment of domestic sewage and aquaculture sewage. **Science of the Total Environment**, v. 758, 143580, p. 1-12, 2021. Disponível em: <<http://twixar.me/g78m>>. Acesso em: 16 mai. 2021.