



VI-102- ANÁLISE DE RISCO AMBIENTAL DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ

Elaine Cristina Corrêa De Souza ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitária pela Universidade do Estado do Pará -UEPA.

Luana Sousa Santos ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitária pela Universidade do Estado do Pará -UEPA.

André dos Santos Araújo ⁽¹⁾

Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental (FACUMINAS), Especialização em andamento em em Educação Ambiental e Sustentabilidade (Universidade Federal do Pará- UFPA), Graduado em Gestão Ambiental, Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Glauber Epifanio Loureiro ⁽¹⁾

Professor Assistente IV do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Estado do Pará -UEPA, Mestre em Engenharia Civil, com habilitação em Recursos Hídricos e Saneamento, Especialista em Projetos sociais e políticas públicas (Centro Universitário Senac), Especialista em Gestão Integrados da Qualidade, Meio ambiente e Segurança do trabalho (Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial-Senac), Engenheiro Ambiental (Universidade do Estado do Pará).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Hiléia, s/n – Agrópolis do Incra, Bairro Amapá, CEP: 68502-100, Marabá-PA, Brasil - Tel: (94) 992906841 - e-mail: Eng.luanasantos21@gmail.com

RESUMO

Com o crescimento populacional significativo e a escassez de serviços de saneamento básico no Norte do país, é necessário manter um sistema de tratamento de esgoto eficiente e de qualidade. Diante desse cenário, a presença das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) é crucial, pois estão diretamente relacionadas à saúde pública do município. Além disso, como a ETE possui uma grande relação com o ambiente em que está inserida, é imprescindível que ela esteja de acordo com os padrões de sustentabilidade. Este estudo tem como objetivo analisar os riscos ambientais decorrentes das atividades de operação da Estação de Tratamento de Esgoto, utilizando os métodos de Análise do Modo de Falhas e Efeitos (FMEA) e Análise de Árvore de Falhas (AAF). A partir da utilização dessas ferramentas, foi possível determinar que o maior índice de probabilidade de ocorrência de falhas ocorre na etapa de desarenamento, impactando diretamente na contaminação do solo. O risco com o maior índice de prioridade foi identificado na etapa de coleta do biogás. Dessa forma, foram verificadas ações a serem tomadas com o intuito de melhorar o desempenho da estação, através da redução ou prevenção de falhas. A manutenção preventiva foi identificada como a principal medida a ser implementada.

PALAVRAS-CHAVE: Riscos ambientais, desempenho de ETE, Análise de falhas.

INTRODUÇÃO

O esgoto doméstico urbano tem evoluído à medida que a população busca avançar na qualidade de vida, com o propósito de contribuir para a construção de um ambiente sustentável. Contudo, a necessidade de tratamento de esgoto é crucial, pois a falta desse processo resulta em impactos significativos no meio ambiente, afetando diretamente a qualidade de vida e os ecossistemas por meio da poluição hídrica, degradação do solo e transmissão de doenças, entre outros fatores.

O Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) destaca-se como componente fundamental do saneamento básico, sendo responsável pelo afastamento, tratamento e destinação adequada dos efluentes gerados diariamente pela população (Oliveira et al., 2015).



Um município que não possui um SES está sujeito a conviver com maus odores causados pelo acúmulo de sujeira que se espalha com o lixo, tornando-se um terreno favorável à proliferação de ratos, baratas, moscas e bactérias nocivas. Esses fatores geram riscos à saúde pública, aumentando a mortalidade infantil pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, como a diarreia por *Escherichia coli*, e também doenças como febre tifoide, cólera, leptospirose, hepatite, entre outras (Oliveira et al., 2015).

Sabendo disso, os gastos com obras de saneamento básico são investimentos feitos com o intuito de desenvolver o país, trazendo grandes vantagens como o combate e erradicação de doenças. A implantação de um Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) adequado impacta diretamente no aumento do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e na preservação do meio ambiente. De acordo com dados da ONG SOS Mata Atlântica (2015), um estudo demonstrou que, de um total de 111 rios no Brasil, 23% apresentaram péssima qualidade, ligada diretamente à falta de investimento em saneamento básico.

Conforme os últimos levantamentos feitos pelo Instituto Trata Brasil (2020), cerca de 45% da população, aproximadamente 100 milhões de brasileiros, ainda não possuem sistemas de coleta de esgoto. Desses, 86,9% residem na região Norte, que conta com apenas 13,1% de redes coletoras de esgoto, atendendo cerca de 2,3 milhões de pessoas. Esse é um índice alarmante quando comparado às demais regiões do Brasil, evidenciando o déficit nos sistemas de saneamento voltados para a região Norte do país.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2019), em 2020 o investimento total na área de água e esgoto reduziu em 12,4% em relação aos R\$ 15,7 bilhões de 2019, sendo a macrorregião Norte a que recebeu menor valor, cerca de R\$ 800 milhões (5,8%).

Em Marabá, conforme dados do IBGE (2022), apenas 31,8% dos domicílios possuem esgotamento sanitário adequado. A influência de grandes rios, como o Itacaiúnas e o Tocantins, requer fiscalização rigorosa da drenagem e gestão das águas pluviais e domésticas. Apesar da presença de um sistema natural de macrodrenagem, evidencia-se a instabilidade no tratamento de esgoto urbano (AESBE, 2018).

Considerando que a cidade de Marabá não possuía um sistema de coleta e tratamento de esgoto coletivo, sendo realizadas soluções individuais do tipo fossas sépticas de forma rudimentar, ou até mesmo o lançamento bruto de esgoto em valas de drenagem e rios, as águas residuais lançadas diretamente no meio ambiente são passíveis de poluição ambiental, especialmente em ecossistemas aquáticos. Assim, é essencial a implantação efetiva de um sistema de tratamento de esgoto que destine as águas residuárias de maneira ambientalmente correta, minimizando os impactos ambientais causados pela falta de tratamento adequado e proporcionando benefícios à saúde das pessoas e do entorno. Mas quais são os riscos ambientais que uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) gera na sua operação?

Como em qualquer outro tipo de serviço, as ETEs também estão sujeitas a falhas, apresentando riscos físicos, químicos e biológicos (Brasil, 2014). Estudos de análise de riscos podem identificar vazamentos de substâncias tóxicas e potenciais riscos à saúde humana por meio da exposição ao esgoto bruto. Portanto, é necessário identificar os riscos específicos no local da estação, pois cada região possui suas particularidades quanto a clima, solo e infraestrutura, podendo surgir riscos não observados em outras regiões.

Este estudo tem como objetivo apontar e analisar os riscos nos processos realizados na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) instalada no município de Marabá, utilizando as ferramentas de análise de riscos: Análise de Árvore de Falhas (AAF) e Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA). Estas ferramentas permitem a identificação de prováveis pontos de risco de acidentes e erros de execução na área de operação, para que sejam tomadas medidas preventivas, garantindo assim a integridade das pessoas e do meio ambiente.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE PESQUISA

O estudo foi realizado na principal Estação de Tratamento de Esgoto instalada na cidade de Marabá, localizada a 485 km da capital Belém. Marabá possui cerca de 287.664 habitantes, sendo o quarto município mais populoso do Estado do Pará (IBGE, 2021).

Seus núcleos urbanos são denominados Marabá Pioneira ou Velha Marabá, Cidade Nova, Nova Marabá, São Félix I e II, Morada Nova e Cidade Jardim. A cidade está situada no sudeste do Estado do Pará, nas coordenadas geográficas latitude 05° 21' 54" S e longitude 49° 07' 48" W. Marabá é atravessada por dois grandes rios, Itacaiúnas e Tocantins, que formam uma espécie de "Y" no núcleo de Marabá Pioneira, quando visto de uma perspectiva superior.

O clima de Marabá é tropical semiúmido, com temperatura média de 27 °C e baixas variações térmicas. A cidade apresenta uma média anual de pluviosidade de 1863 mm, sendo o mês de março o mais chuvoso, com uma média de 325 mm de precipitação, e agosto o mais seco, com média de apenas 6 mm. A umidade do ar é relativamente elevada, e a velocidade média do vento é de 1,4 m/s, predominantemente na direção nordeste (Climate Data, 2022).

A hidrologia de Marabá é composta por quatro rios principais: Itacaiúnas, Tocantins, Tauarizinho e Sororó, além das bacias dos rios Aquiri, Tapirapé, Cinzento, Preto, Parauapebas e Vermelho. Destaca-se especialmente a bacia do Itacaiúnas, que banha todo o município e cobre uma área de 5.383,4 km².

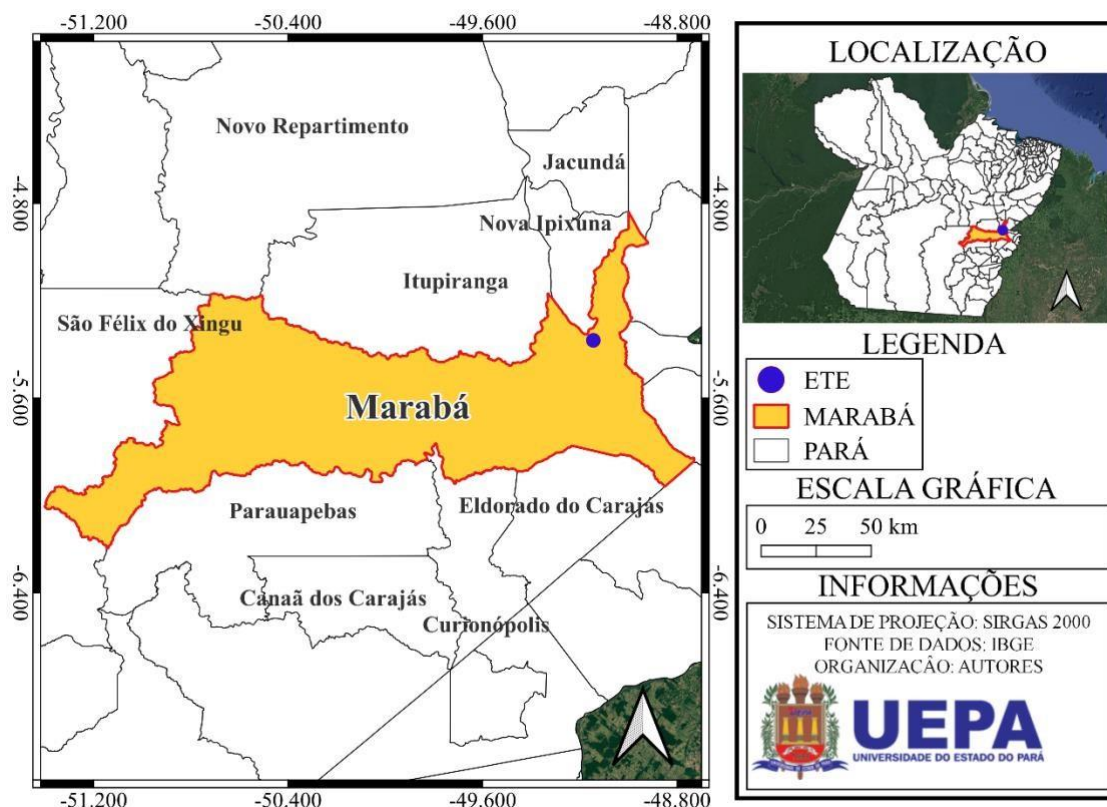


Figura 02: Mapa de Localização do município de Marabá e da ETE.

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) atualmente possui uma estrutura de 368,75 m², com uma rede coletora que se estende por 35,85 quilômetros. A estação recebe efluentes de três elevatórias, com uma vazão de entrada de cerca de 100 m³/h, atendendo aproximadamente 18,7 mil habitantes, divididos entre os núcleos Cidade Nova e Nova Marabá (AESBE, 2018).

O processo de tratamento da ETE inclui as seguintes etapas: gradeamento (a), desarenador (b), 16 reatores UASB (c), 8 leitos de secagem (d), sistemas de coleta de biogás (e) e uma câmara de biogás (f). Há planos para futuras ampliações, adicionando mais 16 reatores e 8 leitos de secagem, conforme ilustrado na Figura 3.

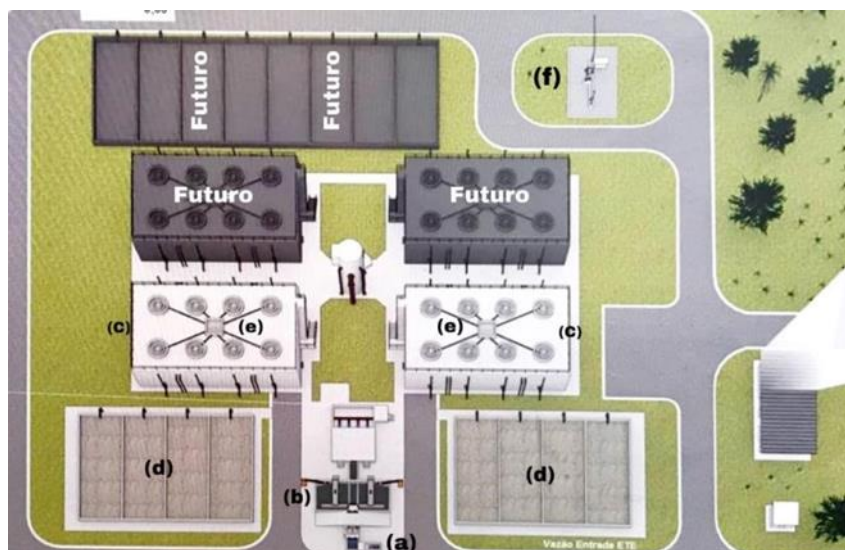


Figura 03: Visão Geral do Empreendimento.

Apesar de representar um projeto de ampla envergadura, a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) ainda não processa volumes significativos de efluentes, visto que foi inaugurada em 2018 e, até o momento, não abrange a totalidade das residências dos núcleos urbanos mencionados.

Na fase inicial, os biossólidos produzidos são encaminhados para o aterro sanitário municipal, visando a futura valorização desses resíduos, tais como sua aplicação na agricultura como biofertilizantes. Adicionalmente, projeta-se a conversão do biogás metano em fonte de energia sustentável; no entanto, devido ao baixo volume produzido atualmente, opta-se pela combustão do excedente. A infraestrutura da ETE engloba sistemas de automação e operação manual, destacando-se a presença de dois equipamentos de gradeamento para tratamento preliminar dos efluentes provenientes da rede coletora interna e um destinado aos efluentes de fontes externas, conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 04: Tratamento Preliminar. Gradeamento (a) e (b), Resíduos (c).

Na etapa preliminar, o sistema conta com um desarenador, onde são retirados os acúmulos de matéria orgânica, que são então encaminhados para containers, conforme ilustrado na Figura 5.



Figura 05: Processo de Desarenamento e Coleta de rejeitos. Desarenador (d) e Coleta de Resíduos (e).

A etapa de tratamento biológico possui 16 reatores UASB anaeróbios com fluxo ascendente, onde ocorre a decomposição da matéria orgânica pela ação de microrganismos. Além disso, a estação conta com 8 leitos de secagem para a deposição do lodo proveniente do tratamento biológico, conforme demonstrado na Figura 6.



Figura 06: Reator UASB (f) e Leitos de Secagem (g).

Adjacente à etapa de tratamento biológico, ocorre a coleta de biogás. Por meio de tubulações, os gases são transportados para a câmara de biogás, conforme apresentado na Figura 7.



Figura 07: Processo de Coleta de Biogás (h), Câmara de Biogás (i) e armazenamento (j).



PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A natureza desta pesquisa é aplicada, que segundo Gil (2017) os conhecimentos adquiridos em pesquisas de característica aplicada têm utilização em uma situação específica, quanto a abordagem desta será semiquantitativa. Essa abordagem segundo ABNT NBR ISO 31000/2018 (2018) permite que análises de risco sejam feitas por combinações de técnicas qualitativas e quantitativas. Assim, podem-se atribuir valores às escalas qualitativas sem a necessidade de corresponderem exatamente à magnitude real das consequências ou probabilidades dos números atribuídos.

Quanto aos objetivos, este estudo é classificado como exploratório, com foco na familiarização com o problema para esclarecer ou desenvolver hipóteses. Na maioria das vezes, esse tipo de estudo assume a forma de revisão de literatura ou estudo de caso, envolvendo levantamento bibliográfico, entrevistas e análise de diferentes elementos (Gil, 2017).

A pesquisa foi realizada utilizando a metodologia de estudo de caso, que consiste em descrever, explicar ou explorar eventos no próprio contexto, a partir de dados qualitativos gerados em visitas exploratórias, permitindo um estudo detalhado dos impactos e aspectos gerados no processo de operação da ETE (Yin, 2015). Os dados necessários no estudo são divididos em dados primários e dados secundários.

Para análise da problemática, foi realizado um estudo de campo, onde a coleta de dados se baseou em visitas técnicas para o reconhecimento local e das atividades realizadas na operação de tratamento de esgoto, além da observação das condições de funcionamento da ETE. Para os dados secundários, foram coletadas informações de artigos, monografias e dissertações por meio de pesquisa bibliográfica na ferramenta de busca Google Acadêmico, com temática sobre análise de riscos e impactos ambientais inerentes às atividades de estações de tratamento de esgoto.

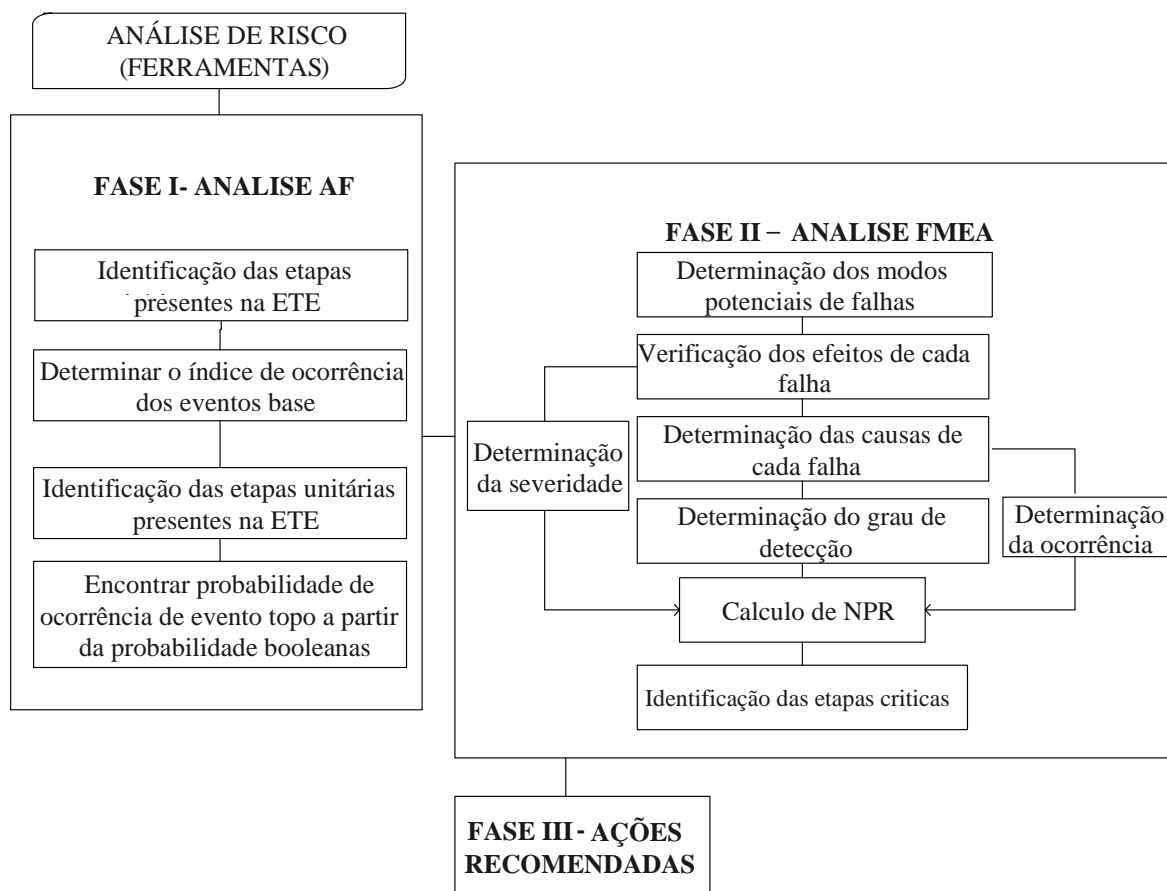







Figura 08: Fluxograma das etapas de Análise de Riscos.

No processo de elaboração da Árvore de Falha (AAF) para a devida identificação do evento topo das etapas de processamento que compõe a operação da ETE e consequentemente as suas ramificações e sub-ramificações, e também para a identificação de possíveis falhas que podem levar a ocorrência do evento topo, foi utilizado, os elementos que compõe a AAF e suas portas lógicas juntamente com o software de diagramação técnica (EDRAWSOFT, 2021). Os símbolos gráficos usados para a construção da árvore de falhas são apresentados no Quadro 3.





Quadro 3: Elementos da Árvore de Falha.

Símbolo Lógico	Nome	Evento	Observações
	Processo	Evento intermediário ou evento de topo.	Evento topo, e resultado das combinações de vários eventos básicos.
	Conector	Evento base.	Acontecimento inicial ou falha inicial ou que não precisa de maior desenvolvimento.
	Processo alternativo	Evento condicionante.	Condições específicas ou restrições que se aplicam a qualquer porta lógica.
	Conector fora de página	Evento exterior.	Evento básico esperado de ocorrer em condições normais de operação.
	Decisão	Evento por desenvolver.	Não há maior desenvolvimento por não ter importância ou por não haver informação suficiente que o fundamente.

Fonte: Adaptada de Baptista (2008).

As portas lógicas “E” são identificadas pelo sinal de soma “+” no qual possibilita uma condição mais certa de acontecer, criando uma ideia de sistema paralelo com inúmeros situações que levará a falha, já a porta lógica “OU” é representada pelo sinal de multiplicação “*” demonstrando uma afirmativa menos provável de se ocorrer, seguindo a ideia de sistema em série no qual só ocorrerá se um de seus componentes falharem (Assumpção, 2018). As portas lógicas e as suas funções são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4: Portas Lógicas e suas Funções.

Símbolo Lógico	Definição – Porta	Observações
	Porta “OU”	O evento de saída ocorre se pelo menos um evento ocorrer.
	Porta “E”	O evento de saída ocorre se todos os eventos anteriores ocorrerem.
	Porta de Entrada	O evento advém de outra sequência (folha) e tem continuidade na sequência presente (folha).
	Porta de Saída	Este símbolo representa uma transferência, ou seja, que a árvore continua em outra folha.

Fonte: Adaptada de Baptista (2008).

E logo após a conclusão das possíveis causas que levaram a ocorrência da falha, foram definidos os indícios probabilísticos de ocorrência para cada evento por meio das propriedades Booleana. As propriedades que são usadas para demonstrar os conjuntos de falhas são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5: Propriedades Boleanas.

Comutatividade	$x*y=y*x$ $x+y=y+x$
Associatividade	$x*(y*z)=(x*y)*z$ $x+(y+z)=(x+y)+z$
Inalterabilidade	$x*x=x$ $x+x=x$
Distributiva	$x*(y+z)$ $x+(y*z)$
Absorção	$x+(x*y)=x$ $x*(x+y)=x$

A partir das visitas e alguns depoimentos das pessoas que se faziam presentes no ambiente, foi possível determinar o evento base utilizando a equação 1:

$$P = \frac{n(e)}{n(\Omega)}$$

Equação (1)

Onde $n(e)$ é o número de elementos do evento e $n(\Omega)$ o número de elementos do espaço amostral. O $n(e)$ representa a quantidade de eventos que levará à ocorrência do evento base, e $n(\Omega)$ corresponde à quantidade dos respectivos equipamentos envolvidos para cada processo (Spiegel; Schiller; Srinivasan, 2013).

E com o intuito de melhor avaliação dos riscos e sugestões de mitigação dos eventos ocorridos, utilizou-se o método FMEA, que a partir do cálculo do Número de Prioridade de Riscos - NPR possibilitou a devida identificação do que possui maior efeito negativo, sendo essencial a sugestão de ações recomendadas para evitar os possíveis riscos. A Avaliação de riscos foi elaborado a partir da utilização dos dados que foram obtidos na fase de identificação de risco, conforme demonstrados no modelo de tabela 03, através da análise de NPR com escala de 1 que o valor mais baixo atribuído até 27 sendo o valor mais alto do índice de risco.

Tabela 1: Modelo de método FMEA

Processo	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Número de Índice de Risco	Ações Recomendadas
Processo 1	Função A	Modo B	Efeito C	Causa D	1	2	3	6	Ação E

Fonte: Adaptado de Santos (2018).

A determinação da avaliação de NPR é pela multiplicação dos índices severidade (S) (Tabela 02), Ocorrência (O) (Tabela 03) e Deteção (D) (Tabela 04), que podem ser vistos na equação 2.

$$NPR = (S) \times (O) \times (D)$$

Equação (2)

Tabela 2: Escala de Severidade.

Classificação	Severidade	Critérios
3	Alta	Ocorrência de falha compromete totalmente o desempenho do ativo, com riscos de segurança. Cliente totalmente insatisfeito.
2	Moderada	Ocorrência das falhas num nível considerável e que afeta o desempenho do ativo. Cliente já se incomoda com o problema gerado.
1	Baixa	Quando o efeito da falha é imperceptível ou até mesmo improvável

Fonte: Rocha (2019 apud YAMADA, 2014).

Tabela 3: Escala de ocorrência

Classificação	Ocorrência	Critérios
3	Alta	Probabilidade de ocorrência semanal
2	Moderada	Uma falha em muitos meses
1	Baixa	Uma falha em muitos anos

Fonte: Rocha (2019 apud YAMADA, 2014).

Tabela 4: Escala de Detecção

Classificação	Detecção	Critérios
3	Alta	Certamente será detectada
2	Moderada	Quase certo de que será detectada
1	Baixa	Pequena probabilidade de ser detectada

Fonte: Rocha (2019 apud YAMADA, 2014).

Neste estudo, a utilização da ferramenta Árvore de Falhas – AAF auxiliou na identificação do evento com a maior probabilidade de ocorrência. Em seguida, possibilitou a identificação das causas iniciais para inserção na tabela de Análise de Modos de Falhas e Efeitos – FMEA, sendo esta etapa necessária para encontrar as falhas que devem ser priorizadas devido ao seu maior nível de risco presente no tratamento de esgoto, o que pode afetar o desempenho da estação. Com isso, é possível elaborar ações a serem seguidas para minimizar ou mitigar possíveis eventos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ASPECTOS LEGAIS

Os serviços básicos de saneamento são regulamentados pelas Leis nº 11.445, de 5 de 2007, atualmente atualizados pela Lei nº 14.026/2020, alterando vários aspectos desses serviços, com o objetivo principal de fornecer as diretrizes que visem a universalização aos serviços de saneamento.

A Análise de Riscos é uma ferramenta instituída pela Portaria Normativa CETESB nº P4.261 de dezembro de 2011, que especifica o Risco de Acidentes de Origem Tecnológica - Método de Decisão e Termos de Referência para quantificar o risco de um empreendimento específico, com base na identificação de perigos em tecnologia, frequência e estimativa de impacto físico, avaliação de vulnerabilidade e estimativa de risco.



O planejamento ambiental é uma ferramenta para auxiliar na gestão e organização das bacias hidrográficas, além de possibilitar estratégias para o desenvolvimento sustentável dos recursos naturais, pois os recursos são utilizados de acordo com sua capacidade de suporte (Farias; Silva; Nascimento, 2015).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRS) recomenda formas aprimoradas de uso e gestão da água, e nessa parte estão sendo desenvolvidas ações voltadas para a gestão e melhoria do uso dos recursos hídricos, primeiro nas repartições federais e depois nos níveis estaduais e municipais para criar novas ferramentas (Brasil, 1997).

PROCESSO DE TRATAMENTO DO ESGOTO

De acordo Brasil (2019) em seu Manual de Saneamento Funasa (Fundação Nacional de Saúde), as etapas de tratamento estão relacionadas à remoção de poluentes para poder-se adequar aos padrões, para o lançamento exigido pelo órgão ambiental de acordo com as características do corpo receptor, onde a avaliação de eficiência da remoção de poluentes se dá a partir da relação do valor percentual de concentração na entrada no processo com a concentração final após o processo. A Figura 1 apresenta um fluxograma do Processo de Operação de uma ETE.

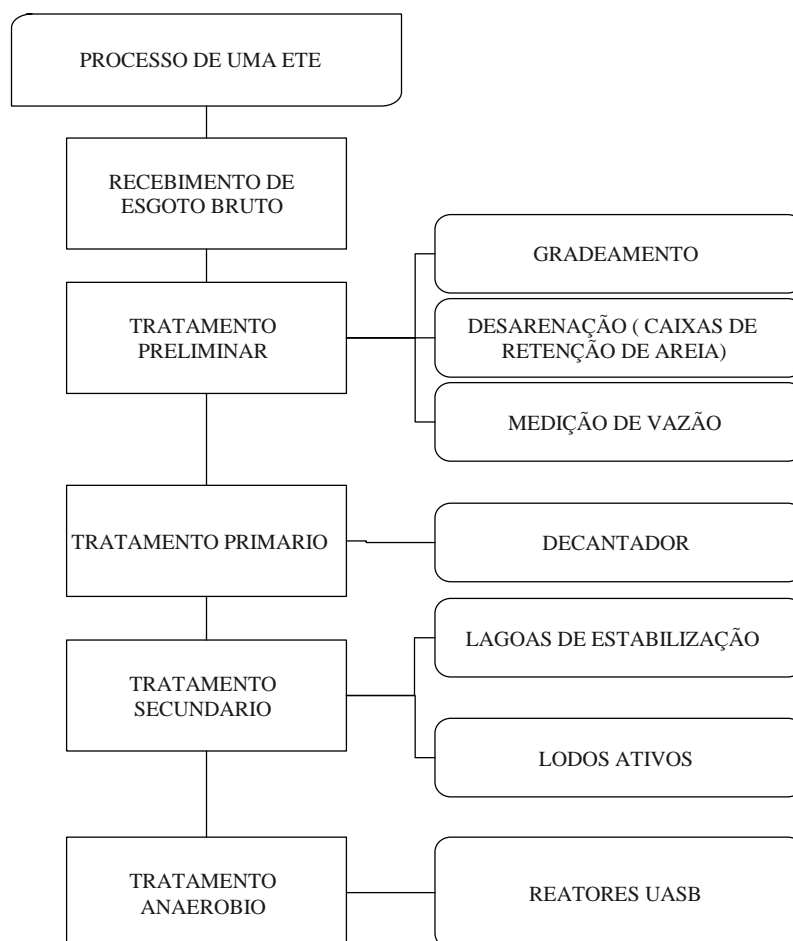


Figura 01: Fluxograma do Processo de Operação de uma ETE.

TRATAMENTO PRELIMINAR

No Tratamento preliminar o objetivo é a remoção de sólidos grosseiros e areias presentes no efluente, evitando assim o acúmulo de sólidos e material não permeável, e entupimentos em tubulações nas demais unidades da ETE, sendo estes compostos por gradeamento, caixa de areia (ou desarenador), caixas de



retenção de óleo e gorduras, e peneiras. Também nesta etapa podemos encontrar a calha Parshal sendo utilizada para a medição da vazão do fluido (Alves, 2020).

TRATAMENTO PRIMÁRIO

Segundo CORNELLI et al (2014) o tratamento primário consiste na remoção de sólidos sedimentáveis e matéria orgânica que não foram removidos no tratamento preliminar. Como exemplos de processos que envolve o tratamento primário temos a decantação, flotação, e coagulação, onde pode-se ter a remoção de 40% a 70% dos sólidos em suspensão, e de 25% a 40 % de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) (Botelho, 2017).

TRATAMENTO SECUNDÁRIO

O objetivo do tratamento secundário é a remoção da matéria orgânica dissolvida, como também alguns nutrientes, como por exemplo nitrogênio e fósforo, onde a partir do tratamento (tecnologia) adotado pode-se obter a remoção de 60 a 99% na DBO e coliformes, e cerca 10 a 50% nos nutrientes (Botelho, 2017). Temos como exemplos para o tratamento os processos de lodos ativados, lagoas de estabilização, reator anaeróbio (UASB), lagoas aeradas, e filtros biológicos.

Identifica-se que dentro do tratamento secundário há dois tipos de tratamentos que baseiam-se no processo de respiração dos microrganismos presentes no esgoto a ser tratado, que são o aeróbio que consiste no fornecimento de oxigênio através de dispositivos eletromecânicos que agitam o afluente, permitindo assim que haja as reações bioquímicas através do contado do oxigênio dissolvido (OD) com toda ou parte da massa líquida, e o tratamento anaeróbio, onde a estabilização do afluente ocorre sem a presença do oxigênio dissolvido, e tendo como resíduo uma pequena quantidade de lodo, porém, uma considerável quantidade de metano e dióxido de carbôno, e também subprodutos como amônia, sulfetos e fosfatos na solução aquosa (Alves, 2020).

TRATAMENTO TERCIÁRIO

De acordo com o Manual de Saneamento Funasa (2019), o tratamento terciário possui o papel de complementar a eficiência do processo que não foi reduzida o suficiente no nível secundário, principalmente as concentrações de nitrogênio e fósforo, e inativar espécies de organismos presente (bactérias, protozoários, fungos), sendo esta etapa sugerida apenas para condições muito específicas de reúso da água ou no tratamento do esgotamento doméstico.

RISCO E ANÁLISE DE RISCO

O termo “risco” faz parte do dia a dia sendo empregado em diversas formas e significados, onde o significado predominante é o de demonstrar uma certa chance de algo acontecer, como por exemplo, o risco de um acidente, o risco de algo falhar, ou o alto risco de que algum evento ocorra (MARQUES, 2019).

Segundo Aquino et al. (2017), a definição de risco vem mudando com o passar de tempo com o aparecimento de novas técnicas e conceitos. Um exemplo seria o conceito de probabilidade, que a partir do desenvolvimento matemático foi possível quantificar o risco.

Um risco pode emergir de uma combinação da frequência e consequências de um ou mais cenários de contingência. Uma composição suficiente desses fatores permite avaliar os riscos de uma organização e a ferramenta utilizada para esse fim é um estudo de análise de risco (Alves, 2015).

A análise de risco é realizada por meio de uma soma de metodologias e técnicas que visam identificar e avaliar os riscos, levando em consideração o tipo, o nível (análise qualitativa) e a quantidade (análise quantitativa). Uma das principais finalidades da realização de uma análise de risco é representar os interesses



de segurança da sociedade do meio ambiente e da empresa. Os resultados determinarão as circunstâncias a frequência e o impacto dos riscos analisados (ROJAS, 2015).

A análise de riscos transmite aos encarregados pela segurança do trabalho nas empresas, informações básicas sobre os riscos existentes na empresa para que possam ser tomadas decisões e medidas para evitar acidentes. A identificação desses riscos visa responder a uma ou mais questões, a fim de identificar, debater e analisar as possibilidades de ocorrência de acidentes, objetivando evitar que ocorram e, caso ocorram, identificar alternativas que minimizem os danos a estes eventos (MARQUES, 2019).

ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHA – AAF

AAF, do inglês *Fault Tree Analysis (FTA)*, é uma técnica de identificação de perigos e análise de riscos a partir de um evento principal selecionado para estudo, determinando possíveis combinações de falhas e condições que poder fazer com que aquele evento ocorresse.

O objetivo da AAF está principalmente focado nos sistemas (erro humano, erro de equipamento, erro organizacional), onde o foco está no evento de pico (acidente ou eventos perigosos) e nas sequências de eventos que o produzem. Dessa forma, essa análise é resultado de um erro específico no equipamento ou erro humano, chamado de evento iniciador, para determinar um ou mais estados consequentes de um possível erro (Barros, 2013).

A metodologia Árvore de Falhas (AAF) possui uma análise de caráter dedutiva podendo ser qualitativa ou quantitativa, no qual nos permite identificar perigos e riscos em um sistema a partir de um diagrama lógico encadeando diversos eventos associados, onde a principal falha ou evento indesejável é denominada de evento topo, sendo este responsável pelo desenvolvimento da árvore com orientação na vertical (ROCHA, 2019).

Seu uso é bastante apropriado para análise de sistemas devida à complexidade de variáveis da operação, tornando a melhor visualização dos cenários de interações (ex.: temperatura x pressão x viscosidade x vazão), partido de premissas de simples hipóteses. Logo a árvore de falhas se dá a partir da construção de um modelo gráfico (fluxograma), composto por combinações paralelas e sequenciais de falhas que resultam no efeito topo (Marques, 2019).

Segundo Rocha (2019), a AAF possui em seus elementos relações com portas lógicas ou operadores lógicos “E” e “OU”, onde estes possuem propriedades Boleanas, usadas para retratar as devidas associações de falhas individuais que podem conduzir ao evento topo.

Portanto as árvores de falha podem ser utilizadas de caráter quantitativo possibilitando identificar os eventos que causam a falha, tornando-se possível estimar a probabilidade que ocorra o evento topo a partir probabilidade das causas individuais.

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS – FMEA

Como ponto de partida para a utilização da ferramenta FMEA com ênfase ambiental, é necessário definir Aspectos, Impactos e Riscos, que de acordo com os termos da ABNT (2015), os Aspectos Ambientais são elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização, que estão relacionados com a sua interação com o meio ambiente, já os aspectos ambientais podem causar impactos ambientais. O impacto ambiental é definido como uma mudança no ambiente, desfavorável ou favorável, causada no todo ou em parte por fatores ambientais de uma organização. De acordo com a ISO 31000/2018, risco é definido como "o efeito da ocorrência de um evento inesperado, podendo ser positivo, negativo ou ambos".

E conforme Vidal (2018), os Riscos Tecnológicos estão ligados a probabilidade de ocorrer eventos como por exemplo mau funcionamento do processo, como vazamentos, incêndios, explosões entre outros podendo impactar negativamente o entorno do local.

O método FMEA permite identificar os riscos relevantes no projeto, e para isso é necessário obter informações, como por exemplo analisando o histórico de falhas ocorridas ou todos os motivos pelos quais as falhas ocorrerão.



Na utilização do método FMEA é necessária a compreensão de todas as etapas pois, obtém resultados específicos que auxiliam na tomada de ações e decisões. Os indicadores que fazem parte quantitativa do FMEA. São:

- Ocorrência - relaciona as causas e informa a frequência da falha.
- Severidade - Associado ao Impacto, corresponde ao quão crítica a falha é para o ambiente interno ou externo.
- Detecção – Refere-se ao modo de detecção, que mede a facilidade de identificação de falhas.

O Número de Prioridade de Risco (NPR) é uma avaliação numérica dos riscos atribuídos a um processo ou etapas do processo, como parte de uma Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), em que a equipe atribui valores numéricos a cada modo de falha, que é a multiplicação da probabilidade de ocorrência x probabilidade de detecção x gravidade do impacto. Logo quanto maior for o número dos índices maior será criticidade, e que deve ser corrigido o mais rápido possível.

Dentro deste método também se dá a liberdade de definir ações recomendadas para cada falha e definir responsáveis para elas. **Saxer (2015)** considera que se a metodologia da FMEA for empregada de forma adequada, poderá atender aos requisitos específicos das normas que abordam a gestão da qualidade (ISO 9000), gestão ambiental (ISO 14000) e gestão de segurança e saúde do trabalho (BS8800), como por exemplo, na realização de uma análise e priorização de impactos, bem como na determinação de ações corretivas e preventivas para sanar as não conformidades encontradas.

Rocha (2019), em seu estudo afirma que a Junção dos métodos árvore de falha (AAF) e (FMEA) possibilita a maior eficiência na compreensão das falhas do processo, em que a AAF completa o FMEA trazendo informações que facilita a elaboração do método, já que o modo de falha presente na árvore de falha apresenta-se com maior certeza.

Quadro 02. Vantagens e Desvantagem da Ferramenta FMEA.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Identifica possíveis modos de falha com o objetivo de eliminar suas causas, se possível	A análise realizada é muito trabalhosa e pode exceder os recursos existentes de Recursos Humanos
Avalia o risco associado a modos de falha potenciais relevantes e os prioriza para que ações corretivas possam ser tomadas para reduzir sua frequência e gravidade	A eficácia do processo depende da qualidade da equipe
	A FMEA sozinha apenas prioriza as medidas de melhoria, ou seja, não elimina os modos de falha.

Fonte: Antunes (2020) e Martins (2014).

ÁRVORE DE FALHAS DO PROCESSO DA ETE

Foram elaboradas as árvores de falhas das etapas de tratamento do esgoto com intuito de identificação das falhas que podem ocorrer, e assim definir as possíveis causas de cada evento. No processo de gradeamento a principal falha encontrada foi a proliferação de particulados contaminados na atmosfera e atração de vetores, com uma probabilidade de ocorrência de 0,09%, já que o mesmo se encontra em um local descoberto, tal qual o local em que são depositados os seus resíduos provenientes (Containers). Outra preocupação se dá a respeito das obstruções das grades, já que foi observado que há presença de materiais plásticos (garrafas, sacolas, fraldas descartáveis), impedindo a passagem contínua do efluente atraindo assim vetores, como, por exemplo, moscas, baratas e ratos.

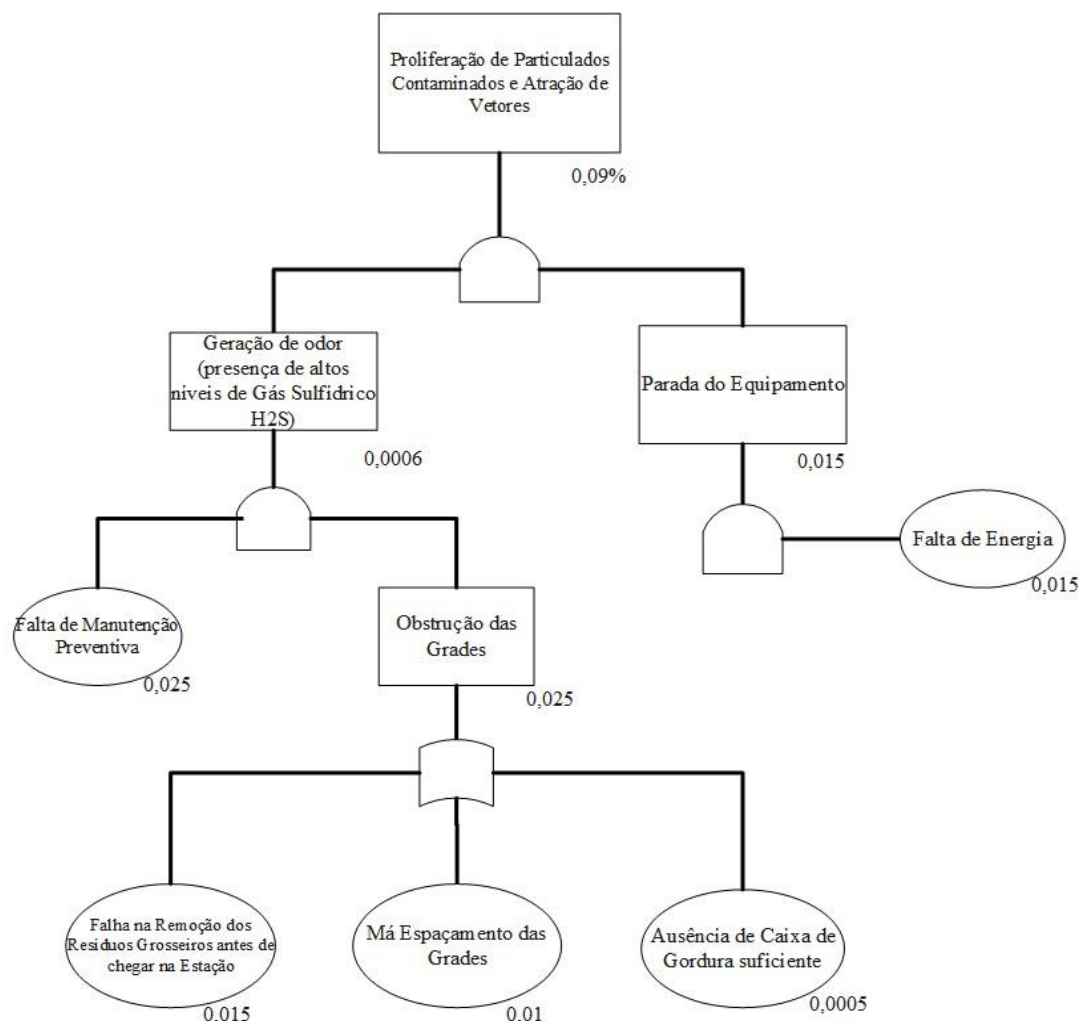


Figura 09: Árvore de Falha Etapa Gradeamento.

Scandelai et al. (2018) relatam que a exposição humana a partículas atmosféricas pode acarretar riscos biológicos significativos, sobretudo pela contaminação através de agentes patogênicos como vírus, bactérias, fungos, parasitas, protozoários e insetos, resultando em patologias infecciosas, hepáticas, gastrointestinais e respiratórias, em virtude dos constituintes bioquímicos dos efluentes domésticos.

No processo de desarenamento, identificou-se como falha crítica a contaminação do solo, com uma probabilidade estimada em 3,79%. Tal situação decorre primordialmente da ineficácia na gestão dos sedimentos extraídos, os quais carecem de um destino final apropriado ou de estratégias de reciclagem. Ademais, a negligência na manutenção dos equipamentos contribui para o desgaste estrutural do concreto, facilitando a percolação dos efluentes no substrato terrestre.

Nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), é frequente a formação de microrganismos fúngicos que comprometem superfícies pintadas e revestimentos, uma vez que a presença de compostos orgânicos no esgoto favorece tais manifestações biológicas. Esses microrganismos proliferam em um intervalo térmico de 10°C a 35°C, sendo que temperaturas elevadas intensificam a atividade biológica. A reprodução desses fungos filamentosos, usualmente caracterizados por manchas pigmentadas de tonalidades negra, marrom e verde, demanda condições de isolamento térmico deficiente, ventilação inadequada e alta umidade relativa do ar (Chaves et al., 2016).

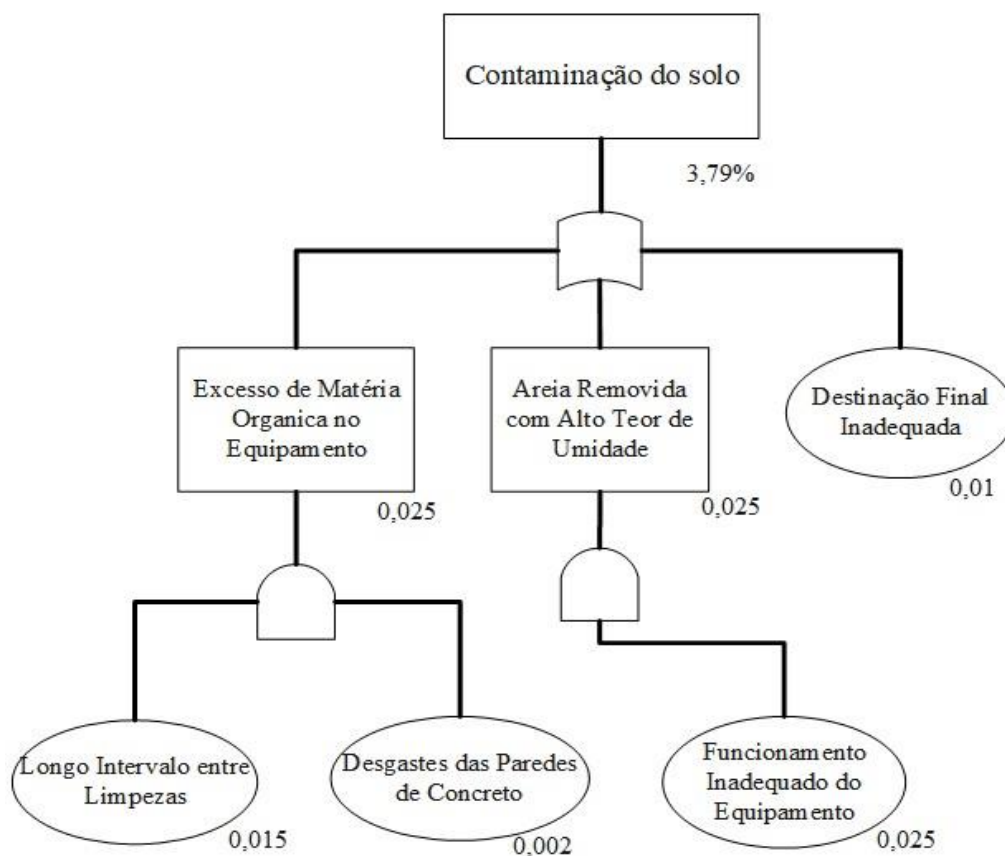


Figura 10: Árvore de Falha Etapa Desarenador.

Avançando para a fase de tratamento secundário, os reatores UASB demonstram uma probabilidade de 1,05% na geração de odores desagradáveis. Esse fenômeno ocorre predominantemente devido à ausência de manutenção preventiva. A negligência em realizar limpezas periódicas ou superficiais pode comprometer o fluxo do sistema, dificultando a extração do lodo ativado e resultando no acúmulo de microrganismos.

Conforme Sarto (2018), os reatores apresentam como principal deficiência a emissão de gases oriundos do Sulfato de Hidrogênio (H₂S), o qual é responsável pelo odor intenso. A produção de H₂S pode deteriorar as paredes dos reatores e ocasionar problemas toxicológicos para indivíduos expostos a altas concentrações desse gás.

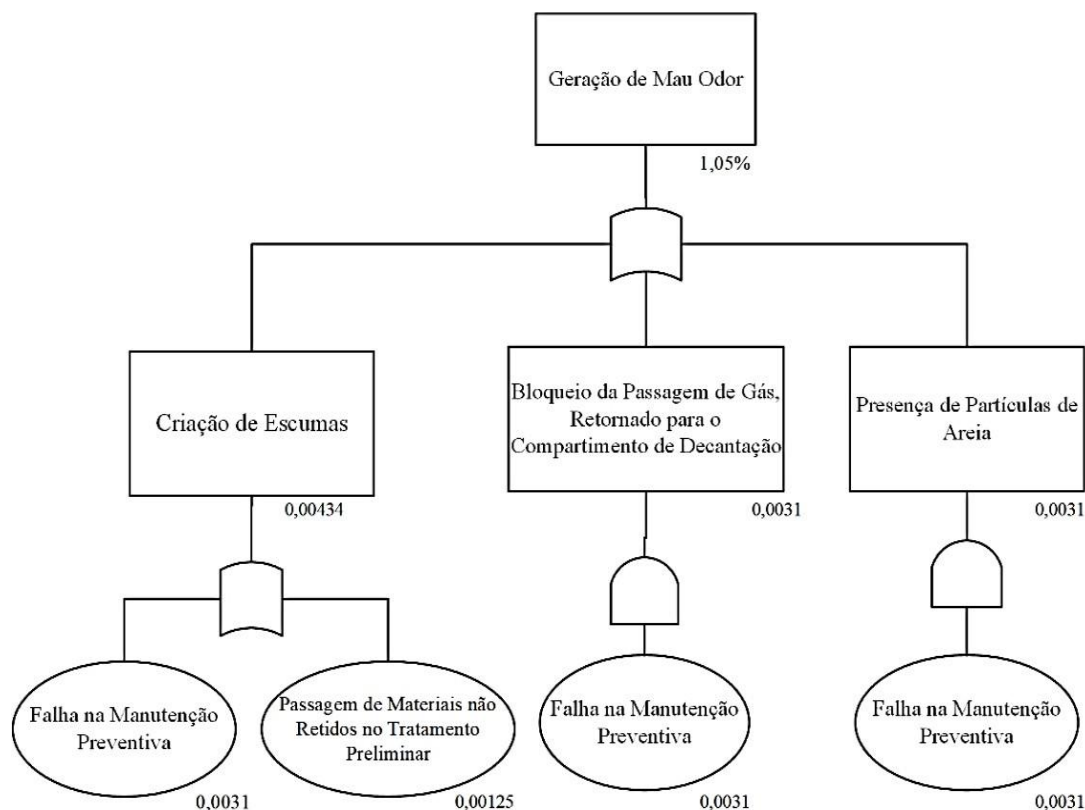


Figura 11: Árvore de Falha da Etapa Reatores.

Durante a etapa de coleta de biogás, identificou-se um índice probabilístico de 1,29% para a ocorrência de poluição atmosférica devido à fuga de biogás. Tal evento é atribuído à exposição das tubulações metálicas a elementos climáticos como sol e chuva, bem como à interferência de vegetação alta nas proximidades das tubulações. Em períodos de baixa precipitação, a vegetação seca eleva o risco de incêndios. Ademais, observa-se a ausência de monitoramento efetivo da câmara de biogás e a falta de uma destinação adequada para o material, resultando na não realização da queima ou reaproveitamento do biogás.

A liberação de grandes volumes desses gases na atmosfera pode ser perigosa, não apenas pela emissão de odores desagradáveis, mas também pelo risco de explosões associadas à presença de metano, um gás com alto potencial de combustão. Portanto, recomenda-se a incineração do biogás quando não há intenção de utilizá-lo para outros fins (Sarto, 2018).

Os riscos de infecção decorrentes do contato direto ou inadvertido com o lodo produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) podem desencadear enfermidades infecciosas e parasitárias. Os microrganismos têm a capacidade de penetrar no corpo humano por meio de lesões cutâneas ou feridas, bem como pelo contato com superfícies e mucosas dos olhos, nariz e boca.. A forma mais comum da haver essa contaminação seria pelo uso das mãos na limpeza dos leitos e a ingestão de alimentos com luvas contaminadas (Silva, 2019).

Figura 12: Árvore de Falha da etapa de Coleta de Biogás.

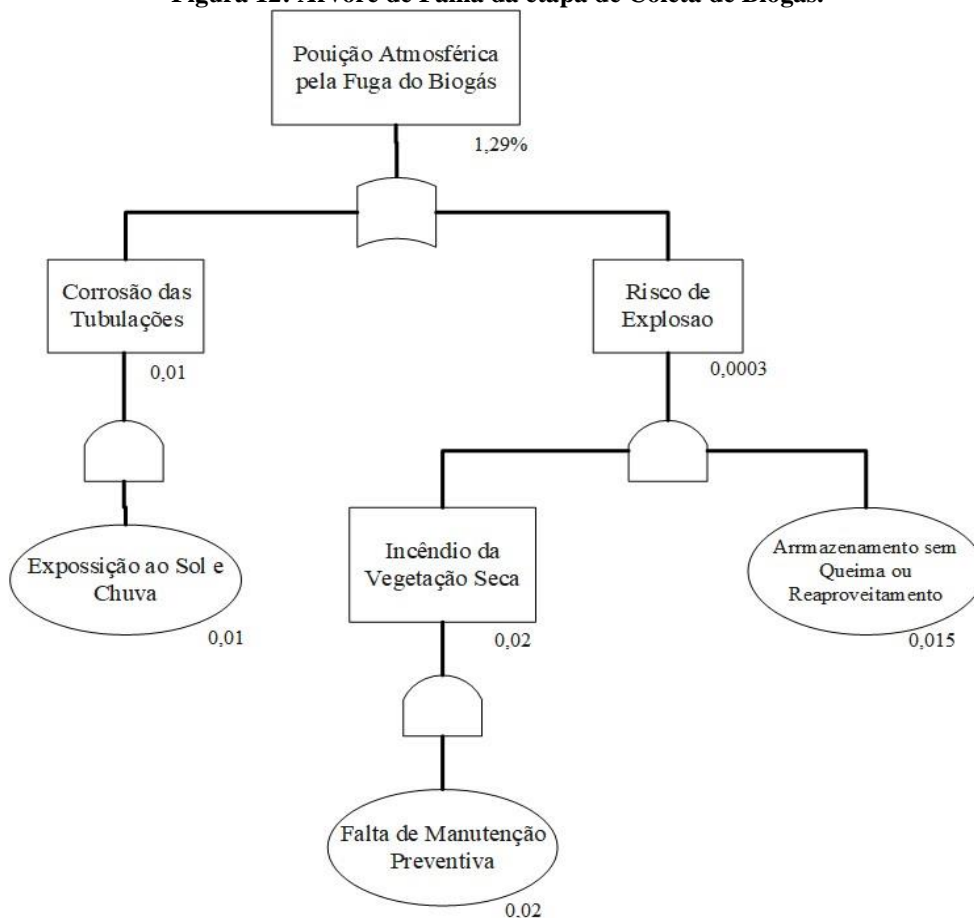


Figura 13: Árvore de Falha da etapa do Leito de Secagem.

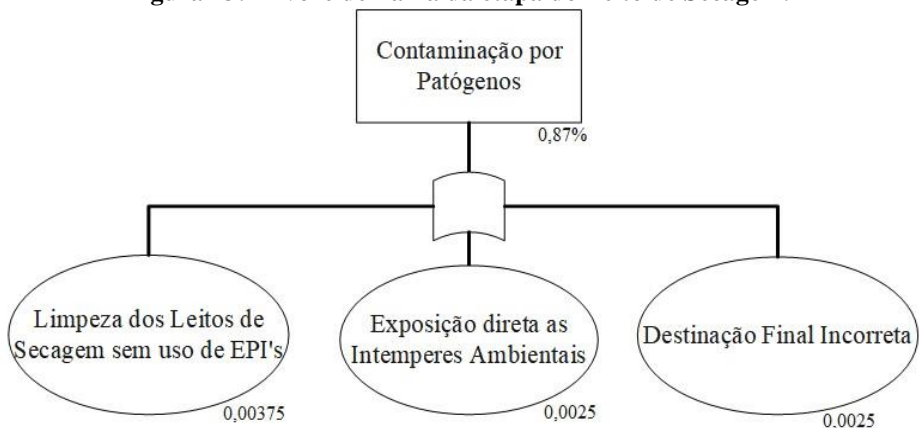


Tabela de modos de falha e efeito do processo da ETE

O desenvolvimento da tabela FMEA é baseado na identificação das causas iniciais e do evento topo de cada AF que possam comprometer a qualidade do sistema e também o modo de falha para cada, conforme Tabela 5 e 6. Sequentemente, pode ser apresentado o Número de Prioridade de Risco (NPR) para a causa base de cada



falha. Após o preenchimento da tabela FMEA, aplicam-se as classificações de Detecção (D), Severidade (S) e Ocorrência (O), cujo produto entre os três determina o NPR.

Tabela 5: Método FMEA aplicado no Processo de Tratamento de Esgoto.

Processo	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	Número de Índice de Risco
Gradeamento	Retenção de resíduos sólidos lançados na rede de esgoto. ex.: fraldas, papel higiênico, roupas entre outros.	Proliferação de particulados contaminados e atração de vetores	Passagem de materiais não retidos na etapa preliminar. Falha na remoção dos resíduos grosseiros.	Falta de energia	1	1	3	3
				Grades com espaçamento inadequado	1	1	3	3
				Falta de manutenção preventiva	2	1	3	6
Desarenador	Retêm areia, resíduos de menor dimensão por meio do processo físico de sedimentação	Contaminação do solo	Acúmulo de matéria orgânica	Funcionamento inadequado do equipamento	2	1	1	2
				Destinação final inadequada de rejeitos	2	3	1	6
				Desgaste das paredes de concreto	2	1	1	2
				Intervalo longo entre limpezas	2	1	3	6
Reator UASB (anaeróbio)	Nesta etapa o efluente passa por degradação da matéria orgânica causada pela ação das bactérias anaeróbias	Odor	Incomodo da circunvizinhança	Falha na manutenção preventiva. Limpeza inadequada dos reatores	3	1	2	6
Leito de Secagem	Processo de desidratação do lodo	Contaminação por patógenos	Desenvolvimento de doenças infecciosas.	Limpeza dos leitos de secagem sem o uso de EPI	1	2	2	4
			Contaminação do solo ou aplicação incorreta do lodo	Destinação final incorreta	2	3	1	6
Geração de biogás	Coleta de biogás	Poluição atmosférica pela fuga de biogás	Contribuir com o efeito estufa e aquecimento global	Corrosão das tubulações pela exposição a intemperes	3	2	2	12
			Possível incêndio	Armazenamento sem queima ou aproveitamento	3	2	3	18
			Possível incêndio	Falta de manutenção preventiva	3	2	2	12

Tabela 6: Método FMEA aplicado no Processo de Tratamento de Esgoto.

Processo	Causa da Falha	Ações Recomendadas
Gradeamento	Falta de energia	Utilizar um Programa de operação e manutenção de ETE.
	Grades com espaçamento inadequado	Utilizar um Programa de operação e manutenção de ETE.
	Falta de manutenção preventiva	Manter uma rotina de limpeza periódica adequada para os equipamentos da estação. Utilizar de um Programa de operação e manutenção de ETE.
Desarenador	Funcionamento inadequado do equipamento	Manutenções preventivas
	Destinação final inadequada de rejeitos	Elaborar Plano de Gerenciamento de Resíduos PGR
	Desgaste das paredes de concreto	Utilizar um Programa de operação e manutenção de ETE.
	Intervalo longo entre limpezas	Manter uma rotina de limpeza periódica adequada para os equipamentos da estação. Utilizar um Programa de operação e manutenção de ETE.
Reator UASB (anaeróbio)	Falha na manutenção preventiva. Limpeza inadequada dos reatores	Manter uma rotina de limpeza periódica adequada para os equipamentos da estação.
	Limpeza inadequada dos reatores	Utilizar um Programa de operação e manutenção de ETE
Leito de Secagem	Limpeza dos leitos de secagem sem o uso de EPI	Seguir recomendações de NR 6
	Destinação final incorreta	Buscar formas de aplicação para aproveitamento do lodo
Geração de biogás	Corrosão das tubulações pela exposição a intemperes	Atenção a manutenção preventiva da tubulação de coleta de biogás
	Armazenamento sem queima ou aproveitamento	Atenção a manutenção preventiva da tubulação de coleta de biogás
	Falta de manutenção preventiva	Atenção a manutenção preventiva da tubulação de coleta e destinação correta para o biogás.

Na fase preliminar, etapa de gradeamento foi observado probabilidade de ocorrências de eventos com NPR= 6, foram apontadas as principais possíveis falhas e suas causas, como a falta de manutenção, ou mesmo falta de procedimentos adequados de limpeza, permitindo a passagem de material não retido, causando problemas na operação, como entupimento e abrasão em rotores e bombas provocando possíveis efeitos adversos como a proliferação de particulados contaminados e atração de vetores e afetando a etapa secundária por mau funcionamento causado por defeitos nos reatores, reduzindo a eficiência do processo.

Ainda na fase preliminar na etapa de desarenação foi observado a possível falha de ocorrência de acúmulo de matéria orgânica encontrando NPR= 6 sendo este o maior índice de risco, tendo como possível efeito a contaminação do solo por falta de uma alternativa viável de direcionamento final de resíduos gerados nesta fase.

Na etapa do Reator, referente ao modo de causa Odor, observou-se na Tabela 5 que o maior valor de potencial causa foi RPN = 6 que consequentemente ocasiona em incômodo à circunvizinhança, odores estes que podem ocasionar problemas de saúde levado em conta a concentração, que de acordo com Cristine (2018) podem causar doenças respiratórias e danos neurológicos.



Na fase secundária, etapa de secagem do lodo, foi observado probabilidade de ocorrências de eventos com NPR= 6, para contaminação por patógenos em operadores da área do saneamento que estão expostos a níveis de contaminação pela falta de uso de equipamentos de proteção individual, e também a ocorrência da destinação incorreta do lodo que na maioria das vezes ainda são dispostos em aterros sanitários causando contaminação do solo em que é disposto, em discordância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS que prevê na Lei Nº 12.305/2010 no Art. 7º, II – a redução, não geração, a reutilização, o tratamento e a reciclagem dos resíduos sólidos, bem como acomodação final ambientalmente adequada dos rejeitos (Alves, 2010). É recomendável a elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos e enquadrar-se nas recomendações da NR 6 de segurança no trabalho, utilizando os EPI's para a minimização de danos à saúde dos operadores.

Na etapa de geração de biogás foi encontrado o mais altos NPR= 18 sendo o maior índice de número de risco deste estudo levando em consideração a probabilidade do risco ocasionar problemas direto nos equipamentos do sistema, a segurança dos funcionários e a circunvizinhança pela possibilidade de ocorrência de incêndio e também por impactar o meio ambiente diretamente com o efeito estufa através do vazamento de biogás pela falta de manutenções preventivas de tubulações, e também da ausência de limpeza de vegetação seca presente na terreno da estação. É recomendável o gerenciamento de emissões gasosas e aproveitamentos energéticos como por exemplo a utilização do biogás em geração de elétrica para uso na própria ETE .

Foi possível identificar que a maioria dos eventuais problemas são causados por falhas ou falta de manutenção preventiva portanto há a necessidade de elaboração de um Programa de operação e manutenção de ETE, pois para o sucesso do sistema de tratamento é de grande importância o monitoramento e solução de possíveis problemas que acontecem na estação, e na ocorrência de qualquer anormalidade o responsável/operador deve tomar devidas providências. Todas as etapas do processo devem ser monitoradas de forma meticulosa, pois cada uma possui características únicas, assim desenvolvendo problemas únicos. Portanto, um problema na fase inicial pode desencadear uma reação em cadeia de falhas operacionais, comprometendo as operações nas etapas subsequentes.

CONCLUSÃO

Com base nas análises realizadas, foi possível identificar falhas potenciais no sistema de tratamento de esgoto. Os maiores índices probabilísticos foram observados quando empregadas as portas lógicas 'OU' em comparação com a porta 'E'. Isso se deve à soma dos eventos secundários, que elevam a probabilidade de ocorrência do evento principal, identificado como o mais provável no processo de desarenamento.

implementação da tabela FMEA revelou os riscos significativos na ETE, com o maior nível de risco detectado na fase de geração de biogás. Portanto, torna-se imperativo adotar medidas prioritárias, como o gerenciamento eficaz das emissões gasosas para tratamento adequado ou a integração de um sistema de aproveitamento energético. Essas ações são essenciais para mitigar problemas e prevenir danos potenciais à segurança operacional, à comunidade no entorno e aos impactos ambientais resultantes do vazamento de gases.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, E, M, D, S. Avaliação do impacto do lançamento do efluente de uma estação de tratamento de esgoto doméstico no rio Cuiá. Monografia, (Graduação em Química Industrial) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2020.
2. ANTUNES A. Avaliação do risco em ativos físicos baseada numa metodologia FuzzyFMEA. Dissertação de Mestrado. Braga. 123 pag. 2020.
3. AQUINO et al. Risco Ambiental. São Paulo: Blucher, 2017.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 14001 Sistemas de gestão ambiental — Requisitos com orientações para uso. 2015: s.n., Rio de Janeiro.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 31000 Gestão de riscos
6. — Diretrizes. 2018: s.n., Rio de Janeiro.



7. ASSUMPÇÃO, A. L. Estrutura conceitual para análise de risco nas operações de corte, transbordo e transporte: estudo de caso em uma empresa paulista do setor sucroenergético. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Estadual Paulista – Jaboticabal, 2018.
8. BAPTISTA, Maria de Lurdes Pimenta. Abordagens de riscos em Barragens de aterro. Dissertação (Doutorado) - Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.
9. BARROS, S.S. Análise de riscos. Material didático do Instituto Federal do Paraná. Rede e-Tec Brasil. Curitiba, 2013.
10. BOTELHO, A. P. M. Reuso do Esgoto Doméstico Tratado. Monografia, (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça. 2017. .
11. BRASIL. Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Câmara dos deputados. Brasília-DF.
12. BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Brasília, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-eprevidencia/pt-br>. Acesso em: 02 de ago. de 2022. .
13. BRASIL. Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do Saneamento Básico E altera a Lei nº 9.984 [...]. Brasília DF, [2020]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm. Acesso em: 29 de abr. de 2022.
14. BRASIL. Lei Federal n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.
15. BRASIL, Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 5 ed. Brasília (DF); Funasa, 2019. 545p.
16. Climate Date. Clima Marabá (Brasil). Disponível em: <https://pt.climatedata.org/america-do-sul/brasil/para/maraba-715120/#temperature-graph>. Acesso em: 16 mar. 2022.
17. CHAVES, P. et al. Estudo das Anomalias Observadas em Obras de Estação de Tratamento de Esgoto (E.T.E.). Seminário de Patologia e Recuperação Estrutura. Recife, 22 de agosto de 2016. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wpcontent/uploads/2016/08/Estudo-das-anomalias-observadas-em-obras-de-esta%C3%A7%C3%A3o-de-tratamento-de-esgoto-E.T.E..pdf>
18. CORNELLI, R. et al. Métodos de Tratamento de Esgotos Domésticos: Uma Revisão Sistemática. Revista de estudos ambientais (Online) v.16, n. 2, p.20-36, jul./dez. 2014.
19. DE PAULA, C. P.; CORDEIRO, G. A.; RAMPASSO, I.S.; ORDÓÑEZ, R. E. C.; ANHOLON, R. Métodos quantitativos para gestão de risco em projetos: uma revisão da literatura. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, n. 2, p. 129 – 148, 2019.
20. GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa / Antonio Carlos Gil. - 6. ed. - São Paulo: Atlas, 2017.
21. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2021). Marabá. Cidades e Estados. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/maraba/panorama>. Acessado em: 01 de jun. de 2022.
22. Instituto Trata Brasil – ITB, Saneamento e Saúde. (2020). Esgoto, principais Estatísticas no Brasil. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/pt/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>. Acessado em: 01 de ago. de 2022.
23. FUNDAÇÃO SOS PRO-MATA ATLÂNTICA. Fundação divulga qualidade da água em 111 rios do país. Notícias. São Paulo. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias/fundacao-divulga-qualidade-da-agua-em-111-rios-pais>. Acesso em: 10 de jun. de 2024.
24. MÔNICA, M. M. Análise de Risco de uma Microempresa do Setor Moveleiro no Município de Ijuí. Monografia (Especialização de engenharia de segurança no trabalho) - Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul - Ijuí, Rio Grande do Sul, 2019.
25. MORAIS, A. M.; FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Sobral (CE). Uninta, 2017.
26. OLIVEIRA T et al. Manual de Comunicação e Organização Social: Esgotamento Sanitário. – Brasília: Codevasf, 2015.
27. ROCHA, R. A. Aplicação das ferramentas FTA e FMEA como suporte para a gestão da manutenção em betoneiras: um estudo de caso. Sumé – PB, 2019.
28. SAXER, P. Aplicação da FMEA para análise de riscos na qualidade do processo de embalagens em uma multinacional de agroquímicos. Dissertação, (Graduação em Engenharia Industrial Química) - Universidade de São Paulo, Lorena 2015.
29. SPIEGEL, Murray R; SCHILLER John J; SRINIVASAN R. Alu. Probabilidade e Estatísticas. Porto Alegre: BO.MAN, 2013.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



30. ROJAS, P. Técnico em segurança do trabalho. Porto Alegre: Bo.man, 2015.
31. SARTO, L. R. Diretrizes para a Redução da Incidência de Odores na Estação de
32. Tratamento de Esgoto Santana em Varginha, Considerando seu Impacto no BemEstar Público. Orientadora: Ivana Prado de Vasconcelos. 2018. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/685>. Acesso em: 12 de Mar. de 2024.
33. AESBE (Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento). ETE Marabá. 2018. Disponível em: <https://aesbe.org.br/novo/etemaraba-e-inaugurada/>. Acesso em: 18 nov. 2019 PMSB, 2019.
34. SANTOS, J. K. R. Aplicabilidade da FMEA no processo de elaboração de serviço em nuvem: o caso de uma pequena empresa de alta tecnologia. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2018.
35. SAXER, P. Aplicação da FMEA para análise de riscos na qualidade do processo de embalagens em uma multinacional de agroquímicos. Dissertação (Graduação em Engenharia Industrial Química) - Universidade de São Paulo, Lorena 2015.
36. SCANDELA, A. P. J. et al. Diagnóstico de riscos ambientais em estação de tratamento de efluentes no município de Maringá-PR. Revista Brasileira de Saúde e Segurança do Trabalho. Maringá-PR, v.1, n.2, p.01-10, 2018.
37. SILVA, A. R. Gestão dos Riscos Ocupacionais no Manejo do Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos e a NBR ISSO 31000. Orientadora: Cali Laguna Achon. 2019. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.
38. SNIR, 2020. Diagnóstico Temático Serviço de Água e Esgoto: visão geral. Ministério do Desenvolvimento Regional e Secretaria nacional do Saneamento. Brasília, dezembro de 2021. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/diagnostico-anual-agua-eesgoto>. Acesso em: 02 de ago. de 2022.
39. SOS MATA. Fundação divulga qualidade da água em 111 rios do país. 18 de março de 2015. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias/fundacao-divulgaqualidade-da-agua-em-111-rios-pais/>. Acesso em: 12 de Mar. de 2024.
40. YIN, R.K. Estudo de caso: Planejamento e métodos. (5ed). Tradução de Daniel Grassi. Porto Alegre (RS): Bo.man. 290 p. 2015.
41. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.
- 42.