

FERRAMENTA HAZOP APLICADA À ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO POR PROCESSO DE LODO ATIVADO, NA CIDADE DE ALTAMIRA/PA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n2-136>

Data de submissão: 11/01/2025

Data de publicação: 11/02/2025

Haroldo Oliveira e Silva Júnior
Especialista em Perícia e Auditoria Ambiental
Centro Universitário Internacional – UNINTER

Jovânia Carvalho do Rosário
Engenheiro Ambiental e Sanitarista
Universidade do Estado do Pará – UEPA

Seidel Ferreira dos Santos
Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia
Universidade do Estado do Pará – UEPA

Eliane de Castro Coutinho
Doutora em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará – UFPA

Lucy Anne Cardoso Lobão Gutierrez
Doutora em Geociências
Universidade Federal do Pará – UFPA

Glauber Epifânio Loureiro
Mestre em Engenharia Civil
Universidade Federal do Pará – UFPA

Rodolfo Pereira Brito
Doutor em Engenharia do Ambiente
Universidade do Porto

Hebe Simone Sousa Ripardo
Doutora em Engenharia de Produção
Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

RESUMO

As etapas de uma Estação de Tratamento de Esgoto exigem salvaguardas durante seus processos, de modo a garantir a integridade da equipe operacional, da comunidade do entorno, além da sustentabilidade dos recursos naturais. Assim, a análise de acidentes é componente precípua em qualquer atividade industrial, e no contexto do tratamento de esgoto, possui grande relevância, haja vista 1.419 acidentes registrados entre os anos de 2012 à 2022. Este estudo é inovador destacando-se por sua abordagem pioneira na aplicação da análise de risco durante a fase de tratamento secundário por lodo ativado, preenchendo assim uma lacuna existente na pesquisa acadêmica sobre esse tema. A metodologia aplicada foi o HAZOP, por tratar-se de técnica consolidada para avaliar eficiência destas operações. Foram adotados 5 nós de estudo para análise de 18 parâmetros contemplando todo o

processo de tratamento do lodo. A partir dos resultados obtidos, foram identificados 65 cenários, sendo 35 (54%) classificados com risco aceitável, 30 indesejáveis (46%) e nenhum inaceitável. Com relação à frequência, 92% dos eventos analisados foram abrangidos, sendo que aqueles eventos com maior probabilidade de ocorrência foram classificados de baixo grau de severidade (risco aceitável ou não desejado). Quanto à severidade, 94% dos eventos analisados como sendo de pouco potencial lesivo. Além de analisar as razões e implicações dos cenários, foi sugerida a adoção de medidas preventivas e mitigação das consequências. Ademais, foi elaborada nota técnica contendo informações para reutilização do lodo de esgoto, de modo a reduzir a quantidade enviada ao aterro sanitário de Altamira.

Palavras-chave: Prevenção de Acidente. ETE. Análise de Risco.

ABSTRACT

The stages of a Sewage Treatment Plant demand safeguards during their processes to ensure the integrity of the operational team, the surrounding community, and the sustainability of natural resources. Thus, accident analysis is a paramount component in any industrial activity, and in the context of sewage treatment, it is highly relevant, given the 1,419 accidents recorded between 2012 and 2022. This study is innovative, standing out for its pioneering approach in applying risk analysis during the activated sludge secondary treatment phase, thus filling a gap in academic research on this topic. The applied methodology was HAZOP, as it is a consolidated technique for assessing the efficiency of these operations. Five study nodes were adopted to analyze 18 parameters covering the entire sludge treatment process. From the results obtained, 65 scenarios were identified, with 35 (54%) classified as acceptable risk, 30 undesirable (46%), and none unacceptable. Regarding frequency, 92% of the analyzed events were covered, with those events with a higher likelihood of occurrence classified as having a low degree of severity (acceptable or undesirable risk). Concerning severity, 94% of the analyzed events were deemed to have little harmful potential. In addition to analyzing the reasons and implications of the scenarios, the adoption of preventive measures and mitigation of consequences was suggested. Furthermore, a technical note was prepared containing information for the reuse of sewage sludge, aiming to reduce the amount sent to the Altamira landfill.

Keywords: Accident Prevention. Sewage Treatment Plant. Risk Analysis.

1 INTRODUÇÃO

A partir da revolução industrial em meados do século XVIII, as atividades industriais sofreram diversas transformações, sobretudo no que tange a instalações, equipamentos e insumos utilizados em seus processos produtivos. Com o avanço da industrialização houve o aumento de casos de acidentes nos setores industriais, tecnológicos e ocupacionais ocasionando impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana.

Com intuito de minimizar as ocorrências dos acidentes no setor industrial, houve uma movimentação dos setores político, empresarial, bem como da sociedade visando encontrar medidas de prevenção a estes eventos. Nesse sentido, alguns dos instrumentos desenvolvidos para a indústria aeronáutica, bélica e nuclear serviram como referência para fundamentar análises e avaliações de riscos envolvendo processos industriais, como a exemplo das indústrias do petróleo, indústrias química e petroquímica (CETESB, 2011).

Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) detêm características peculiares e geram subprodutos que, na eventualidade de manejo inadequado, tornam seus processos suscetíveis a ocorrências de problemas como: acidentes pelo uso incorreto de produtos químicos, risco de vazamentos, atração de vetores, geração de odores e outros diferentes impactos de ordem e magnitude à saúde pública e ao meio natural.

As etapas de tratamento em ETE's exigem salvaguardas durante seus processos, de modo a garantir a integridade da equipe operacional, da comunidade do entorno além da sustentabilidade dos recursos naturais. A estes cuidados, Von Sperling (2014) esclarece que, ao receber despejos de esgoto, um corpo hídrico absorve uma diversidade de agentes transmissores de doenças. Isso pode não impactar diretamente a biota do corpo d'água, mas influencia alguns dos usos predominantes a ele designados, como abastecimento de água potável, irrigação e condições adequadas para atividades recreativas.

Deste modo, a prevenção e análise de acidentes são componentes precípuos a qualquer atividade industrial e em se tratando do tratamento de esgoto tendem a evitar: (i) mortandade de peixes, (ii) eutrofização de corpo hídrico, (iii) contaminação do solo, (iv) contaminação do lençol freático, (v) explosão, (vi) incêndio, associado a isto, permite a compreensão de suas causas e oferece subsídios à elaboração de plano de ação e procedimentos operacionais, para antecipação, atendimento e mitigação de eventos indesejáveis em empreendimento ou atividade potencialmente poluidora (BARBOSA, 2014).

A pesquisa em tela surgiu a partir da necessidade em compreender as etapas de manejo do lodo residual e os riscos associados a isto, pois operações incorretas podem causar situações perigosas com

expressivos prejuízos à vida humana ao ambiente e ao patrimônio. Rausand (2014) comenta que a questão acerca da segurança de processos na indústria é uma temática preponderante, haja vista a dualidade prevenção-mitigação de acidentes perpassar e controlar todos os setores de um empreendimento. Para tal, a metodologia HAZOP (acrônimo de *Hazard and Operability Study – Estudos de Perigos e Operabilidade*) foi a ferramenta escolhida para esta pesquisa por tratar-se de uma técnica de aplicação consolidada, a fim de avaliar a eficácia de todas as fases das operações de um empreendimento específico, desde o estágio de projeto até a operação e descomissionamento. (BANK, 1985; ABNT, 2009).

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Aplicar o método HAZOP na etapa de tratamento e destinação do lodo em uma estação de tratamento de esgoto, na cidade de Altamira-PA.

2.2 ESPECÍFICOS

- a) Analisar as características do tratamento secundário por lodos ativados da estação de tratamento em tela, a partir de dados obtidos com órgãos da administração pública municipal, a fim de melhor compreender esta etapa do processo;
- b) Identificar por meio do método HAZOP as possíveis fragilidades operacionais e ambientais no processo de tratamento secundário e destinação final do lodo residual da ETE em tela, e
- c) Propor salvaguardas para melhorar a destinação final do lodo residual.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este tópico apresenta um estudo dos principais temas discorridos neste trabalho de conclusão de curso contemplando a revisão bibliográfica que aborda o tratamento de esgoto sanitário, a problemática de seus contaminantes e patógenos, suas principais variáveis para monitoramento. Ademais, procedeu-se uma pesquisa sobre acidentes em ETE, definindo seus conceitos mais importantes, normas e técnicas de identificação e avaliação de riscos e perigos.

3.1 ESGOTO SANITÁRIO

O esgoto sanitário em um município é formado pela coleta de diversas fontes geradoras como: bares, feiras comunitárias, restaurantes, residências, ligações clandestinas, efluentes industriais tratados e adequados a legislação ambiental vigente. Assim como, as parcelas de águas pluviais e

subterrâneas que podem adentrar as estruturas de caixa de passagem, pontos de visita e de inspeção que compõem o Sistema de Esgotamento Sanitário (UNICAMP, 2005; BRASIL, 2020).

Outrossim, a presença de matéria orgânica (M.O.), inorgânica e nutrientes e o descarte de esgotos in natura em corpos hídricos promovem o consumo de oxigênio podendo ocasionar o crescimento descontrolado de algas em reservatórios bem como o incremento de toxinas pelas algas ocasionando impactos negativos na saúde humana, alterando as propriedades organolépticas das águas de abastecimento podendo ainda provocar alterações na pesca, navegação, agricultura, pecuária e em atividades de recreação (VON SPERLING, 2014; PHILIPPI JR., ROMÉRO, BRUNA, 2014). No quadro 1 são apresentadas as principais variáveis de qualidade aplicadas à avaliação dos corpos hídricos.

Quadro 1. Principais variáveis de qualidade aplicadas à avaliação dos corpos hídricos.

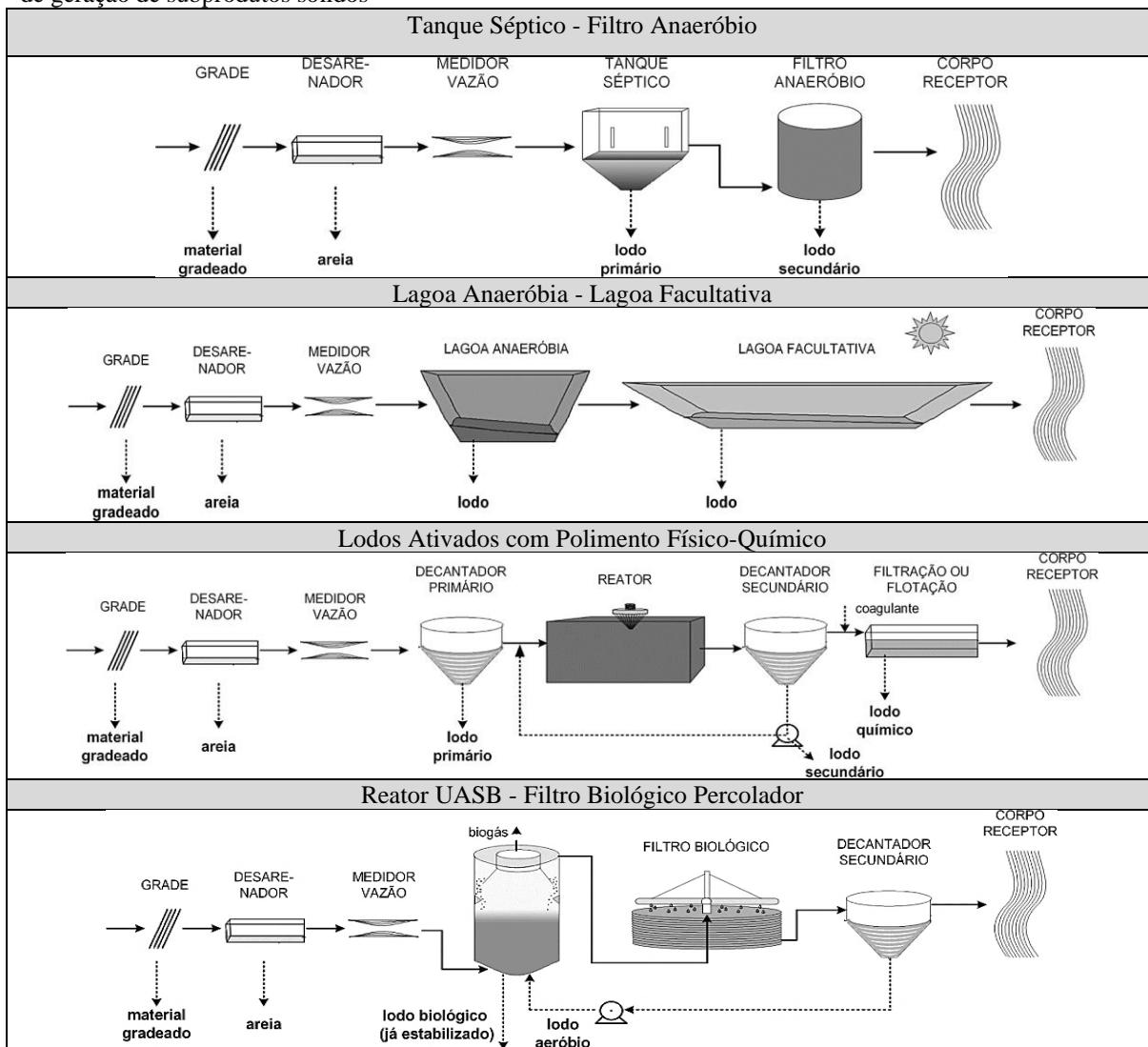
Microbiológicas		Químicas
- Coliformes Termotolerantes.		- Cádmio.
- Enterococos.		- Chumbo.
		- Cloreto.
Físicas		- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).
- Cor.		- Demanda Química de Oxigênio (DQO).
- Série de Sólidos.		- Fósforo Total.
- Temperatura.		- Óleos e Graxas.
- Turbidez.		- Oxigênio Dissolvido (OD).
		- Condutividade.
		- Potencial Hidrogeniônico (pH).
		- Nitrogênio Orgânico, Amônia, Nitrato e Nitrito.

Fonte: Adaptado de Philippi Jr., Roméro, Bruna (2014).

3.2 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Os sistemas de tratamento de efluentes, assim como os ambientes naturais, caracterizam-se como sistemas abertos, propiciando a coexistência de diversos microrganismos que estabelecem variadas relações e interações. Os métodos de tratamento se dividem em operações e processos unitários, sendo a integração destes que constitui os sistemas de tratamento. Dependendo do processo empregado, vários mecanismos podem atuar de maneira isolada ou simultânea na remoção dos poluentes (METCALF e EDDY, 1991; VON SPERLING 2014; JORDÃO e PESSÔA, 2017). A Figura 1 destaca os principais sistemas de tratamento frequentemente empregados no tratamento de esgotos domésticos, conforme apresentado na figura 1.

Figura 1. Configuração esquemática de alguns sistemas de tratamento de esgoto, com identificação dos pontos de geração de subprodutos sólidos



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2014)

3.3 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

O tratamento secundário de esgoto doméstico é uma etapa crucial no processo de purificação de águas residuais. Ele segue o tratamento primário e visa remover poluentes orgânicos dissolvidos ou em suspensão, que persistem no esgoto após as etapas iniciais. Sua principal característica é o uso de processos biológicos, nos quais microrganismos, como bactérias e fungos, decompõem a matéria orgânica com auxílio de reatores biológicos, como tanques de aeração ou leitos de lodo (CHERNICHARO, 2001; SANCHES, 2019).

No sistema de lodos ativados, os microrganismos são mantidos em suspensão e continuamente aerados para promover a decomposição eficiente da matéria orgânica.

Embora o método convencional de lodos ativados demonstre uma eficiência considerável, removendo aproximadamente 88% da taxa de DBO (ANA, 2020), o que supera o mínimo de 60%

estabelecido pelo artigo 16 da Resolução CONAMA nº 430/2011, Von Sperling (2016) apresenta as vantagens e desvantagens das variações operacionais mais frequentemente encontradas neste sistema (quadro 2).

Quadro 2. Vantagens e desvantagens operacionais mais comuns do sistema de lodos ativados convencional

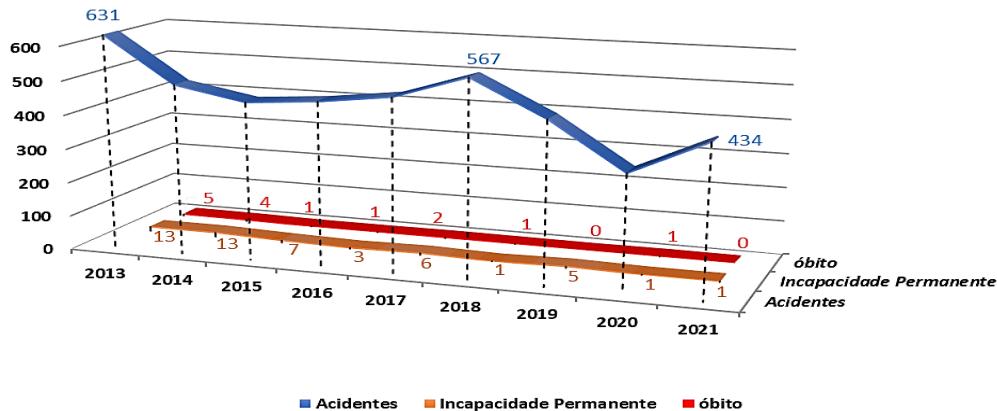
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> i. Elevada eficiência na remoção de DBO. ii. Nitrificação usualmente obtida. iii. Possibilidade de remoção biológica de N e P. iv. Baixos requisitos de área. v. Processo confiável, desde que supervisionado. vi. Reduzidas possibilidades de maus odores, insetos e vermes. vii. Flexibilidade operacional. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Baixa eficiência na remoção de coliformes. ii. Elevados custos de implantação e operação. iii. Elevado consumo de energia. iv. Necessidade de operação sofisticada. v. Elevado índice de mecanização. vi. Relativamente sensível a descargas tóxicas. vii. Possíveis problemas com ruídos e aerossóis. viii. Necessidade do tratamento completo do lodo e da sua disposição final.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2016)

3.4 ACIDENTES EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Ao longo dos anos, os acidentes industriais de natureza tecnológica têm despertado a atenção das autoridades governamentais, empreendedores e sociedade para criar mecanismos que previnam episódios que possam ameaçar a segurança das pessoas e a qualidade do meio natural (XIANG et al., 2022). Conforme registros do Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (SmartLab), as Notificações de Acidentes ocorridas em ETE estão agrupadas no Setor Econômico ‘Gestão de Redes de Esgoto’, totalizando, entre os anos de 2012 a 2022, 1.419 eventos – destes, 170 foram no ano de 2022. Dados dos Anuários Estatísticos de Acidentes de Trabalho, referentes à análise entre os anos de 2013 a 2021, apresentam o ano de 2013 com a maior quantidade de registros de acidentes de trabalho (631) sendo que no comparativo de 2020-2021 houve aumento em 29,17%, com valores de 336 e 434, respectivamente. Em toda esta série, o número de incapazes permanentes foi de 50 trabalhadores e 15 óbitos (Fig. 2).

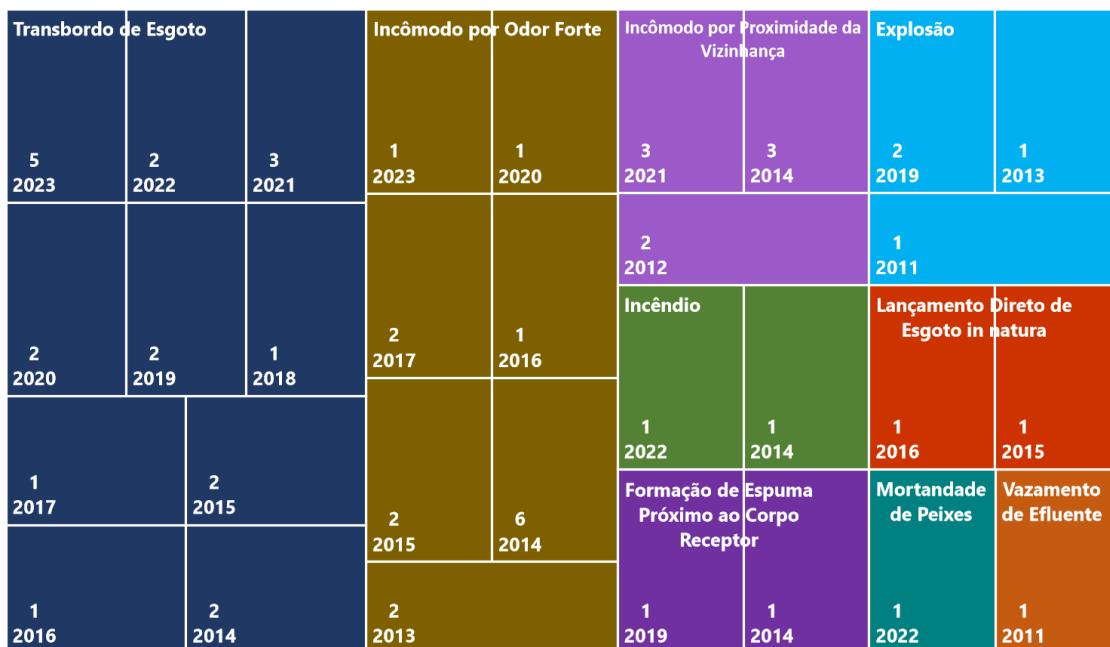
Figura 2. Ocorrências Registradas em ETEs entre os anos de 2013 a 2021: Acidentes, Incapacidade Permanente e Óbitos



Fonte: DATAPREV, CAT, SUB (2023). Elaborado pelos autores, 2025.

Devido a este agrupamento, o SmartLab não demonstra individualmente a tipologia dos acidentes registrados em ETEs. Assim, de modo a identificar este aspecto, foi realizada uma pesquisa ao site de notícias G1, onde foram relatadas 56 ocorrências no período de 2011 a 2023 (Fig. 3). Em grande parte, 21 eventos descritos como ‘Transbordo de Esgoto’ tiveram maior ocorrência dentre os relatos e que podem ter ocorrido por falhas estruturais ou humanas, excedendo, em alguns casos, os limites físicos daquelas estações, o que gerou impactos negativos aos habitantes e ao meio natural do entorno.

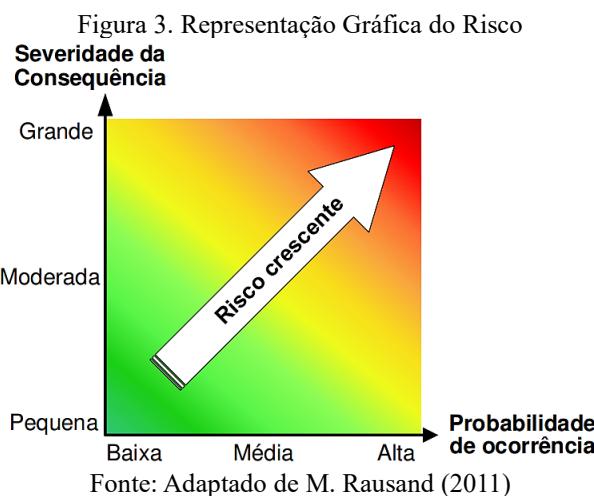
Figura 3. Gráfico de Árvore com a distribuição histórica dos eventos ocorridos em estação de tratamento de esgoto sanitário



Fonte: G1 (2023). Elaborado pelos autores, 2025

3.5 CONCEITOS E REGRAMENTOS BÁSICOS SOBRE ANÁLISE DE RISCO

Rausand (2011) explica o conceito básico de risco como a probabilidade de ocorrência e a severidade das consequências resultantes de um evento perigoso (Fig. 4). Essa função engloba tanto a frequência com que o evento pode acontecer quanto a gravidade associada quando ocorre, permitindo avaliações qualitativas ou quantitativas.



Deste modo, o risco produzido pela atividade de um empreendimento tem correlação direta com as características e quantidades das substâncias químicas manipuladas e ao nível de vulnerabilidade e suscetibilidade da região onde está situado ou será estabelecido (CETESB, 2011). Neste contexto, Girão, Rabelo e Zanela (2018) conceituam a vulnerabilidade como a condição da sociedade diante das características do ambiente, refletindo as diversas variáveis (renda, habitação, educação etc.) que a tornam mais ou menos suscetível, definindo a sociedade como o principal fator que pode acelerar ou retardar a probabilidade de ocorrência de um fenômeno específico.

Os riscos predominantes na indústria de processos decorrem da emissão de materiais intrinsecamente perigosos, como os inflamáveis ou tóxicos, e/ou da exposição a elevadas pressões e temperaturas (KING, 2016). Assim, ao projetar uma planta para determinada atividade deve-se atentar para a garantia da segurança das instalações por meio da previsão de meios para contenção e/ou mitigação de eventos indesejáveis.

Desenvolvida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2012), a Norma CETESB P4261, datada de dezembro de 2011, abrange uma metodologia para classificação de risco de acidentes de origem tecnológica. O objetivo é estabelecer padrões e aprimorar as metodologias utilizadas na elaboração de Estudos de Análise de Risco e Programas de Gerenciamento de Risco para atividades consideradas como perigosas.

Outra regulamentação importante para a Análise de Risco é a Norma Regulamentadora - NR 9 (MTP, 2023). Esta norma estabelece a necessidade de avaliar todos os riscos ocupacionais, não se limitando apenas aos ambientais. Além disso, ela demanda a identificação e classificação do nível de risco, visando determinar as medidas de prevenção, bem como o monitoramento do controle dos riscos ocupacionais.

Para tanto, Moller et al. (2018) indicam que os métodos aplicados às análises de risco se dividem em quantitativos e/ou qualitativos. Neste sentido, a análise qualitativa reúne a identificação de perigos e riscos com a avaliação da probabilidade de ocorrência de um episódio e o impacto do risco, para indicar o nível de risco em níveis de significância como: “alto”, “médio” e “baixo”, conforme definido pela ABNT ISO 31010 (Brasil, 2012). As técnicas quantitativas são subsidiadas por estimativas numéricas referentes às frequências ou consequências que podem surgir em eventos a partir do trabalho realizado em uma instalação industrial (AIChE, 1992).

Em complemento, a CETESB (2011) afirma que para instalações industriais em operação, os estudos de análises de risco têm surtido efeito positivo e importante para identificar e gerenciar o risco residual e possibilita gerenciá-lo de forma individual ou ampliada.

Por fim, Ponte Junior (2014) explica que não há de se falar em segurança absoluta, uma vez que apesar de aplicar todo o aparato tecnológico de proteção disponível, ainda assim há presença de riscos e é necessário gerenciar seu controle, de modo que a engenharia atua para manter os riscos em níveis aceitáveis e permitir a operabilidade tecnológica do empreendimento, formando o conceito de gerenciamento de riscos e segurança.

3.6 ANÁLISE DE RISCO

A técnica HAZOP é, sem dúvida, o método de análise de riscos mais amplamente reconhecido e empregado na indústria de processos. Adicionalmente, sua adoção é recomendada por normas, incluindo a N-2595 da Petrobras (GRUHN e CHEDDIE, 2006).

Kabbach et al. (2018) e CETESB (2011) explicam que esta é uma técnica qualitativa, metódica e minuciosa, uma vez que aplica palavras-guia em pontos específicos – chamados de “nós de estudo” – aos principais parâmetros de um projeto ou de um processo em operação (quadro 3). Ao final, são obtidos os desvios dos padrões operacionais os quais são analisados para identificar a relação entre as causas e suas consequências, por exemplo, ao aplicar a palavra-guia “Não” associada ao parâmetro de processo “Vazão” indicará o desvio “Sem Vazão”.

Quadro 3. Exemplos de Palavra-guias e Parâmetros Aplicados ao HAZOP

Palavra-guia	Significado	Parâmetro	Desvio
Menos	Diminuição quantitativa	Fluxo	Vazão baixa
		Nível	Nível baixo
		Temperatura	Temperatura baixa
		Pressão	Pressão baixa
		Concentração	Baixa concentração
Mais	Aumento quantitativo	Fluxo	Alta taxa de fluxo
		Nível	Alto nível
		Temperatura	Temperatura alta
		Pressão	Alta pressão
		Concentração	Alta concentração

Fonte: Adaptado de Khan; Abbasi (1998)

Vincoli (2014) avalia que dentre as técnicas de análise de risco de um processo, mais de 80% pode ser atribuído ao HAZOP e análises de variações hipotéticas. O restante é composto por métodos gerais (checklist, análise preliminar de risco e etc.) e por método de árvores (Análise de Árvore de Falhas, Análises de Modo de Falha e Efeitos, entre outros).

4 METODOLOGIA

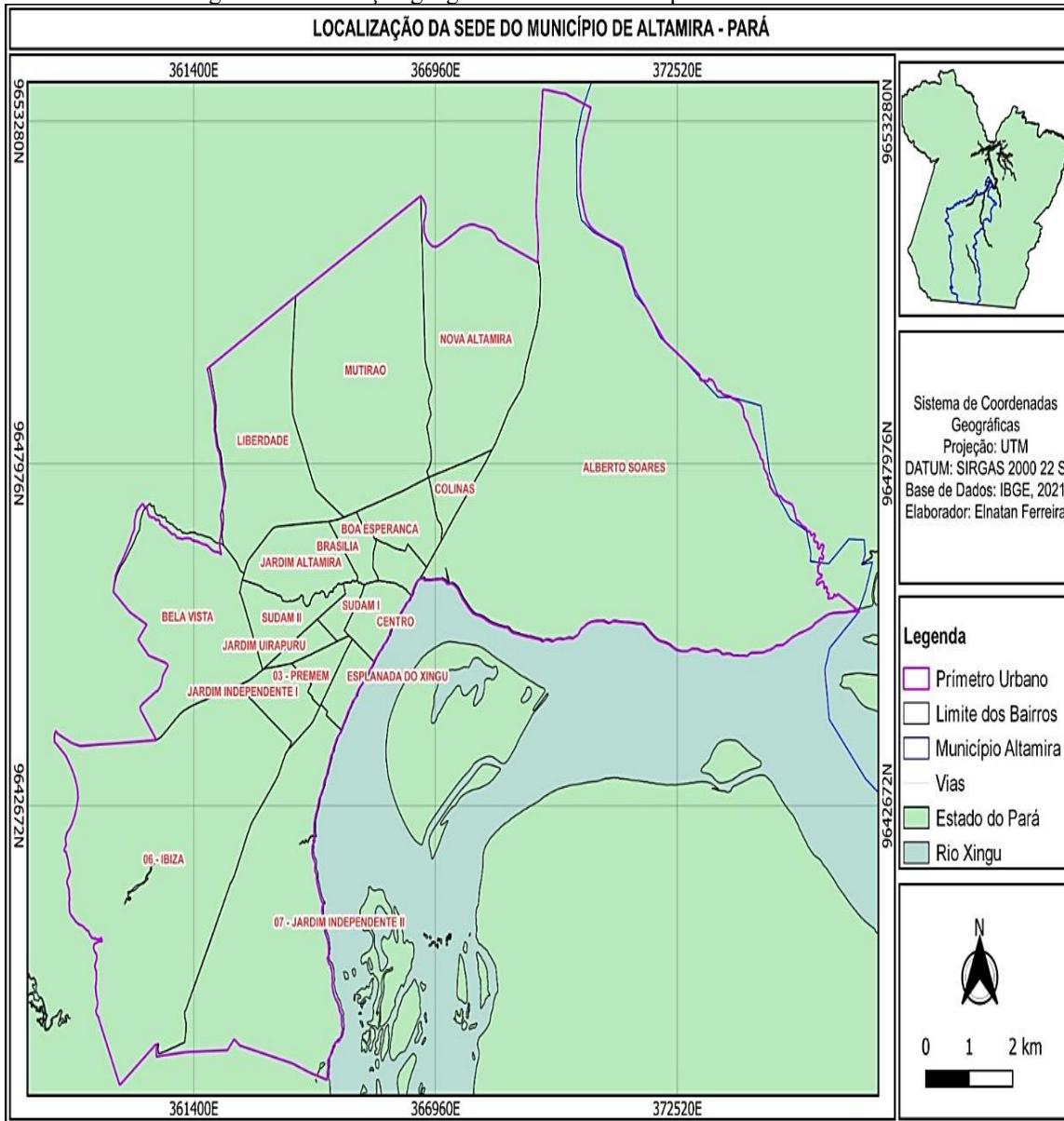
Este tópico versa sobre os materiais e as ferramentas metodológicas utilizados nesta pesquisa, delineando as etapas de execução de maneira clara e abrangente. A apresentação segue uma ordem lógica e cronológica, incluindo a delimitação do objeto de estudo e as características das condições nas quais o trabalho foi conduzido.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Altamira abrange uma área de 159.696 km² (IBGE, 2015; PMA, 2010). Quanto ao clima, este é classificado pela classificação de Köppen como “Am” na parte norte e “Aw”, com uma temperatura mínima média anual de 22,1 °C, temperatura máxima média anual de 32,4 °C, e uma média anual de precipitação pluviométrica de 2.123mm (SOUZA et al., 2013; IBGE, 2008). Destaca-se como polo comercial, político, social e cultural na região da Transamazônica e Xingu (UMBUZEIRO, 2012).

O estudo foi aplicado no perímetro urbano da sede do município de Altamira (Fig. 5), que possui extensão territorial de 111,02 km², localizado na região Sudoeste do Estado do Pará, a 754 km de Belém, com população de 126.279 habitantes (IBGE, 2022).

Figura 4. Localização geográfica da sede municipal de Altamira – Pará

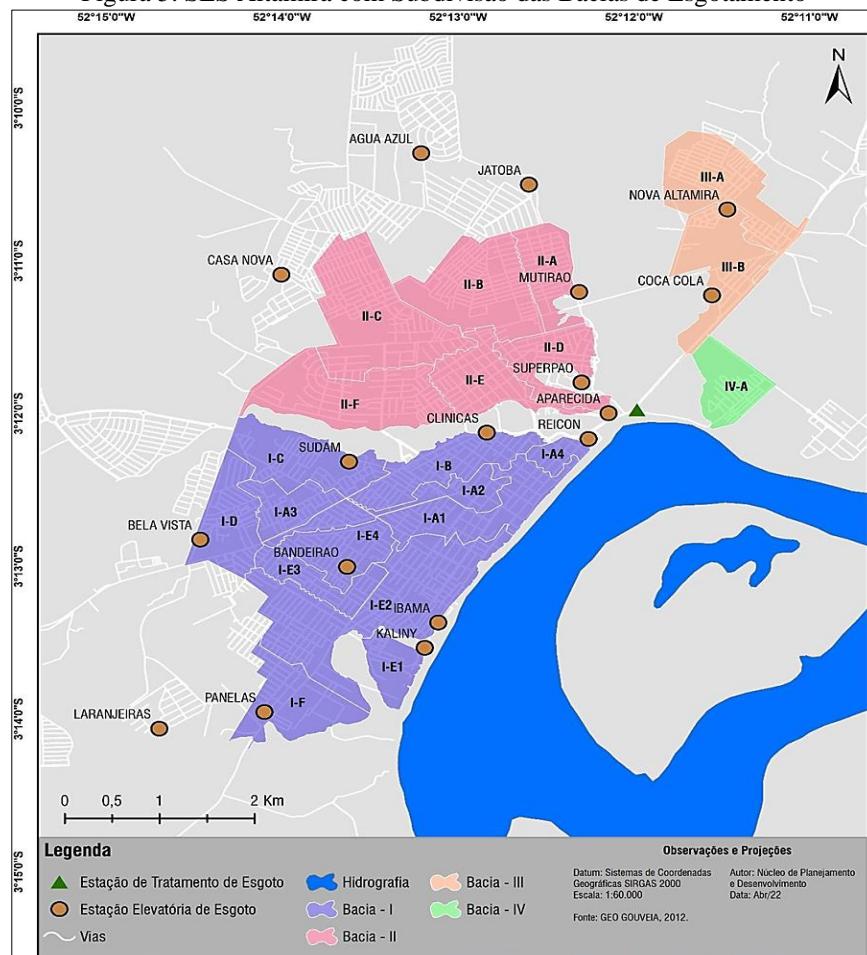


4.2 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE ALTAMIRA/PA

O Sistema de Esgotamento Sanitário de Altamira – SES Altamira (Fig. 6), foi construído em atendimento à condicionante nº 2.10 da Licença de Instalação nº 795/2011 da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, sendo composto pelas seguintes estruturas:

- 04 bacias de esgotamento, subdivididas em 21 sub-bacias;
- 17 Estações Elevatórias de Esgoto – EEEs;
- 01 Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Altamira com uma elevatória de esgoto tratado e,
- 01 Emissário.

Figura 5. SES Altamira com Subdivisão das Bacias de Esgotamento



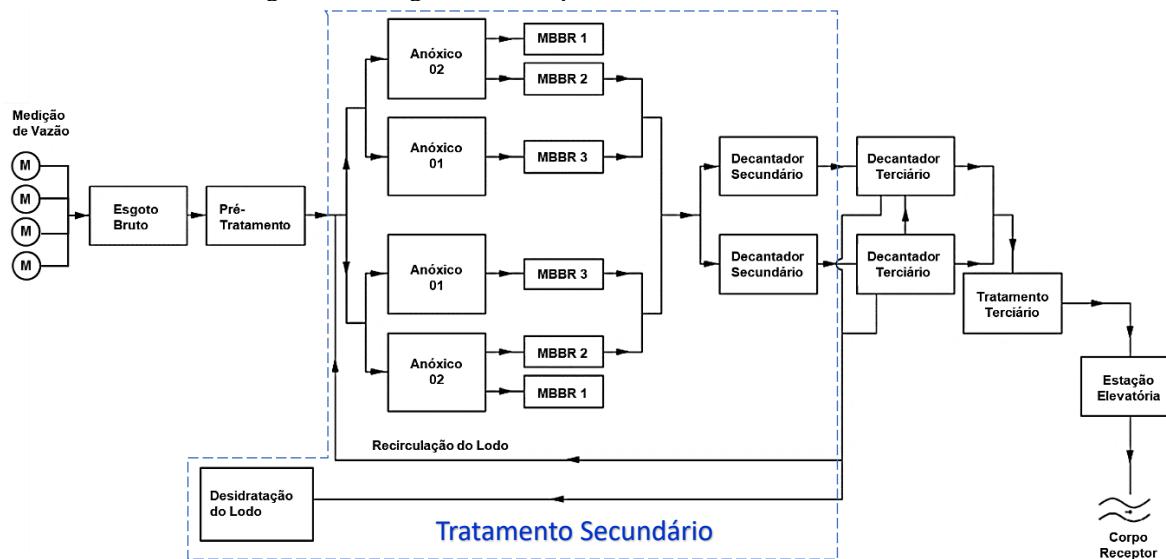
Fonte: Nota Técnica TFP Engenharia - SES-DGN-NTE-EEE01-HID-001, 2018

A ETE Altamira foi construída pela empresa Norte Energia S.A. com operação no período dos de 2013 a 2023, repassando a operação para Prefeitura de Altamira no final deste período. Possui capacidade de tratamento com vazão média 200 l/s e na máxima 360 l/s. Foi dimensionada para remover a matéria orgânica, sólidos sedimentáveis e os nutrientes Fósforo e Nitrogênio, objetivando minimizar o risco de eutrofização das águas do remanso da UHE Belo Monte. Sua concepção preconiza a operação em dois condutos independentes – Conduto 1 e Conduto 2 – capazes de tratar a vazão média projetada com um ciclo completo de tratamento do efluente em um sistema trifásico – primário, secundário e terciário – para tratamento do esgoto bruto, com aporte automatizado e monitorado para todas as operações de tratamento.

O processo de tratamento biológico adotado é por lodos ativados com regime hidráulico em fluxo pistão, utilizando aeração convencional com difusores de ar em bolha grossa integrado com o meio de suporte chamado Moving BedBio Reactor (MBBR) e processo Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS), precedido de seletor anóxico e seguido por tratamento biológico. Nesta fase ocorre a formação de lodo no decantador secundário, sendo que uma parcela desse lodo retorna aos

reatores biológicos – com a finalidade de manter o controle e o equilíbrio do processo de tratamento. Outra parcela dos sólidos decantados não recirculados passa também por gravidade até os tanques decantadores terciários (ANDREOLI, VON SPERLING, FERNANDES, 2014). Na figura 7 é representado o fluxograma das etapas de tratamento da ETE Altamira.

Figura 6. Fluxograma das Etapas de Tratamento da ETE Altamira

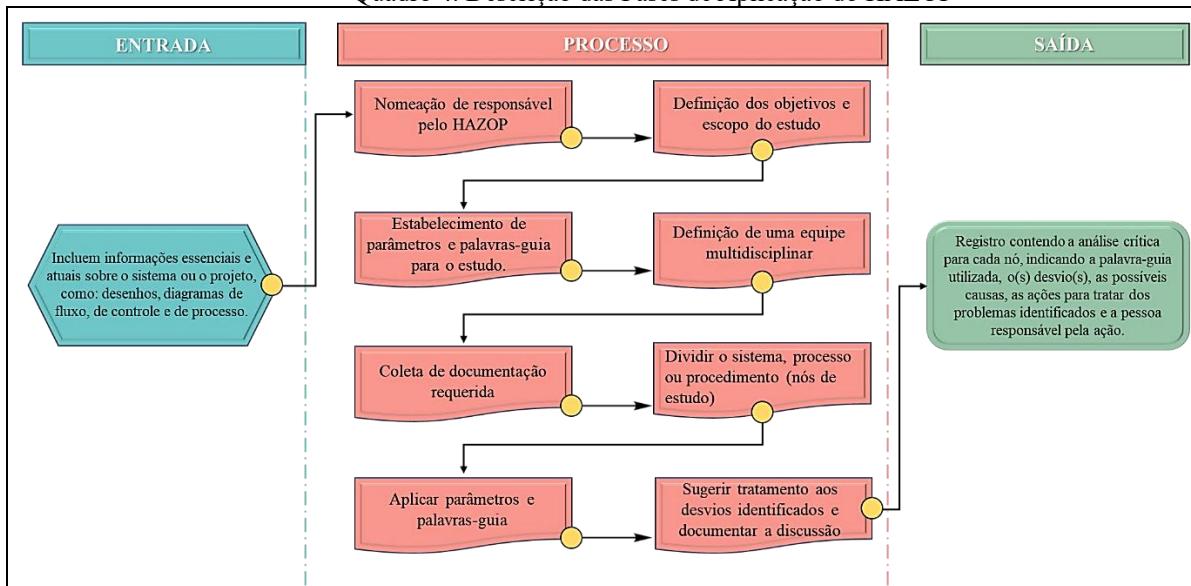


Fonte: Projeto Executivo do SES, GEL/Gouvêa – Relatório Técnico 2014

4.3 O MÉTODO HAZOP

Neste segmento, é apresentado o método para a padronização do procedimento para obtenção dos dados e elaboração dos resultados. Gil (2017) esclarece que o estudo de caso envolve uma investigação minuciosa e abrangente de um ou poucos objetos, proporcionando um entendimento amplo e detalhado. Assim, foi atribuído a aplicação do método HAZOP neste estudo de caso conforme sequência descrita no quadro 4 (ABNT NBR ISO-IEC 31010-2012) com abordagem qualquantitativa. Minayo (1997) e Triviños (2009) corroboram ao entendimento de que a pesquisa quantitativa pode suscitar questões que podem ser exploradas em maior profundidade por meio de uma abordagem qualitativa, e vice-versa, haja vista a abordagem qualitativa objetiva entender e explicar os dados, ao passo que a abordagem quantitativa emprega experimentos e estatística como procedimentos norteadores aos resultados analíticos.

Quadro 4. Descrição das Fases de Aplicação do HAZOP



Fonte: Adaptado de ABNT (2012)

Estes dados foram analisados por meio de técnicas de interpretação de informações, dentre as quais podemos citar a utilização de planilha eletrônica Microsoft Excel para agrupamento das características das principais etapas de tratamento da ETE e para elaboração das planilhas contendo a análise HAZOP (Fig. 8).

Figura 8. Quadro de Análise HAZOP

Análise de Perigo e Operabilidade (HAZOP)							
Estação de Tratamento de Esgoto							
Setor (Área)							
Nó			Data				
Parâmetro	Desvio	Causa	Efeito	Salvaguardas	Frequência	Severidade	Risco
							Recomendações

Fonte: Adaptado de CCPS (2011)

4.4 DEFINIÇÃO DOS NÓS

Para uma melhor avaliação do processo, o acesso as informações sobre fluxograma, procedimentos operacionais e de manutenção, bem como o funcionamento dos equipamentos é imprescindível para a aplicação da metodologia HAZOP, pois a partir desse levantamento é realizado a divisão da planta em pontos de estudo (nós), o que facilitando a análise dos processos e identificação dos parâmetros a serem avaliados.

A partir da análise do fluxograma e as informações obtidas sobre o funcionamento da ETE quanto a instalações, equipamentos e produtos utilizados, será realizado a divisão da planta em nós e

o preenchimento do quadro (Fig. 9) onde será relacionada a descrição do processo, bem como os principais equipamentos que compõem os pontos de estudo em análise.

Figura 7. Quadro para Descrição dos Nós e Equipamentos Principais

Nó	Descrição	Equipamentos Principais

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Para determinar as classificações de probabilidade (frequência) e gravidade, o HAZOP permite a utilização de Matriz de Avaliação de Risco (tabela 1).

Tabela 1. Matriz de avaliação de risco

Matriz de Avaliação de Risco		Categorias de Frequência				
		A Extremamente Remota	B Remota	C Pouco Provável	D Provável	E Frequente
Categoria de severidade das consequências	V Catastrófica	5A	5B	5C	5D	5E
	IV Crítico	4A	4B	4C	5D	5E
	III Média	3A	3B	3C	3D	3E
	II Marginal	2A	2B	2C	2D	2E
	I Desprezível	1A	1B	1C	1D	1E
Índice de Risco de Perigo						
Classificação de risco			Critério de Risco			
3E, 4D, 4E, 5C, 5D, 5E			Inaceitável, Mudanças devem ser feitas			
1E, 2D, 2E, 3C, 3D, 4B, 4C, 5A, 5B			Indesejável, faça alterações se possível			
1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 3A, 3B, 4A			Aceitável sem revisão			

Fonte: Adaptado de ABNT (2012)

Os quadros 5 e 6 apresentam as definições das categorias de severidade ou gravidade e de probabilidade e frequência, respectivamente.

Quadro 5. Categorias de gravidade ou severidade de perigo

Descrição	Categoria	Segurança Pessoal	Características		
			Patrimônio	Meio Ambiente	Imagen
Catastrófico	V	Múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidades extramuros.	Danos catastróficos podendo levar a perda da instalação industrial.	Danos severos em áreas sensíveis ou se estendendo para outros locais.	Impacto internacional.
Crítico	IV	Fatalidade intramuros ou lesões graves extramuros.	Danos severos à sistemas (reparação lenta).	Danos severos com efeito localizado.	Impacto nacional.

Médio	III	Lesões graves intramuros ou lesões leves extramuros.	Danos moderados à sistemas.	Danos moderados.	Impacto regional.
Marginal	II	Lesões leves.	Danos leves à sistemas ou equipamentos.	Danos leves.	Impacto local.
Desprezível	I	Sem lesões, ou no máximo caso de primeiros socorros	Danos leves a equipamentos sem comprometimento da continuidade operacional	Danos insignificantes	Impacto insignificante

Fonte: Adaptado de ABNT (2012)

Quadro 6. Níveis de Frequência ou Probabilidade de Perigo

Descrição	Nível	Identificação de Acidente
Extremamente remota	A	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável na vida útil da estação. Sem referências históricas
Remota	B	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação, apesar de haver referências históricas
Pouco provável	C	Possível de ocorrer até uma vez durante a vida útil da instalação
Provável	D	Esperado ocorrer mais de uma vez durante a vida útil da instalação
Frequente	E	Esperado ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação

Fonte: Adaptado de ABNT (2012)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A redução na quantidade de Comunicações de Acidente de Trabalho – CATs registradas pelo Instituto Nacional de Seguridade Social – INSS entre os anos de 2019 a 2020, foi estabelecido em função do fechamento de empresas durante a pandemia da COVID-19, uma vez que medidas de segurança – como distanciamento social – tiveram que ser adotadas, inviabilizando a continuidade de algumas atividades.

A partir da análise dos documentos da ETE, foram definidos 5 nós de estudo contemplando todo o processo de tratamento do lodo desde o tanque de armazenamento, onde ocorre a estabilização do lodo, seguido pelo processo de desidratação, higienização e transporte ao Aterro Sanitário de Altamira – ASA. No quadro 7 são apresentados os nós de estudo, a descrição e os principais equipamentos.

Quadro 7. Descrição dos Nós e Equipamentos

Nó	Descrição	Equipamentos
1	Armazenamento e estabilização aeróbia do lodo	Tanque de lodo, Tanque de lodo adensado e Tanque de lodo clarificado
2	Preparação da solução de polímero	Unidade automática de preparo de polímero
3	Aumento da concentração de sólidos	Adensador de lodo, Bomba dosadora de polímero
4	Redução da umidade do lodo	Decanter centrifugo
5	Higienização do lodo desidratado, transporte e disposição final ao ASA	Caminhões

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Foram analisados 18 parâmetros importantes no processo, cujo desvio representa risco operacional, ocupacional e ambiental. Os parâmetros analisados e as palavras-guias correspondentes estão relacionados no quadro 8.

Quadro 8. Parâmetros analisados e as palavras-guia correspondentes

Item	Parâmetro	Palavra-guia
1	Nível	Maior, Menor, Nenhum.
2	Aeração	
3	Agitação	
4	Fluxo	
5	Temperatura	Maior, Menor.
6	Quantidade	
7	Velocidade	
8	Viscosidade	
9	Profundidade	Falta de.
10	Vazão	
11	Vibrações	
12	Lubrificação	
13	Limpeza	Ocorrência de.
14	Acidente	
15	Vazamento	
16	Entupimento	
17	Choque elétrico	Diferente de.
18	Sentido	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

5.1 NÓ 1

No quadro 9 são apresentados os resultados referentes ao NÓ 1 que compreende o tanque de lodo que recebe o rejeito proveniente dos decantadores secundário e terciário, do tanque de lodo adensado e o tanque de lodo clarificado que recebe a fase líquida separada no adensador e na centrífuga. Neste tanque ocorre uma etapa importante do tratamento denominada estabilização por digestão aeróbia. O sistema de aeração difusa assegura a homogeneização e cria as condições essenciais para que as bactérias executem o processo de estabilização do lodo.

Quadro 9. Planilha com análise HAZOP referente ao Nô 1

Análise de Perigo e Operabilidade (HAZOP)								
Estação de Tratamento de Esgoto								
Setor (Área)	Tanque de Lodo (T.L.); Tanque de Lodo Adensado (T.L.A.); Tanque de Lodo Clarificado (T.L.C.)							
Nô	1		Data	23/12/2023				
Parâmetro	Desvio	Causa	Efeito	Salvaguardas	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações
Nível (T.L.)	Maior	Falha no sensor de nível	Transbordamento	Monitoramento do processo	D	III		
Aeração (T.L.)	Menor	Falha nos sopradores	Falha na estabilização do lodo	Monitoramento do processo	D	II		Análise periódica do lodo
		Válvula fechada	Falha na estabilização do lodo	Monitoramento do processo	D	II		
Nível (T.L.A.)	Maior	Falha no sensor de nível	Transbordamento	Monitoramento do tanque	D	I		
		Falha no acionamento da bomba de lodo adensado	Transbordamento	Monitoramento do tanque	D	II		
Nível (T.L.C.)	Maior	Falha na Bomba	Transbordamento	Monitoramento do tanque	D	I		Bomba reserva
		Falha no sensor de nível	Falha no acionamento da bomba	NA	D	I		

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

5.2 NÓ 2

No quadro 10 são apresentados os resultados referentes ao Nô 2, que abrange a etapa de preparação de polímero utilizado na floculação do lodo que é executado pela unidade automática de preparo de polímero. Os polímeros sintéticos orgânicos podem aglomerar-se em suspensão com as partículas, para assim se obter maiores dimensões dos flóculos, o que resulta em uma separação mais rápida do sólido/líquido.

Quadro 10. Planilha com análise HAZOP referente ao Nô 2

Análise de Perigo e Operabilidade (HAZOP)							
Estação de Tratamento de Esgoto							
Setor (Área)	Unidade automática de preparo de polímero						
Nô	2		Data	23/12/2023			

Parâmetro	Desvio	Causa	Efeito	Salvaguardas	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações
Quantidade (pó)	Menor	Falha no conversor de frequência	Concentração inadequada de polímero na solução	Inspecionar o alimentador de pó regularmente durante a operação	C	I		
	Maior							
Lubrificação	Falta de	Falha de manutenção	Desgaste de peças	Realizar lubrificação conforme orientação do fabricante	D	II		Implementar um plano de manutenção do equipamento
		Falha de manutenção	Ruídos	Realizar lubrificação conforme orientação do fabricante	D	II		
Viscosidade	Maior	Alta concentração de polímero	Problemas na dosagem do polímero e diluição	Verificar informação sobre a viscosidade do polímero usado	D	II		
Fluxo (água)	Nenhum	Registro fechado	Falta de água para diluição do polímero	Monitoramento do processo	D	II		
		Falha na válvula solenóide		Monitoramento do processo	C	II		
Temperatura (pó)	Menor	Falha no termostato	Problemas na dosagem do polímero e diluição	NA	C	II		
Nível (tanque de armazenamento)	Menor	Falta de polímero no alimentador	Falta de Polieletrolitos para o processo de flocação	Monitoramento constante no nível de pó e abastecimento quando houver necessidade	D	II		Capacitação do operador
		Falta de água						
		Falha no sensor de nível do tanque de armazenamento						
	Maior	Falha no sensor de nível do tanque de armazenamento	Vazamento de solução de polímero	Inspeção regular dos tanques	C	II		
Nível (alimentador de pó)	Menor	Falta de Abastecimento	Falha na operação	Monitoramento constante no nível de pó e abastecimento quando houver necessidade	E	II		Capacitação do operador
Agitação (tanque de mistura)	Nenhum	Falha no motorredutor	Diluição incompleta do polímero	Inspeção regular dos tanques	C	II		
Agitação (tanque de maturação)	nenhum	Falha no motorredutor	Decantação da solução	Inspeção regular dos tanques	C	II		

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

5.3 NÓ 3

Os resultados referentes ao NÓ 3, que reúne o processo de dosagem do polímero e adensamento, são apresentados no Quadro 11. A dosagem precisa do polímero é crucial nesse processo, pois a medida adequada do produto assegura uma separação eficiente entre a fase líquida e a fase sólida, que se inicia no adensador rotativo de lodo. O adensador rotativo de lodo é um dispositivo utilizado para capturar e separar sólidos em suspensão nos efluentes brutos. Os sólidos, até um tamanho específico, são retidos e removidos pela lâmina de raspagem do helicóide, localizada na parte interna do adensador.

Quadro 11. Planilha com análise HAZOP referente ao NÓ 3

Análise de Perigo e Operabilidade (HAZOP)								
Estação de Tratamento de Esgoto								
Setor (Área)	Adensador de Lodo; Bomba dosadora de polímero							
NÓ	3		Data	23/12/2023				
Parâmetro	Desvio	Causa	Efeito	Salvaguardas	Freqüência	Severidade	Risco	Recomendações
Velocidade Rotação	Maior	Falha no motorredutor	Falha no adensamento	Verificar rotação no painel elétrico	C	I		
Limpeza	Falta de		Falha no adensamento	Lubrificação periódica	D	I		
			Entupimento	Lubrificação periódica	D	II		Capacitação do operador
			Ruído		D	II		
Vibrações	Maior	Rolamentos danificados	Falha no adensamento		D	II		
		Registro fechado	Falha na operação	Monitoramento da operação	D	I		
		Falha na bomba	Falha na operação	Monitoramento da operação	D	I		
			Risco ao operador	Uso de EPI	D	I		
			Possível contaminação ambiental	Inspeção das tubulações	D	I		
		Falha na bomba dosadora de polímero	Dificuldades na floculação	Monitoramento da operação	D	II		
		Entupimento	Dificuldades na floculação	Limpeza do sistema	D	II		Capacitação do operador
Nenhum	Falha na bomba dosadora de polímero	Dificuldades na separação sólido/líquido	Monitoramento da operação	D	II			

		Entupimento	Dificuldades na separação sólido/líquido	Limpeza do sistema	D	II		Capacitação do operador
		Falta de Polímero na UAP	Dificuldades na separação sólido/líquido	Inspeção do tanque de armazenamento de polímero	C	II		

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

5.4 NÓ 4

No quadro 12 são apresentados os resultados referentes ao NÓ 4, que abrange a etapa de centrifugação realizada pelo decanter centrífugo. A força centrífuga gerada pelo intenso movimento rotativo no interior do tambor propicia a separação das fases sólida, líquida pesada e líquida leve. Durante esse procedimento, o material sólido, que tende a possuir a maior densidade, é direcionado para a superfície interna do tambor e é constantemente conduzido pelo caracol transportador em direção aos bocais de descarga. Ao passar pelo cone, ocorre uma considerável redução na umidade do material sólido.

Quadro 12. Planilha com análise HAZOP referente ao NÓ 4

Análise de Perigo e Operabilidade (HAZOP)								
Estação de Tratamento de Esgoto								
Setor (Área)	Decanter centrífugo							
Nó	4		Data	23/12/2023				
Parâmetro	Desvio	Causa	Efeito	Salvaguardas	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações
Vibrações	Maior	Nivelamento inadequado do equipamento	Ineficiência do equipamento	NA	C	II		
		Peças danificadas	Ruído	Manutenção periódica do equipamento	D	I		
Lubrificação	Falta de	Falha do operador	Ruído	Realizar lubrificação periódica conforme orientação do fabricante	D	I		
			Ineficiência do equipamento	Realizar lubrificação periódica conforme orientação do fabricante	D	II		Implementar um plano de manutenção do equipamento
			Desgaste de peças	Realizar lubrificação periódica conforme orientação do fabricante	D	II		

Velocidade de rotação do cilindro	Menor	Queda de tensão na rede elétrica	Falha na separação da fase sólida	Monitoramento da rotação no painel elétrico	D	I		
		Defeito no motor	Falha na separação da fase sólida	NA	C	II		
	Maior	Falha no inversor de frequência	Vibrações e ruídos	Monitoramento do painel elétrico	C	II		
Viscosidade	Alta	Alto teor de sólidos	Falha na separação da fase sólida	NA	D	I		
Fluxo	Nenhum	Falha na bomba de lodo adensado	Falha na alimentação	Monitoramento do processo	D	II		Bomba reserva
		Tanque de lodo adensado vazio	Falha na alimentação	Monitoramento do nível do tanque de lodo adensado	D	I		
Vazão alimentação	Maior	Alta velocidade da bomba	Degradação do tamanho dos sólidos ou sua emulsificação (clarificação incompleta)	Uso de bomba de baixa velocidade	B	I		
Entupimento	Ocorrência de	Alta concentração de sólidos	Falha na operação	NA	D	II		
		Partículas grandes	Falha na operação	Peneiramento ou remoção de partículas maiores	C	II		
		Excesso volume de alimentação	Falha na operação	Uso de bomba de baixa velocidade	C	II		
Choque elétrico	Ocorrência de	Contato com o equipamento	Danos à saúde do operador	Não tocar no equipamento com as mãos molhadas	B	II		Capacitação do operador
Vazamento	Ocorrência de	Tubulação danificada	Possível contaminação ambiental	Inspeção das tubulações	D	I		
Sentido de rotação	Diferente de	Erro na instalação	Falha na separação da fase sólida	Verificar o sentido de rotação estabelecido pelo fabricante	B	II		
Profundidade da camada líquida	Maior	Regulagem do equipamento	Baixo teor de sólidos	Verificar regulagem de acordo com os resultados esperados	C	I		
	Menor	Regulagem do equipamento	Alto teor de sólidos	Verificar regulagem de acordo com os resultados esperados	C	I		

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

5.5 NÓ 5

No quadro 13 são apresentados os resultados referentes ao NÓ 5 que envolve a higienização do lodo com a adição de cal hidratada, que tem por objetivo eliminar os organismos patogênicos contidos no lodo da ETE, além do transporte e disposição final do lodo com o uso de caminhões ao ASA.

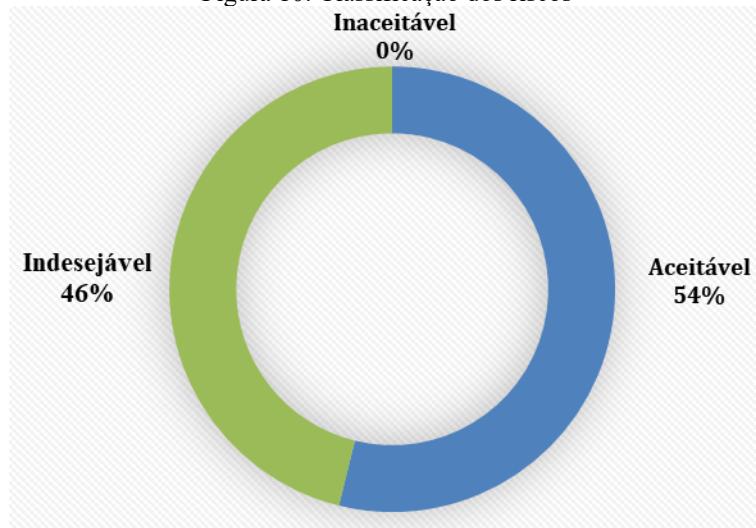
Quadro 13. Planilha com análise HAZOP referente ao NÓ 5

Análise de Perigo e Operabilidade (HAZOP)							
Estação de Tratamento de Esgoto							
Setor (Área)	Higienização, Transporte e Disposição Final do Lodo						
Nó	5		Data	23/12/2023			
Parâmetro	Desvio	Causa	Efeito	Salvaguardas	Freqüência	Severidade	Risco
Quantidade (Cal)	Menor	Falha do operador	Falha na higienização do lodo	Verificar quantidade necessária para o processo	E	II	
Vazamento durante o transporte	Ocorrência de	Acondicionamento inadequado	Possível contaminação ambiental	Uso de equipamentos adequados para o transporte	D	I	
		Alto teor de umidade		NA			
Acidente (caminhão)	Ocorrência de	Falha mecânica	Risco ao motorista	Manutenção dos caminhões	C	IV	
			Possível contaminação ambiental		D	II	
		Falha do motorista	Risco ao motorista	Capacitação dos motoristas	C	IV	
			Possível contaminação ambiental		D	II	
		Animais na pista	Risco ao motorista	NA	C	IV	
			Possível contaminação ambiental		D	II	
Quantidade (Lodo)	Maior	Ausência de Plano de Gestão do Lodo	Redução da Vida Útil do ASA	Reutilização	E	II	Apêndice 1 - Nota Técnica nº 01/2024/EAS2019/UEPA

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Foram analisados 65 cenários no total, sendo 35 deles classificados com risco aceitável (54%), 30 indesejáveis (46%) e nenhum inaceitável (0%), conforme indicado na figura 10.

Figura 10. Classificação dos riscos



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Em uma pesquisa baseada em um cenário hipotético de estação de tratamento de efluentes industriais, Corrêa (2014) concluiu que, dos 71 cenários analisados, 91,5% foram categorizados como indesejáveis, 8,5% como aceitáveis, e nenhum como inaceitável. A alta porcentagem de riscos indesejáveis contrasta com os valores encontrados neste estudo. Isso ocorre porque, de acordo com CETESB (2011), o risco associado às atividades de um empreendimento depende das características e quantidades das substâncias químicas manipuladas, bem como do nível de vulnerabilidade e suscetibilidade da região onde o empreendimento está localizado.

Com relação à frequência com que cada evento pode ocorrer, as categorias Provável (D) e Pouco Provável (C), conforme tabela 2, representam cerca de 92% dos eventos analisados. Entretanto, os eventos que apresentaram maior probabilidade de ocorrer resultam em consequências de baixo grau de severidade, o que configura um risco tido com aceitável ou indesejado.

Quanto à severidade, as categorias Marginal (I) e Desprezível (II) representam 94% dos eventos analisados, isso porque os efeitos provocados pelos desvios têm pouco potencial para afetar a segurança pessoal, a integridade das instalações bem como o meio ambiente.

Tabela 2. Matriz de avaliação de risco

Severidade	Frequência					Total
	A	B	C	D	E	
V	0	0	0	0	0	0
IV	0	0	3	0	0	3
III	0	0	0	1	0	1
II	0	2	13	23	3	41
I	0	1	4	15	0	20
Total	0	3	20	39	2	65

Inaceitável, Mudanças devem ser feitas
 Indesejável, faça alterações se possível
 Aceitável sem revisão

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A categorização dos riscos por meio da matriz de avaliação fornece informações valiosas para o seu gerenciamento. Conforme Galante, Bordalo e Nóbrega (2014), essas informações facilitam a compreensão da operação da unidade e ressaltam a necessidade de gerenciar os riscos, haja vista os potenciais efeitos que um simples desvio pode acarretar. Além disso, esclarece a maneira como os eventos são desencadeados a partir de falhas ou operações realizadas de forma inadequada.

Por se tratar de uma ETE automatizada, em grande parte dos processos há uma menor suscetibilidade de ocorrer eventos que ofereçam riscos a instalação, a saúde do trabalhador e ao meio ambiente. No entanto, conforme afirmado por Ponte Junior (2014) não existe segurança absoluta, a despeito de todos os recursos empregados, os riscos não são completamente eliminados. Nesse sentido a fim de minimizar os riscos foram apresentadas 15 recomendações, que se implementadas podem reduzir a frequência com que os eventos podem ocorrer ou a severidade das consequências decorrentes dos desvios, alterando assim a classificação do risco.

6 CONCLUSÃO

Segundo o que foi definido no objetivo geral deste estudo, que era aplicar o método HAZOP na etapa de tratamento e destinação do lodo em uma estação de tratamento de esgoto, na cidade de Altamira-PA, a metodologia HAZOP demonstrou-se eficaz na identificação, análise e avaliação dos ricos, devido minuciosa verificação realizada em todo o processo de tratamento do lodo.

Foram examinados 65 cenários, nos quais se destacam os riscos classificados como aceitáveis (35) e indesejáveis (30), sem nenhum sendo considerado inaceitável. Assim, 54% dos riscos identificados no processo são classificados como aceitáveis. Entretanto, parte dos riscos inicialmente classificados como indesejáveis pode ser reclassificada à medida que as recomendações indicadas no estudo são implementadas para reduzir a frequência ou a severidade das consequências dos eventos.

A alta automação na instalação resulta em uma demanda reduzida de funcionários para a operação, facilitando a segurança no trabalho ao minimizar a exposição dos trabalhadores a riscos. Além disso, a automação contribui para a minimização de eventos perigosos decorrentes de falhas humanas, tornando o processo menos suscetível à materialização de perigos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil. Brasília: ANA, 2020.
- ABNT. NBR ISO 31000: Gestão de riscos – Princípios e diretrizes. Rio de Janeiro, 2009. 24 p.
- ABNT. NBR ISO 31010: Gestão de riscos – Técnicas para o processo de avaliação de riscos. Rio de Janeiro, 2012. 96 p.
- AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS (AIChE). Guidelines for hazard evaluation procedures. New York, 1992.
- ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.
- BANK, World. Hazard and operability studies (HAZOP). In: Manual of industrial hazard assessment techniques. 1 ed., capítulo 7, London: Editora P. J. Kayes, 1985.
- BARBOSA, R. P. Avaliação de risco e impacto ambiental. Saraiva Educação SA, 2014.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357/2005. 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, n. 053, 18 mar. 2005, p. 58-63.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 430/2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, n. 92, 16 maio 2011, p. 89.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 498/2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos. Diário Oficial da União, n. 161, 21 ago. 2020, Seção 1, p. 265-269.
- CETESB. Norma Técnica P4.261, de dezembro de 2011, Risco de Acidente de Origem Tecnológica - Método para decisão e termos de referência. 2 ed., homologada pela Decisão de Diretoria – D.D. n. 073/2014/I, de 25/03/14. Diário Oficial do Estado de São Paulo, v. 124 (64), 4 abr. 2014, Seção I, p. 83.
- CEPRAM – Conselho Estadual do Meio Ambiente (BA). Norma Técnica - Gerenciamento de Risco no Estado da Bahia. 2009.
- CHERNICHARO, C. A. L. et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de desinfecção: Pós-tratamento de efluentes anaeróbios. Belo Horizonte: PROSAB/FINEP, 2001.
- CORRÊA, et al. Utilização das técnicas de análise: HAZOP e vulnerabilidade para a avaliação de um cenário típico de estação de tratamento de despejos industriais moderna em refinaria. 2014.
- G1. Globo Comunicação e Participações S.A., 2023.

GALANTE, E.; BORDALO, D.; NÓBREGA, M. Metodologia de avaliação de risco: HazOp quantitativo. Revista de Engenharia de Segurança, v. 2, p. 31-36, 2014.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico: séries temporais. Rio de Janeiro, [2015].

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico: séries temporais. Rio de Janeiro, [2022].

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapas Temáticos. Rio de Janeiro, 2008.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 8. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017.

KABBACH, C. B.; LUIS, D. D.; SOALHEIRO, G. C.; TAVARES, J. E. A.; LEGGIERI, T. F.; CONDOTTI, R.; MARIN, M. P. A. Análise de riscos do processo de produção de fenol e acetona a partir do benzeno e propeno. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, Viçosa/MG, BR, v. 4, n. 1, p. 0170–0180, 2018. DOI: 10.18540/jcecvl4iss1pp0170-0180. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2503>. Acesso em: 24 jul. 2023.

KHAN, F. I.; ABBASI, S. A. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 11, p. 261-277, 1998.

KING, R. Safety in the Process Industries. [S.I.]: Elsevier Science, 2016. ISBN 9781483104997.

METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. 3. ed. [S.I.]: Metcalf & Eddy, Inc., 1991. 1334 p.

MOLLER, N.; HANSSON, S. O.; HOLMBERG, J. E.; ROLLENHAGEN, C. Handbook of Safety Principles. 1. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2018.

MTP – Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora NR 9. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-9-nr-9>. Acesso em: 11 jun. 2023.

MINAYO, M. C. S. Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 1997.

PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. Curso de Gestão Ambiental. 2. ed. atual. e ampl. Barueri, SP: Manole, 2014. 1270 p.

PONTE JUNIOR, G. P. Gerenciamento de riscos baseado em fatores humanos e cultura de segurança: estudo de caso de simulação computacional do comportamento humano durante a operação de escape e abandono em instalações offshore. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 200 p.

RAUSAND, M. Reliability of safety-critical systems: theory and applications. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2014.

SANCHES, F. R. Pós-tratamento de esgoto sanitário de reator anaeróbio de manta de lodo: por processos de coagulação/flocação/sedimentação e por filtração biológica aeróbia. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

TRIVIÑOS, A. Introdução à pesquisa em ciências sociais. São Paulo: Atlas, 2009.

UNICAMP. Características do esgoto sanitário. 2005. Disponível em: <https://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/esgotocaracteristicas.htm>. Acesso em: 18 jun. 2023.

VINCOLI, J. W. Guide to System Safety. 3. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2014, p. 71-90; 167-178.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016. 211 p.

XIANG, Y. et al. Análise estatística dos principais acidentes industriais na China de 2000 a 2020. Engineering Failure Analysis, v. 141, p. 106632, 2022.

ANEXOS

APÊNDICE I - NOTA TÉCNICA Nº 01/2024/EAS2019/UEPA

I. RELATÓRIO

1. Trata-se de estudo técnico realizado pelos graduandos Haroldo Oliveira e Silva Junior e Jovânia Carvalho do Rosário, do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária – UEPA, Campus IX Altamira, à luz das orientações da Profa. Dra. Hebe Simone Sousa Ripardo (<http://lattes.cnpq.br/6711509760901899>) e do Profo. Msc. Gláuber Epifanio Loureiro (<http://lattes.cnpq.br/2678297764211806>), que objetiva propor mecanismo para melhorar a destinação do lodo de esgoto residual originado a partir do tratamento secundário da Estação de Tratamento de Esgoto de Altamira, ao passo que, busca-se também apresentar solução à recuperação de áreas degradadas ou perturbadas, de modo a mitigar os impactos ambientais e econômicos intrínsecos a este processo, considerando as técnicas consolidadas de tratamento do lodo e sua potencial utilização agrícola e de reestruturação da microfauna e das características físico-químicas do solo.
2. O referido estudo busca cumprir o papel das universidades na produção de conhecimento científico para subsidiar a tomada de decisão pelo poder público no enfrentamento de questões que impactam nos modos de vida e no cotidiano dos municípios, por exemplo, problemas de ordem econômica, de saúde pública, de saneamento básico e ambiental, entre outros. Com esta atitude, a instituição UEPA cumpre sua finalidade em promover a universalização dos saberes para o benefício harmônico que perpassam os limites físicos de suas estruturas, de modo a alcançar o cumprimento dos propósitos sociais.
3. Dito isto, apresentamos os argumentos que sustentam a presente Nota Técnica.
4. É o relatório.

II FUNDAMENTAÇÃO

5. A Universidade do Estado do Pará – UEPA, com sede e foro na cidade de Belém – PA, foi criada em 18 de maio de 1993 pela Lei Estadual nº 5.747. Possui organização autárquica de regime especial e estrutura multicampi. É regida por seu Estatuto, que estabelece as normas gerais da Universidade e pelo Regimento Geral, que regulamenta o funcionamento das atividades de ensino, de pesquisa e de extensão, das unidades e dos órgãos universitários, ambos criados pela Resolução 069/94 de 17 de março de 1994 do Conselho Estadual de Educação.

6. O Art. 6º das Resoluções 2910/15 e 2911/15 – CONSUN versa sobre os fins da Universidade do Estado do Pará. No Estatuto e Regimento Geral da UEPA, dentre os quais destacamos:

Art. 6º. São fins da Universidade do Estado do Pará.

I - **contribuir para a criação de direitos** e de novas formas de existência social e **para o cultivo da cidadania**;

[...]

III - **promover e estimular a pesquisa considerada como princípio científico**, educativo e político, visando ao desenvolvimento da filosofia, da ciência, das letras, das artes e da tecnologia;

[...]

V - **realizar estudos e debates** para a discussão das questões regionais e nacionais com o propósito de contribuir para a **solução dos problemas**, bem como possibilitar a criação de novos saberes, **na perspectiva da construção de uma sociedade democrática**. (grifo nosso).

7. Em complemento, estas resoluções abordam no Art. 9º sobre os princípios fundamentais que regem as ações e compromissos da UEPA, que salientamos:

Art. 9º. São princípios fundamentais da Universidade do Estado do Pará:

[...]

III- **desenvolvimento** da filosofia, da **ciência**, da **tecnologia**, das letras e das artes, **comprometido com a humanização do ser humano e da sociedade**; (grifo nosso).

8. Nesse diapasão, é de se considerar que a UEPA tem competência e capacidade para auxiliar aos tomadores de decisão na compreensão de aspectos à proteção de direitos coletivos, mormente à preservação e conservação dos recursos naturais e para o dever ao consumo sustentável consolidado no Artigo 225 de nossa Carta Magna. É dizer, a sustentabilidade perfunde o regramento ambiental sem dela se separar.

9. A par dessa proposição, cumpre recobrar que a lei ambiental que intervêm nos deveres e direitos do uso sustentável dos recursos naturais, entre diversas outras normativas, é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei Federal nº 12.305/2010, que determina aos Estados e Municípios para que fomentem ações com a finalidade de alcançar a eficiência no manejo dos resíduos sólidos (artigo 7º).

10. Observe que a PNRS imputa aos Estados e Municípios a responsabilidade de implementar ações de salvaguarda ambiental que possibilitem – com a participação da sociedade – a preservação, a conservação, a defesa, a recuperação e o aprimoramento do meio ambiente natural, artificial e do ambiente laboral, de forma harmonizada com o desenvolvimento socioeconômico e ambiental.

11. Para a clareza dos conceitos, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução 498 de 19 de agosto de 2020, apresenta as definições para área degradada, lodo de esgoto, biossólido, e recuperação de área degradada:

Art. 2º. Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

IV - Área degradada: toda área que por ação natural ou antrópica teve suas características originais alteradas além do limite de recuperação natural dos solos, exigindo, assim, a intervenção do ser humano para sua recuperação;

...

XIII - Lodo de esgoto: resíduo sólido gerado no processo de tratamento de esgoto sanitário, por processos de decantação primária, biológico ou químico, não incluindo resíduos sólidos removidos de desarenadores, de gradeamento e peneiramento;

XIV - Biossólido: produto do tratamento do lodo de esgoto sanitário que atende aos critérios microbiológicos e químicos estabelecidos nesta Resolução, estando, dessa forma, apto a ser aplicado em solos;

...

XXI - Recuperação de área degradada: recuperação da integridade física, química e/ou biológica e da capacidade produtiva de uma área, seja para produção de alimentos e matérias-primas ou na prestação de serviços ambientais;

12. Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) o lodo gerado estritamente em Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico – compreenda-se, sem traços significativos de esgoto industrial – não é classificado como resíduo com características patogênicas (Classe I – Perigoso), mas como sendo de Classe II A – Não Inerte, contendo propriedades de solubilidade em água, combustibilidade e biodegradabilidade.

13. A PNRS, classifica o lodo, como resíduos sólidos provenientes de sistemas de tratamento de esgoto, categorizados como resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, conforme sua origem. Devido às suas características, que incluem uma composição basicamente orgânica e rica em nutrientes, tornando-se uma fonte benéfica para vegetais, bem como um recuperador e/ou condicionador de solos. O lodo se coaduna aos padrões de reciclagem e reutilização de resíduos, promovendo o desenvolvimento sustentável preconizado pela PNRS.

14. O lodo descartado é geralmente direcionado para tratamento específico visando sua disposição final. Esta etapa, no funcionamento das estações de tratamento de esgoto, constitui a fase mais dispendiosa do tratamento, podendo representar até 60% do orçamento operacional dedicado ao controle da poluição das águas residuais.

III ANÁLISE

15. Em que pese o aterro sanitário seja via de destino de subprodutos aceita no Brasil, é senso comum que não é a mais apropriada, devido aos potenciais impactos ambientais que podem ocorrer no solo e nas águas subterrâneas. Altamira dispõe de um aterro sanitário municipal, onde para o ano de 2023 foram destinados 1.000.452 ton de lodo de esgoto (o que corresponde a 100 caminhões com capacidade para 10 m³), sendo depositados nas células rejeitos sólidos, impermeabilizadas com manta geotêxtil de 2 mm de espessura (Secretaria Municipal da Gestão de Meio Ambiente de Altamira/SEMMA, 2023).

16. Outro aspecto que urge apresentar, faz referência a quantidade de 12.261,65 km² (7,68% do território altamirense) de áreas passíveis de recuperação ambiental (sendo 5.816,58 km² até o ano de 2007 – desmatamento consolidado; 6.445,07 km² referente ao período de 2008 a 2023), que estão distribuídas em imóveis rurais localizados no município (SEMMA/INPE/PRODES/2023).

17. É amplamente reconhecido que os subprodutos (notadamente, o lodo) do tratamento de esgoto possuem um considerável potencial de aproveitamento. No entanto, os esforços nesse sentido são limitados e, quando implementados, tendem a ser descoordenados, muitas vezes explorando apenas algumas das diversas possibilidades disponíveis.

18. A esse respeito, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), órgão do Governo do Estado responsável pela gestão ambiental e integrante do conjunto de 16 centros de referência da Organização das Nações Unidas (ONU) para assuntos ambientais, valida essa compreensão conforme destacado na Nota Técnica nº P4.230, de maio de 2021 ao revisar sua Primeira Edição (ano de 1999):

Em termos técnicos, **há relatos de várias possibilidades** para a disposição final de lodo gerado em estações de tratamento de efluentes encontrados **nas experiências americanas, australianas e neozelandesas**, para indicar as mais citadas (página 2).

19. Registre-se, ainda, que, os estudos conduzidos pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações de Tratamento de Efluentes Sustentáveis (INCT ETEs) resultaram na produção de aproximadamente 50 notas técnicas. Essas notas abordam temas relacionados à valorização e utilização dos subprodutos provenientes do tratamento de esgoto, contribuindo para aprimorar a eficiência e os processos existentes, além de consolidar o conhecimento já disponível.

20. Desse modo, considerando os benefícios do lodo de esgoto, o Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA reconhece sua aplicação como produto agrícola, seja como condicionador

de solo, substrato para plantas, fertilizante orgânico ou mesmo como matéria-prima na fabricação desses insumos, enfatizando os critérios de segurança para aplicação na agricultura.

21. Por suas características, de material essencialmente orgânico e rico em nutrientes e, portanto, fonte de nutrientes para vegetais, recuperador e/ou condicionador de solos, o lodo bem se esquadra nos princípios de reciclagem e reutilização de resíduos e de desenvolvimento sustentável da PNRS.
22. Portanto, por tais razões, o uso do lodo de esgoto em solos pode ser uma forma ambientalmente sustentável de destinação final, estando em consonância com a PNRS, pois estipula que, ao abordar a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, é imperativo dar prioridade a ações como a diminuição, a reutilização e a reciclagem dos resíduos sólidos (Brasil, 2010).

IV CONCLUSÃO

23. Dito isto, sugere-se ao Executivo Municipal que proceda estudo de viabilidade técnica-financeira, à luz da exegese da Resolução CONAMA nº 498/2020, para o planejamento de políticas públicas destinadas a apoiar os agricultores na aplicação de bioassólido, visando promover a conversão desse valioso subproduto do tratamento de esgoto em um recurso para uso agrícola e para recuperação de área degradada, alinhando-se a uma perspectiva de economia circular.
24. Ao gabinete do Excelentíssimo Sr. Prefeito Municipal de Altamira Claudomiro Gomes e ao gabinete de Sua Senhoria Secretário Municipal da Gestão do Meio Ambiente Sr. Antônio Ubirajara Boga Umbuzeiro Junior, para ciência e ulteriores ações.

Haroldo Oliveira e Silva Junior

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária

Jovânia Carvalho do Rosário

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária

Profª. Dra. Hebe Simone Sousa Ripardo

Professora Assistente IV da UEPA

Profº. Msc. Glauber Epifanio Loureiro

Professor Assistente IV da UEPA