

A EMISSÃO DE GÁS SULFÍDRICO NO TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTOS SANITÁRIOS E A DISPERSÃO DE ODOR

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.IX-019>

Alexandra Fátima Saraiva Soares (*), Lorena Grochowski Sabino dos Santos, Rafaela Franco

* IEC - PUC Minas / Ministério Público de Minas Gerais. E-mail: asaraiva.soares@gmail.com

RESUMO

Neste trabalho foram apresentados inconvenientes do gás sulfídrico gerado em sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos sanitários, como os reatores *Upflow anaerobic sludge blanket* (UASB), bem como demonstrados métodos utilizados para se controlar a dispersão desse gás no ambiente. Trata-se de pesquisa de abordagem qualitativa, exploratória e realizada mediante análise da legislação e literatura técnica pertinentes. Os problemas com geração de odores nas estações de tratamento de esgotos tendem a se concentrar, além dos reatores anaeróbios, nas unidades de entrada, tratamento preliminar e primário, diminuindo à medida que se acompanha o fluxo de tratamento, e em diversas unidades de tratamento de lodo e recirculações internas onde exista elevada carga orgânica. Dentre esses inconvenientes do gás sulfídrico gerado nessas estações de tratamento, citam-se o odor desagradável com potencial tóxico aos seres humanos e característica corrosiva. O estudo apresentou impactos e métodos para conhecer a dispersão do gás sulfídrico no ambiente, visando o monitoramento e adoção de técnicas de controle. Dessa forma, ações devem ser adotadas pelos empreendedores, prestadores de serviços de esgotamento sanitário, para se conhecer a dispersão desses gases no ambiente e assim controlar seus impactos negativos.

PALAVRAS-CHAVE: Odor, gás sulfídrico, tratamento anaeróbio, esgoto

INTRODUÇÃO

O impacto das substâncias poluentes na atmosfera depende da composição e concentração das mesmas, assim como das condições climáticas na região de emissão.

No Brasil, os tratamentos de esgotos sanitários são, em geral, da modalidade biológica, devido a questões ambientais e de custo. Esses tratamentos são utilizados para propiciar, principalmente, a remoção da matéria orgânica. Em estações de tratamento de esgoto (ETE) sob regime anaeróbio, são gerados gases considerados nocivos ao meio ambiente e à saúde pública. Dentre esses gases, destaca-se o gás sulfídrico (H_2S) ou sulfeto de hidrogênio. A geração desse gás nas estações anaeróbias de tratamento de esgotos é inevitável e o mesmo se caracteriza por ser malcheiroso, ocasionando impacto negativo à população residente no entorno das ETES (ALVES *et. al.*, 2002). Esse gás é formado a partir da ação de microrganismos sobre sulfatos e outros compostos de enxofre em condições anaeróbias.

Além dessa consequência negativa, Silva (2008) explica que o gás sulfídrico é altamente tóxico aos seres humanos, uma vez que ele *combina com o ferro do citocromo e outros compostos essenciais que contêm ferro na célula.*

Dentre as fontes de emissão do gás sulfídrico estão os reatores de fluxo ascendente do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), modalidade de tratamento de esgoto cada vez mais utilizada em Minas Gerais. O tratamento de esgotos é realizado por micro-organismos anaeróbios que convertem a matéria orgânica do esgoto em gases como metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e os sulfatos em sulfeto de hidrogênio (H_2S). Em condições anaeróbias, os micro-organismos decompõem o enxofre orgânico das proteínas dos seres vivos transformando-o em sulfeto de hidrogênio.

As emissões de sulfeto de hidrogênio constituem a principal causa de corrosões e geração de odores desagradáveis nas estações de tratamento de esgotos. Nesse contexto, a revisão apresentada neste trabalho visa a identificar e demonstrar métodos utilizados para se controlar a dispersão desse gás no ambiente.

OBJETIVO

O objetivo deste artigo é demonstrar os inconvenientes do gás sulfídrico gerado em sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos sanitários, como os reatores UASB, bem como analisar os métodos utilizados para se controlar a dispersão desse gás no ambiente, no intuito de levantar possíveis medidas de contenção da poluição atmosférica.

METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho, procedeu-se ao estudo da geração do gás sulfídrico no processo anaeróbio de estabilização da matéria orgânica carbonácea presente nos esgotos sanitários. Posteriormente, foram levantadas as concentrações médias teóricas do gás sulfídrico geradas nesse processo anaeróbio de estabilização da matéria orgânica, bem como os inconvenientes ambientais associados. Buscou-se, na literatura técnica pertinente, métodos aplicados para se conhecer e controlar a dispersão do gás no ambiente. Para o desenvolvimento desta pesquisa, a abordagem da questão foi qualitativa, exploratória e realizada mediante análise da legislação e literatura técnica pertinentes.

Complementarmente, foi conduzida a interpretação de resultados de análises laboratoriais (exploratórias), no intuito de conhecer as diferentes concentrações do gás sulfídrico nas fases aquosas do processo anaeróbio de degradação da matéria carbonácea no reator UASB, seguido por filtros biológicos percoladores (FBP), bem como no corpo de água receptor de esgoto.

RESULTADOS

O gás sulfídrico (H_2S) é categorizado como um poluente do tipo Enxofre Reduzido Total (ERT). Os compostos de enxofre reduzidos podem ocorrer naturalmente no ambiente como resultado da degradação microbiológica de matéria orgânica contendo sulfatos, sob condições anaeróbias, e como resultado da decomposição bacteriológica de proteínas. Esses compostos produzem odor desagradável, semelhante ao de ovo podre ou repolho, mesmo em baixas concentrações. (CETESB), sendo detectado pela maioria dos indivíduos em concentrações baixas, como 2 a 4 ppb, e é letal em concentrações acima de 300 ppm.

O H_2S é gerado em etapas de baixa circulação do efluente em estações de tratamento, como em decantadores primários, adensadores, tanques de estabilização e áreas de manejo de lodo. Esse gás tem potencial efeito adverso tanto nas condições de operação da ETE, constituindo a principal causa de corrosões (AUGUSTO *et al.*, 2017) das estruturas em concreto, ferro e metais, como na qualidade do ar e na saúde pública (SOARES, FEIDEN e TAVARES, 2017).

Os problemas com geração de odores, em uma ETE, tendem a se concentrar, além dos reatores anaeróbios, nas unidades de entrada, tratamento preliminar e primário, diminuindo à medida que se acompanha o fluxo de tratamento. Contudo, também ocorre nas diversas unidades de tratamento de lodo e recirculações internas, onde exista elevada carga orgânica. À título de exemplificação, são apresentadas Quadro 1 algumas concentrações típicas de H_2S na atmosfera em diferentes unidades de sistemas de tratamento de esgoto doméstico, compiladas no estudo de Chernicharo *et al.* (2010).

Quadro 1: Concentrações típicas de H_2S na atmosfera em unidades de sistemas de tratamento de esgoto doméstico. Fonte: (CHERNICHARO *et al.*, 2010).

Unidade do sistema	Concentrações médias ou típicas		Referência
	mg/m ³	ppm	
Tubulação de esgoto	0 a 417	0 a 300	Matos e Aires (1995)
	70 a 556	50 a 400	Jobbágy <i>et al</i> (1994)
Estação elevatória	4,8	3,3	Bohn (1993)
	0,57	0,4	Silva <i>et al</i> (2007)
	1 a 3	0,7 a 2,0	Antunes e Mano (2004) <i>apud</i> Silva <i>et al</i> (2007)
Unidade de pré-tratamento	3,5	2,4	Bohn (1993)
	2,8 a 51,5	2 a 37	Al-Shammiri (2004)
Desidratação lodo	6,5	4,5	Bohn (1993)
Gás residual oriundo do compartimento de decantação de reator UASB	0 a 73	0 a 50	Pagliuso, Passig e Villela (2002), Souza (2010), Souza, Chernicharo e Melo (2010)
Gás residual oriundo de caixa de dissipação localizada na linha de coleta do efluente de reator UASB	146 a 730	100 a 500	Pagliuso, Passig e Villela (2002), Souza (2010)

A princípio, no tratamento preliminar, há geração de odor devido à decomposição de matéria que se acumula nas grades, paredes dos canais, esteiras transportadoras, além das caixas de areia e desarenadores. Nesse sentido, constata-se que durante o período em que esse material retido (sólido grosseiro) permanece nas unidades da estação, aplica-se a cal (óxido de cálcio - CaO) como forma de controlar a liberação de mau-cheiro e proliferação de insetos.

No que tangem os decantadores primários, eles consistem em importantes fontes de odores quando o tempo de detenção do efluente for maior que o recomendado. Já em decantadores secundários, o odor ocorre devido à presença de sólido em suspensão na superfície do decantador, fato comum de ocorrer em ETEs que operam com idade de lodo elevada, com vistas a remoção biológica de nitrogênio. Nesse sentido e conforme o Manual de Saneamento da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), pode-se diferenciar odores característicos do esgoto causados pelos gases formados no processo de decomposição, sendo o odor de “mofo”, razoavelmente suportável e típico do esgoto fresco, e o odor de “ovo podre” insuportável e típico do esgoto velho ou séptico, devido a presença do gás sulfídrico (SNatural Ambiente, 2021).

Os reatores biológicos em geral, quando em manutenção, também são fonte de odores, sendo que a emissão pode ser intensificada a depender do desempenho do reator (CHERNICHARO, 2010). Assim, a limpeza dessas unidades deverá ser breve.

Também constituem fontes em potencial para geração de odores desagradáveis, operações para manejo e tratamento de lodo, tais como processos de adensamento, digestão, desidratação, secagem e estocagem. O acúmulo de lodo no fundo dos adensadores favorece a decomposição anaeróbia e a consequente produção de H_2S e outros compostos de enxofre, assim como a presença de material flotado na superfície do adensador que deve ser restringida. Recomenda-se que os adensadores por gravidade sejam cobertos, e que quando localizados em áreas muito sensíveis, as manobras para retirada de lodo sejam realizadas de forma planejada.

Após digestão, o lodo tem um odor menos ofensivo, já que a maior parte dos sólidos orgânicos voláteis foi convertida a metano e CO_2 (digestão anaeróbia) ou água e CO_2 (digestão aeróbia). Na digestão anaeróbia, o potencial para produção de odores está associado ao gás liberado para a atmosfera ou às bolhas de gás retidas no lodo digerido. Nesses casos, o controle de odores deverá estar concentrado no biogás produzido, o qual deverá ser queimado em queimadores e não liberados diretamente para a atmosfera.

No processo de desaguamento, o lodo está sujeito a considerável turbulência e, dependendo do método adotado, de acordo com publicação da SNatural Ambiente (2021), há longos períodos em contato com a atmosfera e isso pode gerar emissão de odores. O desaguamento de lodo não digerido (primário ou ativado) está normalmente associado a liberação de odor típico e malcheiroso. Assim, uma das formas de minimização de odores durante a desidratação é operar apenas com lodo digerido. Ademais, o uso da cal como condicionador eleva o pH do lodo e favorece a liberação de compostos amoniacais. Já a utilização de polieletrólitos provoca a liberação de sulfetos e ácidos graxos voláteis, sendo estes últimos detectáveis em concentrações menores que a da amônia. No tocante às prensas desaguadoras, onde o contato do material a ser desaguado com a atmosfera é prolongado, uma alternativa pode ser a colocação de coifas sobre as mesmas, de forma a confinar o ar.

A secagem de lodo envolve um contato intenso com ar quente, onde a maioria dos compostos geradores de odores desagradáveis são volatilizados e passam a fazer parte da corrente de ar.

A Figura 1 demonstra um ponto de geração de gás sulfídrico em ETE, devido à turbulência do esgoto, e a Figura 2 denota corrosão do concreto no interior de um reator UASB em operação.



Figura 1: Vista de ponto de emissão de gás sulfídrico em reator UASB. Fonte: ACP n° 5208124-27.2019.8.13.0024 (TJMG).



Figura 2: Corrosão do concreto em parte interna do reator anaeróbio. Fonte: ACP n° 5208124-27.2019.8.13.0024 (TJMG).

Ressalta-se que a presença de sulfeto no corpo hídrico receptor dos esgotos, em concentrações acima do valor máximo permitido, pode também apresentar causalidade com a fonte dos odores, uma vez que essa substância apresenta forte odor, além de ser corrosiva e tóxica. Nesse sentido, na Figura 3 são apresentados resultados de monitoramento do sulfeto de hidrogênio, realizado no 1º semestre de 2023, em diferentes pontos de um corpo de água receptor situado nas proximidades de estação de tratamento de esgoto (modalidade UASB) em Alfenas/MG. Nota-se violação do padrão de qualidade para cursos de água Classe 2 em todos os pontos avaliados em duplicata.

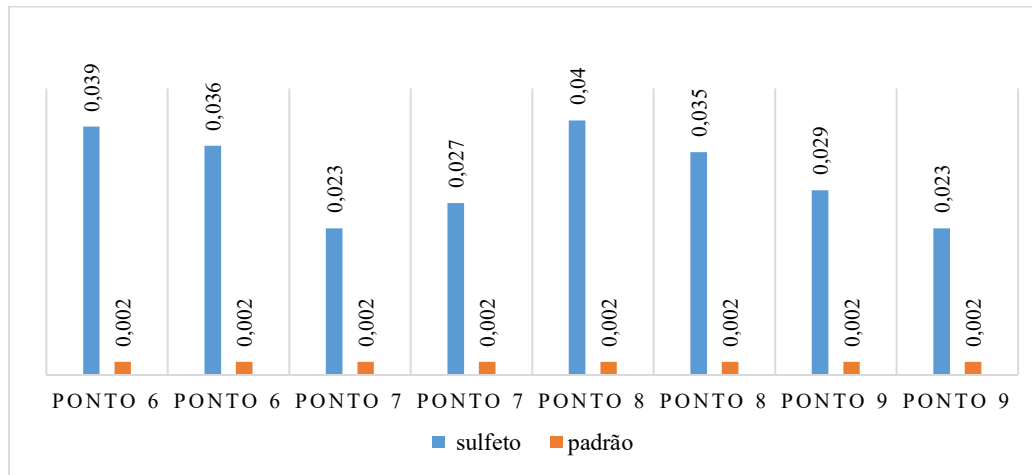


Figura 3: Concentração de sulfetos detectada em corpos de água. Fonte: Relatórios de Ensaio elaborados pelo laboratório SENAI em 07/06/2023 [Certificado de Ensaio N° 272252]. Fonte: Autores.

Destaca-se, nessa seara, a importância do monitoramento do sulfeto de hidrogênio em cursos de água receptores dos esgotos tratados das ETEs, visando o controle da eficiência do tratamento e de emissão de gases odorantes.

Faz-se mencionar que o gás sulfídrico apresenta toxicidade para os seres humanos, de modo que sua concentração no ambiente de trabalho merece monitoramento e atenção, como explica Trevisan (2017). Segundo o Guia de Primeiros Socorros para o Sulfeto de Hidrogênio da Environmental Protection Agency (EPA), a toxicidade desse gás ocorre pela inalação ou pelo contato com a pele e olhos. Em suas características descritas na Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), o gás sulfídrico é considerado um gás liquefeito que pode ser fatal se inalado em altas concentrações, podendo provocar irritação ocular e danos respiratórios graves. Além disso, é considerado um gás extremamente inflamável. Outra observação importante descrita na FISPQ é que ele pode provocar parada respiratória por depressão das atividades do sistema nervoso central.

A superexposição ao sulfeto de hidrogênio provoca efeitos aos seres humanos, que incluem: dor de cabeça, vertigem, tonteira, confusão mental, dor no peito, alterações olfatórias, inconsciência e morte. rinites, faringites, pneumonites, edema pulmonar e cianose também podem ocorrer (TREVISAN, 2017).

O olfato humano pode detectar o gás sulfídrico em níveis de concentração de 0,13 ppm, esclarece Mills (1998). Porém, se exposto a tempos prolongados, a sensibilidade oftálmica reduz, tornando o olfato um detector imperfeito do sulfeto de hidrogênio. A NR-15, em seu anexo nº 11, descreve os agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho. De acordo com essa norma, o limite de tolerância para o sulfeto de hidrogênio é de 8 ppm em até 48 horas semanais de trabalho, sendo que o grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização é máximo (BRASIL, 2016).

O Quadro 2 apresenta faixas de concentrações e respectivos tempos de exposição associados aos efeitos do sulfeto de hidrogênio nos seres humanos.

Quadro 2: Efeitos na saúde humana de concentrações de sulfeto de hidrogênio (OMS). Fonte: OMS, 2003.

Exposição (mg/m³)	Efeito / observação (mg/m³)	Referências*
0,011	Limite de odor	Amoore & Hautala, 1983
2,8	Constricção brônquica em indivíduos asmáticos	Jappinen et al., 1990
5,0	Aumento das queixas oculares	Vanhoorne et al., 1995
7 ou 14	Aumento da concentração de lactato no sangue, diminuição da atividade citrato sintase muscular, diminuição do	Bhambhani & Singh, 1991; Bhambhani et al., 1996b, 1997

Exposição (mg/m ³)	Efeito / observação (mg/m ³)	Referências*
	consumo de oxigênio.	
5–29	Irritação ocular.	IPCS, 1981
28	Fadiga, perda de apetite, dor de cabeça, irritabilidade, memória fraca, tontura.	Ahlhor, 1951
>140	Paralisia olfativa	Hirsch & Zavala, 1999
>560	Dificuldade respiratória	Spolyar, 1951
≥700	Morte	Beauchamp <i>et al.</i> , 1984

O limite olfativo para gás sulfídrico (H₂S) é de 0,47 PPB (partes por bilhão), ou seja, 0,00047 PPM (partes por milhão) ou 0,655 µg.m⁻³. Assim, a detecção da quantidade mínima de H₂S que leva ao incômodo olfativo necessitaria de metodologia e de equipamento precisos, como foi realizado no estudo de AUGUSTO *et al.* (2017):

Meira (2014) e Presotto (2014) instalaram um compressor aspirador à vácuo no duto de saída do gás do reator UASB e estabeleceram uma vazão média de sucção de aproximadamente 15 L min⁻¹. O biogás coletado era borbulhado em solução de zinco alcalina para extração do sulfeto de hidrogênio. O composto era analisado posteriormente por iodometria. As taxas de emissão foram obtidas através do produto entre a vazão de sucção e as concentrações de saída do H₂S. No período 1, as taxas médias diárias de emissão de H₂S variaram entre 4,2 e 32,8 µg s⁻¹, com um valor médio de 16,4 µg s⁻¹ para o período. No período 2, os valores variaram entre 2,6 e 59,9 µg s⁻¹, com um valor médio de 22,5 µg s⁻¹ (AUGUSTO *et al.*, 2017).

No estudo também foram explicitados métodos de simulação da dispersão do gás, com a efetuação de rosa dos ventos e mapeamento de plumas. A título de exemplificação, o método utilizado foi o AERMOD, um sistema integrado de modelização atmosférica desenvolvido pela AERMIC da *American Meteorological Society* e pela *United States Environmental Protection Agency*, que permite o mapeamento e a visualização da dispersão espacial de gás a partir de uma fonte estacionária de poluição atmosférica.

Por fim, sob a ótica operacional das estações de tratamento de esgoto, a corrosão provocada pelo H₂S configura-se como fator prejudicial em termos econômicos, como supramencionado. Essa corrosão de partes metálicas pelo gás pode ser visualizada nas Figuras 4 e 5, referentes a estruturas de uma ETE composta por reator anaeróbico.



Figura 4: Canaleta de suporte da fiação danificada pela corrosão na área da centrífuga. Fonte: ACP nº 5208124-27.2019.8.13.0024 (TJMG).



Figura 5: Tubulação de aço carbono obstruída, devido à reação do material do tubo com o gás gerado na ETE. Fonte: ACP nº 5208124-27.2019.8.13.0024 (TJMG).

Diante do cenário exposto, relativo aos inconvenientes provocados pelo H₂S, em termos ambientais, sociais e econômicos, o controle (tratamento) dos gases odorantes em ETEs torna-se primordial. Esse processo pode ser realizado por métodos físicos, químicos ou biológicos, como demonstrado no Quadro 3, sendo que a seleção daquele mais adequado perpassa variáveis relativas à vazão e à concentração dos gases. Em baixas concentrações, tecnologias como combustão direta, adsorção e métodos bioquímicos são os aplicados em maior escala (CHERNICHARO *et al.*, 2010). Ressalta-se, contudo, que, em particular ao controle de gases odorantes provindos de reatores anaeróbios, outros aspectos devem ser considerados, como biodegradabilidade dos gases, características locais, sobretudo econômicas, projetos

relacionados à captação e condução de gases, concentração relativa de H₂S/CH₄, planejamento de recuperação de energia, objetivos do tratamento (CHERNICHARO *et al.*, 2010).

Quadro 3: Exemplos de métodos de controle de gases odorantes em ETEs. Fonte: SILVA (2007); CHERNICHARO (2010); SNatural Ambiente (2023).

Método	Descrição
Adsorção	Método Físico. Os gases odorantes da atmosfera passam por uma coluna com meio suporte de composto adsorvente. O material mais comum é o carvão ativado, devido a sua alta eficiência, moderado custo, pequena área requerida (baixo tempo de retenção) e seletividade para remoção do H ₂ S.
Oxidação Térmica	Método químico. Consiste na combustão/incineração dos compostos odoríficos, a temperaturas superiores a 800°C. Essa tecnologia é mais usual em indústrias ou ETEs que possuem incineradores. Apesar de ocupar pequena área e ser eficiente para tratar cargas elevadas de gases odorantes, os custos de capital e de operação são elevados.
Aplicação de Produto Químico na Rede Coletora	Esse método é mais condizente para áreas metropolitanas, devido ao elevado tempo de detenção dos esgotos na rede coletora. Os principais produtos químicos utilizados são: oxigênio puro, nitrato, peróxido de hidrogênio, cloro, permanganato de potássio, sais metálicos, entre outros.
Condensação	Consiste na conversão do gás em um líquido, por duas vias: i) aumento de pressão; ii) redução de temperatura do sistema (diminui a energia cinética das partículas).
Inibição química	Esse método é utilizado para tratar o sulfeto presente na fase líquida, antes de sua emissão e conversão em gás. Dessa forma, ocorre a injeção, no interior do líquido ou nas fontes odorantes, de produtos químicos (peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio, permanganato de potássio – para oxidação do sulfeto – ou sais de ferro – para precipitação do sulfeto: $Fe^{+2} + HS^- = FeS + H^+$). Essa alternativa é de baixo custo de capital, mas de elevado custo operacional. Além disso, é a menos efetiva (redução da detecção de odor inferior a 50%). Destaca-se, contudo, que a aplicação desse método tem como vantagem o controle conjunto da corrosão provocada pelo H ₂ S nas ETEs. Como observação, o controle do sulfeto de hidrogênio com sais ferrosos está limitado a concentrações entre 0,05 a 0,1 mg/L, devido a solubilidade do sulfeto ferroso. Outrossim, em pontos de lançamento de descargas industriais onde o pH atinge valores inferiores a 6,5 em condições anaeróbicas, pode haver dissociação de sais ferrosos e a consequente liberação de sulfeto na massa líquida.
Sistema de Colunas Múltiplas para Remoção de Odores	Neste método, há combinação de três processos: i) coluna de lavagem em contracorrente com jato de spray, utilizando água ou efluente final; ii) coluna de lavagem ácida com ácido sulfúrico em coluna com meio de contato inerte, para remoção de amônia e aminas; iii) coluna para oxidação de sulfetos e compostos orgânicos por meio de hipoclorito de sódio em condições alcalinas (pH 9-11).
Torre de remoção biológica	Método biológico, no qual a torre é preenchida por diversos materiais, tais quais: terra, lodo de esgoto, madeira e turfa. Esse material funciona como meio suporte para o crescimento de micro-organismos capazes de oxidar diversos compostos orgânicos odoríficos, tendo como produto água e CO ₂ .

Por fim, evidencia-se que o monitoramento dos gases gerados no processo de degradação anaeróbia é primordial para avaliar a atividade bacteriana que interfere na eficiência do processo de tratamento de esgoto e também para a segurança do local, evitando riscos de danos à saúde da população e de funcionários da estação. É aconselhável a instalação de equipamentos para monitoramento contínuo, que possuam limite de quantificação inferior a 0,1 mg/L, e que os resultados sejam mapeados para conhecer a dispersão desses gases no ambiente (pluma de dispersão dos gases na área da ETE).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, a estabilização anaeróbia da matéria orgânica carbonácea contida nos esgotos sanitários gera gás sulfídrico, que apresenta inconvenientes ambientais e sanitários. Dentre esses inconvenientes, citam-se o odor desagradável com potencial tóxico aos seres humanos e característica corrosiva. Dessa forma, ações devem ser adotadas pelos empreendedores para se conhecer a dispersão desses gases no ambiente e assim controlar seus impactos negativos. O estudo apresentou técnicas de controle para mitigar a dispersão do gás sulfídrico no ambiente, como adsorção, inibição química, torres de remoção biológica, entre outros, sendo que todas apresentam vantagens e desvantagens a serem ponderadas no processo de decisão de qual tecnologia empregar. Ressaltou-se, ainda, a importância do monitoramento e da detecção desse gás em sistemas de tratamento anaeróbio de esgotos, considerando as emissões difusas no ambiente.

REFERÊNCIAS

1. ALVES, V.P. **Remoção de sulfeto em uma estação de tratamento de efluentes de níquel por oxidação úmida**. 2006. 85 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
2. AUGUSTO, Matheus Ribeiro. CALHEIROS, Herlane Costa. CARVALHO, Vanessa Silveira Barreto. **Simulação numérica da dispersão do sulfeto de hidrogênio emitido por um reator UASB para tratamento de esgoto doméstico**. doi:10.4136/ambi-agua.1841. Received: 15 Jan. 2016; Accepted: 16 Jan. 2017.
3. BRASIL. **NR 15 - Atividades e Operações Insalubres**. Anexo N° 11 1977. Disponível em: <https://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr-15-anexo-11.pdf>. Acesso em: 04 ago.2023.
4. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar: Poluentes**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 04 ago.2023.
5. CHERNICHARO, C. A. L.; STUETZ, R. M.; SOUZA, C. L.; MELO, G. C. B. Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico. Nota Técnica. **Engenharia Sanitária e Ambiente**, v.15, n.3, 2010, p. 229-23. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/esa/a/gSDjZc8BMWxWLFFkCPJKJfk/?format=pdf>>. Acesso em: 29 set. 2023.
6. EPA. Environmental Protection Agency. **Emergency first aid treatment guid for hydrogen sulfide**. 2001.
7. SOARES, C. M.; A. FEIDEN; TAVARES, S. G. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. Nativa, Sinop, v.5, p.509-514, 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/HP%20G240/Downloads/5155-Texto%20do%20Artigo-23990-1-10-20180822.pdf>. Acesso em: 29 set. 2023.
8. MILLS, B. **Reviem of methods of odour control: Filtration and separation**. Elsevier Science, Yardley, p. 147-152, 23 jun. 1998.
9. OMS. Organização Mundial da Saúde. World Health Organization. **Hydrogen Sulfide: Human Health Aspects**. Geneva, 2003. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42638/9241530537.pdf>. Acesso em jul. 2023.
10. SNATURAL AMBIENTE. **Controle de Odores em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's)**. Síntese Natural Ambiente Ltda. São Paulo. Nov. 2021. Disponível em: <<https://www.snatural.com.br/controle-odores-estacoes-tratamento-esgoto-ete/>>. Acesso em set. 2023.
11. SILVA, A. B. **Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgoto Paranoá e seus problemas associados**. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Brasília, 111 p., 2007. Disponível em: < <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/AcioneBatista.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2023.
12. SILVA, M.B. **Influência do tipo de meio suporte no desempenho de biofiltros aplicados à remoção do H₂S atmosférico em sistemas de esgoto sanitário**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UFES, Vitória, 2008.
13. TREVISAN, T. S. Avaliação da geração do sulfeto de hidrogênio e seus riscos à saúde do trabalhador em estação de tratamento de esgoto. **Monografia** apresentada para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, 2017.