



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Química

Claudia Vasconcellos Rodrigues de Oliveira e Corrêa

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

Rio de Janeiro

2014

Claudia Vasconcellos Rodrigues de Oliveira e Corrêa

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



Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Processos Químicos, Petróleo e Meio Ambiente.

Orientadores: Prof. Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo
Prof.^a Dra. Cristiane Assumpção Henriques

Rio de Janeiro

2014

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/NPROTEC

Corrêa, Claudia Vasconcellos Rodrigues de Oliveira.

Utilização das técnicas de análise – HAZOP e Vulnerabilidade para a avaliação de um cenário típico de Estação de Tratamento de Resíduos Industriais moderna em refinaria. /Claudia Vasconcellos Rodrigues de Oliveira e Corrêa. – 2014.

116 f.

Orientador: Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo.

Orientador: Dra. Cristiane Assumpção Henriques.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Química.

1. Técnica - Teses. 2. Análise – Teses. 3. Industriais - Teses. I. Figueiredo, Marco Antonio Gaya de. II. Henriques, Cristiane Assumpção. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Química. IV. Título.

CDU 54.06

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos a reprodução parcial desta dissertação.

Assinatura

Data

Claudia Vasconcellos Rodrigues de Oliveira e Corrêa

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

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Processos Químicos, Petróleo e Meio Ambiente.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2014.

Orientadores:

Prof. Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo (orientador)
Instituto de Química - UERJ

Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Assumpção Henriques (orientadora)
Instituto de Química - UERJ

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Luiz Hemerly Costa
Instituto de Química - UERJ

Prof. Dr. Fábio Merçon
Instituto de Química - UERJ

Prof. Dr. Luiz Carlos de Martini Júnior
De Martini Ambiental

Rio de Janeiro

2014

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, grandes incentivadores e mestres.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu socorro bem presente em todos os momentos da minha vida.

Ao meu marido Leonardo que me apoiou durante essa empreitada, com muito amor, carinho e paciência, separando do seu tempo para me trazer várias manhãs aqui para UERJ para que eu pudesse trabalhar na dissertação. Aconselhou-me em todos os momentos, apoiando-me nos momentos mais cansativos.

Aos meus pais, Claudio e Sônia Maria, que sempre deram o seu melhor para que eu tivesse uma educação de qualidade.

Aos amados familiares: Denise, Bellina, Fran, Carol, Nini que torcem pelo meu sucesso e muito me apóiam.

Às minhas sobrinhas Alice e Lis que enchem de alegria nossa família.

Aos meus orientadores, Dr. Marco Gaya e Dr^a. Cristiane Henriques, pela amizade, apoio e incentivos, que contribuíram para que eu conseguisse elaborar este trabalho.

A toda equipe do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química do Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

A minha atual gerente Solange e ao meu antigo gerente Ary pelo apoio durante a realização deste curso.

A maravilhosa equipe com quem tenho o privilégio de trabalhar, a quem agradeço o auxílio: Ana, Daniela, Eduardo, Ivy, Joase, Luiz, Marcelo, Noemi, Silvia e Tathiana.

Elevo os meus olhos para os montes; de onde me vem o socorro? O meu socorro vem do
Senhor, que fez os céus e a terra.

Salmos 121:1, 2

RESUMO

CPRRÊA, Claudia Vasconcellos Rodrigues de Oliveira. *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*, Brasil, 2014. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

A presente dissertação tem como tema a avaliação de riscos de um determinado estudo de caso, através das técnicas HAZOP (Hazard and Operability Study) e Análise de Vulnerabilidade. O objetivo geral deste estudo é aplicar essas duas ferramentas – em um cenário hipotético – de uma Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI) moderna típica de uma refinaria de petróleo e avaliar os resultados obtidos após a aplicação das duas análises, a fim de avaliar as recomendações advindas de cada uma, o tempo despendido para a execução das análises e a interdependência entre as informações geradas por cada técnica. Para atingir tal objetivo, a metodologia do presente estudo foi analisar as rotas tecnológicas usuais em ETDI de refinarias, a fim de definir um cenário fidedigno. Uma vez definido o cenário, foi elaborado um fluxograma referente à unidade de processo. Em seguida, as técnicas de Vulnerabilidade e HAZOP foram aplicadas ao caso levantado. Por fim, foram elencadas as avaliações, no que se refere ao enfoque das duas técnicas presentes no estudo de caso. Os resultados obtidos na HAZOP mostram que, numa avaliação global, 71 riscos foram elencados. Em relação a recomendações e observações foram elencadas 28, sendo que a maior parte (68%), resultarão na ação de instalação de novos dispositivos. Já a Análise de Vulnerabilidade apontou oito pontos vulneráveis, sendo os que receberam a maior pontuação foram a ocorrência de um incêndio e a falta de manutenção adequada nos equipamentos e instrumentos. Avaliando as duas análises, foi verificado que o tempo de execução para a Vulnerabilidade apresenta um valor 75,8% menor que a HAZOP, devido ao fato de aplicar uma metodologia mais simples. Além disso, também foi evidenciada a interdependência entre as emergências levantadas na Análise Vulnerabilidade e as causas de desvios registrados na HAZOP. Logo, a Análise de Vulnerabilidade pode ser entendida, como uma fonte complementar de informação, impactando positivamente o projeto e demandando baixo homem-hora para sua execução.

Palavras chaves: Vulnerabilidade. HAZOP. Despejos. Industriais. Refinaria.

ABSTRACT

CORRÊA, Claudia Vasconcellos Rodrigues de Oliveira. *Use of analytical techniques: HAZOP and vulnerability to evaluate a typical scenario of modern industrial waste treatment plant in refinery*, Brasil, 2014. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

This dissertation deals with the risk assessment of a particular case study, through the techniques HAZOP (Hazard and Operability Study) and Vulnerability Analysis. The aim of this study is to apply these two tools - in a hypothetical scenario - typical of a modern industrial Wastewater Treatment Plant (WWTP) of an oil refinery and evaluate the results obtained after applying the two analysis in order to assess the recommendations arising from each one, the time spent for the execution of the analysis and the interdependence between the information generated by each technique. To achieve this goal, the methodology of this study was to analyze the usual technological routes of WWTP refineries in order to define a reliable scenario. Once defined the scenario, a diagram regarding the process unit was prepared. Then the Vulnerability and HAZOP techniques have been applied to the case raised. Finally, the evaluations were listed, with regard to the approach of the two techniques in the present case study. The results show that in HAZOP, an overall assessment were listed 71 risks. Regarding the recommendations and observations were listed 28, and most (68 %), will result in action to install new devices. The Analysis of Vulnerability scored eight vulnerable points, and those that received the highest scores were the occurrence of fire and lack of proper maintenance in equipment and instruments. Evaluating the two analysis, it was found that the execution time for Vulnerability presents a value 75.8 % lower than the HAZOP, due to the fact it implements a simpler methodology. Moreover, it was also demonstrated the interdependence between emergencies raised in Vulnerability and causes of deviations recorded in HAZOP. Therefore, the Vulnerability Analysis can be understood as a complementary source of information that positively impacts the project and requiring low man - hour for its execution.

Key words: Vulnerability. HAZOP. Wastewater. Industrial. Refinery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Esquemático de contribuições para a ETDI.....	26
Figura 2-	Separador água-óleo do tipo API.....	28
Figura 3-	Flotador a Ar Dissolvido.....	29
Figura 4-	Filtro Casca de Nozes.....	30
Figura 5-	Filtro Biológico.....	32
Figura 6-	Biodisco.....	33
Figura 7-	Exemplo de suporte plástico.....	34
Figura 8-	Reator do tipo MBBR.....	35
Figura 9-	Lagoa aerada.....	36
Figura 10-	Tanques de Aeração.....	37
Figura 11-	Decantador Secundário.....	37
Figura 12-	Biorreator com membranas vazio.....	39
Figura 13-	Diagrama de Blocos da ETDI antiga da REDUC.....	40
Figura 14-	Esquemático das rotas convencionais de tratamento de efluentes de refinarias.....	41
Figura 15-	Esquemático da rota moderna de tratamento de efluentes de refinarias.....	41
Figura 16-	Evolução do custo de membranas em US\$/m ² em dois tradicionais fabricantes – Norit e Kubota.....	42
Figura 17-	Diagrama de Blocos de uma nova ETDI.....	44
Figura 18-	Evolução do número de publicações sobre HAZOP ao longo dos anos (1974-2007).....	49
Figura 19-	Fluxo de aplicação da ferramenta de análise de risco HAZOP para avaliação do nível de risco de um sistema.....	68
Figura 20-	Distribuição percentual do nível de risco.....	95
Figura 21-	Distribuição percentual do tipo de recomendação.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Palavras-guia primárias utilizadas durante a aplicação da ferramenta HAZOP no presente trabalho.....	52
Tabela 2-	Palavras-guia secundárias utilizadas durante a aplicação da ferramenta HAZOP no presente trabalho.....	53
Tabela 3-	Matriz de Tolerabilidade de Riscos, que representa a frequência e severidade dos desvios para determinar a classificação do risco.....	54
Tabela 4-	Modelo de planilha utilizado para registro dos resultados da HAZOP	55
Tabela 5-	Matriz de Análise de Vulnerabilidade.....	60
Tabela 6-	Padrão de graus adotado para o preenchimento da Matriz de Vulnerabilidade	67
Tabela 7-	Planilha de HAZOP para o nó 1 (continua).....	74
Tabela 8-	Planilha de HAZOP para o nó 2 (continua).....	78
Tabela 9-	Planilha de HAZOP para o nó 3 (continua).....	82
Tabela 10-	Planilha de HAZOP para o nó 4 (continua).....	85
Tabela 11-	Planilha de HAZOP para o nó 5 (continua).....	88
Tabela 12-	Planilha de HAZOP para o nó 6 (continua).....	91
Tabela 13-	Resumo dos Riscos por Classe de Frequência, Severidade e Risco.....	94
Tabela 14-	Descrição das áreas de ação advindas das recomendações/observações....	95
Tabela 15-	Análise Vulnerabilidade para ETDI E-1.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>American Petroleum Institute</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro
COV	Carbonos Orgânicos Voláteis
DAF	<i>Dissolved Air Flotator</i>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNV	<i>Det Norske Veritas</i>
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETDI	Estação de Tratamento de Despejos Industriais
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
HAZOP	<i>Hazard and Operability Study</i>
ICI	<i>Imperial Chemical Industries</i>
MBBR	<i>Moving Bed Biofilm Reactor</i>
MBR	<i>Membrane Bioreactor</i>
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
OD	Oxigênio Dissolvido
O&G	Teor de Óleos e Graxas
OSRL	<i>Oil Spill Response Limited</i>
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
pH	Potencial de Hidrogênio
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
POA	Processo Oxidativo Avançado
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
SAO	Separador água-óleo
SMS	Segurança, Meio Ambiente e Saúde
SS	Sólidos Suspensos

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	15
	OBJETIVOS	18
	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
1	ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS	20
1.1	Contextualização e legislações aplicáveis	20
1.2	Principais parâmetros de controle nos efluentes de refinarias	23
1.2.1	<u>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)</u>	23
1.2.2	<u>Demanda Química de Oxigênio (DQO)</u>	24
1.2.3	<u>Óleos e Graxas (O&G)</u>	24
1.2.4	<u>Sólidos Supensos (SS)</u>	24
1.2.5	<u>Turbidez</u>	25
1.2.6	<u>Teor de amônia</u>	25
1.3	Evolução das tecnologias de tratamento	25
1.3.1	<u>Contextualização</u>	25
1.3.2	<u>Tecnologias de tratamento físico-químico</u>	27
1.3.2.1	Separador água-óleo (SAO).....	27
1.3.2.2	Flotador.....	28
1.3.2.3	Filtro Casca de Nozes.....	30
1.3.2.4	Eletrocoagulação.....	31
1.3.3	<u>Tecnologias de tratamento biológico</u>	31
1.3.3.1	Filtros Biológicos.....	32
1.3.3.2	Biodiscos.....	33
1.3.3.3	Reatores de leito móvel com biofilme.....	33
1.3.3.4	Lagoas Aeradas.....	35
1.3.3.5	Lodos Ativados.....	36
1.3.3.6	Biorreatores com membranas (MBR).....	38
1.3.3.7	Outras Tecnologias.....	39
1.3.4	<u>Representações esquemáticas das rotas de tratamento</u>	40
2	FERRAMENTAS: HAZOP E ANÁLISE DE VULNERABILIDADE	45
2.1	Contextualização sobre Acidentes Ambientais na Indústria do Petróleo: Foco no Caso Brasileiro	45
2.2	Análise de Risco Valendo-se da Técnica HAZOP	46
2.2.1	<u>Conceitos associados a acidentes</u>	46
2.2.2	<u>Metodologia da técnica HAZOP</u>	48
2.2.2.1	Definição do sistema.....	50
2.2.2.2	Preparação para a análise.....	50
2.2.2.3	Execução da análise.....	51
2.2.2.4	Registro da análise.....	55
2.2.3	<u>Técnica HAZOP: estado da arte</u>	55

2.3	Análise de Risco Utilizando-se da Técnica da Vulnerabilidade	58
2.3.1	<u>Conceitos Associados à Vulnerabilidade</u>	58
2.3.2	<u>Metodologia da Técnica da Análise de Vulnerabilidade</u>	59
2.3.3	<u>Técnica da Análise de Vulnerabilidade:estado de arte</u>	61
3	METODOLOGIA	63
3.1	Caracterização da Metodologia	63
3.2	Procedimentos adotados	64
3.2.1	<u>Pesquisa bibliográfica</u>	64
3.2.2	<u>Elaboração do cenário do estudo de caso</u>	64
3.2.3	<u>Aplicação da técnica de Vulnerabilidade e HAZOP no cenário do estudo de caso</u>	65
3.2.4	<u>Levantamento das percepções nas duas análises</u>	69
4	DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO	70
4.1	Modelo de uma ETDI moderna - Representação do P&ID Simplificado	70
5	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ANÁLISE	72
5.1	Técnica HAZOP	72
5.1.1	<u>Descrição dos passos iniciais da análise</u>	72
5.1.2	<u>Nó 1</u>	72
5.1.3	<u>Nó 2</u>	77
5.1.4	<u>Nó 3</u>	81
5.1.5	<u>Nó 4</u>	84
5.1.6	<u>Nó 5</u>	87
5.1.7	<u>Nó 6</u>	90
5.1.8	<u>Avaliação dos resultados da HAZOP</u>	94
5.2	Técnica de Análise de Vulnerabilidade	96
5.2.1	<u>Descrição dos passos iniciais da análise</u>	96
5.2.2	<u>Avaliação dos resultados da Análise de Vulnerabilidade</u>	97
5.3	Comparativo de resultados entre as técnicas de análise	102
5.3.1	<u>Contextualização</u>	102
5.3.2	<u>Tempo gasto nas duas análises</u>	102
5.3.3	<u>Características no enfoque dos resultados</u>	103
	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	104
	REFERÊNCIAS	106
	APÊNDICE A – Fluxograma de engenharia da ETDI E-1.....	113
	APÊNDICE B – Fluxograma de engenharia da ETDI E-1 com a representação dos nós marcados.....	115
	ANEXO A – Artigo 16 da Resolução CONAMA n ^o 430/2011.....	117

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, em especial a partir de 1960, houve um aumento expressivo da indústria química no mundo. Além da rápida expansão, as unidades operacionais ficaram mais complexas, passando a operar em condições mais severas. Em paralelo, houve o acréscimo na capacidade das plantas industriais e na quantidade de suas interligações.

Infelizmente, a esse panorama não se pode associar apenas o resultado positivo do ganho econômico, uma vez que, a indústria também tem sua história marcada por acidentes.

Em especial, pode-se citar que o maior acidente industrial registrado aconteceu em uma indústria química: o desastre de Bhopal, ocorrido numa instalação industrial da empresa Union Carbide de fabricação do pesticida carbarilo (1-naftilmetilcarbamato), em dezembro de 1984, resultando na exposição de centenas de milhares de pessoas e animais a uma nuvem tóxica, o que provocou a morte praticamente imediata de alguns milhares (MACHADO, 2010).

Outro acidente de grande relevância na indústria química foi o de Flixborough. Em 1974, a área industrial da Nypro (Reino Unido), em Flixborough, foi severamente danificada por uma grande explosão, devido ao rompimento de uma tubulação de desvio (*bypass*) de 20 polegadas, não prevista no projeto original, que ocasionou o vazamento de uma grande quantidade de ciclohexano, o qual formou uma mistura inflamável com o ar e, posteriormente, encontrou uma fonte de ignição, deflagrando uma enorme explosão e numerosos incêndios que se estenderam por muitos dias. Vinte e oito trabalhadores foram mortos e mais de 36 ficaram feridos devido a esse acidente (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 2012).

No desastre de Flixborough, a modificação planta (inserção da tubulação de desvio) ocorreu sem uma avaliação completa das potenciais consequências. Após esse acidente, muitas empresas químicas passaram a adotar a análise de riscos em suas plantas industriais. Nesse cenário, começa a ser divulgado pela *Imperial Chemical Industries* uma ferramenta de análise de riscos denominada *Hazard and Operability Study* (HAZOP) ou Estudo/Análise de Perigo e Operabilidade.

O principal objetivo de uma Análise de Perigo e Operabilidade é investigar todos os possíveis desvios das condições normais de operação de um processo, identificando as causas responsáveis por tais desvios e as respectivas consequências e, em seguida, propor medidas para eliminar ou controlar o perigo ou para sanar o problema de operabilidade da instalação.

Essencialmente, a técnica de HAZOP pode ser descrita com um procedimento indutivo qualitativo, no qual uma equipe multidisciplinar examina um processo, gerando perguntas sobre o mesmo, de maneira sistemática. As perguntas são direcionadas por uma lista de palavras-guia. Assim, esse método de identificação de perigos consiste, fundamentalmente, numa busca estruturada das causas de possíveis desvios em variáveis de processo, ou seja, na temperatura, pressão, vazão ou composição, em diferentes pontos dentro do sistema (denominados nós de estudo ou simplesmente nós), durante a operação do mesmo.

Essa metodologia vem sendo amplamente empregada por vários tipos de indústria, em especial nas de petróleo. No caso do Brasil, passou a ser empregada a partir da década de 90 no segmento de óleo e gás natural (CALIXTO, 2007).

Neste sentido, o uso da Análise de Perigos e Operabilidade (HAZOP) em uma unidade de processo do ramo do petróleo, por exemplo, numa refinaria, é uma prática aplicável e recomendada.

Apesar da técnica de HAZOP ser uma ferramenta muito importante para: identificar as causas dos desvios, determinar todos os principais perigos e problemas de operabilidade associados a esses desvios, decidir se a ação é necessária para controlar o perigo ou o problema de operacionalidade e garantir que as ações decididas sejam implementadas e documentadas, o emprego apenas dessa análise não engloba uma avaliação de risco de eventos não esperados (terremotos, incêndios, sabotagem, entre outros) que podem resultar em emergências (NOLAN, 2011).

Para atender a essa lacuna, vem ganhando notoriedade a ferramenta da Análise de Vulnerabilidade.

Essa análise é realizada de forma metódica por uma equipe multidisciplinar que deve avaliar as ameaças potenciais e a vulnerabilidades da planta a esses fatores. A partir dessa avaliação, determinam-se as possíveis emergências, com as respectivas: probabilidade, impactos e recursos disponíveis para prevenir ou mitigar sua ocorrência.

Em relação, ao tipo de resultados, ambas as técnicas se utilizam de planilhas, para classificar os riscos ou emergências, no entanto as principais diferenças da Análise de Vulnerabilidade em relação ao HAZOP foram os seguintes pontos:

- A Análise de Vulnerabilidade identifica as fontes, os tipos, e probabilidade de ameaças, enquanto que um HAZOP determina quais os perigos devem ser considerados;
- O HAZOP avalia falhas em equipamentos, enquanto a Análise de Vulnerabilidade avalia cenários que se originam de eventos emergenciais;

- A Análise de Vulnerabilidade tem que determinar se as ameaças são plausíveis, enquanto o HAZOP tem de determinar se uma falha é plausível.

Nesse contexto, são adotados neste trabalho um cenário hipotético no qual, são conduzidas as análises de HAZOP e Vulnerabilidade.

Como a indústria de petróleo, foi a primeira do setor industrial a utilizar ferramentas de análise de risco, o estudo de caso escolhido para esse trabalho é uma unidade operacional presente em qualquer refinaria - a Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI).

No cenário será considerada uma ETDI com uma rota tecnológica mais avançada. Por fim, as informações geradas em ambas as técnicas serão avaliadas.

Objetivos

Objetivo geral:

Aplicar duas ferramentas de análise – HAZOP (*Hazard and Operability Study*) e Análise de Vulnerabilidade – em um cenário hipotético – em uma Estação de Tratamento de Despejos Industriais típica de uma refinaria, com processos mais modernos.

Avaliar os resultados obtidos após a aplicação das duas análises, a fim de identificar: as recomendações advindas de cada uma, o tempo despendido para a execução das análises e a interdependência entre as informações geradas por cada técnica.

Objetivos específicos:

A fim de concretizar o objetivo geral exposto no item anterior, foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- Analisar as rotas tecnológicas usuais em Estações de Tratamento de Despejos Industriais de refinarias, a fim de definir um cenário fidedigno;
- Estabelecer um estudo de caso em conformidade com o cenário avaliado, elaborando um fluxograma de engenharia que possa servir de base para a aplicação das análises;
- Analisar as avaliações dos profissionais, no que se refere à classificação dos riscos registrados durante a aplicação da técnica HAZOP no estudo de caso;
- Analisar as avaliações dos profissionais, no que se refere à gradação das emergências, registradas durante a aplicação da técnica de Análise de vulnerabilidade no estudo de caso;
- Estabelecer um comparativo da natureza das informações levantadas.

Estrutura do trabalho

Para atingir os objetivos anteriores, o presente trabalho será dividido da seguinte forma:

- O capítulo introdutório faz uma contextualização do tema e apresenta as ferramentas de HAZOP e Análise de Vulnerabilidade como métodos de avaliação em duas Estações de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI) típicas de refinarias de petróleo. Bem como apresenta os objetivos a serem alcançados na conclusão do trabalho.
- O capítulo 1 apresenta uma revisão bibliográfica dos aspectos relacionados à evolução das rotas tecnológicas empregadas nas ETDI de refinarias.
- O capítulo 2 faz uma abordagem sobre as ferramentas – HAZOP e Análise de Vulnerabilidade, evidenciando as características de cada uma.
- O capítulo 3 traz a contextualização metodológica da análise realizada, bem como os passos metodológicos e as ferramentas empregadas que possibilitaram alcançar os objetivos deste trabalho.
- O capítulo 4 apresenta a descrição do estudo de caso relacionado, bem como as premissas adotadas para o cenário em questão.
- O capítulo 5 traz a apresentação dos resultados resultantes da aplicação das duas ferramentas no estudo de caso relacionado.
- Por fim, o capítulo de conclusões e recomendações apresenta as considerações finais decorrentes das análises dos resultados e as observações pertinentes, sob o ponto de vista dos objetivos global e específicos, além de apresentar sugestões para pesquisas futuras.
- Ainda fazem parte do corpo deste trabalho as referências, os apêndices e o anexo.

1. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS

1.1 Contextualização e legislações aplicáveis

Conforme foi abordado na introdução, é notório que as indústrias apresentam um importante agente de influência ao meio ambiente que as cerca nos casos de acidentes. Em muitos acidentes, uma forma de interferência torna-se perceptível: a poluição hídrica.

Como exemplo clássico pode-se citar o vazamento de um reservatório da mineradora Rio Pomba Cataguases, considerado o maior acidente ambiental de Minas Gerais, ocorrido em março de 2006 e que contaminou o Córrego Bom Jardim, afluente do Rio Paraíba do Sul, com 130 mil metros cúbicos de sedimentos provenientes da lavagem de bauxita. Dez meses depois, a mesma barragem cedeu outra vez e o município de Mirafóides foi inundado com 2 milhões de metros cúbicos do mesmo contaminante. Sete bairros foram atingidos e pelo menos 2 mil pessoas tiveram que deixar suas casas, além do que o abastecimento de água foi prejudicado em alguns municípios que se encontram ao longo do rio (ESTADO DE MINAS, 2011).

Nesse exemplo, o vazamento de sedimentos acarretou prejuízos ao processo natural de fotossíntese no ecossistema do rio, pois os sedimentos inorgânicos que vazaram da barragem dificultaram a passagem de luz às camadas mais profundas do curso d'água. No entanto, não só em casos de vazamentos, há danos, mas a cada vez que um efluente industrial sem o tratamento devido é lançado em um corpo hídrico.

Quando um lançamento ocorre, ele pode levar, se sua natureza for de carga orgânica, a um acréscimo na quantidade de matéria orgânica presente no corpo receptor, o que acarreta a redução do oxigênio dissolvido (OD), vital para a biodiversidade nos ecossistemas aquáticos, no ponto de descarte do efluente (SANT'ANNA JÚNIOR, 2010).

Sant'Anna Júnior (2010) descreve os dois mecanismos que ocorrem simultaneamente quando a matéria orgânica é lançada num rio: primeiramente, há o consumo de oxigênio dissolvido na água pelos micro-organismos, que se multiplicam rapidamente, devido à abundância de nutrientes nas proximidades do lançamento, e degradam a matéria orgânica presente na fase aquosa; concomitantemente há a reaeração natural, que é o mecanismo responsável por repor o oxigênio consumido para a biodegradação dos nutrientes, conferindo ao corpo hídrico a capacidade de recuperação (autodepuração).

No entanto, quando os pontos de lançamento se multiplicam às margens de um corpo hídrico, a recuperação desse sistema ocorre em um ritmo inferior ao impacto provocado por seguidos descartes. Assim, grandes extensões de um rio, podem apresentar um nível muito baixo de oxigênio dissolvido, sendo que em caso extremo pode ocorrer “a morte do rio”, caso o oxigênio dissolvido alcance valores quase nulos (SANT’ANNA JÚNIOR, 2010).

Nesse contexto, evidencia-se a importância dos processos de tratamento dos efluentes industriais para remoção de poluentes, até que se atinjam níveis que não causem comprometimento dos sistemas aquáticos. Esses níveis de contaminantes permitidos em um dado efluente industrial são regulados por legislações específicas.

Há quase cinquenta anos atrás, o Decreto Lei nº 1413/75 já dispunha sobre a necessidade do controle da poluição acarretada pelas indústrias ao meio ambiente. No entanto, no caso da legislação federal brasileira, pode-se citar como marco inicial referente à qualidade de águas a Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus afins e mecanismos de formulação e aplicação. Sendo que uma das principais contribuições da referida lei foi a criação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que tem como finalidade auxiliar o Conselho de Governo na elaboração de diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado.(Lei nº 6938/81). Logo, em atendimento a essas finalidades, o CONAMA tem entre suas atribuições, o estabelecimento de padrões para lançamento de efluentes, zoneamento ambiental e classificação de corpos hídricos.

Collares (2004) ressalta que a Lei nº 6938/81 tem também o mérito de introduzir o princípio da “racionalização do uso da água”. Ainda assim, o conceito da água como recurso finito e, portanto, a necessidade de alinhar seus diferentes usos às questões ambientais, ainda não estava claramente explicitado àquela época.

Após cinco anos, foi promulgada a Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986, que estabeleceu pela primeira vez os padrões para lançamentos de efluentes e os parâmetros para classificação de águas.

Após dois anos, a Constituição Federal Brasileira de 1988, também ratificou a importância ao controle da poluição:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”(CONSTITUIÇÃO FEDERAL BRASILEIRA, título VIII, capítulo VI, art. 225).

Alguns anos mais tarde, a Lei nº 9433, de 8 de Janeiro de 1997, introduziu avanços significativos à legislação ambiental. Essa Lei obedece ao princípio que todos os corpos d’água são de domínio público e proclama os seguintes princípios básicos: a água é um bem limitado, dotado de valor econômico; a gestão deve respeitar o uso múltiplo da água; a gestão deve ser participativa e descentralizada; a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; em caso de escassez, o uso prioritário da água deve ser para atender ao consumo humano e ao de animais (FLORIDO, 2011).

A adoção da cobrança pelo uso da água e a obrigatoriedade de outorga para o direito de uso dos recursos hídricos estabelecidos pela Lei nº 9433/97 fizeram que a gestão de recursos hídricos passasse a ter expressão econômica, fomentando as iniciativas de redução e reuso da água dentro das indústrias.

Logo, pode-se afirmar que a conscientização de que os recursos hídricos são finitos e, portanto, merecem um tratamento jurídico mais atento, ganhou um contorno mais definido após essa lei (COLLARES, 2004).

Collares (2004) frisa ainda que, com a Lei nº 9433/97, a escassez de água passa a determinar o regime de outorga e nesse contexto, a concessão de outorga pelo poder Público, pode ser revogada se for devidamente caracterizada e fundamentada a necessidade de atender a usos prioritários. Assim, faz-se necessário que os usuários industriais se antecipem e avaliem a possibilidade de uma redução ou negação à ampliação de outorga como cenários factíveis.

Após alguns anos, em 2005, a Resolução CONAMA nº 20/86 foi revogada pela CONAMA nº 357/05, que estabeleceu novos parâmetros para lançamentos de efluentes e classificação de rios, sendo complementado mais tarde pela CONAMA nº 397/08. As principais mudanças trazidas pela nova resolução foram a introdução do conceito de ecotoxicidade e a inclusão do nitrogênio amoniacal total na tabela de padrões para lançamento de efluentes (Resolução CONAMA nº 357/05).

Seis anos mais tarde foi promulgada a Resolução CONAMA nº 430/11, que alterou e modificou a CONAMA nº 357/05, sendo que para classificação de corpos hídricos

permaneceram vigentes os parâmetros apresentados na CONAMA nº 357/05. No entanto, a CONAMA nº 430/11 estabeleceu novos parâmetros para o lançamento de efluentes, além de outras alterações no texto. As principais mudanças trazidas pela nova resolução foram: a introdução do conceito de emissário submarino e respectiva zona de mistura; a inclusão de: benzeno, estireno, etilbenzeno, tolueno, xileno e remoção do limite de boro para despejos em águas salinas na tabela de padrões para lançamento de efluentes; o estabelecimento de condições e padrões diferenciados para os efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários (para melhor explicitar as informações referentes aos limites em lançamento de efluentes, segundo a esfera legal federal, o artigo 16 que menciona os parâmetros para lançamento de efluentes industriais da Resolução CONAMA nº 430/11, está presente no Anexo A deste trabalho).

Por fim, é importante pontuar que em temáticas ambientais no Brasil, a lei mais restritiva é sempre a aplicável, não importando se a mesma é de natureza federal, estadual ou municipal.

1.2 Parâmetros importantes de controle nos efluentes de refinarias

Apesar da CONAMA nº 430/2011 citar um número **relevante** de parâmetros e de limites de lançamento para substâncias orgânicas e inorgânicas, não é factível prever a identificação precisa de todos os elementos que podem estar presentes num efluente. Além disso, a inerente variabilidade das características químicas das águas residuárias, em especial as industriais, tornaria essa tarefa inexecutável.

Serão descritos a seguir definições de alguns parâmetros importantes, que são avaliados nas Estações de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI) de refinarias para o controle e tratabilidade dos despejos gerados e cujo entendimento é fundamental para a compreensão dos itens posteriores deste trabalho:

1.2.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

É definida como a quantidade de oxigênio requerida por micro-organismos para oxidar os compostos presentes numa amostra de efluente, sendo assim um bioensaio, que busca simular a biodegradação de poluentes presentes nesse efluente. A análise de demanda bioquímica de oxigênio é determinada em condição padrão de temperatura (20°C) em um

período de 5 dias, sendo denominada DBO₅. Em um efluente de refinaria de petróleo, a DBO₅ está na faixa de 300-800 mg/L (SANT'ANNA JÚNIOR, 2010).

A metodologia para a execução da análise de DBO₅, em muitos casos mencionada apenas como DBO, e dos demais parâmetros descritos nos subitens 1.1.2 a 1.2.4 está apresentada na literatura *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005).

1.2.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

É definida como a quantidade de oxigênio necessário à oxidação química, por um agente oxidante forte, dos poluentes presentes numa dada amostra. Em termos práticos, o valor de DQO sinaliza o quão expressiva é a parcela não-biodegradável de um dado efluente, pois quanto mais recalcitrante for um efluente, maior será a diferença entre DQO e DBO. No efluente da indústria do petróleo, antes do tratamento biológico, tem se observado uma relação DQO/DBO próxima de 2.

1.2.3 Óleos e Graxas (O&G)

É um indicador global representativo de uma ampla classe de substâncias que podem ser solubilizadas e extraídas por solventes orgânicos. Esse parâmetro é muito útil, pois torna possível quantificar uma ampla classe de poluentes hidrofóbicos que podem ter efeitos tóxicos e acumulativos (SANT'ANNA JÚNIOR, 2010).

Os valores desse parâmetro da ETDI variam muito, no entanto, após a primeira separação de óleo alcança valores típicos na faixa de 100-150 ppm.

1.2.4 Sólidos Suspensos (SS)

Refere-se a pequenas partículas sólidas em suspensão que conferem turbidez à água, prejudicando a captação de luz e, conseqüentemente, a fotossíntese por organismos aquáticos. Além disso, um alto nível de sólidos em suspensão pode provocar assoreamento no respectivo corpo receptor e impacto para a fauna e flora do ecossistema.

Ademais, o material sólido particulado de origem orgânica contribui com o aumento de DQO (SANT'ANNA JÚNIOR, 2010).

1.2.5 Turbidez

A turbidez é uma medida das propriedades de transmissão de luz em uma dada amostra de água ou efluente. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica coloidal em um dado efluente, menor a transmissão da luz, logo maior a turbidez, que por sua vez, é medida em unidades nefelométricas de turbidez (NTU) (METCALF & EDDY, 2004).

1.2.6 Teor de amônia

Fontes de nitrogênio e fósforo são fundamentais para o crescimento dos microrganismos que realizam a degradação biológica da matéria orgânica presente nos efluentes. No entanto, é importante que ao final do tratamento biológico o teor de amônia seja pequeno, em primeiro lugar devido ao atendimento legal, a CONAMA 430/2011, por exemplo, limita o teor de amônia em 20 ppm, e, em segundo, para evitar que o excesso de nutrientes quando despejado nos corpos hídricos acarrete a eutrofização.

1.3 Evolução das tecnologias de tratamento

1.3.1 Contextualização

Uma refinaria pode apresentar diferentes unidades operacionais, tais como a destilação atmosférica, destilação a vácuo, coqueamento retardado, hidrotratamento, craqueamento catalítico, entre outras. Para garantir o funcionamento de todas essas unidades, além do petróleo, há outro insumo de vital importância: a água. Seu emprego se dá principalmente na geração de vapor e no sistema de resfriamento. O vapor gerado possui inúmeras aplicações, entre elas a retificação dos derivados de petróleo. Além dessas contribuições, há o efluente gerado dessa retificação com vapor, que somado às purgas da torre de resfriamento e às contribuições das dessalgadoras (operações unitárias que auxiliam a diminuir o teor de água salina que vem junto ao petróleo) constituem-se como principais correntes de tempo seco nas

ETDI. Na Figura 1, é possível a visualização das correntes típicas de entrada de uma ETDI, desconsiderando as contribuições advindas de chuvas sobre áreas contaminadas com hidrocarbonetos (a soma das vazões dessas contribuições é conhecida como vazão de tempo seco da ETDI). Logo, para tratar todo esse efluente, tornam-se necessários tratamentos específicos, os quais serão descritos nos itens seguintes.

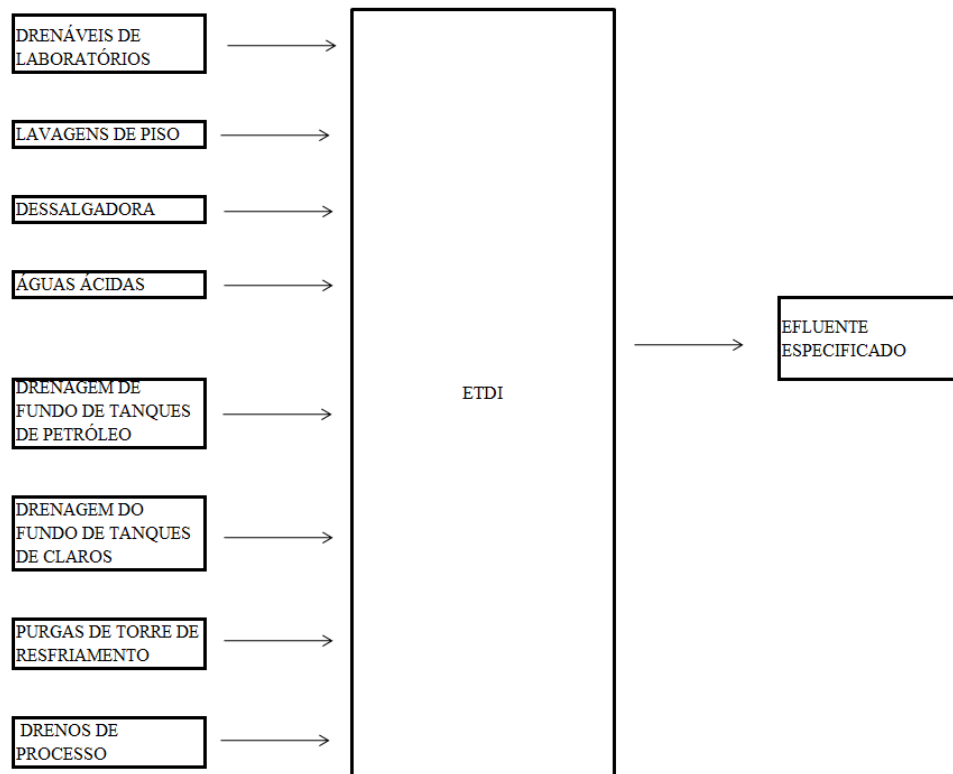


Figura 1 - Esquemático de contribuições para a ETDI

Várias tecnologias podem ser empregadas para o tratamento de efluentes em refinarias de petróleo, as quais, são geralmente classificadas como físico-química ou biológica. O tratamento primário tradicionalmente consiste no uso de separadores gravitacionais e posteriormente dos processos de coagulação e floculação prévias, seguidas por uma etapa de flotação. Já o secundário, refere-se tradicionalmente ao tratamento biológico, utilizando-se de microrganismos para degradar a matéria orgânica que permanece após o pré-tratamento. Em algumas tecnologias, quando há remoção adicional de poluentes, como o biorreator com membranas, por exemplo, pode-se referir-se a tratamento terciário.

Em cada uma dessas categorias de tratamento poderiam ser citados inúmeros equipamentos, além daqueles apresentados, nos itens seguintes, no entanto isso se afastaria de um dos objetivos do presente trabalho que é descrever a evolução tecnológica das principais operações unitárias instaladas em ETDI de refinarias, com enfoque especial no caso brasileiro.

1.3.2 Tecnologias de tratamento físico-químico

1.3.2.1 Separador água-óleo (SAO)

O primeiro separador foi desenvolvido há cerca de oitenta anos através de uma parceria entre o *American Petroleum Institute* (API) e *Rex Cadeia Belt* (atualmente incorporada ao grupo *Siemens Water Technologies*). O primeiro SAO API foi fornecido em 1933 para a refinaria *Atlantic Refining*, na Filadelfia e desde então, centenas de refinarias ao redor do mundo têm instalado separadores API em suas Estações de Tratamento de Despejos Industriais (SIEMENS, 2004).

O separador de água-óleo do tipo API é tradicionalmente a primeira etapa de tratamento de efluentes na maioria das refinarias de petróleo, quer sejam antigas ou novas (visualização do equipamento na Figura 2), pois é um equipamento bastante robusto. A principal função de um separador API é remover uma maior fração de óleo livre e de sólidos em suspensão presentes nos efluentes, protegendo os equipamentos envolvidos nas etapas posteriores do tratamento.

Os separadores API são equipamentos, dimensionados de forma a aproximar as condições de escoamento ao regime laminar, permitindo, deste modo, que os óleos e gorduras sejam separados da fase líquida. A alimentação é efetuada por um sistema que distribui a vazão por todos os canais do equipamento, introduzindo a menor turbulência possível ao escoamento (RODRIGUES, 2008).

Neste tipo de separador, o óleo se acumula na superfície, devido à diferença de massa específica entre a água e o óleo, e os sólidos pesados seguem para o fundo, sendo que a remoção do óleo sobrenadante e da borra de fundo deve ser feita periodicamente.

Além de remover parte do óleo livre, o separador tipo API também reduz o teor de sólidos suspensos, capturando partículas acima de 150 micra. Tipicamente, o teor de óleo na entrada do API é de 1000-5000 mg/L e na saída é da ordem de 150 mg/L (FERREIRA, 2009).

Apesar de classicamente as ETDI apresentarem apenas separador água-óleo do tipo API, algumas refinarias mais antigas possuem após o separador API, um segundo separador água-óleo de placas, esse tipo de separador, que é sensível a sólidos e produtos pesados, auxilia na remoção extra de óleo.



Figura 2 - Separador água-óleo do tipo API

Fonte: SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS, 2013.

1.3.2.2 Flotador

O flotador é em geral a segunda operação unitária pela qual passa o efluente após passar pelo SAO e tem por objetivo separar as partículas oleofílicas e sólidas de uma fase líquida, fazendo-as ascender à superfície do líquido por introdução de bolhas de ar na fase líquida. As bolhas de ar aderem à superfície das partículas fazendo com que elas ascendam lentamente à superfície do líquido, arrastando as partículas às quais aderiram. A flotação apresenta como principal vantagem, relativamente à separação gravitacional, o fato de partículas muito pequenas, que ascendem muito lentamente, poderem ser removidas num menor período de tempo (RODRIGUES, 2008).

Os flotadores mais usualmente empregados em refinarias são de dois tipos: ar induzido e ar dissolvido (visualização do equipamento na Figura 3). O flotador ar dissolvido (em inglês, *dissolved air flotator* – DAF) é o mais empregado nas refinarias mais modernas por apresentar uma melhor eficiência na remoção da camada oleofílica, devido à utilização de bolhas finas que são introduzidas em uma corrente de reciclo do flotador. Em efluentes de

refinaria, a separação também é auxiliada pela adição de reagentes químicos, sendo necessárias coagulação e floculação prévias a montante do flotor, que favorece a agregação das partículas sólidas em suspensão (RODRIGUES, 2008).

Já o flotor ar induzido, apesar de estar presente em algumas refinarias mais antigas, tem sido mais empregado em terminais e outros tipos de instalação com valores de teor de óleo no afluente menores, apresenta como vantagens: um custo mais competitivo, geração menor de lodo de fundo, não geração de voláteis e ocupação menor área.

Segundo Metcalf e Eddy- (2003), a flotação é uma operação que apresenta faixas de eficiência entre 85% e 90% para remoção de óleos e graxas. Ferreira (2009) ratifica essa taxa de eficiência, apresentando o valor de teor de óleo na entrada do flotor como da ordem de 150 mg/L e na saída de cerca de 20 mg/L para flotores a ar dissolvido.

As partículas sólidas separadas são retiradas na forma de lodo oleoso do fundo do flotor e escumas na parte sobrenadante do efluente e seguem para uma etapa de desaguamento (em refinarias mais antigas essa etapa de tratamento de lodo por vezes é feita por terceiros).

Por fim, é importante citar que tanto para o flotor ar dissolvido, quanto para o SAO, tem-se adotado como boa prática a cobertura dos equipamentos a fim de evitar a emissão de Carbonos Orgânicos Voláteis (COV) para a atmosfera, uma vez que com a cobertura os gases são direcionados para um biofiltro antes de serem lançados para a atmosfera.



Figura 3 - Flotador a Ar Dissolvido

Fonte: ENVIRONQUIP, 2013.

1.3.2.3 Filtro Casca de Nozes

Após a passagem pelo flotor, uma opção que tem sido empregada é a instalação de um sistema de filtração para mais uma etapa de remoção de contaminantes. Em algumas unidades de petróleo ao redor do mundo, foi empregado o Filtro de Areia, cujo processo consiste da passagem de água residuária com velocidade reduzida por camadas de areia de granulometria especial. Como ao passar pelo leito filtrante, a água muda constantemente de direção, as partículas por ela carregadas entram em contato com os grãos do meio filtrante promovendo a retenção de parte das impurezas, e conseqüentemente a melhoria dos parâmetros físico-químicos no efluente (DIAS,2011). No entanto, tal tecnologia é menos eficiente na remoção de óleo livre que o sistema de Filtro Casca de Nozes.

Meio Filtrante (2013) define o Filtro Casca de Nozes com um sistema de filtração que utiliza um vaso de pressão, contendo como meio filtrante uma espessa camada de casca de nozes moídas e com granulometria controlada. A unidade de filtragem inclui uma bomba, a qual é utilizada como bomba de alimentação e também como bomba de retrolavagem, sendo que o sistema funciona de forma automática (visualização do equipamento na Figura 4).

Esse equipamento começou a ser utilizado no Brasil na área de petróleo no setor de Exploração e Produção, para o tratamento de água produzida, que nada mais é que a água obtida junto ao petróleo quando da extração do óleo mineral. O filtro casca de nozes migrou para as ETDI de refinarias mais modernas por ser um equipamento que reduz o teor de óleos advindos da etapa anterior, a flotação, para cerca de 5 mg/L. Tal remoção adicional se faz importante, quando o tratamento biológico à jusante é feito com a utilização de membranas, pois valores mais elevados de O&G podem causar danos ao material polimérico das membranas.



Figura 4 - Filtro Casca de Nozes

Fonte: MEIO FILTRANTE, 2013.

1.3.2.4 Eletrocoagulação

Além das tecnologias descritas anteriormente, outros processos físico-químicos estão em estudo para pré-tratamento de efluentes de refinarias, entre eles a utilização da eletrocoagulação.

A eletrocoagulação é um método de tratamento de efluentes baseado na geração eletrolítica de um coagulante em meio aquoso. Geralmente, os eletrodos utilizados para o processo são feitos de alumínio e ferro. Como vantagens dessa tecnologia tem-se o fato do processo poder ser realizado sem a adição de reagentes químicos, além da quantidade de lodo gerado por ele ser, em geral, inferior à gerada na coagulação química (GIWA et al., 2013).

No mais, El-Naas et al. (2009) , Ibrahim et al. (2013) e Giwa et al. (2013) mostraram bons resultados no emprego da eletrocoagulação como uma etapa de pré-tratamento para o efluente real de refinaria. No entanto, essa tecnologia apresenta como principal desvantagem o custo energético.

1.3.3 Tecnologias de tratamento biológico

Muitas tecnologias podem ser utilizadas no tratamento biológico de efluentes industriais, sendo que no caso especial dos advindos de refinarias são empregados tradicionalmente sistemas aeróbios, ou seja, sistema nos quais a matéria orgânica é degradada devido à ação de microrganismos que dependem do oxigênio para seu ciclo de vida. Em geral, os sistemas aeróbios são classificados em dois tipos: biomassa fixa – no qual, a biomassa se fixa num meio de suporte (pedra, cascalhos, plásticos, entre outros) e biomassa em suspensão – no qual, os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica são mantidos em suspensão. Dentro desses dois grandes grupos destacam-se as seguintes tecnologias no segmento de tratamento de efluentes de refinarias: Filtros Biológicos, Biodiscos e Reatores de leito móvel com biofilme (biomassa fixa) e Lagoas Aeradas, Lodos Ativados e Biorreatores a Membrana (biomassa em suspensão).

1.3.3.1 Filtros Biológicos

Todos os reatores biológicos do tipo biomassa fixa têm, em seu interior, um material de enchimento que atua como meio -suporte, agregado ao qual se desenvolve a biomassa

ativa. As células crescem sobre a superfície do material, formando uma película úmida denominada biofilme. Os microorganismos formadores do biofilme captam e utilizam como substrato substâncias presentes nos efluentes a serem tratados, promovendo, dessa maneira, as transformações desejadas (SANTIAGO et al.,1997).

Os filtros biológicos (*trickling filters*, em inglês), em especial, são definidos por Sant'Anna Júnior (2010) como reatores nos quais a biomassa se encontra aderente a um suporte, sobre o qual percola o efluente a ser tratado, sendo que a remoção da matéria orgânica é efetuada pelos microorganismos que formam um biofilme em torno do meio de suporte. A aeração nessa tecnologia se faz por tiragem natural (mais comum) ou por ventilação forçada.

Essa tecnologia foi desenvolvida nos anos de 1890 por Dibden e Clowes, estando ilustrada na Figura 5, e é empregada em refinarias mais antigas ao longo do mundo. No entanto, não se faz presente nas refinarias brasileiras.

Apresenta como vantagens a facilidade de operação, baixa geração de lodo e baixo consumo energético. No entanto, apresenta muitas desvantagens: Sant'Anna Júnior (2010) menciona a presença de zonas mortas na fase líquida, baixa eficiência e baixa carga hidráulica (ou seja, pequena vazão de efluente por m^2 de área de biofilme).



Figura 5 – Filtro Biológico

Fonte: STAFFORDSHIRE UNIVERSITY, 2013.

1.3.3.2 Biodiscos

Os biodiscos ou contactores biológicos rotativos (ilustrados na Figura 6) são um processo de biomassa fixa onde os suportes, geralmente plásticos, são montados como discos

suportados por um eixo central. Essa estrutura é montada em um tanque - em geral, coberto para evitar a proliferação de algas nos biodiscos- de forma que, aproximadamente, 40% do suporte fique submerso no meio líquido durante a rotação. A transferência de massa do substrato e do oxigênio ocorre pela rotação da parte submersa do biodisco por meio do efluente contido no tanque. A rotação constante do suporte coloca o biofilme ora em contato com o substrato, ora com o ar. Usualmente, a rotação empregada em unidades industriais fica entre uma e duas rotações por minuto. Além de promover o contato do biofilme com o substrato e oxigênio, a rotação tem também o papel de controlar a espessura do biofilme. (SANTIAGO et al.,1997).

Apresenta como vantagens, segundo Staffordshire University (2013): robustez, baixa manutenção, pequena área, simplicidade mecânica, baixa geração de lodo. No entanto, a mesma literatura apresenta as desvantagens a seguir: dificuldade na remoção do lodo gerado e dificuldade de sedimentação do lodo gerado.

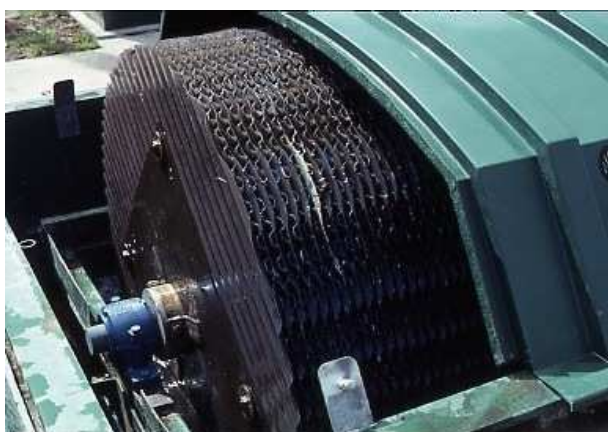


Figura 6 - Biodisco

Fonte: STAFFORDSHIRE UNIVERSITY, 2013.

1.3.3.3 Reatores de leito móvel com biofilme

Nos reatores de leito móvel com biofilme (*moving bed biofilm reactor* - MBBR, em inglês), os microrganismos são mantidos aderidos a um meio suporte de material plástico (também conhecido como biomídia, representado na Figura 7) de massa específica um pouco inferior à da água.

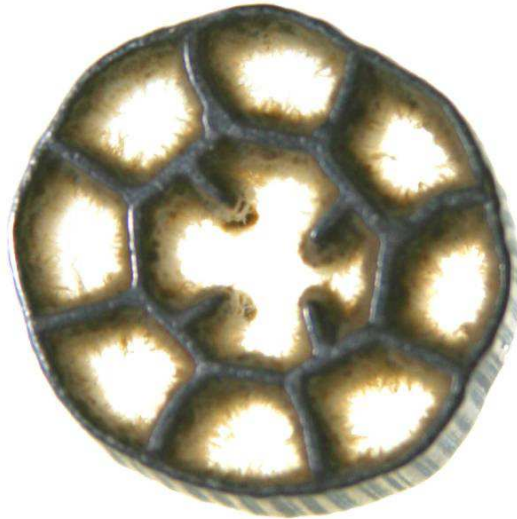


Figura 7 – Exemplo de suporte plástico

Fonte: STAFFORDSHIRE UNIVERSITY, 2013.

Ao contrário da maioria dos reatores de biomassa fixa, o MBBR utiliza todo o volume reacional do tanque de aeração, devido ao uso de suportes, o que aumenta a área de crescimento microbiano. O suporte é retido no interior do reator por meio de uma peneira na corrente de saída do efluente tratado (ODEGAARD; RUSTEN; WESTRUM, 1994).

O efluente tratado passa posteriormente por uma etapa de remoção adicional de sólidos. No entanto, nesse processo não há recirculação de lodo, diferentemente do que ocorre no sistema de Lodos Ativados.

A tecnologia MBBR foi desenvolvida na Noruega, com a finalidade de melhorar a eficiência de Estações de Tratamento de Esgotos existentes. As equipes dos pesquisadores Ødegaard e Rusten, em parceria com a empresa Kaldnes, foram pioneiras no desenvolvimento desse processo, que está ilustrado na Figura 8, e é empregado em algumas refinarias ao longo do mundo, no entanto, não se faz presente nas refinarias brasileiras.



Figura 8 – Reator do tipo MBBR

Fonte: STAFFORDSHIRE UNIVERSITY, 2013.

Apresenta como algumas vantagens, segundo Dias (2011): supressão da recirculação de lodo, pequena área, flexibilidade operacional e robustez. No entanto, a mesma literatura apresenta a desvantagem do alto consumo energético, advindo da necessidade de OD um pouco mais elevado nessa tecnologia, na faixa de 3 – 4 mg/L.

1.3.3.4 Lagoas Aeradas

O sistema de Lagoas Aeradas é um dos mais antigos sistemas de tratamento biológico de efluentes e podem ser definidos como tanques agitados, com grandes tempos de retenção, que operam sem recirculação de biomassa (para visualização, ver Figura 9). Nelas, aeradores mecânicos fornecem o oxigênio necessário para que a DBO que fica solúvel no efluente seja degradada pela ação microbiana. Já a DBO insolúvel, por sua vez, decanta e é degradada anaerobicamente no fundo da Lagoa. Os compostos não-degradados originam a formação do lodo biológico.

Esse tipo de tratamento é muito empregado nas refinarias mais antigas tanto no Brasil, como no mundo. Apresenta como vantagens a facilidade de operação e construção. No entanto, apresenta muitas desvantagens: Sant'Anna Júnior (2010) menciona a grande disponibilidade de área necessária para construção da Lagoa, devido à baixa concentração de biomassa na câmara de aeração; além dessa, podem-se citar a baixa eficiência na remoção de poluentes, emissão de voláteis (gerados devidos às reações anaeróbicas que ocorrem no fundo da Lagoa), necessidade de contratação de empresa externa para retirar o lodo do fundo da Lagoa a cada cinco anos, necessidade de instalação e manutenção de manta impermeável em todo fundo e lateral da Lagoa para evitar a contaminação de solo e lençol freático.



Figura 9 – Lagoa aerada

Fonte: MECHANICALAERATORS, 2013.

1.3.3.5 Lodos Ativados

O processo de Lodos Ativados pode ser considerado um a evolução do sistema de Lagoas Aeradas, sendo hoje o processo biológico de tratamento mais difundido.

O processo de lodo ativado teve sua origem na observação de que, quando um efluente era aerado por um longo período de tempo, a concentração de matéria orgânica diminuía ao mesmo tempo em que eram formados flocos de lodo (RAMALHO, 1983 apud LEVY, 2007).

O emprego do sistema de Lodos Ativados no tratamento de efluentes já data de quase cem anos. Ele foi testado pela primeira vez pelos pesquisadores Edward Arden e William T. Lockett no ano de 1914, na Inglaterra. Já no ano de 1917, na Inglaterra e nos Estados Unidos, duas outras plantas pilotos contínuas entraram em operação. O sucesso obtido com as mesmas e com a utilização de difusores de ar levou à construção de outras plantas ainda maiores (LEVY, 2007).

Este processo é constituído basicamente por três elementos importantes: o tanque de aeração (que é o reator biológico propriamente dito), o decantador secundário e a linha de recirculação de lodo.

O tanque de aeração (ilustrado na Figura 10), normalmente é construído em concreto, sendo que o efluente presente em seu interior apresenta uma alta concentração de microorganismos, bem superior a encontrada em Lagoas. Os tanques de aeração são dotados de sistema de aeração que fornece OD para as reações de biodegradação. As duas tecnologias principais do sistema de aeração são: a mecânica e o sistema de ar difuso. A aeração mecânica

é composta por agitadores que provocam o turbilhonamento no sistema. O sistema por ar difuso é constituído por difusores submersos no líquido, que são posicionados no fundo do tanque para evitar a sedimentação do lodo, e que promovem a injeção de ar, ou mais raramente oxigênio puro, em toda a extensão do tanque de aeração (TEIXEIRA, 2012).



Figura 10 - Tanques de Aeração

Fonte: TEXEIRA, 2012.

Os decantadores secundários, por sua vez, são tanques abertos em concreto, em geral circulares, que tem como principal função promover a separação entre a massa de microrganismos e o efluente tratado, como representado na Figura 11. A separação ocorre pela sedimentação do lodo no fundo do decantador, sendo essa uma etapa fundamental para o processo de lodos ativados (TEIXEIRA, 2012).



Figura 11 – Decantador Secundário

Fonte: TEXEIRA, 2012.

Por fim, uma parte do lodo sedimentado extraído dos decantadores é reciclada à entrada dos reatores biológicos (sendo este reciclo responsável por uma melhora na eficiência do processo), já a outra parte, o excesso de lodo é descartado para manter a relação entre alimento e microorganismos no valor necessário para um bom desempenho da unidade. O lodo biológico descartado segue então para uma etapa de desaguamento, geralmente, através de centrifugação para a redução da umidade no mesmo.

Essa tecnologia apresenta como vantagens: boa eficiência - Eckenfelder e Mustarman (1995 apud RODRIGUES, 2008) reportaram eficiências de remoção para efluentes de petroquímica de cerca de 95 % e de 87 % para a DBO₅ e DQO, respectivamente ; facilidade de operação; utiliza menos área que o processo por Lagoas. No entanto, apresenta como desvantagens: grande geração de lodo; possibilidade de problemas com formação de espuma; consumo energético demandado pelos sopradores de ar, advindo da necessidade de se manter o OD próximo de 2 mg/L para garantir a boa biodegradação dos efluentes .

1.3.3.6 Biorreatores com membranas (MBR)

Essa tecnologia é semelhante àquela do tratamento convencional de Lodos Ativados, exceto pelo sistema de separação entre o lodo (fase sólida) e o efluente tratado (fase líquida). No biorreator com membranas (*membrane bioreactor* – MBR, em inglês), a separação não é feita por decantação em um clarificador secundário, mas por um sistema de filtração com membranas, gerando um efluente tratado de elevada qualidade, uma vez que as membranas retêm totalmente a biomassa (FLORIDO, 2011).

Segundo Galil e Levinsky (2005) o emprego de membranas em substituição aos sistemas tradicionais para a separação sólido-líquido tem sido adotado com alto sucesso, podendo utilizar-se membranas de micro-filtração e ultra-filtração, capazes de remover partículas de 0,5 – 10 µm e 0,005 – 0,5 µm, respectivamente.

Essa tecnologia apresenta como vantagens: efluente final de alta qualidade - Rodrigues (2008) reporta eficiência 17 % superior na remoção de DQO para efluentes de refinaria em relação ao processo de Lodos Ativados; utiliza menos área e gera menos lodo que o processo por Lodos Ativados; robustez. No entanto, apresenta como desvantagens: suscetibilidade de incrustação nas membranas; possibilidade de problemas com formação de espuma; consumo energético demandado pelos sopradores de ar, advindo da necessidade de se manter o OD próximo de 2 mg/L para garantir a boa biodegradação dos efluentes .



Figura 12 - Biorreator com membranas vazio

Fonte: WIGEN WATER TECHNOLOGIES, 2013.

1.3.3.7 Outras Tecnologias

Além das tecnologias descritas anteriormente, outros processos estão em estudo como pós-tratamento de efluentes de refinarias, entre eles: a adição de carvão ativado em pó ou granular nos tanques de aeração e os processos oxidativos avançados.

Sant'Anna Júnior (2010) ressalta que a adição de carvão ativado nos tanques de aeração como meio de suporte para adesão microbiana e adsorção de poluentes recalcitrantes têm apresentado bons resultados. No entanto, nas aplicações em larga escala, por vezes, apresenta a desvantagem de elevado custo.

Metcalf & Eddy (2004) descrevem os processos oxidativos avançados (POA) como uma tecnologia que têm como objetivos oxidar poluentes de maneira que se alcance: produtos finais não poluentes; substâncias intermediárias de menor toxicidade; compostos que possam ser removidos mais facilmente por alguma etapa posterior. Os POA envolvem em geral a utilização do radical livre hidroxila como oxidante forte para destruir compostos que não são oxidados por oxidantes tradicionais como o oxigênio ou cloro.

Essa tecnologia está em fase de ampla pesquisa e apresenta como principal vantagem a possibilidade remoção de poluentes muito recalcitrantes, que são pouco degradados pelos processos convencionais. Diya'uddeen, Daud, Aziz (2011) apresentam um bom resumo sobre ensaios com essa tecnologia em efluente de refinaria. Como principal desvantagem essa tecnologia ainda apresenta alto custo.

1.3.4 Representações esquemáticas das rotas de tratamento

Conforme foi abordado nos subitens anteriores, as evoluções tecnológicas no segmento de tratamento de efluentes vieram da maior restrição na legislação ambiental, necessidade ou imposição de reuso de efluentes em algumas unidades e necessidade de ampliação em algumas estações que dispunham de baixa disponibilidade de área útil. Também foram apresentados os equipamentos mais comuns no tratamento dos efluentes de refinaria. Nesse subitem, o objetivo é mostrar o esquema da seqüência de cada um desses equipamentos dentro da ETDI.

É possível acompanhar a evolução mencionada no parágrafo acima observando a descrição de diferentes unidades de tratamento de efluentes do parque de refino brasileiro apresentada em diferentes trabalhos.

Collares (2004) e Dias (2011) descrevem a linha de tratamento antigo da Refinaria Duque de Caxias (REDUC), a qual é constituída, no tratamento primário, por dois separadores água-óleo do tipo API e por um flotador a ar induzido e, no tratamento secundário, por cinco lagoas (a primeira com o objetivo de equalizar a carga e remover sulfetos, em seguida duas de mistura completa que operam em paralelo para remoção de DBO, DQO, O&G, fenóis e duas finais, facultativas para polimento).

A Figura 13 apresenta esquematicamente as etapas do tratamento mencionadas.

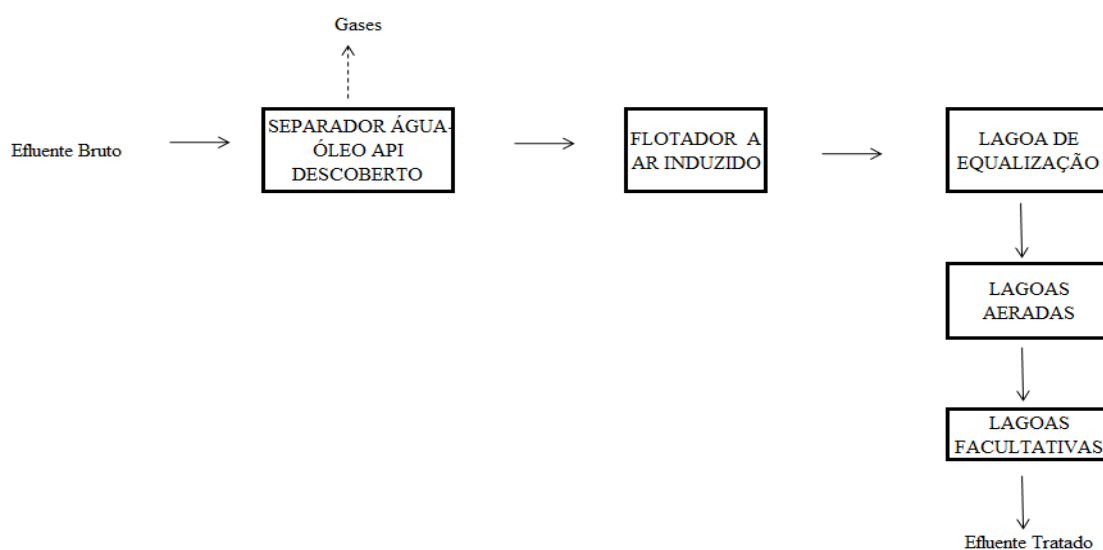


Figura 13 - Diagrama de Blocos da ETDI antiga da REDUC

Na unidade de tratamento de efluentes da Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR) é descrita por Texeira (2012), sendo o sistema de lodos ativados o tratamento biológico empregado.

Santiago (2010) apresenta um resumo das rotas convencionais em refinarias e da nova rota adotada nas refinarias mais novas.

Nas rotas convencionais são citadas como opções no tratamento biológico as lagoas, biodiscos e lodo ativado, tecnologias essas descritas anteriormente nesse capítulo.

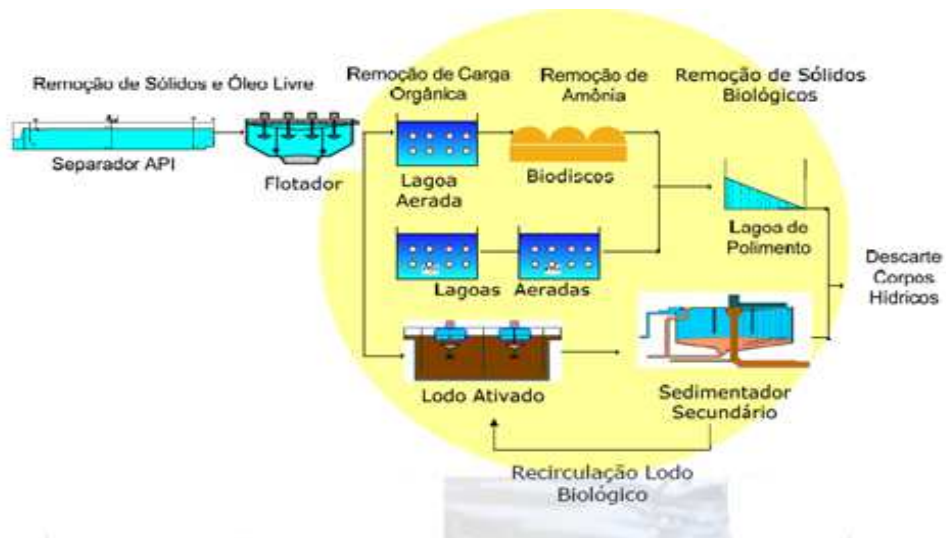


Figura 14 - Esquemático das rotas convencionais de tratamento de efluentes de refinarias

Fonte: SANTIAGO, 2010.

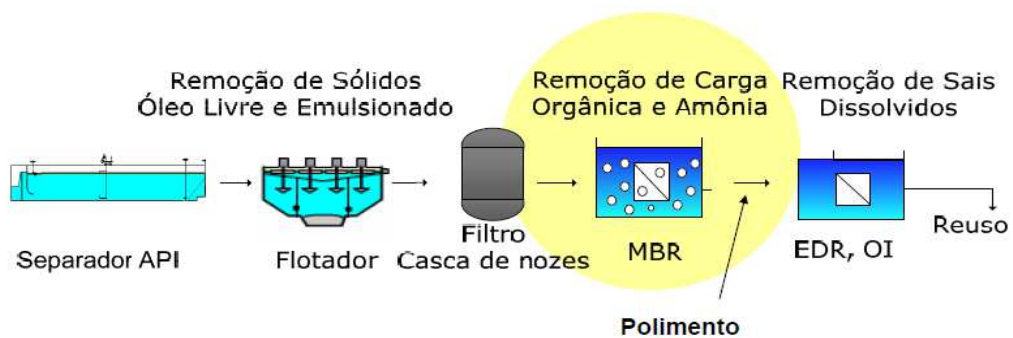


Figura 15 - Esquemático da rota moderna de tratamento de efluentes de refinarias

Fonte: SANTIAGO, 2010.

Nas refinarias modernas a opção é pela adoção do Biorreator com membranas (MBR) precedido de um filtro casca de nozes para proteger as membranas da chegada de óleo mineral livre acima de 5 ppm (limite em geral adotado com margem de segurança pelos fabricantes de membranas).

Como mencionado anteriormente, a tecnologia dos biorreatores com membranas já está consolidada. Na verdade, segundo Florido (2011), os primeiros foram introduzidos no final dos anos 60, quando as membranas comerciais de micro e ultrafiltração ficaram disponíveis no mercado.

O MBR se destaca, especialmente, por ser um processo híbrido que combina reator biológico à tecnologia de membranas, sendo que a utilização das mesmas como processo de separação permite aumentar a concentração em microrganismos no biorreator e aprimorar a qualidade do efluente após tratamento (permeado).

No entanto, apesar das vantagens citadas anteriormente, apresentava-se como principal entrave dessa tecnologia até os anos 2000, o alto custo das membranas, no entanto esse fator tem decrescido cada vez mais conforme é ilustrado na Figura 16.

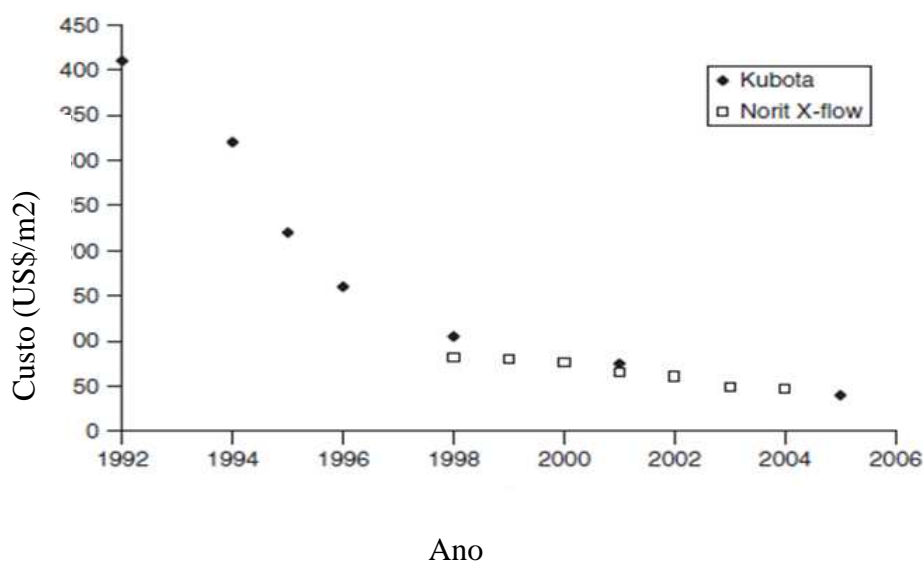


Figura 16 - Evolução do custo de membranas em US\$/m² em dois tradicionais fabricantes – Norit e Kubota

Fonte: JUDD, 2006.

Vale ressaltar ainda que a etapa de pós-tratamentos para remoção de sais dissolvidos ilustrados na Figura 15 tem por objetivo reduzir a condutividade/salinidade no efluente tratado para que o mesmo se enquadre nos parâmetros de condutividade e sais compatíveis a um sistema de reuso. Essas são operações unitárias usualmente operadas e projetadas para as

Estações de Tratamento de Água (ETA), ficando assim fora do arranjo geral da Estação de Tratamento de Resíduos Industriais (ETDI).

Condensando-se as informações colhidas nas fontes citadas neste capítulo e com troca de informações com fornecedores do setor, podem-se descrever mais detalhadamente as etapas principais de uma ETDI de refinaria moderna de acordo com o esquema da Figura 17.

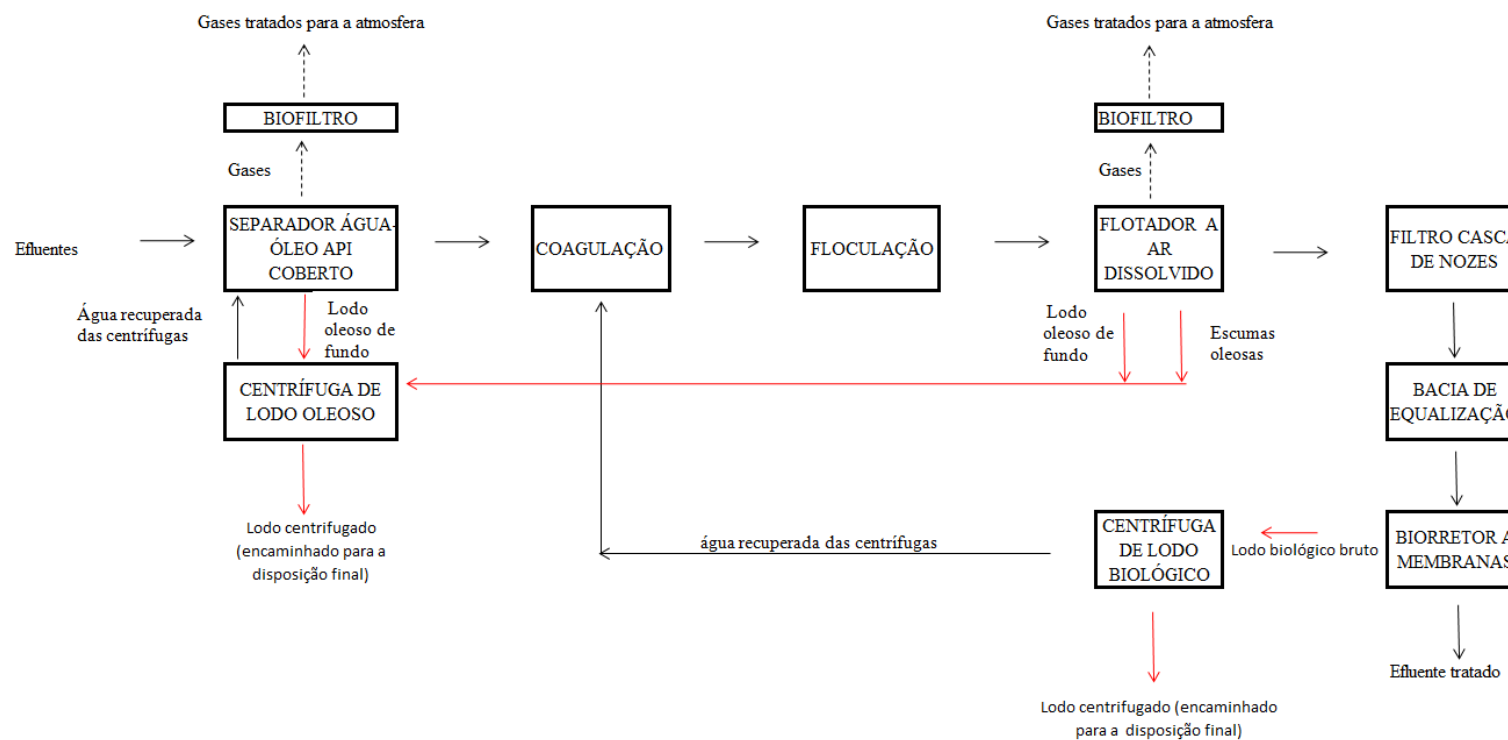


Figura 17 - Diagrama de Blocos de uma nova ETDI

Legenda: seta vermelha – lodo/escumas, seta preta em linha contínua – efluente/água recuperada, seta preta em linha tracejada – gases.

2. FERRAMENTAS: HAZOP E ANÁLISE DE VULNERABILIDADE

2.1 Contextualização sobre Acidentes Ambientais na Indústria do Petróleo: Foco no Caso Brasileiro

No capítulo da Introdução, foi abordado que um dos principais fatores para o surgimento das ferramentas de análise de riscos foram os grandes acidentes ocorridos na indústria química.

No mais, foi comentado anteriormente que o foco do trabalho é analisar o risco em uma unidade dentro da indústria do petróleo. Dentro desse contexto, é interessante pontuar a magnitude de grandes acidentes nesse segmento.

Souza Filho (2006) relata como o mais antigo dos principais acidentes ocorrido no Rio de Janeiro nesse segmento industrial, o rompimento do navio-tanque iraquiano Tarik Ibn Ziyad, em março de 1975, responsável pelo derramamento de milhares de m³ de óleo cru no canal central da Baía de Guanabara, atingindo inclusive algumas praias das cidades do Rio de Janeiro e de Niterói. Além de ocasionar a poluição do rio Jequiá por uma grossa camada de óleo que ao pegar fogo destruiu cerca de 20.000 m² de manguezal.

Souza Filho (2006) ainda pontua que a resposta a essa emergência foi coordenada pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) e envolveu o Ministério da Marinha, a Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB) e a Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS). A Marinha foi a responsável pela execução de sobrevôos de helicóptero para monitorar o deslocamento da mancha de óleo. A COMLURB pela operação de limpeza. Já a PETROBRAS forneceu recolhedores e 400 m de barreiras, que foram aplicados no canal do Rio Jequiá.

Infelizmente, esse não foi o único episódio de vazamento de óleo na Baía de Guanabara. Em, 1997 e 2000, rompimentos em dutos de transferência de produtos para a Refinaria Duque de Caxias (REDUC) derramaram hidrocarbonetos que se espalharam por extensa área e atingiram diferentes ecossistemas, incluindo praias, costões e manguezais localizados na parte norte/nordeste da baía (SOUZA FILHO, 2006).

GeoBrasil (2002) relata que no acidente de 2000, 1.300 m³ de óleo foi lançado no mar atingindo fortemente o ecossistema da área de Proteção Ambiental de Guapimirim.

Como primeiras ações, a PETROBRAS acionou suas embarcações para o lançamento das barreiras de contenção disponíveis e contratou a empresa inglesa Oil Spill Response Limited (OSRL), para a organização de combate a derramamentos de óleo. Também foi

acionado o Plano de Ação Emergencial da empresa, efetuando além das ações de proteção dos ecossistemas, através do uso de barreiras de contenção; recolhimento do óleo da superfície da água e da areia contaminada, lixo oleoso e não oleoso das praias; e hidrojateamento das pedras, costões e muros para remoção da película de óleo. Esse acidente, devido a sua repercussão na mídia, foi o grande motivador para a revisão e elaboração de legislação nacional relacionada a derramamentos de óleo (SOUZA FILHO, 2006).

Baseado nos acidentes mencionados ao longo desse item sobre o caso brasileiro, ilustrando a contaminação nos ecossistemas, fica evidente a importância do gerenciamento do risco industrial como instrumento de gestão ambiental, além da relevância de planos de emergências efetivos tanto no âmbito individual da empresa, como nos níveis locais, regionais e nacionais (CALIXTO, 2011).

Por fim, o histórico de vazamentos de óleo, corroborou para a publicação do Decreto nº 8.127, de 22 de outubro de 2013, que instituiu no país um Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional, integrando assim recursos em diversos níveis.

2.2 Análise de Risco Valendo-se da Técnica HAZOP

2.2.1 Conceitos associados a acidentes

Devido à Revolução Industrial ocorrida na Europa no final do século XVIII e início do século XIX houve a transformação das oficinas de trabalhos manuais e artesanais em corporações industriais. No entanto, as atividades fabris eram realizadas em condições ambientais bastante precárias, proporcionando a ocorrência elevada de acidentes e doenças no trabalho, gerando preocupações nos trabalhadores e autoridades públicas. Portanto, surgiu a necessidade de melhora nas condições de segurança industrial (MACIEL, 2001).

Por volta de 1926, o engenheiro norte-americano H. W. Heinrich - considerado o precursor, o pai do preventivismo - trabalhava em uma companhia americana de seguros, e por meio de pesquisas, pôde constatar o alto custo que representava para a seguradora reparar os danos decorrentes de acidentes e doenças do trabalho. A partir daí, desenvolveu uma série de idéias e de formas desses problemas serem gerenciados dentro das empresas, privilegiando a prevenção. O estudo realizado por Heinrich contemplou milhares de casos de acidentes com lesão, indicando que custos não-segurados ou indiretos (perda de hora de trabalho e

desperdício de matéria-prima) eram quatro vezes superiores aos custos segurados ou diretos (médicos e de indenização) (MACIEL, 2001).

Posteriormente, em 1966, Frank Bird Jr. propôs um novo enfoque para as questões de segurança e saúde, a partir da idéia de que a empresa deveria se preocupar não somente com os danos aos trabalhadores, mas também com os danos às instalações, aos equipamentos, aos seus bens em geral, tendo em vista que as causas básicas dos acidentes de um acidente com ou sem lesão provém da mesma origem humana ou material (BIRD, 1976 apud MACIEL, 2001).

Os trabalhos dos pesquisadores citados foram importante para estabelecer os conceitos de incidente ou “quase acidente” - como evento não planejado que tem o potencial de levar a um acidente e acidente - como evento não planejado que resulta em morte, doença, lesão, dano ou outra perda.

Em 1969, Bird participou de uma importante pesquisa, através das quais foram analisados 1.753.498 acidentes/incidentes industriais, ocorridos em 297 empresas que representavam 21 grupos industriais diferentes, envolvendo 1.750.000 empregados que trabalharam mais de três bilhões de horas/homem, durante o período de exposição analisado. Esse longo trabalho de pesquisa resultou em um extenso banco de dados de acidentes e incidentes catalogados. O resultado final desse estudo evidenciou, em números aproximados, a proporção de 1:10:30:600 (conhecido “triângulo de Bird), significando que para cada acidente com lesão incapacitante - chamados pelo autor de “lesões graves” - ocorriam 10 sem perda de hora de trabalho - chamados pelo autor de acidentes com “lesões leves” - 30 com danos à propriedade e 600 incidentes que não representavam lesões ou danos palpáveis (BIRD, 1976 apud MACIEL, 2001).

Os resultados desse estudo foram fundamentais para mostrar a sociedade que eram necessários esforços não apenas para minimizar as lesões graves, mas também para provocar mudanças comportamentais que levassem à redução dos incidentes, pois assim seria possível um controle de perdas mais efetivo.

Na verdade, para um melhor entendimento do tema, é necessário além da compreensão dos conceitos de acidentes e incidentes a definição de dois termos correlatos: o risco e o perigo.

O risco pode ser definido como o grau de danos ou prejuízos potenciais, expresso em termos de combinação entre a probabilidade estatística de ocorrência e da intensidade ou grandeza das conseqüências previsíveis, ou ainda como a relação existente entre a

probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente, determinados ocorram, com o grau de vulnerabilidade do sistema receptor dos seus efeitos (BRASIL, 2004).

Já o perigo, pode ser definido como uma substância, objeto ou situação com potencial para provocar danos em termos de lesão, danos ou uma combinação destes (KLETZ,1999).

Por fim, é importante salientar que em nenhum processo é completamente seguro em todas as circunstâncias e condições. Existe sempre algum exemplo no qual, um equipamento relativamente seguro se torna perigoso. Assim, a segurança se torna uma função da situação que é mensurada.

Com isso, os principais objetivos que levaram à adoção de ferramentas que mitigassem os riscos foram: possibilitar um conhecimento mais profundo do processo, auxiliar na tomada de decisões para a seleção correta de uma ação ou de um curso de ações, permitir uma melhor alocação de recursos financeiros e humanos e prevenir perdas.

2.2.2 Metodologia da técnica HAZOP

A ferramenta de análise de risco a ser descrita nesse item é a Análise de Perigos e Operabilidade (HAZOP). Tal técnica é considerada como abrangente na identificação de risco na indústria de processos. A metodologia teve origem no procedimento conhecido como exame crítico, desenvolvido por Lawley, na década de 70, enquanto ele trabalhava para a Imperial Chemical Industries (ICI). A partir de então, o HAZOP, gradualmente foi se tornando mais conhecido e mais empregado no segmento de empresas projetistas (KLETZ, 1997).

Apesar de a referida técnica estar estabelecida há muitos anos, o tema está em constante estudo. Dunjó et al.(2010) relata que, entre os anos de 1974 e 2007, 165 trabalhos (considerando-se apenas o publicado em revistas e jornais científicos, normas e livros) foram publicados sobre o tema. Na Figura 18, é possível visualizar a evolução no número de publicações ao longo dos anos dessa coletânea.

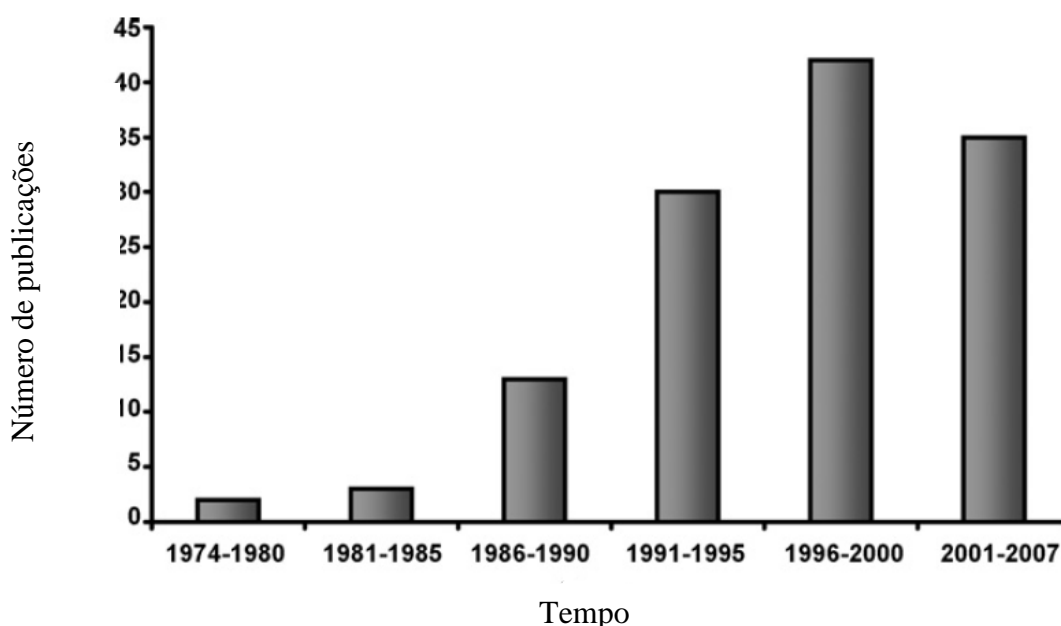


Figura 18 - Evolução do número de publicações sobre HAZOP ao longo dos anos (1974-2007)

Fonte: Dunj3 et al. (2010).

Em termos gerais, pode-se dizer que a HAZOP baseia-se em um procedimento indutivo qualitativo, baseado na premissa que os acidentes ocorrem como consequência de desvios de variáveis de processo com respeito aos parâmetros normais de operação. Pela técnica, uma equipe examina sistematicamente as causas e as consequências dos desvios das variáveis de processo através da utilização de um conjunto de palavras-guia que conduzem o raciocínio, fixando a atenção nos perigos mais significativos. As palavras-chave ou palavras-guia são aplicadas às variáveis identificadas em um determinado processo (pressão, temperatura, vazão, nível, entre outros) gerando os desvios, que nada mais são do que os perigos a serem examinados (MULET, 2011).

É importante ressaltar que o HAZOP enfoca não só os problemas de segurança - buscando identificar os perigos que possam colocar em risco os operadores e os equipamentos da instalação e a verificação da existência de barreiras de proteção -, mas também os problemas de operabilidade, que embora não sejam perigosos, podem causar perda de produção ou podem afetar a qualidade do produto ou a eficiência do processo. Portanto, o HAZOP identifica tanto problemas que possam comprometer a segurança da instalação como aqueles que possam causar perda de continuidade operacional da instalação ou perda de especificação do produto.

O procedimento para execução do HAZOP pode ser sintetizado nos passos descritos nos subitens seguintes.

2.2.2.1 Definição do sistema

Nessa etapa, há a escolha dos sistemas que serão analisados e a definição da equipe envolvida e da responsabilidade de cada integrante.

Como o HAZOP se baseia no fato de que um grupo de especialistas com diferentes experiências trabalhando juntos, levantando e discutindo seus pontos de vistas podem interagir de uma forma mais ampla e identificar mais problemas do que se cada um trabalhasse individualmente, a realização de um HAZOP exige necessariamente, uma equipe multidisciplinar de especialistas, com conhecimentos e experiências distintas, de forma que o grupo tenha uma visão pluralista e proponha boas soluções para os problemas apresentados.

Tradicionalmente, adota-se como um bom número uma equipe de 5 a 8 profissionais, sendo que a composição básica do grupo de estudo nas fases mais preliminares de projeto deve ser no mínimo a seguinte:

- Líder da equipe: esse profissional deve ser um profundo conhecedor da técnica HAZOP. Sua função principal é garantir que o grupo siga os procedimentos do método. Além disso, deve ter como característica principal a de prestar atenção meticulosa aos detalhes da análise. Na maioria dos casos, esse especialista também é a responsável por registrar os resultados advindos da análise feita pelo grupo.

- Engenheiros de processos: engenheiro(s) químico(s) que participaram da elaboração da documentação da disciplina de processo do projeto e também o(s) engenheiro(s) químico(s) que são os responsáveis pela operação da planta, suas experiências permitem uma maior conhecimento tanto das premissas do projeto, como nas particularidades de operação da planta.

- Engenheiro de instrumentação/automação: este engenheiro é de grande importância no auxílio do entendimento dos sistemas de controle e proteção bastante automatizados nas indústrias atualmente.

2.2.2.2 Preparação para a análise

Nessa etapa, é realizado o planejamento para a análise, consistindo da coleta dos dados necessários, a escolha do programa de registro da análise, estimativa de tempo da análise e fechamento de agenda com a equipe envolvida.

A tarefa de coleta de dados inclui o levantamento de todas as informações relevantes do sistema, previamente à aplicação da ferramenta HAZOP. A técnica é aplicada com base no principal documento de processo do projeto - o Fluxograma de Engenharia ou de tubulação e instrumentos (em inglês, *Piping and Instrumentation Diagram* – P&ID) do sistema completo -, que é um diagrama através do qual é possível visualizar o esquema geral de processo, mostrando como o equipamento de processo industrial é interconectado por um sistema de tubulações. Os esquemas de P&ID também mostram a instrumentação associada a cada uma das operações unitárias mostradas.

Já a etapa de escolha do programa inclui a seleção da ferramenta através da qual serão registradas todas as observações, recomendações e conclusões levantadas durante análise. Nolan (2008) cita alguns softwares comumente utilizados para elaboração de relatórios de HAZOP, entre eles estão Safeti™ Hazard Analysis, licenciado pela Det Norske Veritas (DNV) e Hazard Review Leader™, pela ABS Consulting. No entanto, outra opção bastante comum, pelo menos no caso brasileiro, é a utilização de planilhas customizadas feitas utilizando-se o software Excel do pacote Office da Microsoft, ou similar.

Quanto à estimativa de tempo para a execução da análise, tal mensuração depende de alguns fatores, tais como: número e complexidade dos fluxogramas que serão analisados, experiência da equipe na participação de HAZOP e muitas vezes também do número de profissionais envolvidos, uma vez que, equipes forem grandes demais – mais de oito membros- costumam demorar mais tempo para chegar a conclusões. Dunjó et al. (2011) apresenta alguns critérios para auxiliar no dimensionamento do tempo necessário para a análise.

2.2.2.3 Execução da análise

Nesta etapa, uma vez definido o sistema e tendo sido preparadas as ações de planejamento, uma das pessoas da equipe faz uma breve explicação sobre o fluxograma que ilustra o sistema para os demais membros do grupo. A partir daí, para facilitar a análise, o sistema é dividido em seções específicas denominadas nós de estudo. Um nó pode ser um subsistema, assim como partes de um equipamento ou acessórios.

Cabe ressaltar que não é necessário considerar cada linha dos equipamentos da planta separadamente, pois tal processo aumenta excessivamente o tempo de elaboração do trabalho, sendo assim, diversos componentes podem ser agrupados em um único nó a consenso da equipe envolvida. Assim, cada nó representa um subsistema ou operação chave dentro do sistema.

Para a determinação dos nós utiliza-se como critério a ocorrência de mudança relevante, como por exemplo, interface entre subsistemas e grandes equipamentos em separado. Vale ressaltar que alguns nós, por apresentarem similaridade ou correlação com outros nós, podem ser utilizados como base para outros sistemas, quando aplicável.

Kletz (1999) relata que para evitar que algum detalhe seja omitido durante análise, a reflexão deve ser executada sistematicamente, trecho por trecho, para cada tipo de desvio passível de ocorrer, em cada nó. Para cada linha analisada, uma série de palavras-guia são aplicadas, identificando os desvios que podem ocorrer caso a condição proposta pela palavra-guia ocorra. Tais palavras são divididas em duas categorias:

- Palavras-guia primárias (parâmetros): Focam sobre um aspecto particular do equipamento, ou em uma condição de processo definida como parâmetro (para visualização das que serão utilizadas no presente trabalho, ver Tabela 1);
- Palavras-guia secundárias (desvios): em complemento a uma palavra-guia primária, sugerem os possíveis desvios que podem se manifestar, como falhas dos parâmetros que não estão alinhados com a operação normal do nó (para visualização das que serão utilizadas no presente trabalho, ver Tabela 2).

Tabela 1 - Palavras-guia primárias utilizadas durante a aplicação da ferramenta HAZOP no presente trabalho

Palavras-guia primárias - Parâmetros

Fluxo

Contaminação

Temperatura

Pressão

Nível

Tabela 2 - Palavras-guia secundárias utilizadas durante a aplicação da ferramenta HAZOP no presente trabalho

PALAVRA-GUIA	DESVIO CONSIDERADO
não ou nenhum	A completa negação das intenções do projeto
mais	Aumento quantitativo de uma propriedade física relevante
menos	Diminuição quantitativa de uma propriedade física relevante
reverso	O oposto lógico da intenção do projeto

É importante destacar que a lista de palavras-guia depende diretamente das características de cada sistema ou processo em estudo e comumente muitas palavras são aplicadas no mesmo nó em estudo. No mais, cabe ressaltar também que algumas combinações de palavras-guias primárias e secundárias não fazem sentido do ponto de vista de processo, logo não são aplicáveis com, por exemplo, “temperatura nenhuma” e “nível reverso”.

Outro ponto importante a ressaltar é que, pela metodologia do HAZOP, devem ser considerados apenas desvios que têm origem dentro do nó analisado, podendo os respectivos efeitos ocorrer dentro ou fora do nó em estudo.

Posteriormente, uma vez que, já foram definidos os desvios dentro de cada nó, são determinadas as possíveis causas e consequências de cada um deles. Para cada desvio, causa e consequência são consideradas as medidas de mitigação existentes no sistema. Em alguns casos, faz-se necessária a inclusão de salva-guardas adicionais para a redução do impacto dos desvios.

Nolan (2008) descreve que, como avaliação do potencial risco, a metodologia HAZOP estabelece que para o cálculo do risco é necessário considerar a frequência ou probabilidade do desvio e o impacto resultante, caso este evento ocorra. Para conseguir estimar esse impacto, são considerados diferentes critérios de avaliação da severidade e da frequência de um evento ou desvio dentro de um nó.

A Tabela 4 mostra as considerações utilizadas para a avaliação da frequência e da severidade dos desvios ao longo do projeto, considerando as categorias de maior impacto dentro da indústria de petróleo. No caso em que o desvio envolve mais de dois impactos diferentes, é considerada a severidade de maior nível em todo caso.

Para o risco foi adotado o critério presente na mesma Tabela 3, no qual o risco (probabilidade dos eventos e das consequências dos desvios ocorrer) é calculado após a identificação da severidade e frequência por coordenadas dentro da matriz de tolerabilidade de risco.

O resultado do nível de risco é definido diferenciando em três níveis de importância: tolerável (classificação, na qual, não há necessidade de medidas adicionais, apenas a monitoração dos parâmetros); moderado (classificação, na qual, é necessária a avaliação de controles adicionais como objetivo de redução dos riscos) e não tolerável (classificação, na qual, os controles existentes são julgados insuficientes, sendo necessária a adoção de métodos alternativos para a redução da probabilidade de ocorrência ou severidade das consequências, de modo a trazer o risco para as regiões de menor magnitude - tolerável ou moderado).

Tabela 3 - Matriz de Tolerabilidade de Riscos, que representa a frequência e severidade dos desvios para determinar a classificação do risco

		Categorias de frequência									
		Descrição / características				A	B	C	D	E	
		Pessoas	Patrimônio / continuidade operacional	Meio ambiente (ver Nota 1)	Imagem	Extremamente remota	Remota	Pouco provável	Possível	Frequente	
						Conceitualmente possível, mas sem referências na indústria	Não esperado ocorrer, apesar de haver referências em instalações similares na indústria	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil de um conjunto de unidades similares	Possível de ocorrer uma vez durante a vida útil da instalação	Possível de ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação	
Categorias de Severidade das Consequências	V	Catastrófica	Múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidade extramuros (ver Nota 2)	Danos catastróficos podendo levar à perda da instalação industrial	Danos severos em áreas sensíveis ou se estendendo para outros locais	Impacto internacional	M	M	NT	NT	NT
	IV	Crítica	Fatalidade intramuros ou lesões graves extramuros (ver Nota 3)	Danos severos a sistemas (reparação lenta)	Danos severos com efeito localizado	Impacto nacional	T	M	M	NT	NT
	III	Média	Lesões graves intramuros ou lesões leves extramuros	Danos moderados a sistemas	Danos moderados	Impacto regional	T	T	M	M	NT
	II	Marginal	Lesões leves	Danos leves a sistemas / equipamentos	Danos leves	Impacto local	T	T	T	M	M
	I	Desprezível	Sem lesões ou no máximo casos de primeiros socorros	Danos leves a equipamentos sem comprometimento da continuidade operacional	Danos insignificantes	Impacto insignificante	T	T	T	T	M

Fonte: PETROBRAS.

Em conjunto com o grupo de especialistas, foram registradas sugestões e recomendações visando mitigar o nível de risco calculado para cada desvio.

2.2.2.4 Registro da análise

Para concluir a aplicação da metodologia HAZOP são geradas planilhas de resultados utilizando o modelo da Tabela 4, apresentando a lista dos desvios identificados, bem como suas respectivas causas e efeitos, bem como as recomendações, sugestões e comentários feitos pelo grupo ao longo da análise.

Tabela 4 – Modelo de planilha utilizado para o registro dos resultados da HAZOP

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE								
Identificação do nó:					ÁREA:			
Referência:								
Redator:				Descrição do nó:				
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações

Por fim, as planilhas e comentários associados são agrupados em um relatório final, sendo o mesmo validado por todos os participantes da equipe e fica a cargo dos engenheiros do projeto, adequar à documentação aos comentários advindos do HAZOP.

2.2.3 Técnica HAZOP: estado da arte

A literatura relacionada ao tema HAZOP pode ser classificada em seis áreas principais (DUNJÓ et al., 2010):

- Avaliação entre a HAZOP e outras técnicas de análise;
- Extensão do escopo da HAZOP;
- Compartilhamento de experiências da HAZOP;
- Desenvolvimento de software para auxiliar na HAZOP;
- Automação da HAZOP;

- Uso da simulação dinâmica no auxílio da avaliação de riscos levantados durante a HAZOP.

Primeiramente, quanto à avaliação da HAZOP a outras técnicas, os trabalhos nesse segmento, referem-se à avaliação da HAZOP, em termos de vantagens e desvantagens, quando comparadas com outras técnicas. Hoepffner (1989) compara as características da HAZOP com outras duas técnicas (Análise Árvore de Falhas e Análise de Modos de Falha e Efeitos). O autor classifica a HAZOP como uma metodologia intermediária em relação às outras duas avaliadas.

Em relação à extensão do escopo da HAZOP, a maioria dos trabalhos nesse segmento refere-se à inserção do componente fator humano ao conjunto de palavras-guia da metodologia tradicional e ao aprofundamento dos resultados da HAZOP tradicional, adicionando a combinação com métodos qualitativos, como referência sobre o tema pode ser elencada a literatura Kletz (2001). Nesse livro, o autor divide sua experiência sobre acidentes, em especial, na área de óleo e gás, nos quais a causa foi o fator humano (falta de habilidade técnica, tomada de decisão equivocada, falta de treinamento, entre outros).

Quanto ao compartilhamento de experiências da HAZOP, qualquer trabalho que cite um estudo de caso, necessariamente gera informações que podem ser aplicáveis a outros estudos de caso similares. Herrera (2013) registrou os resultados da aplicação da HAZOP no cenário da indústria farmacêutica, avaliando uma unidade de produção de proteínas recombinantes. Já Matos (2009) o fez numa planta de separação de gás.

Já em relação ao desenvolvimento de software para auxiliar na HAZOP, Nolan (2008) e Kletz (1997) abordam sobre o histórico da evolução do uso de softwares para acelerar o registro das informações da HAZOP e como eles foram se tornando mais popular nas empresas que trabalham com a análise de risco.

Por sua vez, os mais recentes trabalhos tem se dedicado, em sua maioria, ao desenvolvimento de mecanismos de automação de HAZOP, envolvendo fortemente as disciplinas de inteligência artificial e engenharia química, a referência clássica sobre o tema é o trabalho de Parmar e Lees (1987) que foram os primeiros autores a ter sucesso na automatização da HAZOP. Eles descreveram uma metodologia de modelagem de propagação de falhas para auxiliar na identificação de riscos e conseguiram demonstrar que pela sua metodologia era possível identificar os mesmos desvios do exemplo de separador usado em um trabalho anterior de Lawley.

Por fim, o uso de simulação dinâmica como mecanismo de auxílio na avaliação de riscos, também tem sido alvo de pesquisas atuais, mas ainda com aplicação restrita ao âmbito acadêmica, sendo aqui listados os trabalhos de Svandova, Jelemensky, Markos (2005); Eizenberg, Shacham, Brauner (2006) e mais recentemente Matos (2009), trabalho no qual os desvios com conseqüências catastróficas e severas destacadas pela HAZOP tradicional foram aplicados um a um na simulação dinâmica dentro do cenário de planta de separação de gás, utilizando-se o software de simulação de processo da Aspen Tech.

Cabe ressaltar que as linhas de pesquisa: avaliação entre a HAZOP e outras técnicas de análise, extensão do escopo da HAZOP e uso da simulação dinâmica no auxílio da avaliação de riscos levantados durante a HAZOP foram fortemente motivadas por limitações e desvantagens da técnica tradicional de HAZOP.

Kotek A e Tabas (2012) enfocam sobre as desvantagens do método em relação a longo tempo despendido para a análise e também a necessidade de uma equipe e líder de HAZOP qualificados para a geração de um bom resultado do estudo, com recomendações claras.

Gambetti, Casalli, Chisari (2012) enfocam sobre as limitações do fator humano não ser abordado na técnica tradicional, em especial, questões como a de ergonomia, além do fato dos especialistas durante a HAZOP não abordarem as questões importantes sobre gerenciamento da nova unidade sistema, incluindo planejamento de manutenção da planta e plano de gerenciamento de emergência.

Wittkower, Singh, Botto (2011) abordam as perdas, quando a HAZOP é realizada apenas em etapas mais avançadas de projetos, tornando a adequação do projeto mais demorada e custosa, isso se dá quando o projeto já se encontra em uma fase de detalhamento ou construção e só então é realizada a HAZOP.

Matos (2009) também menciona o fato que por vezes, conseqüências impossíveis de acontecer são listadas durante a HAZOP, como por exemplo, uma pressão alta em um determinado ponto do processo, que não poderia ser alcançado em momento algum, já que o compressor teria impossibilidade mecânica de operar naquela a condição. Sugerindo, para como solução para essa limitação o aprimoramento da avaliação da possibilidade de ocorrência de determinadas conseqüências através do emprego da simulação dinâmica do processo.

2.3 Análise de Risco Utilizando-se da Técnica da Vulnerabilidade

2.3.1 Conceitos Associados à Vulnerabilidade

Conceitualmente, a vulnerabilidade pode ainda ser entendida como a relação existente entre a magnitude de uma dada ameaça e a intensidade do dano correspondente quando da ocorrência de uma anormalidade. Ou ainda, a probabilidade de um determinado ambiente ou sistema ser afetado por uma ameaça ou risco potencial.

Apesar de tradicionalmente a vulnerabilidade ter sido associada apenas a fragilidade física (por exemplo, a susceptibilidade de uma instalação predial ser colapsada considerando o cenário do evento de um terremoto), atualmente o conceito de vulnerabilidade foi estendido para as esferas econômica, social, institucional e ambiental (BIRKMANN, 2007).

Birkmann (2007) também ressalta a dualidade no entendimento da vulnerabilidade, que por um lado abrange a susceptibilidade de um dado sistema, expondo suas fragilidades na ocorrência de um sinistro, mas por outro lado, aborda o gerenciamento dos recursos disponíveis para lidar com a emergência.

Nesse ponto, é importante entender o conceito de emergência. A Emergência pode ser caracterizada por uma anormalidade que fugiu ao controle e precisa ter seus danos reduzidos. Dessa forma, faz-se necessário um conjunto de ações que reduzam os impactos causados durante a situação de emergência. A visão aqui abordada admite as seguintes ações: prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação (MONTENEGRO, 2013).

A ação de prevenção caracteriza-se por ser um conjunto de ações que buscam evitar a ocorrência de um acidente ou desastre, podem ser identificadas como sistemas de alerta, treinamentos, estudos e divulgação de informação. Por sua vez, na mitigação do risco, o que se busca é a redução (ou adequação) do risco das conseqüências de um dado evento a valores aceitáveis. Já na ação de preparação, o gerente de emergência utiliza-se de muitos recursos para criar e manter uma estrutura bem organizada de resposta. No entanto, a ação mais importante no gerenciamento de emergência é a resposta, nesta fase, o gerente de emergência coordena as atividades para garantir que os objetivos globais sejam atingidos. Por fim, a ação de recuperação, caracteriza-se pela busca para o restabelecimento das condições normais, reestabelecimento da infra-estrutura e retorno ao cotidiano, nesta fase deve haver o registro das informações geradas no acidente e disseminação do aprendizado gerado durante a gestão da emergência (MONTENEGRO, 2013).

À medida que o número de emergências foi se tornando maior, surgiu a necessidade da criação de órgãos que atuassem na retenção do conhecimento na área de gestão de emergências. Sendo que de todos os criados, nenhum é tão célebre como a Federal Emergency Management Agency (FEMA), o qual é um órgão de coordenação de emergências do governo federal dos Estados Unidos da América criado pelo presidente James Carter, em 1978, e que conta com aproximadamente 3700 empregados próprios (PHILIPS; NEAL; WEBB, 2012).

A FEMA foi responsável pelo desenvolvimento de muitas ferramentas na área de riscos. Será abordada no próximo subitem, uma em especial, a Análise de Vulnerabilidade.

2.3.2 Metodologia da Técnica da Análise de Vulnerabilidade

O “passo” mais importante e mais complexo para um gerenciamento eficaz de emergência é identificação o quanto mais cedo possível dos elementos vulneráveis de um dado cenário.

A capacidade de resposta a uma emergência relaciona-se intimamente com os recursos internos e externos existentes: humanos, material e de infra-estrutura, ligados ao campo operacional da emergência (MONTENEGRO, 2013).

No caso de atividades do processo produtivo, uma elaboração de cenários de emergência necessita de métodos de análise de risco. FEMA (1993) apresenta uma metodologia simples baseada no preenchimento, através de uma equipe multidisciplinar, de uma matriz de análise de vulnerabilidade, na qual são estimadas as probabilidades de ocorrência das emergências, os potenciais impactos e uma avaliação dos recursos disponíveis conforme Tabela 5. Logo, com base nessa matriz é possível classificar as emergências por ordem de gravidade.

Tabela 5 - Matriz de Análise de Vulnerabilidade

Tipo de emergência	Probabilidade	Impacto Humano	Impacto Patrimonial	Impacto nos Negócios	Recursos Internos	Recursos Externos	Total

Fonte: traduzido de FEMA, 1993.

Pelo método, a primeira ação a ser feita é uma das pessoas da equipe realizar uma breve descrição sobre o sistema a ser avaliado para os demais membros do grupo. Depois, deve-se listar todas as emergências potenciais no caso analisado (explosões, incêndios, problemas climáticos, sabotagens, terrorismo, vazamentos, erros humanos, falhas na chegada de utilidades à planta, entre outros). Em seguida, adotando a escala mencionada no parágrafo seguinte, a equipe deve estimar probabilidades de ocorrência das referidas emergências e avaliar os potenciais de impacto humano, patrimonial e nos negócios. Registrando, ao longo da análise, todas as observações realizadas.

Na Tabela 5, a FEMA convencionou para as colunas de Probabilidade, impacto humano, impacto patrimonial, impacto nos negócios, uma escala de 1 a 5, sendo o valor 1 referente a baixa probabilidade e baixo impacto e o valor 5 referente a alta probabilidade e alto impacto. Já para as colunas recursos internos e externos convencionou-se que quanto melhores forem os recursos, menores serão as pontuações para o item. Ao final, devem-se somar os valores das colunas para cada emergência. Quanto menor é o valor total, menor será a vulnerabilidade (FEMA, 1993).

Como critérios de pontuação, o método considera:

- a) **Probabilidade:** avalia-se a probabilidade da ocorrência de cada evento emergencial de forma subjetiva. Este item é melhor avaliado quando baseado em séries históricas ou registros de acidentes (MONTENEGRO, 2013);
- b) **Impacto humano, Impacto patrimonial, Impacto aos negócios:** uma análise do potencial de impacto de cada emergência. Verifica-se no primeiro a possibilidade de morte ou ferimentos; no segundo - danos materiais (custo de reposição, custo de uma

reposição temporária); no terceiro - poluição do meio ambiente, dano à imagem, interrupção das atividades;

- c) **Recursos internos e externos:** recursos e a capacidade de resposta. Análise do valor para os recursos internos e recursos externos disponíveis. Quanto melhor forem os recursos, menor a pontuação para esse item. A resposta adequada à emergência depende da quantidade e qualidade de recursos (MONTENEGRO, 2013).

A aferição dos graus atribuídos para cada coluna da tabela varia de acordo com o consenso do grupo. Na literatura é possível visualizar o modelo utilizado por diferentes agências de Defesa Civil, como exemplo há as tabelas citadas em Seattle Government (2010).

2.3.3 Técnica de Análise de Vulnerabilidade: estado da arte

A literatura referente ao gerenciamento de emergências, em caráter geral e à Análise de Vulnerabilidade, em caráter especial concentra-se fortemente no âmbito da Defesa Civil.

Tal ênfase se faz presente na literatura clássica FEMA (1993), Seattle Government (2010) e OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (2013).

Dentro desse sub-tema, a Vulnerabilidade é comumente abordada pelo viés de um cenário de uma dada emergência e o gerenciamento da mesma. Como Steinberg et al.(2001) menciona os principais efeitos de um grande terremoto ocorrido na Turquia e as principais ações de prevenção e resposta de dezenove plantas industriais durante essa emergência. Montenegro (2013) lista os principais cenários de vulnerabilidades, sob aspecto de adequação normativa, dentro do contexto de laboratórios químicos presentes em uma universidade brasileira.

A Vulnerabilidade também tem sido registrada na literatura através do ponto de vista econômico. Zaidman (1994) modelou o índice de vulnerabilidade de mercado em unidades industriais em função a capacidade de produção instalada das plantas avaliadas. Já o trabalho de Liedtke e Schanz (2011) avaliou a vulnerabilidade econômica de diferentes sociedades no cenário de ações de terrorismo após o evento do ataque de 11 de setembro de 2001 às torres gêmeas em Nova Iorque.

Dentro da área de processo, a literatura é mais escassa. Shi, Zeng, Zhang (2013) realizaram a avaliação da vulnerabilidade de um modelo ideal de vaso reator quando

submetido a diferentes pressões de trabalho. Já Kramer (2010) realizou um estudo de avaliação de risco da Estação de Tratamento de Esgoto de São José do Rio Preto, modelando a dispersão de nuvem tóxica nos cenários mais vulneráveis de vazamento de gases dentro do sistema.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Metodologia

A metodologia tem por finalidade estabelecer o método adequado para atingir os objetivos inicialmente propostos para um determinado trabalho, valendo-se de etapas sequencialmente encadeadas visando o desenvolvimento do tema de estudo.

O ponto inicial para avaliação de um tema é a delimitação do mesmo, ou seja, a escolha das hipóteses que serão estudadas na linha de pesquisa.

Posteriormente, há a etapa de levantamento de dados, na qual, múltiplas fontes de informações são consultadas de modo que o assunto central possa ser entendido, assim como sua contextualização.

Em terceiro lugar, tem-se a fase de elaboração de premissas, na qual, os princípios adotados para a avaliação do objeto de estudo são descritos.

Em seguida, há a aplicação de ferramenta de análise para a avaliação das hipóteses.

Por fim, com os resultados levantados, é avaliado se as hipóteses foram válidas, gerando-se considerações a cerca dos resultados e conclusões.

A metodologia aplicada a este trabalho busca avaliar a hipótese da ferramenta Análise de Vulnerabilidade como instrumento aplicável na avaliação de risco em fase intermediária de desenvolvimento de projeto.

A fim de avaliar essa hipótese, os processos típicos de ETDI foram avaliados valendo-se da utilização de dois métodos de abordagem qualitativa de análise de risco – HAZOP e Vulnerabilidade.

A escolha desses métodos deu-se com o objetivo de avaliar os resultados de uma ferramenta muito utilizada no setor industrial – a HAZOP e a Análise de Vulnerabilidade, analisando-as sob a óptica de: recomendações advindas de cada uma, o tempo despendido para a execução das análises e a interdependência entre as informações geradas por cada técnica, uma vez que essa segunda é uma técnica apesar de menos conhecida, é segunda em teoria é mais rápida e conseqüentemente menos dispendiosa que a primeira.

3.2 Procedimentos adotados

Em relação aos procedimentos adotados, o presente trabalho está dividido nas seguintes etapas: pesquisa bibliográfica, desenvolvida a partir de referências existentes, em especial em livros, artigos, leis sobre operações unitárias empregadas em uma ETDI e também sobre ferramentas de análise risco – Vulnerabilidade e HAZOP; elaboração de um cenário fidedigno de uma rota tecnológica de ETDI moderna através de troca de experiência com profissionais da área e literatura correlata, incluindo a elaboração de fluxograma aplicável ao estudo de caso; aplicação das técnicas de Vulnerabilidade e HAZOP em todos os subsistemas do caso avaliado e levantamento das avaliações das duas análises.

3.2.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi elaborada por meio de consultas a bancos de dados que mantêm trabalhos publicados, tais como: Artigos, Monografias, Dissertações, Livros e Teses.

As principais palavras chaves utilizadas nesta pesquisa, tanto de forma individual como combinadas entre si, foram: “efluente”, “esgoto”, “análise de risco”, “meio ambiente”, “legislação”, “gerenciamento de emergência”, “segurança”, “vulnerabilidade”, “acidente”, “refinaria”, “wastewater”, “HAZOP”, “vulnerability”, “refinery”, “safety”, “environmental”, “emergency management”, “risk analysis”, “accident”, entre outras.

O material produzido através da pesquisa bibliográfica realizada encontra-se nos capítulos 1 e 2 desta dissertação.

3.2.2 Elaboração do cenário do estudo de caso

Nesta dissertação é utilizada a metodologia de estudo de caso. Segundo Yin (2003) esse tipo de análise é uma ferramenta consolidada para se realizar uma pesquisa científica. Em geral, a abordagem por estudo de caso é a estratégia mais utilizada quando perguntas “como” e “por que” são formuladas em relação a um objeto de estudo. Por fim, realizando estudos de caso, o objetivo é generalizar e expandir teorias (generalização analítica) e não enumerar frequências (generalização estatística), em outras palavras, a meta é fazer uma extrapolação e não uma particularização.

Este método permite estudar um processo, através do cumprimento das seguintes etapas: desenho do estudo de caso; preparo da aquisição de dados; aquisição de dados; análises do estudo de caso; elaboração de relatório do estudo de caso (YIN, 2003).

No caso específico dessa dissertação, um estudo de caso de uma planta com tecnologias modernas no tratamento dos efluentes industriais de refinaria foi desenhado tendo por premissas as informações sobre a evolução da tecnologia e da legislação descritas no capítulo 2.

Primeiramente, o estudo de caso foi ilustrado na forma de Diagrama de Blocos para a visualização de todas as operações unitárias envolvidas (item 1.3.3). Em seguida, através de informações recolhidas em visitas técnicas de campo e troca de experiências com profissionais do setor foi possível adquirir informações para a elaboração de um Fluxograma de Engenharia (em inglês, *Piping and Instrumentation Diagram - P&ID*).

No referido estudo de caso, optou-se por um P&ID em formato de Projeto Básico Simplificado. Tal escolha foi realizada levando-se em conta que no caso das plantas de tratamento de águas e efluentes, os subsistemas são fornecidos em unidades pacotes, logo um detalhamento no projeto superior ao de “Projeto Básico Simplificado” resultaria no direcionamento para a tecnologia de um determinado fornecedor, e desta forma não se obteria um estudo de caso generalista. Por fim, o estudo de caso foi analisado e relatórios de análises de riscos foram elaborados.

A descrição completa do estudo de caso encontra-se no capítulo 4.

3.2.3 Aplicação da técnica de Vulnerabilidade e HAZOP no cenário do estudo de caso

Conforme visto no capítulo 2, o HAZOP é uma técnica muito aplicada. Segundo Matos (2009) é a técnica atualmente mais empregada nas indústrias de processos químicos e vem sendo utilizado como ferramenta de análise de risco por várias literaturas.

Nesse contexto, o presente trabalho empregou a ferramenta HAZOP devido à sua notoriedade no setor industrial, no entanto acrescentou a avaliação da Vulnerabilidade.

Cada uma das análises contou com a avaliação de uma mesma equipe multidisciplinar, composta de cinco engenheiros de diferentes experiências de trabalho (instrumentação, projeto de processos e operação) de modo a conferir uma visão pluralista das possíveis causas de desvios e seus respectivos impactos. O estudo de caso foi apresentado ao restante da

equipe através da autora da presente dissertação, que atuou como líder da equipe, na situação em questão.

Para a elaboração da Análise de Vulnerabilidade adotaram-se cada uma das etapas mencionadas no capítulo 2.

Para o registro das avaliações decorrentes da aplicação da metodologia Análise de Vulnerabilidade, foram geradas planilhas de resultados utilizando o modelo da Tabela 5 (presente no item 2.3.2), que apresenta a lista do tipo de emergência identificado, com a probabilidade, e respectivos impactos caso o sinistro ocorra, bem como os recursos disponíveis para lidar com a emergência, além desses itens há uma coluna ao final para o registro de observações pertinentes.

Ainda seguindo o padrão estabelecido em FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (1993) e OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (2013), as colunas de probabilidade e impactos são numeradas em uma gradação de 1 a 5, referindo-se 1- mínimo impacto/probabilidade e 5- máximo impacto/probabilidade. Na coluna Recursos, também é empregada a gradação de 1 a 5, sendo que 1- máximo de recursos disponíveis para gerenciar a emergência e 5- mínimo de recursos disponíveis. Na coluna Total, são somados os números obtidos nas colunas anteriores, sendo que quanto menor o valor da soma, mais robusta é sua unidade operacional para lidar com um determinado sinistro.

Assim como abordado na literatura por De Martini Júnior, Figueiredo e Gusmão (2005), o “peso” ou grau de cada parâmetro foi definido através do consenso pelo grupo de trabalho envolvido. A seguir, na Tabela 6, é representada a definição dos diferentes “pesos” para cada critério, com o objetivo de evitar a dispersão e a não reprodutibilidade dos resultados.

Tabela 6 – Padrão de graus adotado para o preenchimento da Matriz de Vulnerabilidade

Parâmetro	Grau 1	Grau 2	Grau 3	Grau 4	Grau 5
Probabilidade	Extremamente Remota	Remota	Pouco provável	Provável	Frequente
Impacto Humano	Sem lesões	Lesões leves	Lesões graves	Fatalidade (um ou dois funcionários)	Fatalidade (mais de dois funcionários)
Impacto Patrimonial	Danos insignificantes	Danos leves	Danos moderados	Danos severos	Danos muito severos
Impacto nos Negócios	Sem comprometimento	Perdas mínimas	Perdas médias	Perdas significativas	Perda total da unidade
Recursos Internos	Recurso excelente	Recurso muito bom	Recurso razoável	Recurso escasso	Recurso nenhum
Recursos Externos	Recurso excelente	Recurso muito bom	Recurso razoável	Recurso escasso	Recurso nenhum

As informações referentes às definições de cada uma das terminologias encontram-se presentes no capítulo 2.

Para a elaboração do HAZOP adotaram-se cada uma das etapas mencionadas no capítulo 2, que resumidamente encontram-se na Figura 19:

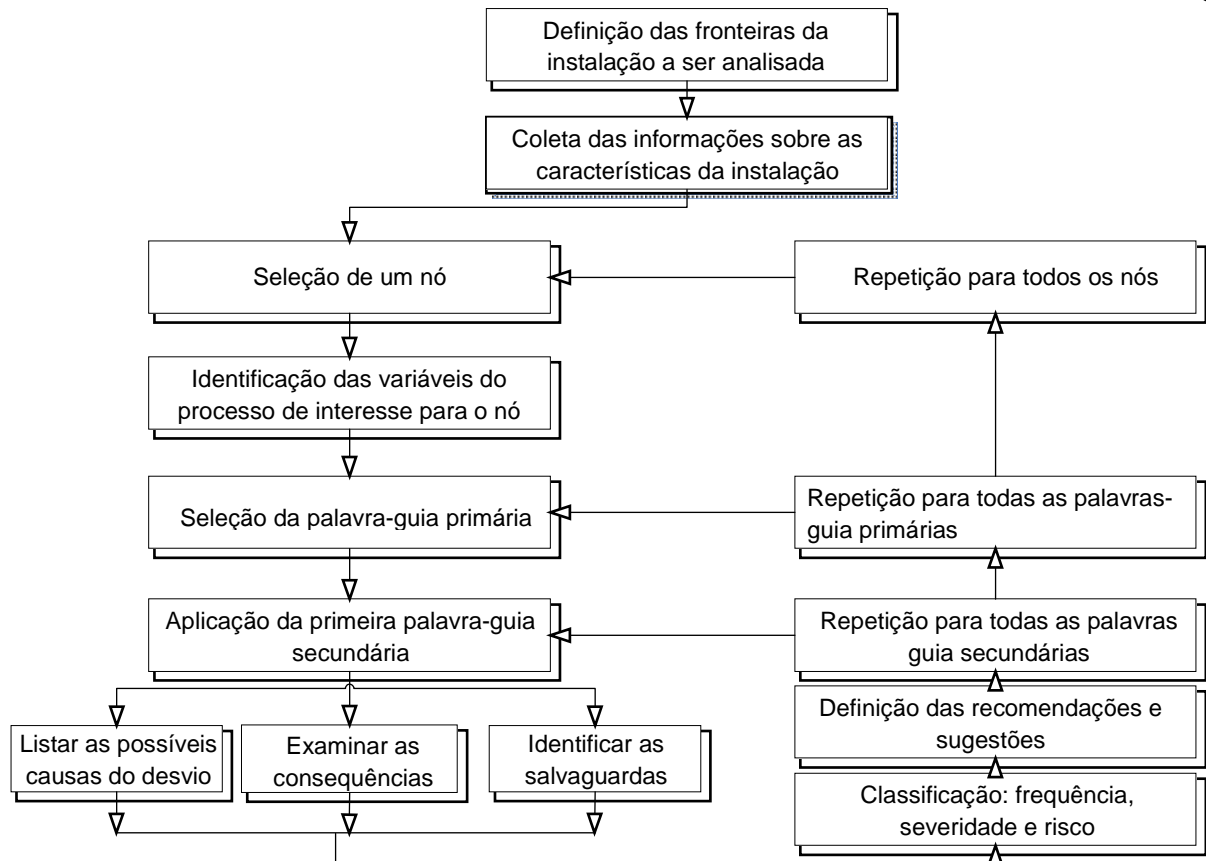


Figura 19 - Fluxo de aplicação da ferramenta de análise de risco HAZOP para avaliação do nível de risco de um sistema

Fonte: adaptado de Herrera, 2013.

Para o registro das avaliações decorrentes da aplicação da metodologia HAZOP, foram geradas planilhas de resultados customizadas, feitas utilizando-se o software Excel do pacote Office da Microsoft, utilizando o modelo apresentado no capítulo 5, que apresenta a lista dos desvios identificados, com as causas e efeitos resultantes, caso o desvio ocorra, bem como as salvaguardas, as respectivas categorias de severidade, frequência e risco, além de uma série de recomendações, sugestões e comentários.

As informações referentes às definições de cada uma das terminologias e respectivas tabelas de categorias de severidade, frequência e risco, encontram-se presentes no capítulo 2.

No desenvolvimento da HAZOP, foram adotadas as seguintes premissas:

- Quando as recomendações para um desvio X levantado no nó Y são aplicáveis para outros desvios, utiliza-se a referência às recomendações do mesmo;
- As causas para os desvios têm de estar dentro do nó avaliado, mesmo que as consequências atinjam outros nós;

- As análises realizadas para o equipamento A se aplicam para seus equipamentos reserva: B, C e assim por diante, uma vez que os sistemas são idênticos;
- Apenas os instrumentos com alarme associado foram considerados como detecção, pois o alarme reforça a atenção da Operação para uma emergência de forma muito mais eficiente e rápida, que apenas o acompanhamento de tendências;
- Os seguintes aspectos não foram considerados como causa de desvios: falha no sistema de intertravamento de segurança; falhas simultâneas (exceto quando as consequências forem críticas e houver relato de ocorrência deste cenário); malhas de controle de processo, por si só, não devem ser consideradas como salvaguarda apenas quando estiverem associadas a alarmes ou chaves lógicas de intertravamento; ações, tais como: uso adequado de equipamento de proteção individual (EPI), procedimentos operacionais adequados e treinamentos não foram considerados como salvaguardas, pois são consideradas como atos que fazem parte do padrão de uma instalação industrial.

3.2.4 Levantamento das avaliações nas duas análises

Nessa etapa, é feita o estudo dos resultados obtidos aplicando-se as duas técnicas, levantando-se as avaliações de uma equipe multidisciplinar, no que se refere às informações advindas de cada uma.

Como resultado desse estudo espera-se o levantamento das características de cada uma das técnicas em uma aplicação prática, tempo de trabalho necessário para a execução das análises e a interdependência entre os dados gerados por cada técnica.

4. DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

4.1 Modelo de uma ETDI moderna - Representação do P&ID Simplificado

O Sistema de Tratamento de Despejos Industriais envolve diversos equipamentos e produtos químicos, conforme visto no capítulo 1.

Uma ETDI pode ser composta por uma ou mais rotas de tratamento, dependendo se os efluentes oleosos (aqueles aos quais se entende que constantemente estarão contaminados com óleo, oriundos, por exemplo, de: dessalgadoras, drenos de processo, drenagem de fundo de tanques de petróleo e claros, águas ácidas e lavagens de piso/chuvas sobre áreas contidas de equipamentos) e os efluentes contaminados (aqueles aos quais se entende que eventualmente estarão contaminados com óleo, oriundos, por exemplo, de: drenáveis de laboratório, purgas de torre de resfriamento e lavagens de piso/chuvas sobre áreas não contidas de equipamentos) são tratados em conjunto em uma mesma rota ou em equipamentos segregados.

Por questões de confidencialidade, será proposto um modelo de estudo genérico de uma ETDI denominada E-1, contendo um sistema de tratamento aplicável ao tratamento de efluentes oleosos e contaminados em conjunto, assim como de efluentes oleosos segregados.

Com o Diagrama de Blocos elaborado no item 1.2.4, é possível a visualização das principais operações unitárias envolvidas em uma ETDI moderna. No entanto, para atingir o objetivo de aplicar as ferramentas de análise de risco HAZOP e Vulnerabilidade nesse estudo de caso, foi necessária a transposição dessas informações para um fluxograma de engenharia.

Para a elaboração do P&ID foram colhidas informações com fornecedores de tecnologia de tratamento de efluentes e pesquisa em literatura correlata, sendo que para validação do P&ID foram realizadas visitas técnicas de campo e troca de experiências com profissionais da área, tornando o mesmo adequado para ser utilizado como base do estudo de caso.

O P&ID elaborado encontra-se no Apêndice A desse trabalho, nele podem-se visualizar os principais controles de uma ETDI mais moderna.

Uma característica marcante nas novas plantas é a presença de analisadores em linha. Os mesmos são adicionados em todos os projetos mais recentes, pois permitem um melhor acompanhamento da planta.

A listagem dos analisadores em linha mais comuns e a sua respectiva localização na planta e a descrição de sua importância encontram-se a seguir:

- a) Potencial de hidrogênio (pH) - localização câmara de floculação – nesta etapa do tratamento, as sementes de flocos gerados na coagulação se agregam, por adsorção, às partículas dissolvidas ou em estado coloidal. Sendo que a quantidade de reagentes químicos empregados – coagulante e polieletrólito para propiciar tal fenômeno varia com o pH do efluente.
- b) Turbidez – poço de recirculação do flotador – como uma das funções do sistema de flotação é reduzir a turbidez através da agregação de flocos que se concentram nas escumas e no lodo que são retirados nessa etapa, tal parâmetro é monitorado e é integrado a uma malha de controle da vazão de coagulante e polieletrólito, atendendo as correlações: vazão de reagentes químicos x vazão de efluente estabelecido no teste de jarros.
- c) DQO – entrada e saída do reator de membranas – avaliação da eficiência de remoção de carga orgânica no tratamento biológico.
- d) Amônia – entrada e saída do reator de membranas – avaliação da eficiência de remoção de carga amoniacal no tratamento biológico.
- e) OD – dentro do reator de membranas – garantir que no tratamento biológico os microrganismos terão a quantidade necessária de oxigênio para a degradação biológica do efluente.

Outra característica é a presença de intertravamentos, isto é, um sistema consistindo de entradas (chaves liga-desliga, botoeiras e outros contatos externos) e saídas (motores, bobinas) que estão relacionadas e interligadas para desempenhar uma função definida, tal como ligamento ou desligamento de um equipamento, através de uma seqüência lógica de eventos (RIBEIRO, 2003).

Ribeiro (2003) descreve que o objetivo do sistema de intertravamento é o de causar um conjunto previsível de operações, quando os limites do processo forem excedidos, os equipamentos mecânicos e elétricos falharem, a energia faltar ou os componentes falharem, individualmente ou em combinação.

Os intertravamentos podem ser manuais ou automáticos, no estudo de caso em questão eles são todos automáticos e em sua maioria, eles atuam parando as bombas de esvaziamento de bacias em caso de nível muito baixo nessas últimas, evitando assim o risco de cavitação dessas bombas.

5. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ANÁLISE

5.1 Técnica HAZOP

5.1.1 Descrição dos passos iniciais da análise

Antes das sessões da HAZOP, propriamente dita, há um trabalho anterior feito pela equipe, no agendamento da sala de reunião, na confirmação da equipe que participará do estudo e, especialmente, no levantamento da documentação relacionada, tal como: fluxogramas de engenharia, fluxogramas de processo, memoriais descritivos, folhas de dados e especificações técnicas.

No entanto, cabe ressaltar que é no fluxograma de engenharia, onde geralmente são marcados os nós (etapa marcante da metodologia) e, devido a esse motivo, ele pode ser considerado o documento base para a Análise de Perigo e Operabilidade. O apêndice A apresenta o P&ID da ETDI E-1 que é analisado no presente trabalho e o apêndice B apresenta o P&ID com todos os nós marcados e numerados.

Como apresentado anteriormente, por questões de tornar a aplicação da técnica mais simples, cada subsistema da ETDI ficou contido em um único nó, os itens a seguir mostram a descrição e os resultados da HAZOP para cada nó.

5.1.2 Nó 1

O separador API é o principal equipamento do nó 1. Ele tem como função realizar a primeira etapa de remoção de óleo livre do efluente. Como essa é a primeira operação unitária de tratamento em si da ETDI, antes dela, é instalado um elemento de medição de vazão (comumente calha Parshall). Os voláteis que emanam do efluente são coletados e tratados pelo biofiltro. Já o óleo recuperado da camada superficial é recuperado nas unidades de processamento do petróleo. Por último o lodo, gerado pela sedimentação de resíduos acarretada pela redução grande na velocidade do escoamento é recolhido na bacia de lodo e posteriormente centrifugado.

O apêndice B apresenta os dispositivos contidos no nó 1. Ele começa na caixa de chegada (BBC-001), passando pelo separador de água e óleo (SAO-001 A/B/C), estendendo-se até a bacia de lodo do separador API (BBC-002) e as bombas de óleo recuperado (B-001 A/B), abrangendo todos os demais dispositivos incluídos dentro do limite desse nó.

O limite de estudo no presente trabalho não abrange a análise de risco da etapa anterior de acúmulo e regularização da vazão. A Tabela 7 mostra a lista completa de parâmetros, desvios, causas, consequências, salvaguardas, formas de detecção, classificação de risco e observações / recomendações desse nó.

Tabela 7 - Planilha de HAZOP para o nó 1 (continua)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE								
Identificação do nó:1					ÁREA: ETDI E-1			
Referência: Apêndices A e B								
Redator: Claudia Vasconcelos			Descrição do nó: Ver texto do início do item					
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações
Fluxo	Nenhum	Parada indevida da B-001A	Possibilidade de transbordamento da BBC-003	D	II	M	Bomba reserva (S) LIC-001 com alarme de nível alto (LAH) –(D)	
		Bloqueio indevido a jusante da B-001A	Aumento de pressão nesta linha	D	II	M		R- Prever PIT na linha de saídas das B-001 com PAH
	Menor	Recebimento bem menor de carga orgânica por longos períodos	Possível perda de eficiência no tratamento biológico	D	III	M	AIT-005 (D) AIT-006 (D)	O.-Prever que no manual de operação, as situações de partida e parada prolongada do sistema biológico estejam contempladas
		Choque de carga elevado	Dano ao tratamento biológico	D	III	M	AIT-005 (D) AIT-006 (D) AIT-009 (D)	
	Maior	Chegada excessiva de sólidos ou menor tempo de extração do lodo	Acúmulo de lodo no SAO com possibilidade de travamento da corrente dos raspadores	D	II	M		R.-Implementar controle de rotação da corrente (MG-002) em caso de rotação elevada.
		Chuvas de maior intensidade que as vintenárias (condição de projeto)	Possibilidade de perda de eficiência do sistema de tratamento	D	III	M	FIT-001 com alarme de vazão alta (FAH) – (D)	R. - Prever disponibilidade dos todos os canais do SAO durante o período de maiores chuvas
	Reverso	Não aplicável						

Tabela 7 - Planilha de HAZOP para o nó 1 (continuação)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE								
Identificação do nó:1					ÁREA: ETDI –E-1			
Referência: Apêndices A e B								
Redator: Claudia Vasconcellos				Descrição do nó: Descrição do nó: Ver texto do início do item				
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações
Contaminação		Já avaliado em Fluxo Maior						
Temperatura	Menor	Falha no sistema de aquecimento da linha de óleo	Dificuldade de escoamento	D	II	M		R.- Avaliar a possibilidade de instalação de flanges na linha para limpeza com injeção de vapor R.- Prever PIT na linha de saídas das B-001 com PAH
	Maior	Furo na serpentina de aquecimento da BBC-001	Possibilidade de danos ao biofiltro.	B	III	T		
		Chegada de efluente com temperatura acima do projetado	Perda da atividade biológica		C	III	M	

Tabela 7 - Planilha de HAZOP para o nó 1 (conclusão)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE								
Identificação do nó:1					ÁREA: ETDI- E-1			
Referência: Apêndices A e B								
Redator: Claudia Vasconcellos					Descrição do nó: Descrição do nó: Ver texto do início do item			
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações
Pressão	Menor	Já avaliado em Fluxo Nenhum						
	Maior	Já avaliado em Fluxo Nenhum						
Nível	Menor	Falha no LIT-001	Possibilidade de danos à bomba B-001A	D	II	M		R- Prever PIT na linha de saídas das B-001 com PAH
		Falha no tambor rotativo	Possibilidade de danos à bomba B-001A	D	II	M	LIC-001 com alarme de nível baixo (LAL) –(D) e LSSL-001, que para a bomba no caso de nível muito baixo - (S)	
	Maior	Falha no LIT-001	Possibilidade de transbordamento da BBC-003	D	II	M		R.- Avaliar a instalação de um medidor de nível adicional.
		Já avaliado em Fluxo Nenhum						
		Bloqueio indevido na saída da bacia de chegada	Extravasamento da BBC-001	C	II	T		

5.1.3 Nó 2

O flotor a ar dissolvido é o equipamento-chave do nó 2. Ele tem a função de realizar a segunda etapa de remoção de óleo do efluente. Os voláteis que emanam do efluente são coletados e tratados pelo filtro de carvão. Já a espuma coletada na camada superficial e a borra são recolhidas na bacia de lodo e posteriormente centrifugadas. Produtos químicos são adicionados para favorecer a formação dos flocos. O sistema de ar é instalado para proporcionar as bolhas que permitem aos flocos flotarem.

O apêndice B ilustra os dispositivos contidos no nó 2. Ele começa na entrada da caixa de mistura rápida (BBC-004 A/B), passando pela caixa de floculação (BBC-005 A/B), DAF (FL-001 A/B), estendendo-se até a bacia de lodo e escumas do flotor (BBC-007) e as bombas de óleo recuperado (B-001 A/B), sistemas de dosagem de reagentes químicos, vaso de saturação do flotor (V-001 A/B), poço de recirculação do flotor (BBC-006), abrangendo todos os demais dispositivos incluídos dentro do limite desse nó.

Neste ponto, cabe ressaltar que os vasos de saturação do flotor apresentam instrumentação e controle próprios que só são contemplados no projeto após a definição do fornecedor.

A Tabela 8 apresenta a lista completa de parâmetros, desvios, causas, conseqüências, salvaguardas, formas de detecção, classificação de risco e observações / recomendações para esse nó.

Tabela 8 - Planilha de HAZOP para o nó 2 (continua)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE								
Identificação do nó: 2					ÁREA: ETDI- E-1			
Referência: Apêndices A e B								
Redator: Claudia Vasconcellos					Descrição do nó: Ver texto do início do item			
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/Observações
Fluxo	Nenhum	Parada indevida da B-002 A ou B	Interrupção da flotação	D	III	M	Bomba reserva (S)	
		Bloqueio indevido a jusante da B-002 A ou B	Aumento de pressão nesta linha	D	II	M		R.- Prever PIT na linha de saídas das B-002 com PAH.
		Parada indevida da B-012A	Ineficiência do processo de coagulação	D	III	M	Bomba reserva (S)	
		Bloqueio indevido a jusante da B-012A	Aumento de pressão nesta linha	D	II	M	FIC-002 com alarme de vazão baixa (FAL) – (D)	R.- Prever PIT na linha de saídas das B-012 com PAH.
		Parada indevida da B-013A	Ineficiência do processo de floculação	D	III	M	Bomba reserva (S)	
		Bloqueio indevido a jusante da B-013A	Aumento de pressão nesta linha	D	II	M	FIC-003 com alarme de vazão baixa (FAL) – (D)	R.- Prever PIT na linha de saídas das B-013 com PAH.
		Falha no AIT-002	Ineficiência de coagulação/floculação	D	II	M	FIC-002 com alarme de vazão baixa (FAL) – (D) FIC-003 com alarme de vazão baixa (FAL) – (D)	
		Falha no FIC-002	Ineficiência de coagulação	D	II	M	AIT-002 com alarme de turbidez alta (AAH) – (D)	
		Falha no FIC-003	Ineficiência de floculação	D	II	M	AIT-002 com alarme de turbidez alta (AAH) – (D)	
		Parada indevida do C-001A	Interrupção da flotação	D	III	M	Compressor reserva (S)	R.- Prever FIT na linha de saídas dos C-001 com FAL.

Tabela 8 - Planilha de HAZOP para o nó 2 (continuação)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE									
Identificação do nó:2					ÁREA: ETDI - E-1				
Referência: Apêndices A e B									
Redator: Claudia Vasconcellos					Descrição do nó: Ver texto do início do item				
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações	
Fluxo	Menor	Falha no FIC-002	Redução da eficiência de coagulação	D	II	M	AIT-002 com alarme de turbidez alta (AAH) – (D)		
		Menor retirada de borra e espuma do flotador	Possibilidade de danos à bomba B-010 A Acúmulo de lodo no flotador	D	II	M	LIC-002 com alarme de nível baixo (LAL) –(D) e LSL-002, que para a bomba no caso de nível muito baixo - (S)	R.-Alterar a posição da malha de controle de nível (LIC-002) para a BBC-013.	
		Falha no AIT-002	Redução da eficiência de coagulação/floculação	D	II	M	FIC-002 com alarme de vazão baixa (FAL) – (D) FIC-003 com alarme de vazão baixa (FAL) – (D)		
		Falha no FIC-003	Redução da eficiência de floculação	D	II	M	AIT-002 com alarme de turbidez alta (AAH) – (D)		
	Maior	Já avaliado em Fluxo Menor (Falha no FIC-002/AIT-002)							
		Já avaliado em Fluxo Menor (Falha no FIC-003/AIT-002)							
	Reverso	Não aplicável							
	Contaminação	Não aplicável							
	Temperatura	Menor	Não aplicável						
		Maior	Não aplicável						

Tabela 8- Planilha de HAZOP para o nó 2 (conclusão)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE								
Identificação do nó:2					ÁREA: ETDI- E-1			
Referência: Apêndices A e B								
Redator: Claudia Vasconcellos					Descrição do nó: Ver texto do início do item			
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações
Pressão	Menor	Já avaliado em Fluxo Nenhum						
	Maior	Já avaliado em Fluxo Nenhum						
Nível	Menor	Já avaliado em Fluxo Menor						
		Menor retirada de borra e espuma	Possibilidade de danos à bomba B-010 A	D	II	M	LIC-002 com alarme de nível baixo (LAL) –(D) e LSSL-002, que para a bomba no caso de nível muito baixo - (S)	R.-Alterar a posição da malha de controle de nível (LIC-002) para a BBC-013.
	Falha no LIT-002	Possibilidade de danos à bomba B-010 A	D	II	M		R.- Prever PIT na linha de saídas das B-010 com PAH.	
	Maior	Falha no LIT-002	Possibilidade de transbordamento da BBC-013	D	II	M		R.- Implementar um temporizador com alarme caso a B-010 não opere por um período determinado.

5.1.4 Nó 3

Os filtros casca de nozes são os principais equipamentos do nó 3. Eles têm como papel realizar uma etapa adicional de remoção de óleo do efluente. Tal equipamento funciona na prática como uma salva-guarda das membranas presente na etapa posterior, a fim de evitar que o efluente atinja as membranas com um teor superior a 5 ppm de O&G. Neste tipo de tecnologia a mesma bomba de alimentação é responsável pela contra lavagem do filtro, necessária para a limpeza das cascas de nozes.

Para a referida contra lavagem, o fluxo de efluente no filtro é invertido permitindo a remoção de óleo preso ao recheio, ou seja, o recheio é fluidizado e carregado ao “scrubber”, onde a turbulência e atrito gerados na superfície do recheio permitem a remoção do óleo adsorvido em sua superfície.

O apêndice B mostra os dispositivos contidos no nó 3. Ele começa na bacia de alimentação dos filtros de casca de nozes (BBC-008), passando pelos filtros casca de nozes (V-002 A a H), bombas de limpeza dos filtros de casca de nozes (B-004 A/B), “scrubber” dos filtros de casca de nozes (V-003) estendendo-se até a bacia de água de contra lavagem limpa (BBC-009) por um lado e até as bombas da bacia de contra lavagem dos filtros de casca de nozes (B-005 A/B), abrangendo todos os demais dispositivos incluídos dentro do limite desse nó.

Neste ponto, cabe ressaltar que os filtros casca de nozes apresentam instrumentação e controle próprios que só são contemplados no projeto após a definição do fornecedor.

A Tabela 9 mostra a lista completa parâmetros, desvios, causas, consequências, salvaguardas, formas de detecção, classificação de risco e observações / recomendações desse nó.

Tabela 9 - Planilha de HAZOP para o nó 3 (continua)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE								
Identificação do nó:3				ÁREA: ETDI E-1				
Referência: Apêndices A e B								
Redator: Claudia Vasconcellos			Descrição do nó:Ver texto do início do item					
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações
Fluxo	Nenhum	Parada indevida da B-003A	Possibilidade de Interrupção da etapa de filtração ou contra-lavagem.	D	II	M	Bomba reserva (S) LIC-003 com alarme de nível alto (LAH) –(D)	O.-Em caso de parada das bombas de carga B-003 não haverá danos aos filtros casca de nozes
		Bloqueio indevido a jusante das B-003	Aumento de pressão nesta Possibilidade de aumento de nível na BBC-008	D	II	M	FSSL-004, que para as bombas no caso de vazão muito baixa - (S)	R.- Prever PIT na linha de saídas das B-003 com PAH.
		Parada indevida da B-004A	Interrupção da etapa de filtração ou contra-lavagem.	D	II	M	Bombas reserva (S)	
		Bloqueio indevido a jusante da B-004	Aumento de pressão nesta linha	D	II	M		R.- Prever PIT na linha de saídas das B-004 com PAH.
		Parada indevida da B-005A	Possibilidade de Interrupção da etapa de contra-lavagem.	D	II	M	Bombas reserva (S)	
		Bloqueio indevido a jusante da B-005A	Aumento de pressão nesta Possibilidade de aumento de nível na BBC-012	D	II	M		R.- Prever PIT na linha de saídas das B-005 com PAH.
	Menor	Falha no FIT-008	Interrupção ou menor filtração em um dos vasos	D	II	M		R.- Prever alarme de vazão baixa
		Falha no FIC-004	Possibilidade de transbordamento da BBC-008	D	II	M	LIT-007 (D) LIT-003 com alarme de nível alto (LAH) - (D)	

Tabela 9 - Planilha de HAZOP para o nó 3 (conclusão)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE								
Identificação do nó:3					ÁREA: ETDI –E-1			
Referência: Apêndices A e B								
Redator: Claudia Vasconcellos				Descrição do nó: Descrição do nó: Ver texto do início do item				
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações
Fluxo	Maior	Já analisado em Fluxo Menor (Falha no FIT-008)						
		Falha no FIC-004	Possibilidade de danos às bombas B-003	D	II	M	FIT-008 (D) LSSL-007, que para as bombas no caso de nível muito baixo - (S)	
		Alinhamento indevido para a operação de contra-lavagem	Perda de eficiência do sistema de filtração	D	II	M	Filtro reserva – (S)	
Contaminação		Falha no srcubber	Perda de parte do meio filtrante - casca de nozes Possibilidade de entupimento dos filtros	B	II	T		
Temperatura	Menor	Não aplicável						
	Maior	Não aplicável						
Pressão	Menor	Já avaliado em Fluxo Nenhum						
	Maior	Já avaliado em Contaminação Já avaliado em Fluxo Nenhum						
Nível	Menor	Falha no LIC-003	Possibilidade de danos à bomba B-003	D	II	M	FSSL-004 (S) LSSL-007 (S) FIC-004 com alarme de vazão baixa (FAL) – (D)	
		Falha no LIC-007	Possibilidade de danos à bomba B-003	D	II	M	FSSL-004 (S) FIC-004 com alarme de vazão baixa (FAL) – (D) LIC-003 com alarme de nível baixo (LAL) –(D)	
	Maior	Falha no LIC-003	Possibilidade de transbordamento da BBC-008	D	II	M	LIT-007 (D)	
		Já avaliado em Fluxo Menor						

5.1.5 Nó 4

As centrífugas de lodo oleoso são os principais equipamentos do nó 4. Elas têm como objetivo realizar o desaguamento do lodo oleoso advindo do separador API e do flotador. Geralmente o lodo bruto apresenta na entrada da centrífuga um valor próximo de 2% de teor de sólidos e sai delas com um valor na faixa de 20-30% de sólidos no lodo seco. Essa concentração dos sólidos na torta oleosa leva a um menor volume de resíduo sólido a ser descartado.

O apêndice B ilustra todos os dispositivos contidos no nó 4. O nó se inicia na bacia de lodo oleoso (BBC-013), seguindo para as bombas de lodo oleoso (B-010 A/B), misturador estático de lodo oleoso (MT-002 A/B) - o qual misturará o polímero vindo do sistema de dosagem com o lodo bruto - abrangendo até a saída da centrífuga de lodo oleoso (SC-001 A/B).

Neste ponto, cabe ressaltar que o sistema de dosagem de polímero para as centrífugas apresenta instrumentação e controle próprios que só são contemplados no projeto após a definição do fornecedor.

A Tabela 10 expõe a lista completa de parâmetros, desvios, causas, consequências, salvaguardas, formas de detecção, classificação de risco e observações / recomendações levantados pela equipe participante do HAZOP para esse nó.

Tabela 10 - Planilha de HAZOP para o nó 4 (continua)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE								
Identificação do nó:4					ÁREA: ETDI E-1			
Referência: Apêndices A e B								
Redator: Cláudia Vasconcellos				Descrição do nó: Ver texto do início do item				
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações
Fluxo	Nenhum	Parada indevida da B-010	Possibilidade de transbordamento da BBC-013	D	II	M	Bomba reserva (S)	R.-Prever intertravamento para parar a centrífuga em caso de paradas da B-010 A/B R- Prever malha de controle de nível na BBC-013, com alarme de nível alto
		Bloqueio indevido a jusante da B-010A	Aumento de pressão nesta linha Possibilidade de aumento de nível na BBC-013	D	II	M		R.- Prever PIT na linha de saídas das B-010 com PAH
	Menor	menor rotação na bomba B-010 A	Possibilidade de aumento de nível na BBC-013	D	II	M		R- Prever malha de controle de nível na BBC-013, com alarme de nível alto
	Maior	Chegada de mais lodo ao sistema (necessidade de maior descarte de lodo)	Comprometimento do descarte de lodo	D	II	M		R- Prever no projeto a flexibilidade para operação simultânea das duas centrífugas (SC-001 A/B), dobrando assim a capacidade do sistema de tratamento por um curto período de tempo
	Reverso	Não aplicável						

Tabela 10 - Planilha de HAZOP para o nó 4 (conclusão)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE									
Identificação do nó:4					ÁREA: ETDI –E-1				
Referência: Apêndices A e B									
Redator: Cláudia Vasconcellos				Descrição do nó: Ver texto do início do item					
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações	
Contaminação		Não aplicável							
Temperatura	Menor	Falha no sistema de aquecimento da linha de lodo	Dificuldade de escoamento	D	II	M		R.- Avaliar a possibilidade de instalação de flanges na linha de lodo oleoso para limpeza com injeção de vapor	
	Maior	Não aplicável							
Pressão	Menor	Já avaliado em Fluxo Nenhum							
	Maior	Já avaliado em Fluxo Nenhum							
Nível	Menor	Já avaliado em Nível menor do nó 2							
	Maior	Já avaliado em Nível maior do nó 2							
		Já avaliado em Fluxo Nenhum							

5.1.6 Nó 5

As centrífugas de lodo biológico são os principais equipamentos do nó 5. Elas têm como função realizar o desaguamento do lodo biológico advindo do MBR. Geralmente o lodo bruto apresenta na entrada da centrífuga um valor próximo de 1% de teor de sólidos e sai delas com um valor na faixa de 20-30% de sólidos no lodo seco. Essa concentração dos sólidos na torta oleosa leva a um menor volume de resíduo sólido a ser descartado.

O apêndice B mostra todos os dispositivos contidos no nó 5. O nó se inicia nas bombas de lodo biológico (B-011 A/B), seguindo para as bombas de lodo oleoso (B-014 A/B), misturador estático de lodo biológico (MT-003 A/B) - o qual misturará o polímero vindo do sistema de dosagem com o lodo bruto - abrangendo até a saída da centrífuga de lodo biológico (SC-002 A/B).

Neste ponto, cabe ressaltar que o sistema de dosagem de polímero para as centrífugas apresenta instrumentação e controle próprios que só são contemplados no projeto após a definição do fornecedor.

A Tabela 11 apresenta a lista completa parâmetros, desvios, causas, consequências, salvaguardas, formas de detecção, classificação de risco e observações / recomendações desse nó.

Tabela 11 - Planilha de HAZOP para o nó 5 (continua)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE									
Identificação do nó:5					ÁREA: ETDI E-1				
Referência: Apêndices A e B									
Redator: Claudia Vasconcellos				Descrição do nó: Ver texto do início do item					
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações	
Fluxo	Nenhum	Parada indevida da B-011A	Excesso de biomassa no sistema biológico	D	II	M	Bomba reserva (S)	R.-Prever intertravamento para parar a centrífuga em caso de paradas da B-011 A/B R.- Prever FIT na linha de entrada das B-011 com FAL.	
		Bloqueio indevido a jusante da B-011A	Aumento de pressão nesta linha	D	II	M		R.- Prever PIT na linha de saídas das B-011 com PAH.	
	Menor	Não aplicável							
	Maior	Necessidade de maior descarte de lodo	Comprometimento do descarte de lodo	D	II	M		R- Prever no projeto a flexibilidade para operação simultânea das duas centrífugas (SC-002 A/B), dobrando assim a capacidade do sistema de tratamento por um curto período de tempo.	
	Reverso	Não aplicável							

Tabela 11 - Planilha de HAZOP para o nó 5 (conclusão)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE									
Identificação do nó:5					ÁREA: ETDI -E-1				
Referência: Apêndices A e B									
Redator: Claudia Vasconcellos				Descrição do nó: Descrição do nó: Ver texto do início do item					
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações	
Contaminação		Não aplicável							
Temperatura	Menor	Não aplicável							
	Maior	Não aplicável							
Pressão	Menor	Já avaliado em Fluxo Nenhum							
	Maior	Já avaliado em Fluxo Nenhum							
Nível	Menor	Não aplicável							
	Maior	Não aplicável							

5.1.7 Nó 6

O reator biológico com membranas – MBR - é o principal equipamento do nó 6. Ele tem como função a redução de carga orgânica do efluente. Dentro do reator, os efluentes seguem três etapas sequenciais de tratamento: zona anóxica (R-001 A/B), zona aeróbica (R-001 C/D) e filtração em membranas (R-001 E/F). Na zona anóxica ocorre a remoção de nitrato, na aeróbica a degradação da carga orgânica e da nitrogenada, e na filtração em membranas o lodo é separado do efluente tratado e retorna para a zona aeróbica.

O apêndice B ilustra os dispositivos contidos no nó 6. Ele começa na bacia de equalização (BBC-010 A/B), passando pelo reator biológico com membranas (R-001 A/B/C/D/E/F), sistemas de dosagem de reagentes químicos, sopradores de ar (SP-001 A a D e SP-002 A a E), estendendo-se até a caixa de saída (BBC-011), abrangendo todos os demais dispositivos incluídos dentro do limite desse nó.

Neste ponto, cabe ressaltar que o sistema de dosagem de antiespumante e o sistema de dosagem de produtos químicos de limpeza de membrana apresentam instrumentação e controle próprios que só são contemplados no projeto após a definição do fornecedor.

A Tabela 12 apresenta a lista completa parâmetros, desvios, causas, consequências, salvaguardas, formas de detecção, classificação de risco e observações / recomendações desse nó.

Tabela 12 - Planilha de HAZOP para o nó 6 (continua)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE								
Identificação do nó:6				ÁREA: ETDI E-1				
Referência: Apêndices A e B								
Redator: Claudia Vasconcellos			Descrição do nó:Ver texto do início do item					
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações
Fluxo	Nenhum	Parada indevida da B-008A	Perda de eficiência no tratamento biológico	D	II	M	Bomba reserva (S)	
		Bloqueio indevido a jusante da B-008A	Aumento de pressão nesta linha	D	II	M		R. - Prever PIT na linha de saídas das B-008 com PAH.
		Parada indevida da B-009A	Aumento de nível no R-001 Interrupção da saída de efluente tratado	D	II	M	Bomba reserva (S) FSSL-005, que para as bombas B-003, quando a vazão está muito baixa (S)	
		Bloqueio indevido a jusante da B-009A	Aumento de pressão nesta linha Possibilidade de	D	II	M		R.- Prever PIT na linha de saídas das B-008 com PAH.
		Parada indevida da B-006A	Não correção do pH no processo biológico	D	II	M	Bomba reserva (S) FT-007(D) AIT-009 (D)	
		Bloqueio indevido a jusante da B-006A	Aumento de pressão nesta linha	D	II	M		R.- Prever PIT na linha de saídas das B-006 com PAH.
		Parada indevida da B-007A	Falta de nutrientes para o processo biológico	D	II	M	Bomba reserva (S) FT-009(D)	
		Bloqueio indevido a jusante da B-007A	Aumento de pressão nesta linha	D	II	M		R- Prever PIT na linha de saídas das B-007 com PAH.

Tabela 12 - Planilha de HAZOP para o nó 6 (continuação)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE									
Identificação do nó:6					ÁREA: ETDI –E-1				
Referência: Apêndices A e B									
Redator: Claudia Vasconcellos				Descrição do nó: Descrição do nó:Ver texto do início do item					
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações	
Fluxo	Nenhum	Parada indevida de um dos SP-001	Perda de eficiência no tratamento biológico	D	II	M	Soprador reserva (S) AIT-003 (D)	R- Prever FIT na linha de saídas dos SP-001 com FAL.	
		Parada indevida de um dos SP-002	Possibilidade de obstrução das membranas	D	II	M	Soprador reserva (S)	R-Acompanhamento R- Prever FIT na linha de saídas dos SP-002 com FAL.	
		Falha da LIT-004	Possibilidade de aumento de nível no R-001	D	II	M	LIT-005 com alarme de nível muito alto (LAHH) - (D)		
		Falha da FIC-005	Possibilidade de aumento de nível no R-001	D	II	M	LIT-005 com alarme de nível muito alto (LAHH) - (D) FIT-008 - (D)		
		Falha da FT-007	Falta de nutrientes para o processo biológico	D	II	M	LIT-006 com alarme de nível alto (LAH) - (D)		
		Falha da FT-009	Não correção do pH no processo biológico	D	II	M	AIT-009 (D)		
	Menor	Já avaliado em Fluxo Nenhum (falha da FIC-005, FT-007, FT-009, LIT-004)							
		Obstrução das membranas	Redução da vazão de permeado e elevação do nível no reator	C	II	T	LIT-005 com alarme de nível muito alto (LAHH) - (D) LSLL-004, que para as bombas B-003, quando o nível está muito alto (S)		
	Maior	Falha da LIT-004	Perda de eficiência no tratamento biológico	D	II	M	LIT-005 com alarme de nível muito baixo (LALL) - (D)		

Tabela 12 - Planilha de HAZOP para o nó 6 (conclusão)

HAZOP – ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE								
Identificação do nó:6				ÁREA: ETDI- E-1				
Referência: Apêndices A e B								
Redator: Claudia Vasconcellos			Descrição do nó: Descrição do nó: Ver texto do início do item					
Parâmetro	Desvio	Causas	Consequências	Fre quên cia	Severi dade	Risco	Salvaguardas (S)/ Detecção (D)	Recomendações/ Observações
Fluxo	Maior	Falha da FT-007	Não correção do pH no processo biológico Perda de reagente químico Possibilidaddede de prejuízo ao tratamento biológico	D	II	M	AIT-009 (D) LIT-006 (D)	
		Falha da FT-009	Excesso de nutrientes no reator	D	I	T		
		Falha da FIC-005	Perda de eficiência no tratamento biológico	D	II	M	LIT-005 com alarme de nível muito baixo (LALL) - (D) FIT-008 - (D)	
		Descarte excessivo de lodo do reator	Possibilidade de redução da eficiência do tratamento biológico	D	II	M	AIT-008 - (D)	
	Reverso	Não aplicável						
Contaminação	Já avaliado em Fluxo Maior do Nó 1							
	Já avaliado em Fluxo Maior (Falha FT-007 e FT-009)							
Tem peratura	Menor	Não aplicável						
	Maior	Já avaliado em Temperatura Maior do nó 1						
Pressão	Menor	Já avaliado em Fluxo Nenhum						
	Maior	Já avaliado em Fluxo Nenhum						
Nível	Menor	Já avaliado em Fluxo Maior						
	Maior	Já avaliado em Fluxo Menor						

5.1.8 Avaliação dos resultados da HAZOP

Atualmente, na maioria dos novos projetos tem-se feito um ou mais estudos de aplicação da ferramenta HAZOP durante as fases da engenharia básica ou de detalhamento de um dado projeto. Embora as tecnologias e processos sejam amplamente conhecidos para projetos de processos, a ferramenta HAZOP geralmente exhibe situações não previstas na fase de engenharia (HERRERA, 2013).

No presente estudo, através da aplicação da ferramenta HAZOP foi possível classificar os riscos dos sistemas, primeiramente identificando os nós, em seguida, as palavras-guia primárias (parâmetros) e secundárias (desvios) aplicáveis caso a caso, e por fim a severidade e frequência dos eventos. Sendo todos os dados gerados registrados nas planilhas dos itens anteriores deste capítulo.

Com esses dados foi possível registrar o resumo dos riscos aplicáveis por classe de frequência, severidade e categorias de risco para todos os nós avaliados, em números absolutos que se encontra apresentado na Tabela 13. Já o gráfico da Figura 20 apresenta a distribuição percentual do nível de risco (Tolerável; Moderado e Não tolerável).

Tabela 13 – Resumo dos Riscos por Classe de Frequência, Severidade e Risco

Severidade	Frequência					Total
	A	B	C	D	E	
V	0	0	0	0	0	0
IV	0	0	0	0	0	0
III	0	1	1	7	0	9
II	0	1	2	57	0	60
I	0	0	0	2	0	2
Total	0	2	3	66	0	71

Legenda: Cor Verde – Risco Tolerável, Cor Amarela – Risco Moderado, Cor Laranja – Não Tolerável

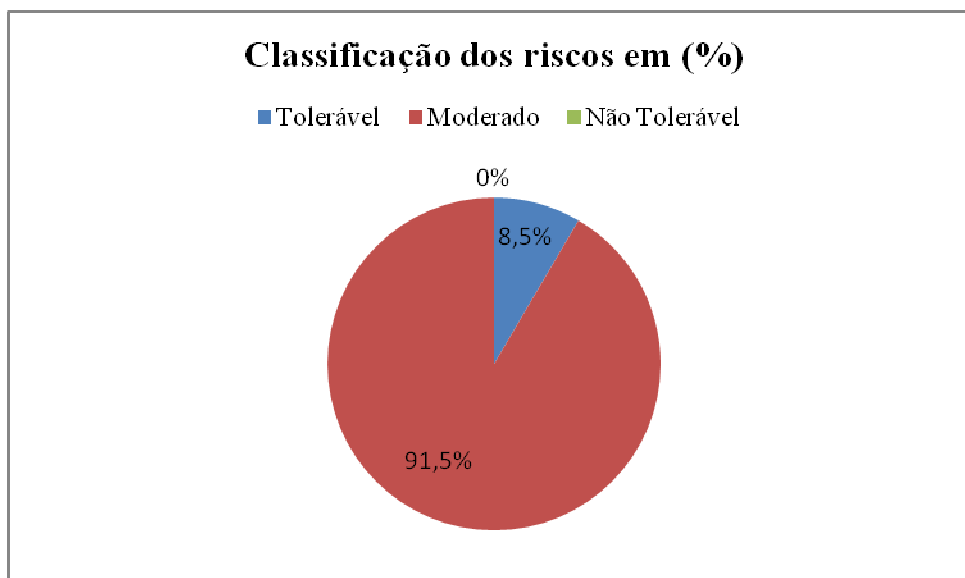


Figura 20 – Distribuição percentual do nível de risco

Analisando os dados acima para os riscos relacionados à maior severidade dentre segurança pessoal, instalação, meio ambiente e imagem, verifica-se que dos 71 itens, nenhum foi classificado como riscos não toleráveis, 65 (oitenta e cinco) (91,5%) como riscos moderados e 6 (seis) (8,5%) como riscos toleráveis num total de 6 (seis) nós.

Quanto às recomendações e observações, no presente estudo foram registradas no total 28, sendo que elas se dividem em quatro grandes áreas descritas na Tabela 14. O gráfico da Figura 21 apresenta, por sua vez, a distribuição percentual do número de recomendações/observações por área de ação.

Tabela 14 – Descrição das áreas de ação advindas das recomendações/observações

Área de ação	Descrição da ação requerida
1	Posterior avaliação de engenharia, análise ou especificação
2	Instalação de um novo item
3	Definição de novas rotinas ou procedimentos
4	Modificação de alarme, malha ou lógica

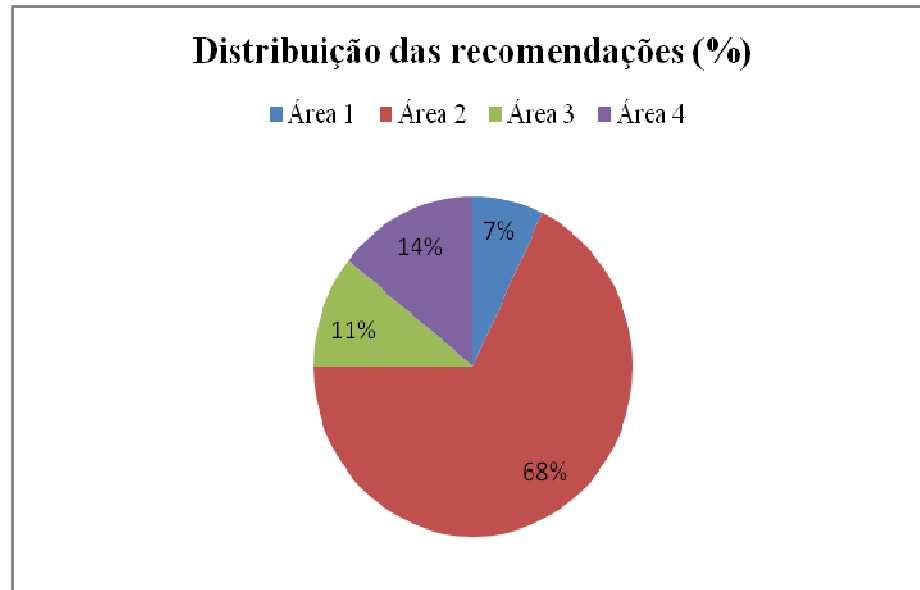


Figura 21 – Distribuição percentual do tipo de recomendação

Analisando os dados acima para a distribuição do tipo de ação advindo das recomendações, verifica-se que das 28 recomendações/observações, a maior parte (68%), resultará na ação de instalação de novos dispositivos.

5.2 Técnica de Análise de Vulnerabilidade

5.2.1 Descrição dos passos iniciais da análise

Antes das sessões da Análise de Vulnerabilidade, propriamente dita, assim como na HAZOP, há um trabalho anterior feito pela equipe: no agendamento da sala de reunião, na confirmação dos integrantes que participarão do estudo e, especialmente, no levantamento das informações relacionadas. No caso da Análise de Vulnerabilidade também é importante a obtenção de informações relacionadas aos recursos externos disponíveis para minimizar uma dada emergência.

No entanto, diferentemente da HAZOP, não há marcação de nós no fluxograma de engenharia, de modo que na Análise de Vulnerabilidade, o sistema da ETDI é avaliado como um todo. O item a seguir mostra os resultados da aplicação da técnica no cenário em questão.

5.2.2 Avaliação dos resultados da Análise de Vulnerabilidade

Para a identificação das emergências para o presente estudo de caso, o grupo analisou os tipos de emergências contidas em FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (1993), acrescentando à planilha da Tabela 15, apenas as que foram julgadas em consenso como cabíveis.

O primeiro item elencado foi o evento de incêndio, que poderia ser ocasionado em uma ETDI por fagulha, curto-circuito ou evento similar. A probabilidade de ocorrência dessa emergência recebeu o grau 1, pois há registros de eventos de incêndios em unidades de tratamento de esgotos, apesar de raros (como referência histórica, há o registro de incêndio na estação de tratamento de esgotos sanitários *North River*, localizada na cidade de Nova Iorque, relatada em CBS New York.(2011)). Quanto aos impactos, os mesmos receberam o “peso” 5, uma vez que um incêndio em uma ETDI pode resultar em lesões pessoais graves, prejuízo expressivo e dano à imagem da empresa. Quanto aos recursos internos, eles receberam valor 2, pois as unidades contam com uma boa estrutura de: equipe de brigadistas, malha de água de incêndio, rotas de fuga demarcadas e treinamento para evacuação de funcionários em caso de emergência. Quanto aos recursos externos, eles receberam “peso” 4, pois em muitas unidades os planos de contingência conjuntos entre as empresas próximas às refinarias nem sempre estão completamente estruturados.

O segundo item levantado foi o de vazamento de produto químico, no caso da ETDI E-1, o reagente químico mais preocupante seria a soda cáustica. A probabilidade de ocorrência dessa emergência recebeu a avaliação 3, os grandes vazamentos de produtos químicos são muito raros e os pequenos derramamentos advindos de operações de carregamento e descarregamento do produto químico são mais frequentes. Quanto aos impactos patrimoniais e de negócios, os mesmos receberam valor 1, uma vez que um derramamento de produto químico praticamente só acarretaria impactos locais, sem impacto extramuros da unidade industrial. Já o impacto humano, foi avaliado em 2, pois mesmo um derramamento pequeno pode ocasionar lesão em algum funcionário. Quanto aos recursos internos e externos, eles receberam “peso” 1, pois as unidades contam com uma boa estrutura de equipe médica, ambulâncias, rotas de fuga demarcadas e treinamento em primeiros socorros, além do que todas as unidades se encontram próximas a cidades médias ou grandes, que possuem rede hospitalar disponível.

O terceiro item registrado foi o evento de intoxicação, no caso da ETDI E-1, tal evento pode ser um subproduto de um incêndio ou intoxicação por H₂S. A probabilidade de ocorrência dessa emergência recebeu o grau 1, pois há registros de eventos de fatalidades com H₂S em unidades de tratamento de efluentes, apesar de muito raros (como referência histórica, há o registro de quatro letalidades em uma estação de tratamento de efluentes japonesa relatada em Kage et al.(2004)). Quanto aos impactos humanos, uma vez que, está se analisando o pior caso dentro da referida emergência, os mesmos recebeu o grau 3, pois uma intoxicação com H₂S pode resultar em letalidades. Quanto ao impacto patrimonial, o mesmo recebeu valor 1, pois a emissão de gases voláteis pura e simplesmente não ocasionaria danos aos equipamentos. Quanto ao impacto nos negócios, o mesmo recebeu avaliação 2, pois a possível letalidade de algum funcionário dentro da empresa afetaria a imagem da empresa e indicadores de Segurança, Meio Ambiente e Saúde (SMS) da unidade. Quanto aos recursos internos e externos, eles receberam valor 1, pois as unidades contam com uma boa estrutura de: equipe médica, ambulâncias, rotas de fuga demarcadas e treinamento em primeiros socorros, além do que todas unidades se encontram próximas a cidades médias ou grandes, que possuem rede hospitalar disponível.

Já o quarto item elencado foi o evento de fator climático. No caso da ETDI E-1, tal emergência pode ser devida à ocorrência de fortes chuvas, acima das chuvas vintenárias (chuvas de maior intensidade em uma série histórica de vinte anos), dado que tal valor é usado como premissa técnico-econômica para o cálculo da vazão de água de chuva sobre áreas contaminadas com hidrocarbonetos que chega para tratamento na ETDI. A probabilidade de ocorrência dessa emergência recebeu o grau 2, pois há registros de eventos similares. Quanto aos impactos humanos, o mesmo recebeu “peso” 1, uma vez que tal evento não pode resultar em lesões pessoais. Quanto aos impactos nos negócios e patrimonial, eles recebem valor 2, pois a referida emergência acarreta perda de eficiência do tratamento, alterando os tempos de residência hidráulica, o que pode levar em último caso ao desenquadramento do efluente final por um dado período e conseqüente dano à imagem da empresa. Quanto aos recursos internos, eles receberam valor 1, pois as unidades contam com uma boa estrutura de contingência: canal extra do SAO, manobras operacionais, centro de defesa ambiental e bacias ou tanques para acúmulo do excesso de chuva. Quanto aos recursos externos, eles receberam valor 4, pois em muitas unidades os planos de contingência conjuntos entre as empresas próximas às refinarias nem sempre estão completamente estruturados.

O quinto item registrado foi falha no fornecimento de vapor. A probabilidade de ocorrência dessa emergência recebeu o grau 2, pois o sistema de geração de vapor conta com uma alta confiabilidade, apesar de registros ocasionais de problemas. Quanto aos impactos, os mesmos receberam valor 1, uma vez que a falha no fornecimento de vapor na ETDI E-1, afetaria apenas o escoamento do lodo oleoso. Quanto aos recursos internos, eles receberam “peso” 2, pois as unidades contam com uma boa estrutura de: equipamentos reserva para a geração de vapor e controle rigoroso da água que alimenta as caldeiras. Quanto aos recursos externos, eles receberam avaliação 4, pois muitas unidades não se encontram próximas a outras empresas de porte similar, que pudessem auxiliar no fornecimento eventual de utilidades.

O sexto item elencado foi o evento de manutenção ineficiente em equipamentos/instrumentos. A probabilidade de ocorrência dessa emergência recebeu o grau 4, pois a visão da ETDI moderna como uma unidade de processo dotada de tecnologias sofisticadas, que necessitam de um acompanhamento mais atencioso e priorização na manutenção, ainda está em conflito com a cultura da ETDI sendo vista apenas como uma unidade auxiliar. Quanto aos impactos humanos, o mesmo recebeu “peso” 1, uma vez que tal evento em geral não resulta em lesões pessoais. Quanto aos impactos nos negócios e patrimonial, os mesmos receberam valor 3, uma vez que uma vez que a manutenção adequada de uma planta de ETDI com uma das melhores tecnologias economicamente disponíveis, como a E-1, pode resultar em prejuízo financeiro expressivo (danos irreversíveis aos elementos filtrantes, operação da planta com carga reduzida) e dano à imagem da empresa (desenquadramento de efluente final e impossibilidade de utilização do mesmo com água de reuso, por exemplo). Quanto aos recursos internos, eles receberam “peso” 2, pois as unidades contam com uma boa estrutura de contingência: manobras operacionais, centro de defesa ambiental e bacias ou tanques para acúmulo de efluente. Quanto aos recursos externos, eles receberam valor 4, pois em muitas unidades, os planos de contingência conjuntos entre as empresas próximas às refinarias nem sempre estão completamente estruturados.

O sétimo item elencado foi o evento de contaminação do efluente bruto (choque de carga). A probabilidade de ocorrência dessa emergência recebeu o valor 2, pois há registros de eventos similares. Quanto aos impactos humanos, o mesmo recebeu “peso” 1, uma vez que tal evento não pode resultar em lesões pessoais. Quanto aos impactos nos negócios e patrimonial, eles recebem valor 3, pois a referida emergência pode levar a perda de boa parte da massa de microrganismos do tratamento biológico, acarretando em último caso ao

desenquadramento do efluente final por um dado período e conseqüente dano à imagem da empresa. Quanto aos recursos internos, eles receberam “peso” 1, pois as unidades contam com uma boa estrutura de contingência: manobras operacionais, monitoramento do efluente antes de chegar à ETDI, centro de defesa ambiental e bacias ou tanques para acúmulo. Quanto aos recursos externos, eles receberam valor 4, pois em muitas unidades os planos de contingência conjuntos entre as empresas próximas às refinarias nem sempre estão completamente estruturados.

O último item elencado foi o evento de falha no fornecimento de energia elétrica. A probabilidade de ocorrência dessa emergência recebeu a avaliação 2, pois o sistema de geração de energia conta com uma alta confiabilidade, apesar de registros ocasionais de problemas. Quanto aos impactos humanos, o mesmo recebeu “peso” 1, uma vez que tal evento não pode resultar em lesões pessoais. Quanto aos impactos nos negócios e patrimonial, os mesmos receberam valor 3, uma vez que a falha no fornecimento de vapor na ETDI E-1, poderia parar indevidamente bombas e sopradores e compressores, o que interromperia o tratamento. Quanto aos recursos internos, eles receberam “peso” 2, pois as unidades contam com uma boa estrutura de: geradores de emergências e transformadores reserva. Quanto aos recursos externos, eles receberam “peso” 4, pois muitas unidades não se encontram próximas a outras empresas de porte similar, que pudessem auxiliar no fornecimento eventual de eletricidade.

Conforme o apresentado no item 3.2.3, na coluna Total, são somados os números obtidos nas colunas anteriores, sendo que quanto maior o valor da soma, mais vulnerável está sua unidade operacional para lidar com um determinado sinistro.

No referido estudo de caso, os maiores pontos de vulnerabilidade aparecem nos quesitos, na seguinte ordem decrescente:

- incêndio;
- manutenção ineficiente em equipamentos/instrumentos;
- falha no fornecimento de energia elétrica;
- contaminação do efluente bruto (choque de carga);
- fator climático (fortes chuvas);
- falha no fornecimento de vapor;
- intoxicação;
- vazamento de produto químico.

Tabela 15 – Análise Vulnerabilidade para ETDI E-1

Tipo de emergência	Probabilidade	Impacto Humano	Impacto Patrimonial	Impacto nos Negócios	Recursos Internos	Recursos Externos	Total
Incêndio	1	5	5	5	2	4	22
Vazamento de produto químico	3	2	1	1	1	1	9
Intoxicação	1	3	1	3	1	1	10
Fator climático (fortes chuvas)	2	1	2	3	1	4	13
Falha no fornecimento de vapor	2	1	1	1	2	4	11
Manutenção ineficiente em equipamentos/instrumentos	4	1	3	3	2	4	17
Contaminação do efluente bruto (choque de carga)	2	1	3	3	2	4	15
Falha no fornecimento de energia elétrica	2	1	3	3	2	4	16

5.3 Avaliação entre os resultados das técnicas de análise

5.3.1 Contextualização

O presente trabalho buscou contribuir nos segmentos do compartilhamento de experiências da HAZOP (sendo fonte de informação para estudos de casos novos, como no treinamento de profissionais na técnica de análise, sejam membros de equipe ou líderes) e na avaliação da técnica HAZOP com outra técnica de análise de risco, neste caso, a Vulnerabilidade.

Com isso, como o presente trabalho possui também a meta de servir como base de treinamento da técnica HAZOP de maneira mais completa, o P&ID da ETDI E-1 adequou-se fielmente à simbologia internacional para instrumentação utilizada pelas empresas projetistas, abordando as malhas de controle com sua devida complexidade no P&ID, ao invés de utilizar esquemáticos mais simplificados como está presente em muitos estudos de casos da literatura, como os presentes em Mulet et al.(2011) e Dunjó et al.(2011).

Além disso, há um enfoque no registro de tempo despendido para Análise de Vulnerabilidade, uma vez que esse parâmetro não se encontra monitorado em boa parte da literatura correlata, como ocorre em Montenegro (2013).

5.3.2 Tempo gasto nas duas análises

Em Dunjó (2010) é relatado um estudo realizado para estimativa de parâmetros temporais relacionados ao HAZOP. Na pesquisa de Dunjó foram analisados 13 P&ID, por uma equipe de sete pessoas e se evidencia que o tempo total para análise do primeiro nó, demora em média o dobro dos demais nós, devido aos fatos que nesse nó não é apenas analisado o nó em si, como também há as seguintes atividades: apresentação da equipe, explicação do que é o HAZOP e como o estudo é conduzido e seleção dos nós no fluxograma.

No mesmo trabalho científico, o autor relata que o tempo total de análise despendido para o primeiro nó, apresenta o valor médio de 5,52 horas e para os demais nós, o tempo de 2,66 horas.

Utilizando-se os valores médios obtidos no estudo de Dunjó como estimativa de tempo de análise para o estudo de caso da presente dissertação, que contempla seis nós, seria

calculado o tempo total médio para a análise de 18,82 horas. No entanto, o tempo total obtido foi de 16,5 horas.

Os tempos maiores foram gastos para a análise dos nós 1 e 6. O primeiro valor pode ser explicado, pelos motivos apresentados na pesquisa de Dunjó, ou seja, no primeiro nó não é apenas analisado o nó em si, como também há as seguintes atividades: apresentação da equipe, explicação do que é o HAZOP e como o estudo é conduzido e seleção dos nós no fluxograma. Já o segundo, deve-se ao fato do nó 6 ser um nó com equipamento principal e instrumentação mais complexa.

Já na Análise de Vulnerabilidade, a metodologia é mais global e menos segmentada, pois não se utiliza de “nós”, com isso o estudo demorou quatro horas, ou seja, 24,2 % do tempo despendido na HAZOP. Outro ponto importante a ressaltar, é que ambas as avaliações se utilizam de uma equipe, em geral de cinco a oito pessoas, logo em termos de homem-hora a diferença de custo e rapidez é evidente.

5.3.3 Características no enfoque dos resultados

Analisando o tipo de resultado de cada análise evidencia-se a característica de complementação enexo causal. No sentido que na HAZOP, o objetivo é avaliar se a falha de uma determinada malha de controle ou equipamento é plausível, já na Vulnerabilidade, os focos são nos eventos emergenciais que podem levar a situações de riscos descritas em um determinado nó. Como exemplo, é possível citar:

- a falha de energia elétrica e a manutenção ineficiente de equipamentos (emergências apontada na Vulnerabilidade) podem acarretar na parada indevida dos compressores, sopradores e bombas que figuraram como causas de desvios em 15 itens da HAZOP (22,1 %);

- a manutenção ineficiente de instrumentos (emergência registrada na Vulnerabilidade) pode acarretar na falha de manutenção de malhas de controle, que figuraram como causas de desvios em 9 itens da HAZOP (13,2 %);

- a contaminação do efluente bruto (choque de carga) figura tanto emergência registrada na Vulnerabilidade como causa de desvio na HAZOP;

- falha no fornecimento de vapor (emergência apontada na Vulnerabilidade) pode acarretar na causa de desvio (falha no aquecimento da linha de oleoso), apontada na HAZOP.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme estabelecido no capítulo introdutório, o objetivo geral da presente dissertação é através da aplicação de duas ferramentas de análise – HAZOP e Análise de Vulnerabilidade – em um cenário hipotético – em uma ETDI típica de uma refinaria, com processos mais modernos, avaliar os resultados obtidos após a aplicação das duas análises, a fim de identificar: as recomendações advindas de cada uma, o tempo despendido para a execução das análises e a interdependência entre as informações geradas por cada técnica.

Para se atingir esse objetivo, primeiramente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o avanço da legislação ambiental de recursos hídricos, e a conseqüente evolução das tecnologias em ETDI de refinarias advinda. Através de tal levantamento, foi possível observar que o emprego da rota: separador água-óleo API, seguido de flotação a ar dissolvido, filtração com casca de nozes e tratamento biológico com bioreatores com membranas têm sido a rota utilizada nos projetos novos de ETDI no caso brasileiro, em especial, pela alta qualidade do efluente tratado e possibilidade de reuso do mesmo.

A pesquisa bibliográfica também abrangeu o estudo referente a contextualização, estado da arte, limitações e passos metodológicos das técnicas de análise de risco – HAZOP e Vulnerabilidade.

Com a definição da rota da ETDI E-1, foram colhidas informações com fornecedores do setor e pesquisa em literatura correlata, o que tornou possível a elaboração do P&ID, sendo que para validação do mesmo foram realizadas visitas técnicas de campo e troca de experiências com profissionais da área, tornando-o adequado para ser utilizado como base do estudo de caso.

Por fim, foi realizada, pela mesma equipe e no mesmo estudo de caso, a aplicação das técnicas – HAZOP e Vulnerabilidade. O presente trabalho buscou contribuir, dentro das principais linhas de pesquisa da HAZOP, nos segmentos do compartilhamento de experiências e na avaliação da técnica HAZOP com outra técnica de análise de risco, nesse caso, a Vulnerabilidade.

Os resultados advindos das técnicas evidenciaram que a metodologia HAZOP é uma ferramenta poderosa quando se trata de identificar e reduzir os riscos na avaliação de um processo de uma ETDI, mesmo em fase de projeto básico simplificado, pois no estudo foi discutido um total de seis nós. Do estudo resultaram setenta e um riscos levantados, sendo que 91,5% deles foram classificados como moderados, 8,5% como toleráveis e nenhum como não

tolerável. Ainda foram redigidas vinte e oito recomendações/observações, sendo que a maior parte (68%), resultarão na ação de instalação de novos dispositivos.

Já a Análise de Vulnerabilidade apontou oito pontos vulneráveis, sendo os que receberam a maior pontuação foram a ocorrência de um incêndio e a falta de manutenção adequada nos equipamentos e instrumentos.

Avaliando as duas análises, foi verificado que o tempo de execução para a Análise de Vulnerabilidade apresenta um valor 75,8% menor que a HAZOP, devido ao fato de aplicar uma metodologia mais simples. Além disso, também ficou evidenciada a interdependência entre as emergências levantadas na Vulnerabilidade e as causas de desvios registrados na HAZOP.

Finalmente, é importante ressaltar que tradicionalmente, as equipes projetistas envolvem-se muito na HAZOP e pouco no enfoque dos pontos vulneráveis das plantas projetadas. No entanto, os cenários de riscos levantados pela Análise de Vulnerabilidade, são de grande importância para o planejamento e bom funcionamento de uma nova unidade, pois apontam para possíveis emergências futuras, possibilitando um melhor preparo da empresa como todo.

Nesse contexto, a recomendação principal do presente trabalho é motivar a utilização da Análise de Vulnerabilidade como técnica complementar ao HAZOP pelas empresas projetistas.

É interessante pontuar que até o presente momento é escassa literatura referente à Análise de Vulnerabilidade fora dos âmbitos da Defesa Civil e/ou econômico, logo para pesquisas futuras seria muito válida a aplicação da técnica de Análise de Vulnerabilidade em outros estudos de casos dentro do cenário da indústria química, contribuindo tal fato para uma maior divulgação da técnica no segmento de processo industrial.

Por fim, o presente trabalho também sugere para pesquisas futuras, um enfoque na modelagem de tempo despendido para Análise de Vulnerabilidade, uma vez que esse parâmetro não se encontra monitorado na maior parte da literatura de referência.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22th ed. Washington: American Water Works Assn, 2012.
- BIRD, J.; FRANK, E.; LOFTUS, R. G. *Loss Control Management*. Loganville: Institute Press, 1976 apud MACIEL, J.L.L. *Contribuições para plano de contingência para derramamento de petróleo e derivados no Brasil*. 2001.141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- BIRKMANN, J. Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards*, v. 7, p.20-31, 2007.
- BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado, 1988. 140 p.
- BRASIL. Decreto-lei nº 1.413, de 14 de agosto de 1975. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 14 ago. 1975. Seção 1, p.10.289.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2 set. 1981. Seção 1, p.16.509.
- BRASIL. Decreto nº 8.127, de 22 de outubro de 2013. Institui o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional, altera o Decreto nº 4.871, de 6 de novembro de 2003, e o Decreto nº 4.136, de 20 de fevereiro de 2002, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 out. 2013. Seção 1, p.4.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Seção 1, p.470.
- BRASIL, Ministério de Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC). Política Nacional de Defesa Civil - PNDC. 2004. 88p.
- CALIXTO, E. *Contribuições para plano de contingência para derramamento de petróleo e derivados no Brasil*. 2011.301 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- CBS NEW YORK. *Fire At Harlem Sewage Treatment Plant Forces Officials To Take It Offline*. Disponível em: <<http://newyork.cbslocal.com/2011/07/20/fire-at-harlem-sewage-treatment-plant-forces-officials-to-take-it-offline/>>. Publicado em: 20 jul.2011. Acesso em: 03 dez. 2013.

COLLARES, S. *Avaliação do uso de recursos hídricos em uma refinaria de petróleo: um estudo de caso na PETROBRAS*. 2004. 150f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Gestão. Área de concentração: Meio Ambiente) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 30 jul. 1986.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Número 53, p.58-63.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 abr. 2008. Seção 1, número 66, p.69-69.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 mai. 2011. Número 92, p.89.

CALIXTO, E. The safety integrity level as Hazop Risk consistence. The Brazilian risk analysis study case – *Aven & Vinnem (eds)*© 2007 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-44786-7.

DE MARTINI JÚNIOR, L.C.; FIGUEIREDO, M.A.G.; GUSMÃO, A.C.F. *Redução de resíduos industriais: como produzir mais com menos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Aquarius, 2005.

DIAS, I.N. *MBBR acoplado a filtro lento de areia e a osmose inversa para tratamento de efluente da indústria de petróleo visando reuso*. 2011. 153f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

DIYA'UDDEEN, B.H.; DAUD, W. M. A. W.; AZIZ, A.R.A. Treatment technologies for petroleum refinery effluents: a review. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 89, p.95-105, 2011.

DUNJÓ, J. *New trends for conducting hazard & operability (HAZOP) studies in continuous chemical processes*. 2010. 336f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2010.

DUNJÓ, J.; FTHENAKIS, V.; DARBRA, R.M.; VÍLCHEZ, J.A.; ARNALDOS, J. Conducting HAZOPs in continuous chemical processes: Part I. Criteria, tools and guidelines for selecting nodes. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 89, p.214-223, 2011.

DUNJÓ, J.; FTHENAKIS, V.; VÍLCHEZ, J.A.; ARNALDOS, J. Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 173, p.19-32, 2010.

ECKENFELDER, W. W.; MUSTERMAN, J.L. 1995, *Activated sludge treatment of industrial wastewater*. U.S.A. apud RODRIGUES, J.B.S.B.M. *Contributo para o estudo das principais tecnologias de tratamento utilizadas no tratamento de efluentes provenientes da indústria petrolífera*. 2008. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente – Perfil Sanitária) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, 2008.

EIZENBERG S.; SHACHAM, M.; BRAUNER, N. Combining HAZOP with Dynamic Simulation – Applications for Safety Education, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 19, p. 754-761, 2006.

EL-NAAS, M.H.; AL-ZUHAIR, S.; AL-LOBANEY, A.; MAKHLOUF, S. Assessment of electrocoagulation for the treatment of petroleum refinery wastewater. *Journal of Environmental Management*, v. 91, p.180-185, 2009.

ENVIRONQUIP. *Sistemas de flotação*. Disponível em: < <http://www.vironquip.com.br/sistema-de-flotacao.htm> > . Acesso em: 17 jul. 2013.

ESTADO DE MINAS. *Maior acidente ambiental de Minas Gerais ainda está impune*. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2011/03/30/interna_gerais,218533/maior-acidente-ambiental-de-minas-gerais-ainda-esta-impune.shtml> . Acesso em: 30 jun. 2013.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, FEMA. *Emergency management guide for business & industry*. FEMA 141, USA, October 1993. Disponível em <<http://www.fema.gov/pdf/business/guide/bizindst.pdf> >. Acesso em: jul. 2013.

FERREIRA, E.F.T. *Recursos hídricos e efluentes industriais: tratamento de efluentes sanitários e industriais*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, 2009.

FLORIDO, P.L. *Tratamento de efluente de refinaria pelo processo combinado de adsorção em carvão ativado e biorreator com membranas*. 2011.155f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

GALIL, N.I.; LEVINSKY, Y. Sustainable reclamation and reuse of industrial wastewater including membrane bioreactor technologies. In: CONFERENCE ON WASTEWATER RECLAMATION AND REUSE FOR SUSTAINABILITY, 2005, Jeju. *Desalination*. Jeju: International Water Association (IWA) and the Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), 2005. p. 411-417.

GAMBETTI, F.; CASALLI, A.; CHISARI, V. The Human Factor in Process Safety Management. *Chemical Engineering Transactions*, v. 26, p.279-284, 2012.

GEOBRASIL. *Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, 2002. Disponível em: <http://www.academia.edu/318161/GEO_Brasil_2002_Perspectivas_Do_Meio_Ambiente_No_Brasil>. Acesso em: 07 dez. 2013.

GIWA, S.O.; GIWA, A.; ZEYBEK, Z.; HAPOGLU, H. Electrocoagulation treatment of petrol refinery wastewater: optimization through rsm. *International Journal of Engineering Research & Technology*, v. 2, issue 2, p.606-615, 2013.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. *Flixborough (Nypro UK) explosion 1st June 1974*. Disponível em: < <http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/caseflixboroug74.htm> >. Acesso em: 03 jun. 2013.

- HERRERA, M.A. *Utilização de técnica de análise de risco numa unidade de produção de proteínas recombinantes: estudo de caso da ferramenta de análise de risco - HAZOP*. 2013.141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- HOEPFFNER, L. Analysis of the HAZOP study and comparison with similar safety analysis systems. *Gas Separation & Purification*, v.3, p.148–151, 1989.
- IBRAHIM, D.S.; LATHALAKSHMI, M.; APPUSAMY, M.; BALASUBRAMANIAN, N. An alternative treatment process for upgrade of petroleum refinery wastewater using electro coagulation. *Petroleum Science*, v. 10, issue 3, p.421-430, 2013.
- JUDD, Simon. *The MBR book*. Oxford: Elsevier, 2006.
- KAGE, S.; IKEDA, H.; IKEDA, N.; TISUJITA, A; KUDO, K. Fatal hydrogen sulfide poisoning at a dye works. *Legal Medicine* , v.6, p.182–186, 2004.
- KLETZ, T.A. Hazop - past and future. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 55, p. 263-266, 1997.
- KLETZ, T.A. *HAZOP and HAZAN*. 4 th ed. Rugby: Institution of Chemical Engineers, 1999.
- KLETZ, T.A. *An Engineer's View of Human Error*. 3 rd ed. Rugby: Institution of Chemical Engineers), 2001.
- KOTEK A, L.; TABAS, M. HAZOP study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive actions. *Procedia Engineering*, v.42, p.808-815, 2012.
- KRAMER, C.R. *Estudo de avaliação de risco aplicado à estação de tratamento de esgotos de São José do Rio Preto*. 2010.133 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- LEVY, A.L.L. *Modelagem e análise sensibilidade do processo de lodo ativado com reciclo*. 2007.140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- LIEDTKE, P.M.; SCHANZ, K. September 11: Ten years on – lasting impact on the world of the risk and insurance. The Geneva Association Risk & Insurance Economics, set. 2011. Disponível em: < [https://www.genevaassociation.org/media/15930/ga-2011-geneva_report\[4\].pdf#page=7](https://www.genevaassociation.org/media/15930/ga-2011-geneva_report[4].pdf#page=7)>. Acesso em: 07 jan. 2014.
- MACHADO, A.A.S.C.. *O Desastre de Bhopal no contexto da química verde – a sua causa última: um retrocesso*. Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, jul/set. 2010. Disponível em: < http://www.spq.pt/boletim/docs/boletimSPQ_118_041_09.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2013.
- MACIEL, J.L.L. *Contribuições para plano de contingência para derramamento de petróleo e derivados no Brasil*. 2001.141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) –

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MATOS, J.S.G.C. *Aplicação do HAZOP dinâmico na avaliação de perigo operacional em uma coluna de destilação de uma planta de separação de ar*. 2009.83 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MECHANICALAERATORS. Disponível em: < <http://www.engineeringfundamentals.net/MechanicalAerators/fundamentals.htm>>. Acesso em: 1 set. 2013.

MEIO FILTRANTE. *Filtro casca de nozes - Solução para remoção de óleos da água*. Disponível em: < <http://meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=415>>. Acesso em: 17 jul. 2013.

METCALF & EDDY. *Wastewater engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 4 th ed. New York: McGraw-Hill, 2004.

MONTENEGRO, M.R. *Diretrizes para gestão de emergências em situações de acidentes químicos: estudo em uma universidade pública do estado do Rio de Janeiro*. 2013.141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MULET, E.; CARLOS, M.; CHULVI, V.; RAMOS, J.; BOVEA, M. *Problemas resueltos de análisis de riesgos en instalaciones industriales*. ISBN: 978-84-693-7379-8. Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions Espanya, 2011.

NOLAN, D.P. *Safety and security review for the process industries: application of HAZOP, PHA, what-if and SVA reviews*. 2nd ed. Abqaiq: William Andrew, 2008.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. *Analyze capabilities, risks, & vulnerabilities*. Disponível em: < https://www.osha.gov/dte/grant_materials/fy07/46e0-htl0/emerg_pg_module_2.pdf >. Acesso em: 9 dez. 2013.

ODEGAARD, H.; RUSTEN, B.; WESTRUM, T. A new moving bed biofilm reactor-applications and results. *Water Science Technology*, v. 29, n.10-11, p.157-165, 1994.

PARMAR, J.C.; LEES, F.P. The propagation of faults in process plants: hazard identification (Part I e II). *Reliability Engineering*, v.17, p.277-314, 1987.

PHILLIPS, B.D; NEAL, D.M.; WEBB, G. *Introduction to emergency management*. 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

RAMALHO, R. S., 1983, *Introduction to wastewater treatment processes*, 2nd ed. U.S.A.: Academic Press, 1983 apud LEVY, A.L.L. *Modelagem e análise sensibilidade do processo de lodo ativado com reciclo*. 2007.140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

RIBEIRO, M.A. *Controle de processo*. 8 ed. Disponível em: < <http://cursos.scea.com.br/wp-content/uploads/2012/08/8.Controle-de-Processo.pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2013.

RODRIGUES, J.B.S.B.M. *Contributo para o estudo das principais tecnologias de tratamento utilizadas no tratamento de efluentes provenientes da indústria petrolífera*. 2008. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente – Perfil Sanitária) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, 2008.

SANT'ANNA JÚNIOR, G.L. *Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações*. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

SANTIAGO, V.M.J.; COELHO, E.B.A.P; ZANETTE, C.L.; ALEMIDA, J.H.C. Sustainable reclamation and reuse of industrial wastewater including membrane bioreactor technologies. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1997.

SANTIAGO, V.M.J. Pesquisas e implantação de tecnologias de ponta no tratamento e reuso de efluentes hídricos em refinarias. In: 19º VII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2010, Porto Alegre.

SEATTLE GOVERNMENT. *Seattle Hazard Identification & Vulnerability Analysis*. Maio de 2010. Disponível em: < <http://www.seattle.gov/hq/emergency>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

SHI, W.; ZENG, W.; ZHANG, L. Modeling the vulnerability of an industrial system: An ideal system of a simplified reactor vessel. *Safety Science*, v.59, p.193–199, 2013.

SIEMENS. *API Separators - The Workhorse of Refinery Wastewater Treatment Systems*. Janeiro de 2004. Disponível em: < <http://www.energy.siemens.com/hq/en/industries-utilities/oil-gas/water-solutions.htm>>. Acesso em: 18 jul. 2013.

SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS. Disponível em: < http://www2.corsan.com.br/sitel/www/?page_id=54 > . Acesso em: 17 jul. 2013.

SOUZA FILHO, A.M. *Planos nacionais de contingência para atendimento a derramamento de óleo: análise de países representativos das Américas para implantação no caso do Brasil*. 2006.217 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciências em Planejamento Ambiental, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

STAFFORDSHIRE UNIVERSITY. *Activity 5 : Biological wastewater treatment processes; secondary treatment*. Disponível em: < <http://www.staffs.ac.uk/schools/sciences/consultancy/dladmin/zCIWEMWWT/Activity5/act5.html> >. Acesso em: 2 set. 2013.

STEINBERG, L.J.; CRUZ, A.M.; VARDAR-SUKAN, F.; ERSOZ, Y. Risk Management Practices at Industrial Facilities during the Turkey Earthquake of August 17, 1999: Case Study Report. In: FIRST ANNUAL IIASA-DPRI MEETING PROCEEDINGS, 2001, Luxemburg.

SVANDOVA, Z.; JELEMENSKY, L.; MARKROS, J.; MOLNAR, A. Steady states analysis and dynamic simulation as a complement in the HAZOP study of chemical reactors. *Process Safety and Environmental Protection*, v.83, p.463–471, 2005.

TEXEIRA, A.C. *Modelagem por redes neurais do sistema biológico do tratamento de efluentes em refinarias de petróleo*. 2012. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química. Área de concentração: Modelagem, Otimização e Controle de Processos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

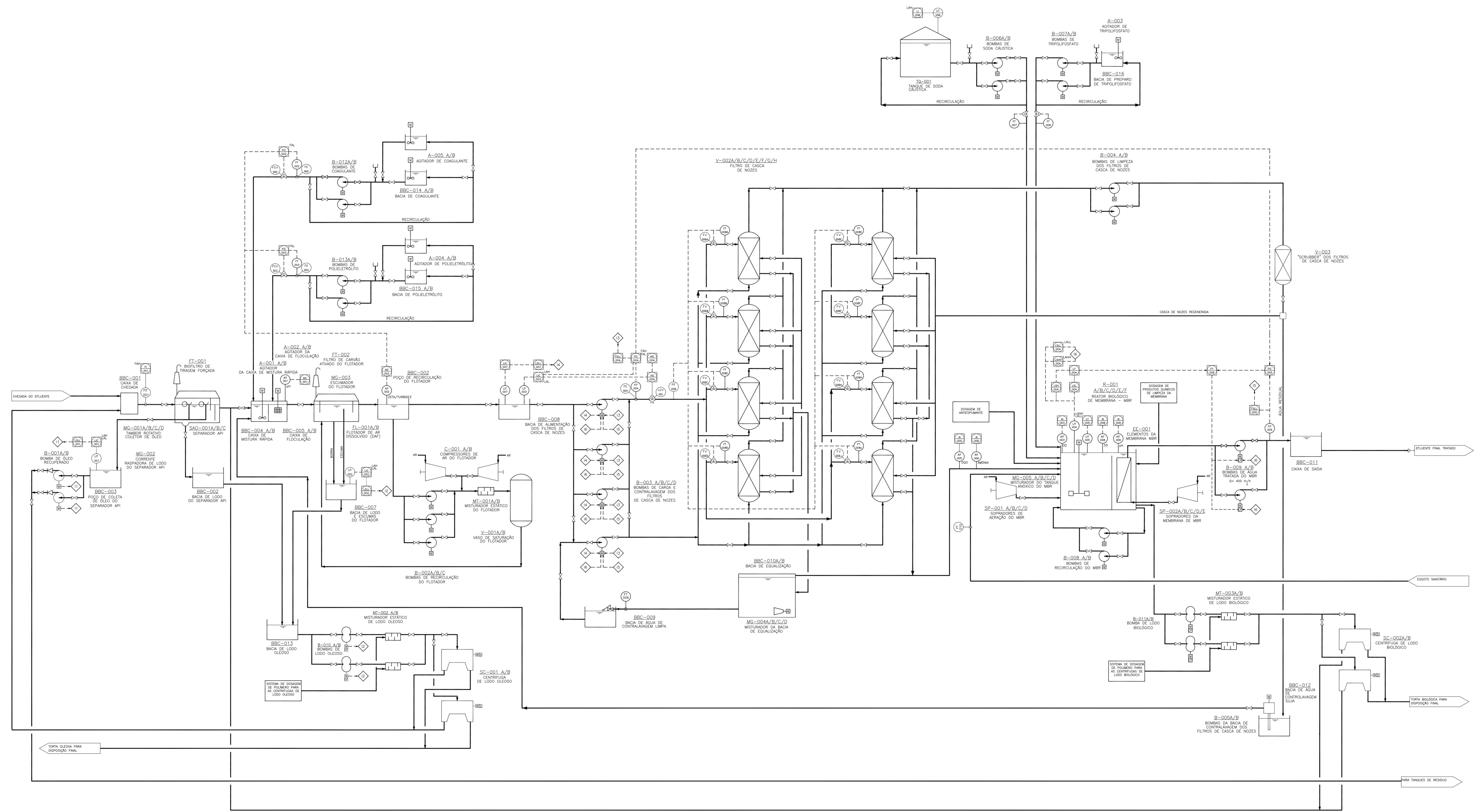
WIGEN WATER TECHNOLOGIES. *Membrane Bioreactor (MBR) Systems*. Disponível em: < <http://www.wigen.com/products/membrane-bioreactor-systems.php> >. Acesso em: 13 set. 2013.

WITTKOWER, B.; SINGH, B.; BOTTO, A. The Preliminary HAZOP: Advocacy for Use Early-on in the Design Process. In: TWENTY-FIRST INTERNATIONAL OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING CONFERENCE, 2011, Maui.

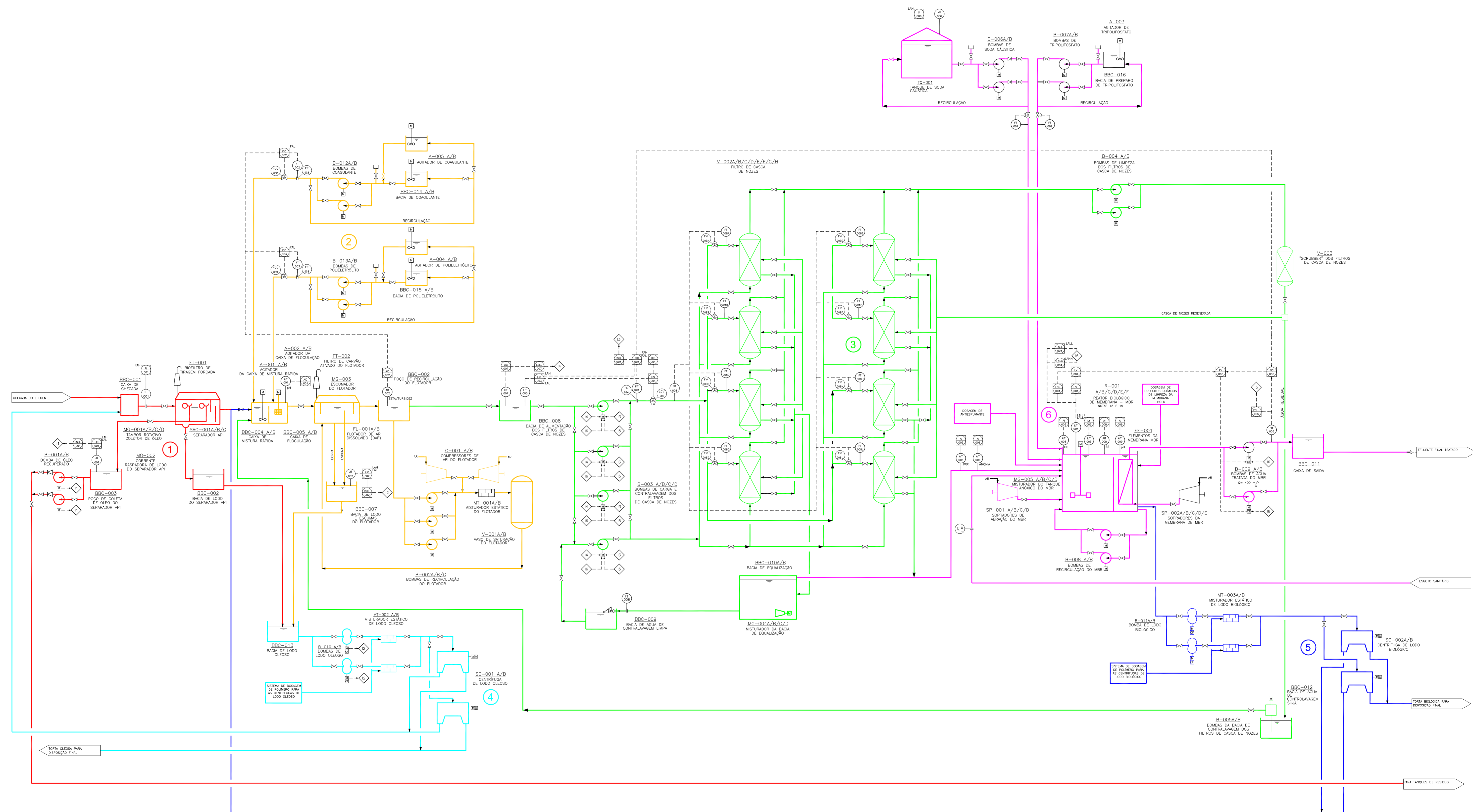
YIN, R.K. *Case study research: design and methods*. 3rd ed. Thousand Oaks: Sage, 2003.

ZAIDMAN, B. Market vulnerability in the process industries. *International Journal Production Economics*, v.34, p.57–64, 1994.

APÊNDICE A – Fluxograma de engenharia da ETDI E-1



APÊNDICE B – Fluxograma de engenharia da ETDI E-1 com a representação dos nós marcados



ANEXO A – Artigo 16 da Resolução CONAMA nº 430/2011

Seção II

Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes

Art. 16. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

I - condições de lançamento de efluentes:

a) pH entre 5 a 9;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Imhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

e) óleos e graxas:

1. óleos minerais: até 20 mg/L;

2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

II - Padrões de lançamento de efluentes:

TABELA I	
Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe

Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercurio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
fenois totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

§ 1º Os efluentes oriundos de sistemas de disposição final de resíduos sólidos de qualquer origem devem atender às condições e padrões definidos neste artigo.

§ 2º Os efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários devem atender às condições e padrões específicos definidos na Seção III desta Resolução.

§ 3º Os efluentes oriundos de serviços de saúde estarão sujeitos às exigências estabelecidas na Seção III desta Resolução, desde que atendidas as normas sanitárias específicas vigentes, podendo:

I - ser lançados em rede coletora de esgotos sanitários conectada a estação de tratamento, atendendo às normas e diretrizes da operadora do sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitários; e