

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO  
DE UMA UNIDADE DE RECUPERAÇÃO  
DE ENXOFRE EM UMA REFINARIA DE  
PETRÓLEO

HEITOR DE OLIVEIRA DUARTE

ORIENTADOR: Prof. Enrique Lopez Droguett, PhD.

RECIFE, DEZEMBRO/2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

Departamento de Engenharia de Produção

# Análise Quantitativa de Risco de uma Unidade de Recuperação de Enxofre em uma Refinaria de Petróleo

Heitor de Oliveira Duarte

Trabalho de Conclusão de Curso do aluno Heitor de Oliveira Duarte, como requisito para obtenção do grau de Engenheiro de Produção, desenvolvido no Centro de Estudos e Ensaaios de Risco e Modelagem Ambiental – CEERMA, no período de Julho a Novembro de 2009, sob orientação do professor Enrique López Droguett.

Recife, 2009

D812a Duarte, Heitor de Oliveira

Análise quantitativa de risco de uma unidade de recuperação de enxofre em uma refinaria de petróleo / Heitor de Oliveira Duarte. – Recife: O Autor, 2009.

xi, 111 folhas, il., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Enrique Lopez Droguett

TCC (graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia da Produção, 2009.

Inclui referências e apêndice.

1. Engenharia de Produção. 2. Petróleo 3. Petróleo - refinação. 4. Unidade de recuperação de enxofre (SRU). I. Droguett, Henrique Lopez (orientador). II. Título.

658.5 CDD (22. ed.)

UFPE

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pois só ele explica tudo.

Aos meus pais, Luiz e Cláudia, por me proverem condições, estímulo e aprendizado para chegar até aqui.

Ao meu orientador, Professor Doutor Enrique Lopez, pela amizade, disponibilidade, paciência, seriedade e competência, e acima de tudo, por confiar no meu potencial.

A todos os colegas do CEERMA, especialmente aos engenheiros Paulo Estevão, Marília Ramos e Evandson Mendonça, por toda a atenção e suporte, essenciais para a concretização deste trabalho.

À Petrobrás, por possibilitar o acesso aos dados para realização deste trabalho.

Aos verdadeiros professores do Departamento de Engenharia de Produção da UFPE.

E à natureza, por possibilitar condições de praticar meu esporte, para liberar as tensões e adrenalina acumuladas durante os dias de trabalho.

***“O que é que a ciência tem?  
Tem lápis de calcular.  
Que mais que a ciência tem?  
Borracha pra depois apagar.”***

Raul Seixas

## RESUMO

O petróleo é, atualmente, a principal fonte de energia do planeta. Porém, as fontes de petróleo cru de qualidade e baixo teor de impurezas estão cada vez mais escassas. Assim, as refinarias estão recorrendo a fontes de petróleo de baixa qualidade e aprimorando os seus processos cada vez mais, a fim de retirar as impurezas do petróleo e produzir combustíveis em observância com a crescente demanda do mercado. A Unidade de Recuperação de Enxofre (URE) é um processo auxiliar de uma refinaria, mas é essencial para atender às normas ambientais quanto a emissão de gases poluentes, além de produzir mais um derivado do petróleo com valor comercial: o enxofre. Entretanto, a URE opera com elevadas concentrações de  $H_2S$ . Esta substância é altamente tóxica, de modo que vazamentos da mesma constituem risco de mortes e ferimentos graves nas comunidades circunvizinhas à refinaria. A Análise Quantitativa de Riscos (AQR) permite quantificar esses riscos, de forma a contribuir para a tomada de decisão quanto às ações para redução dos mesmos. Neste sentido, o presente trabalho apresenta a metodologia AQR e aplica-a numa URE de uma refinaria de petróleo. Foram identificados qualitativamente 120 cenários acidentais na URE, dos quais 10 apresentaram alto grau de severidade. Calculou-se os alcances de vulnerabilidade desses 10 cenários mais severos através do software EFFECTS, e um deles apresentou consequências de morte fora dos limites da refinaria, devido à formação de uma nuvem tóxica de  $H_2S$  com cerca de 1700 metros de alcance e 1% de fatalidade na população exposta. Para este cenário acidental, foi estimada a frequência de ocorrência e calculados os riscos através do software RISKCURVES. Por fim, os riscos foram avaliados por meio da comparação com os limites de risco estabelecidos pela regulamentação brasileira, com a consequente aprovação, ou não, do projeto da URE.

# LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1.1 - RESUMO DAS REGULAMENTAÇÕES DE UNIDADES DE RECUPERAÇÃO DE ENXOFRE EM OUTROS PAÍSES. FONTE: ARAÚJO (2007). (ARAÚJO, 2007).....                                                                                                                                                   | 2  |
| FIGURA 2.1 - ESQUEMA BÁSICO DE REFINO. FONTE: PETROBRÁS (2006) APUD GUIMARÃES (2002). (GUIMARÃES, 2006). ....                                                                                                                                                                               | 8  |
| FIGURA 2.2 - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DA URE. FONTE: GUIMARÃES (2006).....                                                                                                                                                                                                                   | 11 |
| FIGURA 3.1 - ETAPAS PARA A ELABORAÇÃO DE UM ESTUDO DE ANÁLISE DE RISCOS. FONTE: CETESB (2000). ....                                                                                                                                                                                         | 18 |
| FIGURA 3.2 - CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE MORTE E AS RESPECTIVAS FRAÇÕES DA POPULAÇÃO MORRENDO DENTRO DE CASA E FORA DE CASA, DEVIDO À EXPOSIÇÃO A NUVENS TÓXICAS. A FUNÇÃO $F(A,B,N;C,T)$ É A FUNÇÃO PROBIT PARA A EXPOSIÇÃO A SUBSTÂNCIAS TÓXICAS. FONTE: ADAPTADO DE (CPR18E, 2005). .... | 28 |
| FIGURA 3.3 - CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE MORTE E DAS RESPECTIVAS FRAÇÕES DE POPULAÇÃO MORRENDO DENTRO E FORA DE CASA PARA A EXPOSIÇÃO A UM INCÊNDIO EM NUVEM. FONTE: ADAPTADO DE (CPR18E, 2005). ....                                                                                       | 29 |
| FIGURA 3.4 - CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE MORTE E DAS RESPECTIVAS FRAÇÕES DE POPULAÇÃO MORRENDO DENTRO E FORA DE CASA PARA A EXPOSIÇÃO A UM BLEVE, INCÊNDIO DE POÇA OU JATO DE FOGO. A FUNÇÃO PROBIT PARA RADIAÇÕES TÉRMICAS É $F(Q,T)$ . FONTE: ADAPTADO DE (CPR18E, 2005). ....            | 29 |
| FIGURA 3.5 - CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE MORTE E DAS RESPECTIVAS FRAÇÕES DE POPULAÇÃO MORRENDO DENTRO E FORA DE CASA PARA A EXPOSIÇÃO A UMA EXPLOÇÃO. FONTE: ADAPTADO DE (CPR18E, 2005). ....                                                                                               | 31 |
| FIGURA 3.6 - CURVA F-N DE TOLERABILIDADE PARA RISCO SOCIAL. FONTE: CETESB (2000). ....                                                                                                                                                                                                      | 39 |
| FIGURA 4.1 - LAYOUT DO SISTEMA A ANALISAR. A ÁREA EM DESTAQUE SE ENCONTRA AMPLIADA NA FIGURA 4.2, PARA VISUALIZAÇÃO DA UNIDADE DE RECUPERAÇÃO DE ENXOFRE. ....                                                                                                                              | 41 |
| FIGURA 4.2 - ÁREA DA UNIDADE DE RECUPERAÇÃO DE ENXOFRE NO LAYOUT DA REFINARIA. ....                                                                                                                                                                                                         | 42 |
| FIGURA 4.3 - DISTRIBUIÇÃO DOS RISCOS DOS CENÁRIOS ACIDENTAIS, EM UM TOTAL DE 120 CENÁRIOS. ....                                                                                                                                                                                             | 44 |
| FIGURA 4.4 - ROSA DOS VENTOS PARA O PERÍODO DIURNO. FONTE: EIA/RIMA REPRE-I. ....                                                                                                                                                                                                           | 48 |
| FIGURA 4.5 - ROSA DOS VENTOS PARA O PERÍODO NOTURNO. FONTE: EIA/RIMA REPRE-I. ....                                                                                                                                                                                                          | 49 |
| FIGURA 4.6 - IDENTIFICAÇÃO NO FLUXOGRAMA DO CENÁRIO ACIDENTAL QUE REPRESENTA O EI-01 (CÍRCULO EM VERMELHO). ....                                                                                                                                                                            | 61 |
| FIGURA 4.7 - ALCANCE DA NUVEM TÓXICA NO PERÍODO NOTURNO DO EI-01 PARA 1% DE FATALIDADE NA DIREÇÃO MAIS PROVÁVEL DO VENTO (NE) E COM A VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO IGUAL A 3,6 m/s. ....                                                                                                       | 62 |
| FIGURA 4.8 - ALCANCE DA NUVEM TÓXICA NO PERÍODO NOTURNO DO EI-01 PARA 1% DE FATALIDADE, EM TODAS AS DIREÇÕES DO VENTO E COM A VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO IGUAL A 3,6 m/s. ....                                                                                                               | 63 |
| FIGURA 4.9 - ALCANCE DA NUVEM TÓXICA NO PERÍODO NOTURNO DO EI-01 PARA A CONCENTRAÇÃO IDLH, EM TODAS AS DIREÇÕES DO VENTO E COM A VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO IGUAL A 3,6 m/s. ....                                                                                                            | 64 |
| FIGURA 4.10 - ALCANCE DA NUVEM TÓXICA NO PERÍODO NOTURNO DO EI-03 PARA 1% DE FATALIDADE, EM TODAS AS DIREÇÕES DO VENTO E COM A VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO IGUAL A 3,6 m/s. ....                                                                                                              | 65 |
| FIGURA 4.11 - ALCANCE DA NUVEM TÓXICA NO PERÍODO NOTURNO DO EI-03 PARA A CONCENTRAÇÃO IDLH, EM TODAS AS DIREÇÕES DO VENTO E COM A VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO IGUAL A 3,6 m/s. ....                                                                                                           | 66 |
| FIGURA 4.12 - GRÁFICO DAS ÁREAS POPULACIONAIS PRÓXIMAS AO ESTABELECIMENTO. ....                                                                                                                                                                                                             | 68 |
| FIGURA 4.13 - CURVA FN DO CENÁRIO ACIDENTAL CAUSADO PELO EI-01, ADOTADA COMO CRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DO RISCO SOCIAL. ....                                                                                                                                                                  | 69 |

FIGURA 4.14 - CURVA DE ISO-RISCO DO CENÁRIO ACIDENTAL CAUSADO PELO EI-01, ADOTADA COMO AVALIAÇÃO DO RISCO

INDIVIDUAL. OS CONTORNOS REPRESENTAM A PROBABILIDADE DE MORTE INDIVIDUAL E SEUS VALORES SÃO AQUELES DEFINIDOS NA LEGENDA DO CANTO SUPERIOR DIREITO..... 70

# LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 3.1 - MODELO DE ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO UTILIZADO PELO CEERMA. ....                                                                                                                                                                                                    | 19 |
| TABELA 3.2 - CATEGORIAS DE FREQUÊNCIA. ....                                                                                                                                                                                                                                       | 21 |
| TABELA 3.3 - CATEGORIAS DE SEVERIDADE. ....                                                                                                                                                                                                                                       | 21 |
| TABELA 3.4 - CATEGORIAS DE RISCO: TOLERÁVEL (T), MODERADO (M) OU NÃO TOLERÁVEL (NT).....                                                                                                                                                                                          | 22 |
| TABELA 3.5 - CATEGORIAS DE ESTABILIDADE EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS. ....                                                                                                                                                                                                | 23 |
| TABELA 3.6 - RUGOSIDADE MÉDIA PARA DIFERENTES SUPERFÍCIES. ....                                                                                                                                                                                                                   | 24 |
| TABELA 3.7 - O PROBIT, Pr, COMO UMA FUNÇÃO DA PROBABILIDADE, P. ....                                                                                                                                                                                                              | 26 |
| TABELA 3.8 - VALORES PARA AS CONSTANTES QUE DESCREVEM A TOXICIDADE DE UMA SUBSTÂNCIA (A, B E N). OS VALORES SÃO<br>VÁLIDOS PARA A FUNÇÃO PROBIT COM A CONCENTRAÇÃO, C (MG/M3) E O TEMPO DE EXPOSIÇÃO, T (MIN). ....                                                               | 27 |
| TABELA 3.9 - FRAÇÃO DA POPULAÇÃO PRESENTE DENTRO (FPOP,IN) E FORA DE CASA (FPOP,OUT) PARA OS PERÍODOS DO DIA (8:00 -<br>18:30) E DA NOITE (18:30 - 8:00). ....                                                                                                                    | 32 |
| TABELA 3.10 - EVENTOS DE PERDA DE MATÉRIA PARA VASOS PRESSURIZADOS EM ESTADO ESTACIONÁRIO.....                                                                                                                                                                                    | 33 |
| TABELA 3.11 - FREQUÊNCIAS DOS EVENTOS DE PERDA DE MATÉRIA PARA TANQUES E VASOS PRESSURIZADOS EM ESTADO<br>ESTACIONÁRIO.....                                                                                                                                                       | 33 |
| TABELA 3.12 - EVENTOS DE PERDA DE MATÉRIA PARA VASOS SOB PRESSÃO ATMOSFÉRICA EM ESTADO ESTACIONÁRIO.....                                                                                                                                                                          | 34 |
| TABELA 3.13 - FREQUÊNCIAS DOS EVENTOS DE PERDA DE MATÉRIA PARA TANQUES E VASOS SOB PRESSÃO ATMOSFÉRICA EM ESTADO<br>ESTACIONÁRIO. *A FREQUÊNCIA DE FALHA DE UM TANQUE MEMBRANA DEPENDE DA RESISTÊNCIA DO SEGUNDO RESERVATÓRIO,<br>DEVENDO SER ESTIMADA CASO A CASO. ....          | 35 |
| TABELA 3.14 - EVENTOS DE PERDA DE MATÉRIA PARA TUBULAÇÕES. ....                                                                                                                                                                                                                   | 35 |
| TABELA 3.15 - FREQUÊNCIAS DOS EVENTOS DE PERDA DE MATÉRIA PARA TUBULAÇÕES. ....                                                                                                                                                                                                   | 35 |
| TABELA 3.16 - : EVENTOS DE PERDA DE MATÉRIA PARA TROCADORES DE CALOR.....                                                                                                                                                                                                         | 36 |
| TABELA 3.17 - FREQUÊNCIA DOS EVENTOS DE PERDA DE MATÉRIA PARA TROCADORES DE CALOR.....                                                                                                                                                                                            | 36 |
| TABELA 4.1 - RECOMENDAÇÕES/OBSERVAÇÕES NAS APRs DA URE. ....                                                                                                                                                                                                                      | 43 |
| TABELA 4.2 - APR DOS CENÁRIOS 23 E 27. O TRECHO DO CENÁRIO 23 É A LINHA (COM 14 POLEGADAS DE DIÂMETRO) ENTRE O PRÉ-<br>AQUECEDOR DE GÁS ÁCIDO E O FORNO 1; O TRECHO DO CENÁRIO 27 É A LINHA (COM 6 POLEGADAS DE DIÂMETRO) ENTRE O<br>PRÉ-AQUECEDOR DE GÁS ÁCIDO E O FORNO 2. .... | 45 |
| TABELA 4.3 – AGRUPAMENTO DOS CENÁRIOS ACIDENTAIS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE VULNERABILIDADE E EFEITOS FÍSICOS. EM<br>NEGRITO, O CENÁRIO MAIS REPRESENTATIVO DO GRUPO, O QUAL REPRESENTA O EVENTO INICIADOR. ....                                                                | 46 |
| TABELA 4.4 – PROPORÇÃO (EM MASSA) DOS CONTAMINANTES NAS CORRENTES DOS EVENTOS INICIADORES.....                                                                                                                                                                                    | 46 |
| TABELA 4.5 - EFEITOS FÍSICOS ESTUDADOS PARA CADA EVENTO INICIADOR E A SUA JUSTIFICATIVA. ....                                                                                                                                                                                     | 47 |
| TABELA 4.6 - INFORMAÇÕES METEOROLÓGICAS MÉDIAS DA REGIÃO. ....                                                                                                                                                                                                                    | 49 |
| TABELA 4.7 - PARÂMETROS DE TOXICIDADE PARA O H2S, SO2 E NH3. ....                                                                                                                                                                                                                 | 50 |
| TABELA 4.8 - RELAÇÃO DA RADIAÇÃO TÉRMICA COM OS EFEITOS FÍSICOS. ....                                                                                                                                                                                                             | 51 |
| TABELA 4.9 – CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO ACIDENTAL DO EI-01, COM OS RESPECTIVOS ALCANCES MÁXIMOS DE EFEITOS FÍSICOS E<br>VULNERABILIDADE. ....                                                                                                                                        | 53 |

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 4.10 – CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO ACIDENTAL DO EI-02, COM OS RESPECTIVOS ALCANCES MÁXIMOS DE EFEITOS FÍSICOS E VULNERABILIDADE. ....                  | 54 |
| TABELA 4.11 - CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO ACIDENTAL DO EI-03-H <sub>2</sub> S, COM OS RESPECTIVOS ALCANCES MÁXIMOS DE EFEITOS FÍSICOS E VULNERABILIDADE. .... | 55 |
| TABELA 4.12 - CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO ACIDENTAL DO EI-03-SO <sub>2</sub> , COM OS RESPECTIVOS ALCANCES MÁXIMOS DE EFEITOS FÍSICOS E VULNERABILIDADE. .... | 56 |
| TABELA 4.13 - CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO ACIDENTAL DO EI-04-H <sub>2</sub> S, COM OS RESPECTIVOS ALCANCES MÁXIMOS DE EFEITOS FÍSICOS E VULNERABILIDADE. .... | 57 |
| TABELA 4.14 - CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO ACIDENTAL DO EI-04-NH <sub>3</sub> , COM OS RESPECTIVOS ALCANCES MÁXIMOS DE EFEITOS FÍSICOS E VULNERABILIDADE. .... | 58 |
| TABELA 4.15 - CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO ACIDENTAL DO EI-05-H <sub>2</sub> S, COM OS RESPECTIVOS ALCANCES MÁXIMOS DE EFEITOS FÍSICOS E VULNERABILIDADE. .... | 59 |
| TABELA 4.16 - CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO ACIDENTAL DO EI-05-SO <sub>2</sub> , COM OS RESPECTIVOS ALCANCES MÁXIMOS DE EFEITOS FÍSICOS E VULNERABILIDADE. .... | 60 |

## SUMÁRIO

|        |                                                                                                 |    |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Introdução.....                                                                                 | 1  |
| 1.1.   | Objetivos .....                                                                                 | 4  |
| 1.1.1. | Objetivos Gerais .....                                                                          | 4  |
| 1.1.2. | Objetivos específicos.....                                                                      | 4  |
| 1.2.   | Relevância do Trabalho .....                                                                    | 5  |
| 1.3.   | O CEERMA .....                                                                                  | 5  |
| 2.     | O Refino do Petróleo.....                                                                       | 7  |
| 2.1.   | Unidade de Recuperação de Enxofre (URE) .....                                                   | 9  |
| 2.1.1  | O Processo Claus.....                                                                           | 9  |
| 2.1.2  | Descrição do Processo na URE .....                                                              | 10 |
| 2.1.3  | Seção de Alimentação .....                                                                      | 11 |
| 2.1.4  | Forno 1 e Caldeira 1 .....                                                                      | 12 |
| 2.1.5  | Reatores, Fornos (2, 3 e 4) e Caldeiras .....                                                   | 12 |
| 2.1.6  | Incinerador .....                                                                               | 14 |
| 3.     | Metodologia de AQR .....                                                                        | 15 |
| 3.1.   | Metodologia do Critério.....                                                                    | 16 |
| 3.2.   | Etapas da AQR.....                                                                              | 16 |
| 3.3.   | Caracterização do sistema a analisar .....                                                      | 18 |
| 3.4.   | Identificação de perigos e acidentes .....                                                      | 19 |
| 3.5.   | Estimativa das consequências dos acidentes – análise de vulnerabilidade e efeitos físicos ..... | 22 |
| 3.5.1. | Condições Meteorológicas .....                                                                  | 23 |
| 3.5.2. | Topografia .....                                                                                | 23 |
| 3.5.3. | Tempo de vazamento.....                                                                         | 24 |
| 3.5.4. | Distâncias a serem consideradas .....                                                           | 24 |
| 3.5.5. | Área de poça .....                                                                              | 25 |

|          |                                                                     |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5.6.   | Modelagem dos efeitos físicos e da vulnerabilidade .....            | 25 |
| 3.5.6.1. | Funções Probit .....                                                | 26 |
| 3.5.6.2. | Exposição a nuvens tóxicas .....                                    | 27 |
| 3.5.6.3. | Fogo .....                                                          | 28 |
| 3.5.6.4. | Efeitos de pressão por explosão de nuvem de vapor .....             | 30 |
| 3.5.6.5. | Determinação da população presente .....                            | 31 |
| 3.6.     | Estimativa das frequências de ocorrência dos acidentes.....         | 32 |
| 3.6.1.   | Tanque e vasos pressurizados em estado estacionário .....           | 32 |
| 3.6.2.   | Tanques e vasos sob pressão atmosférica e estado estacionário ..... | 33 |
| 3.6.3.   | Tubulações.....                                                     | 35 |
| 3.6.4.   | Trocadores de calor .....                                           | 35 |
| 3.7.     | Estimativa e avaliação dos riscos.....                              | 36 |
| 3.7.1.   | Definição da célula .....                                           | 37 |
| 3.7.2.   | Cálculo do risco social .....                                       | 37 |
| 3.7.3.   | Cálculo do Risco Individual.....                                    | 39 |
| 4.       | Aplicação.....                                                      | 41 |
| 4.1.     | Caracterização do Sistema a Analisar.....                           | 41 |
| 4.2.     | Análise Preliminar de Risco (APR) .....                             | 42 |
| 4.3.     | Análise de vulnerabilidade e efeitos físicos.....                   | 46 |
| 4.3.1.   | Condições Ambientais e Premissas Adotadas.....                      | 48 |
| 4.3.2.   | Resultados .....                                                    | 52 |
| 4.4.     | Estimativa da frequência de ocorrência dos acidentes.....           | 67 |
| 4.5.     | Estimativa e avaliação dos riscos.....                              | 67 |
| 4.5.1.   | Definição da célula .....                                           | 67 |
| 4.5.2.   | Definição da população presente.....                                | 68 |
| 4.5.3.   | Resultados .....                                                    | 68 |
| 4.5.4.   | Avaliação dos riscos .....                                          | 71 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 5. Conclusões ..... | 72  |
| REFERÊNCIAS .....   | 74  |
| GLOSSÁRIO .....     | 75  |
| APÊNDICE .....      | 77  |
| ANEXO.....          | 111 |

## **1. INTRODUÇÃO**

O enxofre é o terceiro elemento mais abundante no petróleo cru (concentração média de 0,65% em peso, para uma faixa de 0,02 e 4,00%). Os compostos de enxofre são indesejáveis em qualquer combustível, pois provocam corrosão, contaminam catalisadores de processos de refino e determinam cor e cheiro dos produtos finais. Além disso, formam gases tóxicos como SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub> durante a combustão do produto, afetando a qualidade ambiental do mesmo. O diesel tipo B, por exemplo, vendido em regiões metropolitanas para aplicação automotiva, deve possuir no máximo 0,5% de enxofre, conforme portaria nº 28, de 20 de dezembro de 1993, do Departamento Nacional de Combustíveis – DNC. (SZKLO e ULLER, 2008)

Portanto, torna-se necessária a execução de processos de tratamento no petróleo para atender às especificações relacionadas à corrosividade, teor de enxofre, acidez, odor, formação de compostos poluentes, alteração de cor, dentre outros. Assim, para a observância ao teor de enxofre, este é retirado do petróleo na forma de gás ácido, composto em sua maioria por H<sub>2</sub>S (sulfeto de hidrogênio).

A combustão de todo o gás ácido retirado do petróleo, no caso do mesmo ser simplesmente incinerado, causaria elevada emissão de SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub> na atmosfera. Além de serem bastante tóxicos, ambos reagem com a água da atmosfera produzindo a chuva ácida, e em altas concentrações reagem com a água dos pulmões formando ácido sulfuroso que provoca hemorragias, enchendo os pulmões de sangue com a consequente asfixia.

No Brasil, os limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos para fontes fixas são estabelecidos na resolução nº 382 de 26 de dezembro de 2006, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Em seu Anexo VI, estabelece limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de refinarias de petróleo. Neste, a alínea “c” trata de definir os limites de emissões de poluentes gerados no processo das UREs. Mais especificamente, no item III, estabelece que:

As UREs devem garantir durante todo o seu ciclo de vida a eficiência de recuperação mínima de 96% de enxofre. [...] as unidades devem dispor de equipamentos e procedimentos que permitam o acompanhamento da eficiência da unidade. (CONAMA)

A eficiência de recuperação de enxofre pode ser controlada através da taxa de emissão de SO<sub>2</sub> na atmosfera.

A Figura 1.1 mostra um resumo das regulamentações de UREs em outros países.

|                       |   |                                                                                                                  |
|-----------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Canadá</b>         | → | capacidade até 50t/d deve atingir recuperação de 98,5%<br>acima de 50t/d, a exigência aumenta até 99% (2.000t/d) |
| <b>Europa</b>         | → | CE– recuperação de no mínimo 98,5%                                                                               |
| <b>Alemanha</b>       | → | capacidade acima de 50t/d deve atingir recuperação de 99,5%                                                      |
| <b>Holanda</b>        | → | adota o “conceito bolha”, a emissão de SO <sub>2</sub> não deve ultrapassar 1.500 mg/Nm <sup>3</sup>             |
| <b>Japão e Taiwan</b> | → | Japão: recuperação de 99,8 %; e Taiwan: 99,95 %                                                                  |
| <b>EUA</b>            | → | capacidade > 20t/d deve atingir recuperação de 99,9%                                                             |

**Figura 1.1 - resumo das regulamentações de Unidades de Recuperação de Enxofre em outros países.**  
Fonte: Araújo (2007).

Além dos aspectos socioambientais, a partir do gás ácido pode-se recuperar o enxofre elementar, o qual possui valor comercial. Por isso, as refinarias são responsáveis por 23,2% da produção nacional de enxofre. Ele é matéria-prima básica utilizada largamente na agricultura, consumindo 53% da produção, seguida pelas indústrias químicas (47%). O consumo está diretamente relacionado à produção de ácido sulfúrico, que por sua vez, é destinado em cerca de 70 a 80% para produção de fertilizantes. Outros importantes setores consumidores são: na produção de pigmentos inorgânicos, papel celulose, borracha, fabricação de bissulfeto de carbono, explosivos, indústria açucareira e cosmética. (TEIXEIRA, 2004)

Surge assim, a necessidade da Unidade de Recuperação de Enxofre (URE), a qual recupera o enxofre elementar contido no gás ácido, evitando a poluição ambiental e produzindo mais um derivado do petróleo que pode ser vendido no mercado.

Nesse contexto, a URE concentra grandes quantidades de H<sub>2</sub>S e enxofre. A URE paralisa suas operações devido a vazamentos de enxofre ou gás ácido. A carga de gás ácido é incinerada causando poluição ambiental, com a liberação de SO<sub>x</sub> para a atmosfera, e a paralisação da produção de enxofre elementar. Fora isso, vazamentos de H<sub>2</sub>S ou enxofre podem resultar em mortes ou ocasionar lesões irreparáveis nos seres humanos e no meio ambiente.

Em resumo, as UREs são estratégicas para cumprir os acordos ambientais, segundo os quais o gás ácido não pode mais ser simplesmente incinerado. **Hoje, parar uma URE é equivalente a parar uma refinaria**, devido às legislações ambientais estarem cada vez mais rigorosas.

A fim de apresentar exemplos práticos, segue matérias do Informativo do Sindicato dos Petroleiros de Duque de Caxias (CANDEIAS, 2008):

No dia 19/12/07, aconteceu um vazamento de gás ácido na URE -Unidade de Recuperação de Enxofre, U-3300/HGP. A unidade voltava de manutenção e houve uma ruptura na junta da XV-18. A massa de gás ácido, rica em H<sub>2</sub>S, atingiu o operador que estava realizando uma manobra do procedimento da partida da unidade, quando perdeu os sentidos, caindo de uma altura de 3 metros. [...] Houveram lesões no joelho e pálpebra e o acidente teve um grande potencial de risco. [...] No dia 27/12/07, aconteceu um acidente na nova URE, U-3350/HGP. Um operador se queimou numa manobra de desobstrução de um pote de selagem de enxofre. Este tipo de acidente ocorre frequentemente devido a erro de projeto.

Outro acidente mais recente ocorreu na refinaria de Duque de Caxias, quando em 10 de abril de 2009 uma caldeira de vapor explodiu e, por sorte, não houve vítimas, mas apenas danos tecnológicos e a inutilização da caldeira. (ROCHA, 2009)

Dessa forma, são necessárias instalações adequadas na URE, a fim de garantir a confiabilidade operacional e integridade socioambiental. Sabe-se, por exemplo, que vazamentos na URE ocorrem, frequentemente, devido à falha de equipamentos produzida por corrosão severa e generalizada, pois de acordo com Guimarães (2006, p. xvii):

Os gases presentes na carga da URE são H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub> que, em certas condições, são corrosivos aos equipamentos fabricados em aço carbono. [...] A URE não utiliza nenhum método direto de prevenção da corrosão, como revestimentos ou proteção catódica, sendo a corrosão do aço carbono prevenida pelo controle do Processo Claus de produção de enxofre.

A Análise Quantitativa de Riscos (AQR) surge, portanto, como um elemento fundamental para quantificar os riscos existentes na URE e, assim, ajudar na decisão de escolha entre as diferentes alternativas para a redução desses riscos, tornando a unidade mais segura.

Embora uma AQR vise quantificar tanto os riscos a pessoas, como os riscos ao meio-ambiente (ecológicos), este trabalho levará em consideração apenas os riscos a pessoas, i.e., a probabilidade de pessoas morrendo pela exposição a substâncias perigosas. A metodologia para a quantificação de riscos ecológicos é diferente da metodologia para a quantificação de riscos a pessoas. Além disso, encontra-se pouquíssimas referências na literatura quanto a

riscos ecológicos. Isso se deve ao fato de que riscos ecológicos envolvem danos não só a um elemento (o ser humano, como nos riscos a pessoas), mas sim a vários outros elementos, como a contaminação de lençóis freáticos, contaminação de águas na superfície, contaminação do solo, incêndio de florestas, etc.

O trabalho está dividido em 5 capítulos. O presente capítulo apresenta o tema do trabalho e o descreve em linhas gerais, bem como apresenta os objetivos do trabalho, a sua relevância e o Centro de Estudos e Ensaios em Modelagem e Análise de Risco Ambiental (CEERMA). No segundo capítulo é descrito o processo de refino de petróleo em linhas gerais, aprofundando-se no processo produtivo de uma URE. Em seguida, o capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica de AQR e seus conceitos, e a metodologia a ser usada no trabalho é definida. Depois, é feito um estudo de caso que consiste na aplicação da metodologia de AQR em uma típica URE de uma refinaria hipotética e seus resultados são mostrados, através da quantificação dos efeitos físicos e dos riscos, e avaliados, através da comparação com os limites de risco estabelecidos pela regulamentação brasileira. Por fim, o capítulo 5 refere-se às considerações finais, conclusões e propostas para trabalhos futuros.

Termos técnicos serão usados no decorrer do trabalho, os quais podem não ser de conhecimento do leitor. Caso isso aconteça, existe um glossário para consulta logo após as referências.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivos Gerais**

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma AQR em uma URE de uma refinaria de petróleo, de forma a quantificar os riscos aos quais estão expostas as comunidades circunvizinhas à refinaria.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Introduzir uma visão geral sobre o refino do petróleo;
- Explicar a importância da URE na refinaria, bem como o processo produtivo da unidade;
- Apresentar a importância da realização da AQR em uma URE;
- Descrever as informações necessárias para realização de uma AQR;
- Apresentar uma metodologia para a AQR e os métodos de cálculo para quantificar o risco;

- Avaliar qualitativamente os riscos envolvidos na operação da unidade em questão, através das Análises Preliminares de Risco;
- Explicitar as exigências estabelecidas pela regulamentação brasileira quanto ao riscos social e individual, para a aprovação ou não do empreendimento;
- Apresentar programas computacionais para a realização de AQRs;
- Quantificar os riscos inerentes à URE e avaliar os mesmos;
- Justificar a aprovação do projeto da URE através da comparação dos riscos calculados com os limites estabelecidos pela regulamentação brasileira.

## **1.2. Relevância do Trabalho**

Neste trabalho, os principais perigos e acidentes na URE foram identificados e as suas frequências e consequências de ocorrência foram estimadas. Por fim, os riscos à integridade das pessoas foram estimados, avaliados e comparados com os limites estabelecidos pela regulamentação brasileira. O trabalho é, portanto, um documento de auxílio na tomada de decisão em gerenciamento de riscos de uma refinaria, de forma a tornar a unidade mais segura. Além de ser útil para possíveis implementações tecnológicas na URE, a fim de aumentar a disponibilidade do sistema.

Portanto, a expectativa do trabalho é contribuir para a melhoria da confiabilidade da URE - e, consequentemente, da refinaria – bem como para o gerenciamento de riscos da unidade. Assim, reduzindo danos econômicos, tecnológicos, sociais e ambientais.

## **1.3. O CEERMA**

Este trabalho foi desenvolvido no Centro de Estudos e Ensaios em Risco e Modelagem Ambiental – CEERMA. Este é um centro multidisciplinar localizado no Campus da UFPE que conta com o apoio e a participação de profissionais das áreas de Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica, Oceanografia, Computação, Estatística, Engenharia Civil, Ciências Ambientais e outros. Suas atividades tiveram início em janeiro de 2009, sob coordenação do professor Enrique López Droguett.

O CEERMA é dividido em quatro núcleos:

- Núcleo de aplicações computacionais de alto desempenho (modelagem ambiental, otimização estocástica, etc.);
- Núcleo de ensaios de vibração, choque, temperatura e pressão (IWIS / SEAFOM);
- Núcleo de engenharia, desenvolvimento e integração (poços instrumentados); e

- Núcleo de realidade virtual aplicada à confiabilidade humana e desenvolvimento de protótipos.

E atua nas seguintes áreas:

- Análise de Risco:
  - o Quantificação Probabilística de Risco
  - o Propagação de Incerteza e Análise de Sensibilidade
- Análise de Consequências e Modelagem Ambiental:
  - o Modelagem Matemática de Sistemas Geofísicos
  - o Turbulência em Sistemas Geofísicos
  - o Modelagem Matemática de Ciclos Bio-Geoquímicos e Processos Toxicológicos em Sistemas Naturais
  - o Oceanografia Física
  - o Engenharia de Incêndio
- Métodos Computacionais Aplicados a Confiabilidade e Risco
- Confiabilidade e Manutenção:
  - o Confiabilidade de Equipamentos e Humana
  - o Confiabilidade de Produtos em Desenvolvimento
  - o Projeto e Análise de Testes Acelerados de Vida
  - o Otimização na Manutenção
- Otimização Estocástica e sob Incerteza

O CEERMA tem como visão a realização de pesquisas de alto nível tecnológico, publicação de dissertações de mestrado (média de cinco por ano) e teses de doutorado (média de uma por ano), mudança de cultura e geração de mão de obra especializada, criação de uma nova linha de pesquisa multidisciplinar, geração de emprego e atração de novos talentos.

O objetivo do Centro é tornar-se um dos estabelecimentos mais sofisticados e poderosos na qualificação de produtos industriais que exijam alto grau de confiabilidade, além de prover recursos computacionais avançados para cálculos complexos, como impactos socioambientais advindos de acidentes em instalações industriais.

## **2. O REFINO DO PETRÓLEO**

O petróleo é definido, de forma simplificada, como uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cor variando entre negro e castanho-claro. (SZKLO e ULLER, 2008)

O petróleo não é uma substância pura, mas uma mistura de hidrocarbonetos e impurezas. Os primeiros são compostos orgânicos formados de carbono e hidrogênio e as impurezas podem ser compostos sulfurados, compostos nitrogenados, compostos oxigenados e compostos organometálicos (metais). A composição exata da mistura – de hidrocarbonetos com contaminações variadas de enxofre, nitrogênio, oxigênio e metais – varia de acordo com o reservatório de origem do petróleo.

Para aproveitar o potencial energético do petróleo ao máximo, é preciso submetê-lo a variados processos a fim de desmembrar o petróleo cru em seus diversos derivados. Vale ressaltar que o petróleo no seu estado bruto tem quase nenhuma aplicação.

Dessa forma, a série de processos pelo qual o petróleo bruto passa para a obtenção de seus derivados é chamado de refino do petróleo. Tais processos envolvem etapas físicas e químicas de separação, que originam as grandes frações de destilação. Estas são então processadas através de uma outra série de etapas de separação e conversão que fornecem os derivados finais do petróleo.

“Refino de petróleo constitui a separação deste insumo, via processos físico-químicos, em frações de derivados, que são processados em unidades de separação e conversão até os produtos finais.” (SZKLO e ULLER, 2008)

Os produtos finais do refino são principalmente: Naftas (gasolinas), Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), Gás Combustível (GC), Diesel, Querosene de Aviação (QAV) e Óleos Combustíveis (OC). Apesar de não ser o objetivo primário, a Unidade de Recuperação de Enxofre (URE), foco deste trabalho, também produz um produto final vendido no mercado: o enxofre elementar (S), obviamente.

O desafio básico do refino do petróleo é otimizar a obtenção de tais produtos finais com alto valor comercial, na maior quantidade possível e com a melhor qualidade, processando a gama de tipos de petróleo que lhe servem de matéria-prima da forma mais econômica e racional possível. O encadeamento das diversas unidades de processo dentro de uma refinaria é, portanto, um fator essencial para tal otimização. Ao encadeamento das diversas unidades de



(emissões atmosféricas, geração de efluentes hídricos e de resíduos sólidos) e aos riscos de acidentes, bem como a poluição sonora.

O foco deste trabalho será na Unidade de Recuperação de Petróleo (URE), a qual faz parte dos processos auxiliares de refino. Estes são processos destinados a eliminar ou modificar propriedades indesejáveis associadas à presença de impurezas no petróleo bruto. No caso da URE, trata-se da remoção de contaminações oriundas de compostos que contêm enxofre.

Para maiores informações sobre os processos de separação, de conversão e de tratamento, assim como maiores detalhes acerca das outras unidades num Esquema de Refino, recomenda-se (SZKLO e ULLER, 2008).

## **2.1. Unidade de Recuperação de Enxofre (URE)**

A legislação ambiental estabelece limites máximos de emissão de  $\text{SO}_x$  (CONAMA). Além disso, é desejável que se recupere o enxofre elementar (S), o qual possui valor comercial.

Portanto, UREs são projetadas para recuperar o enxofre contido nos fluxos de gás ácido provenientes de outros processos de uma refinaria.

Considera-se neste trabalho, uma URE hipotética que foi projetada para produzir 72 toneladas de enxofre por dia, com uma flexibilidade operacional de 45% a 120%. A eficiência de recuperação de enxofre desta unidade é estimada em 97%.

Como já citado antes, o tratamento de enxofre traz os seguintes benefícios:

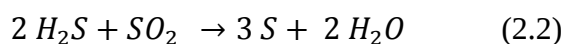
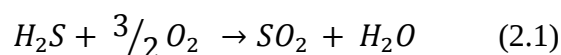
- redução da emissão de dióxido de enxofre na atmosfera, o qual seria gerado pela combustão do gás ácido, no caso do mesmo ser incinerado;
- produção de enxofre elementar, principalmente da carga de gás ácido advinda da FCC.

### **2.1.1 O Processo Claus**

Um dos métodos mais comuns de retirada de enxofre elementar de correntes de gás sulfídrico é o processo Claus. De acordo com Filho (2004), apud Guimarães (2006, p. 9):

Tal processo consiste na combustão de parte da corrente rica em gás sulfídrico, com um terço da quantidade estequiométrica de ar necessária, e posterior reação de dióxido de enxofre resultante dessa queima com gás sulfídrico restante, na presença de um catalisador de alumina, a fim de se produzir o enxofre elementar.

Dessa forma, 1/3 do H<sub>2</sub>S presente é queimado, e o restante reage com o SO<sub>2</sub> formado, segundo as reações:



A vazão de ar necessária para a reação (2.1) deve ser estequiometricamente controlada, a fim de se obter a máxima quantidade de enxofre elementar.

### 2.1.2 Descrição do Processo na URE

Para a realização deste trabalho, o autor se baseou no real fluxograma de processo de uma URE de uma refinaria da Petrobrás. Este documento é de propriedade da Petrobrás, foi disponibilizado ao CEERMA para pesquisas e possui termo de confidencialidade. Portanto, o autor não está autorizado a divulgar o documento publicamente. Neste sentido, será usado um fluxograma simplificado do processo da URE, apresentado na Figura 2.2, o qual será detalhado nas subseções seguintes.

Vale antecipar que o Tanque recebe enxofre líquido através de seis Potes de Selagem, os quais não estão ilustrados na figura. Os Potes de Selagem 1, 2, 3, 4, 5 e 6 (aqui assim denominados) servem para prevenir a passagem de gases para o Tanque, permitindo apenas a passagem de enxofre líquido. Eles se localizam, respectivamente, entre o Tanque e: Caldeira 1, Caldeira 2, Caldeira 3, Caldeira 4, Caldeira 5 e Vaso.

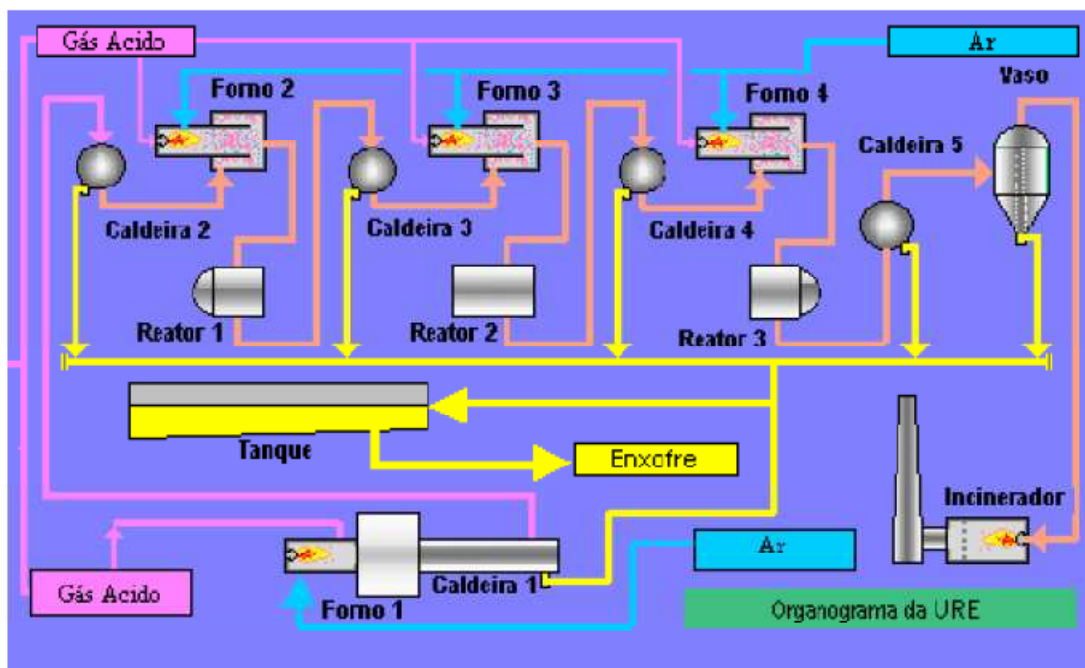


Figura 2.2 - Fluxograma simplificado da URE.  
Fonte: Guimarães (2006).

### 2.1.3 Seção de Alimentação

O gás ácido é a carga principal da URE. Gases ricos em  $\text{NH}_3$ , provenientes da Unidade de Tratamento de Águas Ácidas (UTAA), também entram na URE para serem diretamente incinerados.

O gás ácido, derivado das diversas unidades que alimentam a URE, procede para um Vaso de Gás Ácido (F-3601), onde um líquido pode ser separado por pressão diferencial e enviado para o Vaso de Gás Rico em  $\text{NH}_3$  (F-3602). No F-3602, algum líquido pode também ser separado do fluxo de gás rico em  $\text{NH}_3$  e enviado por uma bomba para a UTAA. O gás remanescente na F-3602, rico em  $\text{NH}_3$ , será enviado diretamente para o incinerador, sem qualquer processamento.

O gás ácido do F-3601 é pré-aquecido através de vapor de alta pressão refrigerada no Pré-Aquecedor de Gás Ácido. Depois, quase todo o gás ácido pré-aquecido é enviado para o Forno 1. O restante da quantidade (uma pequena parte do gás) vai para o Forno 2.

#### 2.1.4 Forno 1 e Caldeira 1

O ar (oxigênio) necessário para a reação é pré-aquecido através de vapor de alta pressão refrigerada, e enviado para o Forno 1 e Forno 2. O fluxo de ar para o Forno 1 é controlado baseado num cálculo que envolve a vazão de gás ácido, a composição do gás ácido e a quantidade de  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{SO}_2$  contida no gás efluente da Caldeira 5, tudo analisado continuamente. Esse cálculo permite o ajuste restrito da vazão total de ar, como também do balanceamento de ar enviado para o Forno 1 e o Forno 2.

No Forno 1, cerca de um terço de  $\text{H}_2\text{S}$  presente no gás ácido é queimado na presença de ar em quantidades estequiométricas, de acordo com as reações (2.1) e (2.2).

Acoplada ao Forno 1, está a Caldeira 1, que gera vapor de média pressão, resfriando o gás da reação a uma temperatura de  $300^\circ\text{C}$ . A Caldeira 1 opera sob controle de pressão. Em seguida, enxofre líquido é retirado da Caldeira 1 e enviado para o Pote Selador 1, que drena o enxofre para o Tanque. Como já dito na seção 3.2, o Pote Selador 1, como os outros potes, previne a passagem de gás ácido para o Tanque. A Caldeira 1, como as outras caldeiras, funciona como uma condensadora do enxofre na fase vapor (ponto de ebulição do enxofre  $446,6^\circ\text{C}$ ), formando enxofre na fase líquida.

#### 2.1.5 Reatores, Fornos (2, 3 e 4) e Caldeiras

O gás efluente (fração não condensada) da Caldeira 1 procede para o 1º condensador de enxofre (Caldeira 2), onde o gás é novamente resfriado e enxofre líquido é formado, separado do gás e flui para o Pote Selador 2 e, em seguida, para o Tanque. O calor removido do gás na Caldeira 2 é usado para gerar vapor de baixa pressão.

Como já citado, uma porção do gás ácido que entra na URE é enviado para o Forno 2, onde haverá a combustão com ar em quantidades estequiométricas, segundo as reações (2.1) e (2.2). Então, ele é misturado com o gás frio vindo da Caldeira 2. Existem controladores responsáveis pelo ajuste na vazão de ar para o Forno 2. Esses controladores operam recebendo informações sobre a vazão e composição do gás ácido e calculando a vazão de ar requerida para a combustão dessa vazão de gás ácido. O gás reaquecido procede para o Reator 1, onde a reação de formação do enxofre continua, vide reações (2.1) e (2.2). Desta vez, porém, na presença de um catalisador de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

A gás de saída do Reator 1 passa através de um 2º condensador de enxofre (Caldeira 3), onde o enxofre produzido no reator é condensado, separado do gás e enviado para o Tanque via o Pote Selador 3. Vapor de baixa pressão também é gerado na Caldeira 3.

O gás efluente da Caldeira 3 é reaquecido no Forno 3. O gás reaquecido procede para o Reator 2, onde as reações (2.1) e (2.2) continuam a ocorrer, na presença de um catalisador de alumina. O Forno 3 usa vapor de alta pressão refrigerada como fluido de aquecimento.

O fluxo saindo do Reator 2 é enviado para um 3º condensador (Caldeira 4), na qual mais enxofre é condensado e separado do fluxo gasoso, gerando uma quantidade adicional de vapor de baixa pressão. O enxofre líquido é enviado para o Tanque, passando através do Pote Selador 4. A pressão no tubo de comunicação de vapor de baixa pressão nos três condensadores (Caldeira 2, 3 e 4) é controlado por um controlador de pressão.

O gás efluente da Caldeira 4 é mais uma vez reaquecido com vapor de alta pressão no Forno 4 e procede para o Reator 3. A conversão para enxofre neste terceiro estágio ainda é considerável, mas não há justificativa para outro reator em sequência. O catalisador usado no Reator 3 também é alumina.

A temperatura do gás ácido na saída dos reaquecedores (Forno 1 e Forno 2) é controlada para evitar a condensação de enxofre sobre os catalisadores no Reator 2 e Reator 3.

O efluente do Reator 3 é finalmente resfriado a uma temperatura de 132°C num 4º condensador (Caldeira 5). É importante controlar a temperatura do efluente de saída da Caldeira 5, porque valores maiores que 140°C aumentam a quantidade de enxofre gasoso no fluxo a ser incinerado, enquanto que temperaturas abaixo de 120°C podem causar a formação de enxofre sólido, podendo causar o entupimento da caldeira. O enxofre líquido que sai da Caldeira 5 vai para o Pote Selador 5 e daí para o Tanque.

O gás residual que deixa o condensador final flui para um vaso coalescedor, onde se processa a última recuperação. Neste, pouco enxofre líquido ainda pode ser recuperado e enviado para o Tanque, através do Pote de Selagem 6.

Todas as correntes de enxofre condensadas são reunidas indo para o tanque de enxofre.

### 2.1.6 Incinerador

Por fim, o gás residual do vaso coalescedor ainda contém restos de compostos de enxofre, o qual é enviado junto com o fluxo de gás rico em  $\text{NH}_3$  proveniente da Unidade HDS para o incinerador, onde o gás é totalmente queimado na presença de ar adicional, e transformado em  $\text{SO}_2$ .

A temperatura apropriada para a combustão é mantida através da queima contínua de gás combustível. Por fim, os gases fluem da base do incinerador para uma chaminé de grande altura, sendo lançados na atmosfera.

### **3. METODOLOGIA DE AQR**

De acordo com a AICHE (2000), risco é uma combinação de evento, probabilidade e consequências: uma medida de consequências a humanos e meio ambiente e de perdas econômicas em termos da probabilidade do acidente e a magnitude das consequências.

Uma Análise Quantitativa de Riscos (AQR) permite medir os riscos quantitativamente, abrangendo desde os incidentes frequentes e de pequenas consequências até os eventos raros de maiores consequências. Com isso, a AQR tem por objetivo principal servir como base para a tomada de decisões relacionadas com a segurança da instalação, bem como das comunidades circunvizinhas e do meio-ambiente. A grande motivação para a realização de uma AQR é que sejam adotadas ações de gerenciamento de risco, com base nos resultados da AQR, de modo a tornar a instalação industrial mais segura.

Dessa forma, a AQR serve para quantificar os riscos existentes na instalação e, assim, ajudar na decisão de escolha entre as diferentes alternativas para a redução desses riscos. As alternativas para a redução dos riscos podem ser avaliadas quantitativamente e comparadas entre si de acordo com os seus custos de implementação, através de uma análise custo-benefício.

A AQR é, portanto, um dos elementos fundamentais para um programa de gerenciamento de riscos, permitindo que a alocação de recursos para a redução dos riscos seja justificada.

Além disso, a AQR também pode ser executada devido a exigências do órgão regulamentador nos processos de concessão ou renovação de licenciamento ambiental para a instalação. Como de acordo com CETESB (2000, p. 2).

No Brasil, em particular no Estado de São Paulo, com a publicação da Resolução Nº 1, de 23/01/86, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que instituiu a necessidade de realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, os estudos de análise de riscos passaram a ser incorporados nesse processo, para determinados tipos de empreendimentos, de forma que, além dos aspectos relacionados com a poluição crônica, também a prevenção de acidentes maiores fosse contemplada no processo de licenciamento.

Finalmente, a AQR determina o valor do risco originado por um acidente tecnológico, como resultado do produto da probabilidade de ocorrência do acidente por um dano associado ao mesmo.

A metodologia proposta aqui vale somente para a avaliação de riscos a pessoas. Como citado na seção 1, a metodologia para análise de riscos ecológicos é distinta.

### **3.1. Metodologia do Critério**

CETESB (2000) define uma metodologia, chamada de metodologia do critério, com o objetivo de decidir quanto a necessidade ou não da realização dos estudos de análise de riscos, quanto ao momento em que os mesmos devem ser solicitados e em que nível de detalhamento devem ser realizados.

Ainda de acordo com CETESB (2000), para os empreendimentos listados a seguir, sempre deverá ser solicitada a elaboração de estudos de análise de riscos durante o processo de licenciamento ambiental. Assim, nesses empreendimentos não há a necessidade da aplicação da metodologia do critério para a tomada dessa decisão. São eles:

- Sistemas de dutos, externos à instalações industriais, destinados ao transporte de petróleo, derivados, gases ou outras substâncias químicas;
- Plataformas de exploração de petróleo e/ou gás.,

Portanto, no caso dessa pesquisa, fica clara a necessidade da elaboração de uma AQR, por se tratar de uma refinaria, onde há o transporte de petróleo e derivados via sistema de dutos. Mais especificamente, a pesquisa se limitará a uma AQR na URE, onde também existe a entrada e saída de petróleo/derivados via sistema de dutos, dispensando a utilização da metodologia do critério.

### **3.2. Etapas da AQR**

A AQR procura identificar todos os cenários de acidente que podem vir a ocorrer em uma determinada instalação, quantificando a frequência esperada de ocorrência e as consequências associadas com cada um destes cenários. O risco pode ser caracterizado por um conjunto de três elementos.

O primeiro elemento fornece a descrição completa do cenário de acidente, identificando a causa básica do acidente (evento iniciador do acidente) e a evolução do acidente em função do desempenho dos sistemas de proteção existentes na instalação e das situações subsequentes que caracterizam o cenário de acidente. O segundo elemento corresponde à frequência esperada de ocorrência do cenário de acidente. O terceiro elemento corresponde às consequências

indesejadas previstas no caso de ocorrência deste cenário. Conhecendo-se estes três elementos, os riscos da instalação ficam perfeitamente caracterizados.

A realização de uma AQR pode ser dividida em 5 etapas, são elas:

- 1) Caracterização do sistema a analisar;
- 2) Identificação de perigos e acidentes;
- 3) Estimativa das consequências dos acidentes – análise de vulnerabilidade e efeitos físicos;
- 4) Estimativa das frequências de ocorrência dos acidentes;
- 5) Estimativa e avaliação dos riscos.

A Figura 3.1 ilustra as etapas para a realização de uma AQR, chegando até o programa de gerenciamento de riscos.

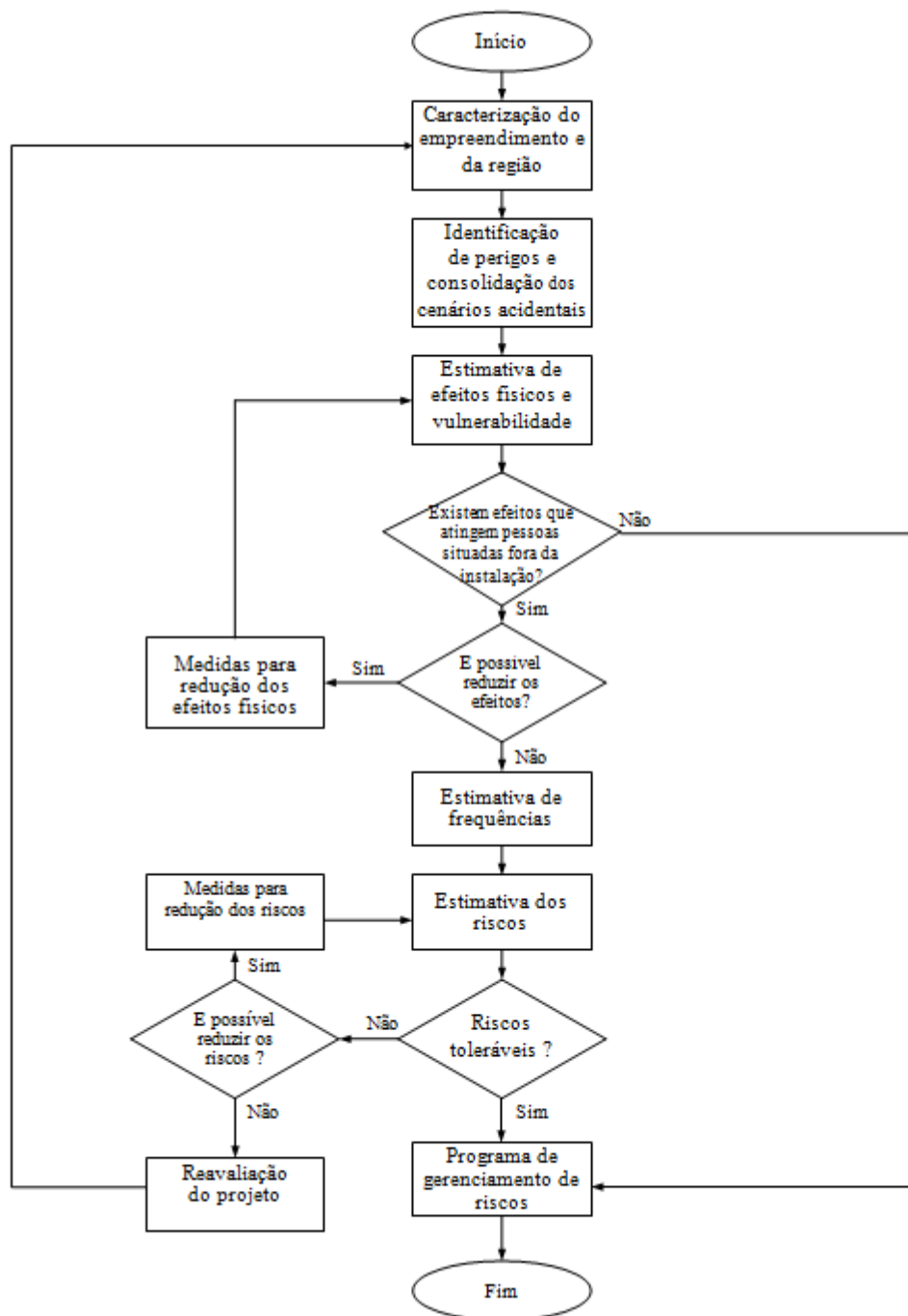


Figura 3.1 - Etapas para a elaboração de um estudo de análise de riscos.  
Fonte: CETESB (2000).

### 3.3. Caracterização do sistema a analisar

Nesta etapa são estabelecidos os limites do estudo, com definição das fronteiras, objetivos e escopo. São descritos os riscos a serem analisados, como, por exemplo, risco à população externa ao empreendimento, risco ao meio-ambiente, à imagem do estabelecimento, etc.

O empreendimento a ser analisado deve ser caracterizado em relação à localização e descrição física e geográfica da região, distribuição populacional da região; descrição física e lay-out, em escala, da instalação; características climáticas e meteorológicas da região; substâncias químicas utilizadas identificadas através de nomenclatura oficial e número CAS; descrição do processo e rotinas operacionais; apresentação de plantas baixas das unidades e fluxogramas de processos, de instrumentação e de tubulações; sistemas de proteção e segurança. (CETESB, 2000)

### 3.4. Identificação de perigos e acidentes

A identificação de perigos é uma etapa qualitativa da análise de risco, e objetiva identificar todos os eventos iniciadores de incidentes, com consolidação dos cenários acidentais e uma hierarquização dos riscos associados.

A Análise Preliminar de Risco (APR) é uma das técnicas mais comuns de identificação de perigos. Teve origem no programa de segurança militar do Departamento de Defesa dos EUA, e tem por objetivo identificar os perigos presentes numa instalação, que podem ser ocasionados por eventos indesejáveis. (CETESB, 2000)

Uma APR deve conter o risco, a causa associada, os efeitos físicos, a categoria de severidade e observações e recomendações, de acordo com a CETESB (2000), podendo ainda conter outras informações relevantes. A Tabela 3.1 ilustra o modelo de APR utilizado pelo CEERMA.

**Tabela 3.1 - Modelo de Análise Preliminar de Risco utilizado pelo CEERMA.**

| Análise Preliminar de Risco (APR) |                  |                   |                               |           |          |           |                             |          |
|-----------------------------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------------------|----------|
| Unidade:                          |                  | Sistema:          |                               |           | Trecho:  |           |                             |          |
| Referência:                       |                  |                   |                               |           |          |           | Data:                       | Revisão: |
| Perigos Identificados             | Causas Prováveis | Efeitos Possíveis | Modo de Detecção/Salvaguardas | at. Freq. | at. Sev. | at. Risco | Recomendações / Observações | Cenário  |
|                                   |                  |                   |                               |           |          |           |                             |          |

Segue abaixo a descrição das informações a serem preenchidas segundo o modelo acima:

1. Unidade: Identifica a unidade do empreendimento, como, por exemplo, Unidade de Recuperação de Enxofre.
2. Sistema: Função específica de um conjunto de equipamentos, acessórios e tubulações dentro da unidade, como Reação, Fracionamento, Carga.
3. Trecho: Identifica o trecho contido no cenário analisado, com suas delimitações (ex.: da Caldeira 2 até o Forno 2) .
4. Referência: Identificação da folha do fluxograma de engenharia utilizada para elaboração da APR
5. Data: Data da elaboração da APR em seu estado final, após a última revisão
6. Revisão: Indica a quantidade de vezes que a APR teve que passar por uma revisão por requerimento da empresa ou do órgão pertinente.
7. Perigos Identificados: Possíveis eventos iniciadores com potencial para causar danos às instalações, operadores, público ou meio ambiente. Contém identificação do fluido como inflamável e/ou tóxico, respectiva temperatura e pressão
8. Causas Prováveis: Descrição das causas que podem levar ao perigo identificado, como fissura ou ruptura em determinada linha ou equipamento
9. Efeitos Possíveis: Possíveis efeitos físicos oriundos do evento, como queimaduras, incêndio em poça, BLEVE.
10. Modo de Detecção/Salvuardas: Detecção da ocorrência do evento iniciador através de instrumentação ou detecção humana.
11. Categoria de Frequência: Classificação do evento quanto à sua frequência, de acordo com a Tabela 3.2.
12. Categoria de Severidade: classificação do evento quanto à severidade, conforme Tabela 3.3.
13. Categoria do Risco: Indicação qualitativa do nível de risco de cada cenário, resultado do cruzamento das categorias de Frequência e de Severidade, conforme ilustrado na Tabela 3.4. O risco é qualificado como Tolerável (T), Moderado (M) ou Não Tolerável (NT). Para riscos toleráveis, não há necessidade de medidas adicionais, sendo a monitoração necessária e suficiente para garantir que os controles sejam mantidos. Para riscos qualificados como moderados, devem ser avaliados controles adicionais, objetivando redução dos riscos. A classificação como riscos não toleráveis é uma indicação de que os controles existentes são insuficientes. Devem ser considerados métodos alternativos para redução da probabilidade de ocorrência e de consequências.

14. Recomendações/observações: Recomendações de medidas preventivas ou mitigadores que devem ser tomadas de modo a diminuir a frequência e/ou severidade do cenário.
15. Cenário: Número de identificação do cenário.

*Tabela 3.2 - Categorias de Frequência.*

| Categoria                              | Descrição                                                                                                     |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b><br><b>Extremamente Remota</b> | Conceitualmente possível, mas extremamente improvável na vida útil da instalação. Sem referências históricas. |
| <b>B</b><br><b>Remota</b>              | Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação, apesar de haver referências históricas.               |
| <b>C</b><br><b>Pouco Provável</b>      | Possível de ocorrer até uma vez durante a vida útil da instalação.                                            |
| <b>D</b><br><b>Provável</b>            | Esperado ocorrer mais de uma vez durante a vida útil da instalação.                                           |
| <b>E</b><br><b>Frequente</b>           | Esperado ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação.                                              |

Fonte: Petrobrás (2008).

*Tabela 3.3 - Categorias de Severidade.*

| Categoria                        | Descrição                                                                               |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>I</b><br><b>Desprezível</b>   | Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros, sem afastamento.                  |
| <b>II</b><br><b>Marginal</b>     | Lesões leves em empregados e terceiros. Ausência de lesões extramuros.                  |
| <b>III</b><br><b>Crítica</b>     | Lesões de gravidade moderada em pessoas intramuros. Lesões leves em pessoas extramuros. |
| <b>IV</b><br><b>Catastrófica</b> | Provoca morte ou lesões graves em 1 ou mais pessoas intra ou extramuros.                |

Fonte: Petrobrás (2008).

*Tabela 3.4 - Categorias de Risco: Tolerável (T), Moderado (M) ou Não Tolerável (NT).*

|                          |     | Categorias de Frequência |   |    |    |    |
|--------------------------|-----|--------------------------|---|----|----|----|
|                          |     | A                        | B | C  | D  | E  |
| Categorias da severidade | IV  | M                        | M | NT | NT | NT |
|                          | III | T                        | M | M  | NT | NT |
|                          | II  | T                        | T | M  | M  | M  |
|                          | I   | T                        | T | T  | T  | M  |

Fonte: Petrobrás (2008).

Identificados todos os perigos do objeto de estudo, devem ser claramente elencados os cenários acidentais considerados, os quais serão estudados detalhadamente nas etapas posteriores do trabalho. “Para tanto, deve-se estabelecer claramente o critério considerado para a escolha dos cenários acidentais considerados relevantes, levando-se em conta a severidade do dano decorrente da falha identificada.” (CETESB, 2000, p. 18)

### 3.5. Estimativa das consequências dos acidentes – análise de vulnerabilidade e efeitos físicos

De acordo com CETESB (2000, p. 40), análise de vulnerabilidade significa:

Estudo realizado por intermédio de modelos matemáticos para a previsão dos impactos danosos às pessoas, [...] para os efeitos de sobrepressão decorrentes de explosões, radiações térmicas decorrentes de incêndios e efeitos tóxicos de emissões agudas de substâncias químicas na atmosfera.

Os efeitos físicos deverão ser estimados via a aplicação de modelos matemáticas que simulem a ocorrência de liberações de substâncias inflamáveis e tóxicas, de acordo com os diferentes fenômenos para cada acidente.

Para a correta estimativa dos efeitos físicos, são necessários uma série de pressupostos que servem como informação essencial. Para este trabalho, serão importantes as informações brevemente descritas nas seções seguintes.

A modelagem dos efeitos físicos e vulnerabilidade serão descritos na subseção 3.6.2.

### 3.5.1. Condições Meteorológicas

Dados meteorológicos reais do local em estudo, considerando-se no mínimo, os dados dos últimos três anos, tais como (CETESB, 2000):

- temperatura ambiente, velocidade do vento e umidade relativa do ar: adotar a média para os períodos diurno e noturno;
- categoria de estabilidade atmosférica (Pasquill): adotar aquelas compatíveis com as velocidades de vento para os períodos diurno e noturno, de acordo com a Tabela 3.5;
- direção do vento: adotar pelo menos oito direções com suas respectivas probabilidades de ocorrência.

A temperatura do solo deverá ser considerada como sendo de 5 °C acima da temperatura ambiente.

*Tabela 3.5 - Categorias de estabilidade em função das condições atmosféricas.*

| Velocidade do vento (V) a 10 m (m/s) | Período diurno |          |       | Período noturno        |           |
|--------------------------------------|----------------|----------|-------|------------------------|-----------|
|                                      | Insolação      |          |       | Nebulosidade           |           |
|                                      | Forte          | Moderada | Fraca | Parcialmente encoberto | Encoberto |
| $V \leq 2$                           | A              | A – B    | B     | F                      | F         |
| $2 < V \leq 3$                       | A – B          | B        | C     | E                      | F         |
| $3 < V \leq 5$                       | B              | B – C    | C     | D                      | E         |
| $5 < V \leq 6$                       | C              | C – D    | D     | D                      | D         |
| $V > 6$                              | C              | D        | D     | D                      | D         |

A – extremamente instável; B – moderadamente instável; C – levemente instável; D – neutra; E – levemente estável; F – moderadamente estável.

Fonte: adaptado de Gifford (1976) apud CETESB (2000).

### 3.5.2. Topografia

“O parâmetro relacionado com a topografia de uma região é denominado rugosidade da superfície do solo, o qual considera a presença de obstáculos, tais como aqueles encontrados em áreas urbanas, industriais ou rurais.” (CETESB, 2000, p. 19)

Os valores típicos de rugosidade para diferentes superfícies que deverão ser adotados são dados pela Tabela 3.6. Estes vão influir no cálculo de incêndio em poça e de evaporação de poça. Quanto maior a rugosidade do solo, mais lento é o espalhamento do líquido.

*Tabela 3.6 - rugosidade média para diferentes superfícies.*

| Tipo de superfície                    | Rugosidade Média (m) |
|---------------------------------------|----------------------|
| <b>superfície marítima</b>            | 0,06                 |
| <b>área plana com poucas árvores</b>  | 0,07                 |
| <b>área rural aberta</b>              | 0,09                 |
| <b>área pouco ocupada</b>             | 0,11                 |
| <b>área de floresta ou industrial</b> | 0,17                 |
| <b>área urbana</b>                    | 0,33                 |

Fonte: CETESB (2000)

### 3.5.3. Tempo de vazamento

CPR18E (2005) estabelece valores padrões como diretrizes para o tempo de detecção do vazamento mais o tempo de operação do sistema de bloqueio, o que determina o tempo total de vazamento. Para isso, três diferentes tipos de sistemas de bloqueio são distinguidos:

- Sistema de bloqueio automático: a detecção do vazamento e o fechamento das válvulas de bloqueio são completamente automáticos. Nenhum operador humano é necessário.
  - o Tempo de vazamento = 2 minutos.
- Sistema de bloqueio a controle remoto: a detecção do vazamento é completamente automática. A detecção resulta num sinal numa sala de controle, onde um operador valida o sinal e fecha as válvulas de bloqueio através de uma chave.
  - o Tempo de vazamento = 10 minutos.
- Sistema de bloqueio manual: a detecção do vazamento é completamente automática. A detecção resulta num sinal numa sala de controle, onde um operador valida o sinal, vai para o local das válvulas de bloqueio e fecha-as manualmente.
  - o Tempo de vazamento = 30 minutos.

### 3.5.4. Distâncias a serem consideradas

“Para cada cenário acidental estudado as distâncias a serem apresentadas deverão sempre serem consideradas a partir do ponto onde ocorreu a liberação da substância.” (CETESB, 2000, p. 21)

Para os cenários envolvendo incêndios, tais como BLEVE, incêndio em poça (*pool fire*) e jato de fogo (*jet fire*), as distâncias consideradas são aquelas correspondentes ao nível de radiação térmica  $Q = 3 \text{ kW/m}^2$ ,  $Q = 12,5 \text{ kW/m}^2$ ,  $Q = 37,5 \text{ kW/m}^2$ .

Já no caso de incêndio em nuvem (*flash fire*), a distancia de interesse será aquela atingida pela nuvem de concentração referente ao *Limite Inferior de Inflamabilidade (LII)*. Portanto, o envelope da chama de um incêndio em nuvem é igual ao LII no momento da ignição.

Para o evento de explosão de nuvem de vapor, o modelo de cálculo da explosão utilizado fornecerá a informação da distância para os níveis de 0,1 bar e 0,3 bar de sobrepressão, acrescida da distância equivalente ao ponto médio da nuvem de vapor.

#### 3.5.5. Área de poça

CETESB (2000) estabelece que caso o volume da substância vazante seja suficiente para ocupar toda a bacia de contenção do reservatório, a área de poça deverá ser aquela igual à área da base da bacia de contenção. Caso contrário, a área de poça deverá ser determinada considerando-se uma altura de 3 centímetros.

#### 3.5.6. Modelagem dos efeitos físicos e da vulnerabilidade

A estimativa dos efeitos físicos e da vulnerabilidade são baseadas na liberação e dispersão de substâncias perigosas no ambiente. Esta seção vai descrever os modelos matemáticos para determinar a probabilidade de morte dada a exposição a substâncias perigosas, bem como a fração da população para a qual a exposição é fatal. Toda a seção é uma adaptação de CPR18E (2005).

Para expressar os efeitos letais, dois parâmetros serão usados ao longo desta seção:

- a probabilidade de morte  $P_E$ , que indica a probabilidade de um indivíduo morrer pela exposição. Assume-se que o indivíduo está fora de casa (*outdoors*) e desprotegido. Esse parâmetro será usado no cálculo do Risco Individual.
- a fração da população morrendo  $F_E$ , que indica a fração da população morrendo numa certa localidade devido à exposição. Pelo menos parte da população é protegida por estar dentro de casa (*indoors*) e usar roupas de proteção. Por esse motivo, dois valores são usados,  $F_{E,in}$  e  $F_{E,out}$ , para denotar, respectivamente, frações da população morrendo dentro e fora de casa. Os parâmetros  $F_{E,in}$  e  $F_{E,out}$ , serão usados no cálculo do Risco Social.

Os termos “dentro de casa” e “fora de casa” provêm do inglês: *indoors* e *outdoors*. Eles serão usados neste trabalho para indicar indivíduos dentro de alguma edificação e ao ar livre, respectivamente. O termo “casa” não se refere, necessariamente, ao lar do indivíduo, podendo ser qualquer tipo de abrigo (trabalho, escola, lar, etc.), por onde a névula tóxica entra apenas através das aberturas para ventilação (janelas, portas, condicionamento de ar, etc).

#### 3.5.6.1. Funções Probit

O cálculo o Risco Individual e do Risco Social envolve o cálculo da probabilidade de morte de um indivíduo exposto a um determinado impacto, ou seja, vulnerável. A probabilidade de morte é calculada através de funções probit. A relação entre a probabilidade de um efeito,  $P$ , e a sua função probit correspondente,  $Pr$ , é dada por:

$$P = 0,5 \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{Pr - 5}{\sqrt{2}} \right) \right]$$

Onde:

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

Para uso prático, a probabilidade de um efeito,  $P$ , e a sua probit correspondente,  $Pr$ , já foram relacionadas, de acordo com a Tabela 3.7.

*Tabela 3.7 - O probit,  $Pr$ , como uma função da probabilidade,  $P$ .*

| P          | 0    | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>0</b>   | -    | 2.67 | 2.95 | 3.12 | 3.25 | 3.36 | 3.45 | 3.52 | 3.59 | 3.66 |
| <b>0.1</b> | 3.72 | 3.77 | 3.82 | 3.87 | 3.92 | 3.96 | 4.01 | 4.05 | 4.08 | 4.12 |
| <b>0.2</b> | 4.16 | 4.19 | 4.23 | 4.26 | 4.29 | 4.33 | 4.36 | 4.39 | 4.42 | 4.45 |
| <b>0.3</b> | 4.48 | 4.50 | 4.53 | 4.56 | 4.59 | 4.61 | 4.64 | 4.67 | 4.69 | 4.72 |
| <b>0.4</b> | 4.75 | 4.77 | 4.80 | 4.82 | 4.85 | 4.87 | 4.90 | 4.92 | 4.95 | 4.97 |
| <b>0.5</b> | 5.00 | 5.03 | 5.05 | 5.08 | 5.10 | 5.13 | 5.15 | 5.18 | 5.20 | 5.23 |
| <b>0.6</b> | 5.25 | 5.55 | 5.58 | 5.61 | 5.64 | 5.67 | 5.71 | 5.74 | 5.77 | 5.81 |
| <b>0.7</b> | 5.52 | 5.55 | 5.58 | 5.61 | 5.64 | 5.67 | 5.71 | 5.74 | 5.77 | 5.81 |
| <b>0.8</b> | 5.84 | 5.88 | 5.92 | 5.95 | 5.99 | 6.04 | 6.08 | 6.13 | 6.18 | 6.23 |
| <b>0.9</b> | 6.28 | 6.34 | 6.41 | 6.48 | 6.55 | 6.64 | 6.75 | 6.88 | 7.05 | 7.33 |

Fonte: CPR18E (2005)

### 3.5.6.2. Exposição a nuvens tóxicas

A probabilidade de morte devido à exposição a uma nuvem tóxica,  $P_E$ , é calculada com o uso de uma função probit e a relação da Tabela 3.7. A função probit utilizada para a morte devido à exposição tóxica é dada por:

$$Pr = a + b \times \ln \left( \int C^n dt \right)$$

com,

Pr      probit correspondente à probabilidade de morte

a, b, n    constantes que descrevem a toxicidade da substância

C      concentração ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

t tempo de exposição (minutos)

A Tabela 3.8 mostra valores para as constantes as quais descrevem a toxicidade de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ .

*Tabela 3.8 - valores para as constantes que descrevem a toxicidade de uma substância (a, b e n). Os valores são válidos para a função probit com a concentração, C ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) e o tempo de exposição, t (min).*

| Substância            | a     | b | n   |
|-----------------------|-------|---|-----|
| Amônia                | -15,6 | 1 | 2   |
| Dióxido de enxofre    | -19,2 | 1 | 2,4 |
| Sulfeto de hidrogênio | -11,5 | 1 | 1,9 |

Fonte: CPR18E (2005)

Caso a concentração, C, seja constante durante o tempo de exposição, t, a probit fica simplificada na forma:

$$Pr = a + b \times \ln(C^n \times t)$$

O tempo de exposição é limitado a um máximo de 30 minutos, a partir da chegada da nuvem tóxica no local.

Para determinar o contorno da nuvem tóxica, serão consideradas as seguintes concentrações:

- IDLH (*Immediately Dangerous to Life or Health*): concentração máxima à qual uma pessoa pode ficar exposta por um período de exposição de 30 minutos sem causar prejuízos irreparáveis a sua saúde;
- Probabilidade de morte,  $P_E$ , igual a 1% em todos os pontos do contorno.

Permanecer dentro de casa reduz a dose tóxica, pois a concentração dentro de casa é menor do que fora, durante a passagem da nuvem. Esse efeito pode ser contabilizado por um fator de 0,1 multiplicado a fração de pessoas morrendo dentro de casa.

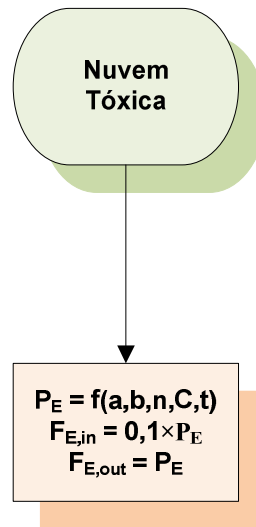


Figura 3.2 - Cálculo da probabilidade de morte e as respectivas frações da população morrendo dentro de casa e fora de casa, devido à exposição a nuvens tóxicas. A função  $f(a,b,n;C,t)$  é a função probit para a exposição a substâncias tóxicas.

Fonte: Adaptado de (CPR18E, 2005).

### 3.5.6.3. Fogo

A probabilidade de morte,  $P_E$ , devido a um incêndio em nuvem (*flash fire*) e as respectivas frações de pessoas morrendo dentro e fora de casa,  $F_{E,in}$  e  $F_{E,out}$ , é dada pela Figura 3.3.

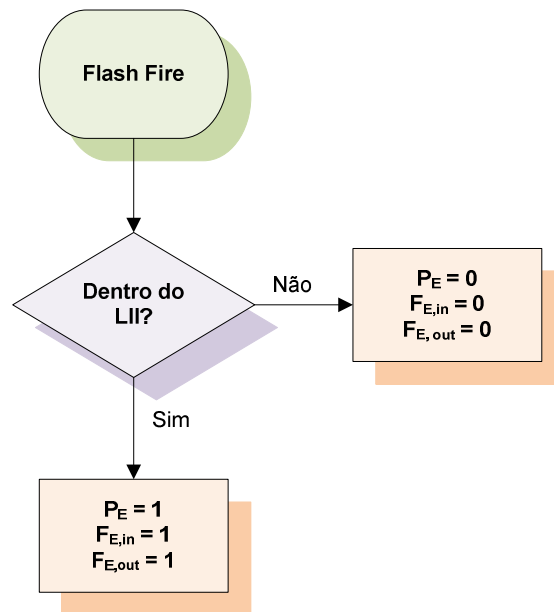


Figura 3.3 - cálculo da probabilidade de morte e das respectivas frações de população morrendo dentro e fora de casa para a exposição a um incêndio em nuvem.

Fonte: Adaptado de (CPR18E, 2005).

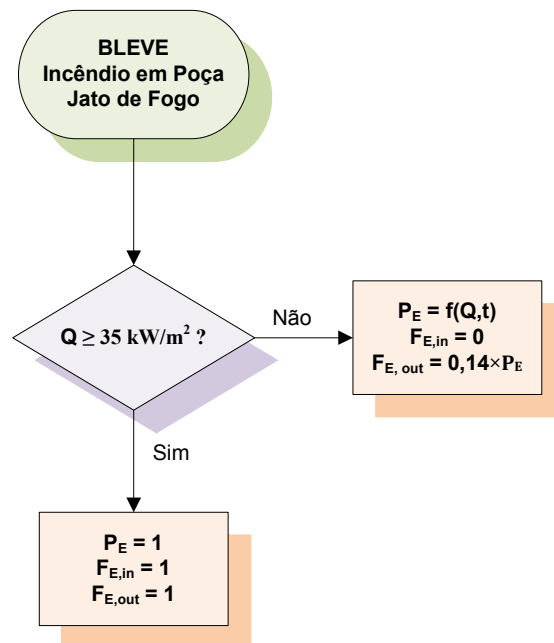


Figura 3.4 - cálculo da probabilidade de morte e das respectivas frações de população morrendo dentro e fora de casa para a exposição a um BLEVE, incêndio de poça ou jato de fogo. A função probit para radiações térmicas é  $f(Q,t)$ .

Fonte: Adaptado de (CPR18E, 2005).

No caso de exposição a BLEVE, jato de fogo ou incêndio de poça, a probabilidade de morte,  $P_E$ , e as respectivas frações de pessoas morrendo dentro e fora de casa,  $F_{E,in}$  e  $F_{E,out}$ , é dada pela Figura 3.4. A probabilidade de morte devido a exposição a radiação térmica é

calculada com o uso de uma função probit e a relação da Tabela 3.7. A função probit para morte devido a radiação térmica é dada por:

$$Pr = -36,38 + 2,56 \times \ln (Q^{4/3} \times t)$$

onde:

Pr      probit correspondente a probabilidade de morte

Q      radiação térmica ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

t      tempo de exposição (s)

Para o cálculo do risco social, assume-se que as pessoas dentro de casa estão protegidas por suas vestimentas, até que estas peguem fogo. A proteção da casa reduz o número de pessoas morrendo em um fator de 0,14. O limite para a ignição das vestimentas é definido em  $35 \text{ kW}/\text{m}^2$  e as pessoas morrem se as vestimentas peguem fogo a esse limite. Consequentemente,  $F_{E,out} = 1$  se a radiação térmica,  $Q$ , excede  $35 \text{ kW}/\text{m}^2$  e  $F_{E,out} = 0,14 \times P_E$ , se  $Q$  é menor que  $35 \text{ kW}/\text{m}^2$ .

Porém, segundo CETESB (2000, p. 21):

Para os casos de incêndios (jato, poça e *fireball*), os níveis de radiação térmica a serem adotados deverão ser de  $12,5 \text{ kW}/\text{m}^2$  e  $37,5 \text{ kW}/\text{m}^2$ , os quais representam, respectivamente, uma probabilidade de 1 % e de 50 % de fatalidade da população afetada, para tempos de exposição de 30 e 20 segundos.

Neste trabalho, serão adotados os níveis estabelecidos por CETESB (2000) e ainda o nível de  $3,0 \text{ kW}/\text{m}^2$ , para o qual pessoas expostas começam a ter danos irreversíveis à saúde.

#### 3.5.6.4. Efeitos de pressão por explosão de nuvem de vapor

A probabilidade de morte,  $P_E$ , e as respectivas frações de pessoas morrendo dentro e fora de casa,  $F_{E,in}$  e  $F_{E,out}$ , são dados de acordo com a Figura 3.5. Vale ressaltar que os valores dados aqui são aplicáveis apenas para explosões de nuvem de vapor. Esses valores não são aplicáveis para detonação de explosivos, pois existe diferença na duração dessas explosões.

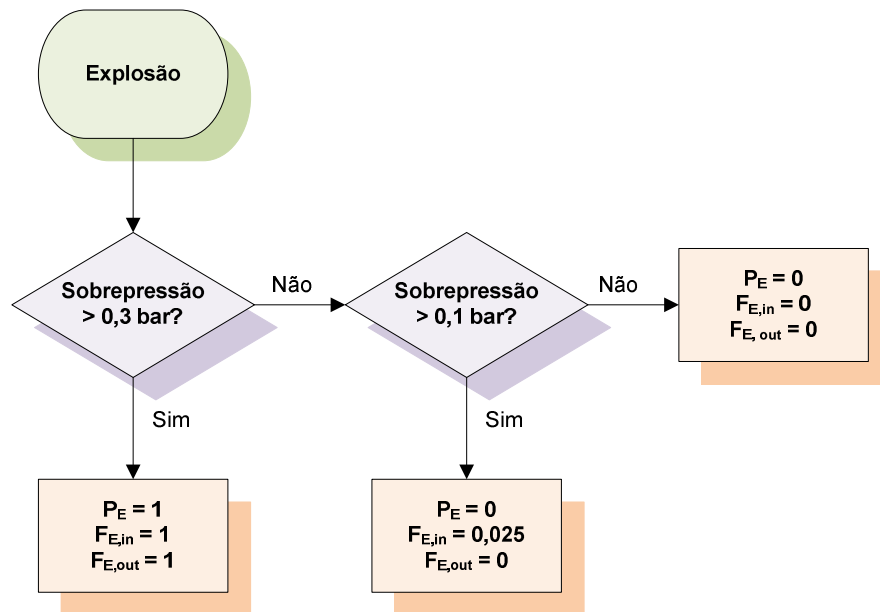


Figura 3.5 - cálculo da probabilidade de morte e das respectivas frações de população morrendo dentro e fora de casa para a exposição a uma explosão.  
Fonte: Adaptado de (CPR18E, 2005).

#### 3.5.6.5. Determinação da população presente

Para o cálculo do Risco Social, é necessário saber a população presente na célula em questão. Portanto, esse parâmetro deve ser determinado, bem como a fração da população dentro e fora de casa.

CPR18E (2005) estabelece uma série de regras para determinar a densidade populacional numa área. Essas regras consistem, basicamente, em considerar:

1. a população presente a partir da situação presente;
2. a população futura a partir de plantas residenciais já existentes;
3. a população em áreas de recreação;
4. a legislação, para decidir se as pessoas presentes em áreas industriais, escritórios, hospitais, escolas e estradas devem ser levadas em conta.
5. efeitos em diferentes períodos (diurno e noturno);
6. fração da população dentro e fora de casa.

Quanto ao item 4, a legislação brasileira (CETESB, 2000) não apresenta qualquer diretriz para isso. Por outro lado, CETESB (2000) aconselha o uso de dados médios de distribuição populacional para a estimativa da população exposta numa determinada área,

desde que tratados com devida cautela. Ressalta, ainda, que dados oriundos de censos de densidade demográfica em áreas urbanas não devem ser utilizados para os devidos fins.

Quanto ao item 6, pelo menos parte da população é protegida por estar dentro de casa ou usar vestimentas de proteção. Portanto, as frações da população presente dentro e fora de casa,  $f_{pop,in}$  e  $f_{pop,out}$ , devem ser determinadas. Valores-padrão são dados na Tabela 3.9.

*Tabela 3.9 - fração da população presente dentro ( $f_{pop,in}$ ) e fora de casa ( $f_{pop,out}$ ) para os períodos do dia (8:00 - 18:30) e da noite (18:30 - 8:00).*

|       | $f_{pop,in}$ | $f_{pop,out}$ |
|-------|--------------|---------------|
| Dia   | 0,93         | 0,07          |
| Noite | 0,99         | 0,01          |

Fonte: CETESB (2000)

### 3.6. Estimativa das frequências de ocorrência dos acidentes

A frequência de ocorrência de um cenário acidental é o numero de vezes que o cenário ocorre, e é, normalmente, expressa em uma base anual, tendo dimensão de ano<sup>-1</sup>.

De acordo com a CETESB (2000), as frequências de ocorrência dos cenários acidentais devem ser identificadas para os casos em que os efeitos físicos ultrapassem os limites do empreendimento. Para que a análise de risco seja consistente, é necessário que a estimativa das frequências seja a mais próxima da realidade. Uma estimativa sub ou superestimada destes valores pode levar a erros grosseiros no cálculo da magnitude dos danos de determinado acidente para a população e meio ambiente.

Apenas os eventos que contribuem para o risco individual ou para a sociedade devem ser incluídos na AQR, nas condições de que, de acordo com (1) a frequência de ocorrência é igual ou superior a 10<sup>-8</sup> por ano e (2) ocorre letalidade maior que 1% fora dos limites do estabelecimento, de acordo com CPR14E (2005).

As frequências atribuídas para eventos de perda de materiais para diversos casos são apresentadas a seguir. As descrições dos equipamentos foram retiradas de CPR18E (2005), com tradução minha.

#### 3.6.1. Tanque e vasos pressurizados em estado estacionário

Vaso de Pressão: Vaso de armazenamento cuja pressão é substancialmente maior do que 1 bar.

Vaso de Processo: Em um vaso de processo ocorre uma mudança nas propriedades físicas da substância, como temperatura ou fase. Alguns exemplos de Vasos de Processo são colunas de destilação, condensadores e filtros. Vasos onde apenas o nível de líquido muda podem ser considerados como vasos de pressão.

Vasos de Reação: Nos Vasos de Reação ocorre uma mudança química na substância. Exemplos de vasos de reação são reatores contínuos e de batelada. Um vaso em que uma mistura de substâncias muito exotérmica ocorre também pode ser considerado um vaso de reação.

Os eventos de perda de matéria para vasos de pressão, processo e reação são dados na Tabela 3.10, e suas frequências são apresentadas na Tabela 3.11.

*Tabela 3.10 - Eventos de perda de matéria para vasos pressurizados em estado estacionário.*

|           |                                                                            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>E1</b> | Liberação instantânea e completa do inventário                             |
| <b>E2</b> | Liberação contínua e completa do inventário em 10 minutos a taxa constante |
| <b>E3</b> | Liberação contínua a partir de um orifício de 10mm de diâmetro efetivo     |

Fonte: CPR18E (2005)

*Tabela 3.11 - Frequências dos eventos de perda de matéria para tanques e vasos pressurizados em estado estacionário.*

| <b>Equipamento</b> | <b>E1</b>                          | <b>E2</b>                          | <b>E3</b>                          |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Vasos de pressão   | $5 \cdot 10^{-7} \text{ ano}^{-1}$ | $5 \cdot 10^{-7} \text{ ano}^{-1}$ | $1 \cdot 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$ |
| Vasos de processo  | $5 \cdot 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$ | $5 \cdot 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$ | $1 \cdot 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$ |
| Vasos de reatores  | $5 \cdot 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$ | $5 \cdot 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$ | $1 \cdot 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$ |

Fonte: CPR18E (2005)

### 3.6.2. Tanques e vasos sob pressão atmosférica e estado estacionário

Tanque atmosférico de contenção única (Tanque 1): Consiste de um reservatório primário para o líquido. Pode conter um reservatório externo, para retenção e proteção e isolamento, mas que não conterá líquido no momento de falha do reservatório primário.

Tanque atmosférico com reservatório de proteção (Tanque 2): Neste tipo de tanque um duto externo de proteção é previsto para o caso de falha do reservatório primário, mas não conterá vapor e não resiste a condições como explosão (pressão estática de 0,3 bar durante 300 ms) e penetração de fragmentos.

Tanque atmosférico de dupla contenção (Tanque 3): Consiste de reservatório primário para o líquido e um segundo reservatório, designado para retenção do líquido em caso de falha do primário, resistindo a explosão e penetração de fragmentos. O segundo reservatório não é previsto para contenção de vapor.

Tanque atmosférico de plena contenção (Tanque 4): Consiste de um tanque primário para o líquido e um segundo reservatório, designado para conter líquido e vapor em caso de falha do primário, resistindo a condições severas.

Tanque membrana (Tanque 5): Consiste de reservatórios primário e secundário. O primário é formado por uma membrana que detém o líquido e o vapor sob condições de operação normais. O segundo reservatório é concreto e sustenta o primeiro, e tem capacidade de reter todo o líquido liberar controladamente o vapor caso o reservatório primário falhe.

Tanque atmosférico sob o solo (Tanque 6): Tanque de estocagem em que o nível do líquido está no nível do solo ou abaixo dele.

Tanque atmosférico *mounded* (Tanque 7): Tanque de estocagem completamente coberto de uma camada de solo, em que o nível de líquido está abaixo do nível do solo.

Os possíveis eventos de perda de matéria para vasos sob pressão são dados na Tabela 3.12, e suas frequências são apresentadas na Tabela 3.13, de acordo com a numeração do tanque na descrição acima.

*Tabela 3.12 - Eventos de perda de matéria para vasos sob pressão atmosférica em estado estacionário.*

|           |                                                                                                                                                              |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>E1</b> | Liberação instantânea e completa do inventário<br>a) Diretamente para a atmosfera<br><b>b)</b> Do primeiro reservatório para o segundo                       |
| <b>E2</b> | Liberação contínua e completa do inventário em 10 minutos a taxa constante.<br>a) Diretamente para a atmosfera<br>b) Do primeiro reservatório para o segundo |
| <b>E3</b> | Liberação contínua a partir de um orifício de 10mm de diâmetro efetivo.<br>a) Diretamente para a atmosfera<br>b) Do primeiro reservatório para o segundo     |

Fonte: CPR18E (2005)

*Tabela 3.13 - Frequências dos eventos de perda de matéria para tanques e vasos sob pressão atmosférica em estado estacionário. \*A frequência de falha de um tanque membrana depende da resistência do segundo reservatório, devendo ser estimada caso a caso.*

| Equipamento | E1a                                   | E1b                                | E2a                                   | E2b                                | E3a                                | E3b                                |
|-------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Tanque 1    | $5 \cdot 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$    |                                    | $5 \cdot 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$    |                                    | $1 \cdot 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$ |                                    |
| Tanque 2    | $5 \cdot 10^{-7} \text{ ano}^{-1}$    | $5 \cdot 10^{-7} \text{ ano}^{-1}$ | $5 \cdot 10^{-7} \text{ ano}^{-1}$    | $5 \cdot 10^{-7} \text{ ano}^{-1}$ |                                    | $1 \cdot 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$ |
| Tanque 3    | $1,25 \cdot 10^{-8} \text{ ano}^{-1}$ | $5 \cdot 10^{-8} \text{ ano}^{-1}$ | $1,25 \cdot 10^{-8} \text{ ano}^{-1}$ | $5 \cdot 10^{-8} \text{ ano}^{-1}$ |                                    | $1 \cdot 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$ |
| Tanque 4    | $1 \cdot 10^{-8} \text{ ano}^{-1}$    |                                    |                                       |                                    |                                    |                                    |
| Tanque 5    | *                                     |                                    |                                       |                                    |                                    |                                    |
| Tanque 6    |                                       | $1 \cdot 10^{-8} \text{ ano}^{-1}$ |                                       |                                    |                                    |                                    |
| Tanque 7    | $1 \cdot 10^{-8} \text{ ano}^{-1}$    |                                    |                                       |                                    |                                    |                                    |

Fonte: CPR18E (2005)

### 3.6.3. Tubulações

Os possíveis eventos apresentados na Tabela 3.14 são válidos para todos os tipos de tubulações de processo acima do solo. As frequências são determinadas a partir do diâmetro da tubulação, e apresentadas na Tabela 3.15.

*Tabela 3.14 - Eventos de perda de matéria para tubulações.*

|           |                                                                                                                                         |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>E1</b> | Ruptura total (liberação ocorre nos dois lados da ruptura)                                                                              |
| <b>E2</b> | Fissura (liberação ocorre em um orifício de diâmetro efetivo de 10% do diâmetro nominal da tubulação, podendo atingir o máximo de 50mm) |

Fonte: CPR18E (2005)

*Tabela 3.15 - Frequências dos eventos de perda de matéria para tubulações.*

| Tubulação                                | E1                                                | E2                                                |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| $d < 75\text{mm}$                        | $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ | $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ |
| $75 \text{ mm} \leq d \leq 150\text{mm}$ | $3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ | $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ |
| $d > 150\text{mm}$                       | $1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ | $5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ |

Fonte: CPR18E (2005)

### 3.6.4. Trocadores de calor

Podem ser diferenciados três tipos de trocadores de calor:

- Trocadores em que a substância perigosa se encontra fora dos tubos (Trocador 1),
- Trocadores de calor em que a substância perigosa se encontra dentro dos tubos, e a carcaça devem suportar pressão igual ou maior que a máxima pressão exercida pela substância que está dentro dos tubos (Trocador 2);

- Trocadores de calor em que a substância perigosa se encontra dentro dos tubos, e a carcaça devem suportar pressão menor que a máxima exercida pela substância que está dentro dos tubos (Trocador 3).

Os possíveis eventos de perda de matéria para trocadores de calor estão descritos na Tabela 3.16, e suas respectivas frequências na Tabela 3.17, com referência ao número de trocador da descrição acima.

*Tabela 3.16 - : Eventos de perda de matéria para trocadores de calor.*

|           |                                                                                                                                      |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>E1</b> | Liberação instantânea de todo o inventário                                                                                           |
| <b>E2</b> | Liberação contínua de todo o inventário em 10 minutos a taxa constante.                                                              |
| <b>E3</b> | Liberação contínua através de um orifício de diâmetro efetivo de 10mm                                                                |
| <b>E4</b> | Ruptura total de dez tubos simultaneamente (liberação ocorre nos dois lados da ruptura)                                              |
| <b>E5</b> | Ruptura total de um tubo (liberação ocorre nos dois lados da ruptura)                                                                |
| <b>E6</b> | Fissura (liberação a partir de um orifício de diâmetro efetivo de 10% do diâmetro nominal do tubo, podendo atingir o máximo de 50mm) |

Fonte: CPR18E (2005)

*Tabela 3.17 - Frequência dos eventos de perda de matéria para trocadores de calor.*

| <b>Trocador</b> | <b>E1</b>                          | <b>E2</b>                          | <b>E3</b>                          | <b>E4</b>                          | <b>E5</b>                          | <b>E6</b>                          |
|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Trocador 1      | $5 \cdot 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$ | $5 \cdot 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$ | $1 \cdot 10^{-3} \text{ ano}^{-1}$ |                                    |                                    |                                    |
| Trocador 2      |                                    |                                    |                                    | $1 \cdot 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$ | $1 \cdot 10^{-3} \text{ ano}^{-1}$ | $1 \cdot 10^{-2} \text{ ano}^{-1}$ |
| Trocador 3      |                                    |                                    |                                    | $1 \cdot 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$ |                                    |                                    |

Fonte: CPR18E (2005)

### 3.7. Estimativa e avaliação dos riscos

A estimativa e avaliação dos riscos é a etapa final de uma AQR e, portanto, é onde os resultados são calculados e apresentados. Sabe-se que os resultados de uma AQR são expressos através do Risco Social e do Risco Individual. Neste sentido, serão descritos os métodos para o cálculo do Risco Individual e do Risco Social para substâncias tóxicas e inflamáveis.

O procedimento de cálculo descrito é baseado em CPR18E (2005) e CETESB (2000). Este procedimento é usado em vários programas computacionais e não suporta todas as

possibilidades de possíveis eventos. Porém, tem por principal objetivo ilustrar os princípios do cálculo.

O método de cálculo descrito aqui assume que dados meteorológicos estão disponíveis (ver seção 3.6.1). Uma alternativa seria usar simulação Monte Carlo para uma gama de condições atmosféricas.

### 3.7.1. Definição da célula

Para calcular o risco individual e o risco social, é necessário definir uma célula sob a área de interesse. O risco individual deverá ser calculado no centro de cada célula, separadamente. O tamanho da célula deverá ser pequeno o bastante de modo que o risco individual no ponto-centro não varie significativamente, em relação aos outros pontos da célula.

O próximo passo é determinar a população dentro de cada célula, conforme as diretrizes no capítulo 3.

Por último, a probabilidade de ignição em cada célula deverá ser determinada. Todas as fontes de ignição na célula serão combinadas em uma só, localizada no centro da célula.

### 3.7.2. Cálculo do risco social

De acordo com CETESB (2000, p. 24):

*O risco social* refere-se ao risco para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos danos decorrentes de um ou mais cenários acidentais. [...] A forma de apresentação do *risco social* deverá ser feita através da curva F-N, obtida por meio da plotagem dos dados de frequência acumulada do evento final e seus respectivos efeitos representados em termos de número de vítimas fatais.

Neste sentido, o cálculo do risco social envolve a combinação do evento inicial, da direção do vento e do evento de ignição (para substâncias inflamáveis). Para cada combinação calcula-se o número esperado de mortes na área da célula definida. Por conseguinte, o número esperado de mortes em todas as células, N, é calculado para cada combinação separadamente. Finalmente, a frequência acumulada de se ter mais de N mortes é determinada, podendo-se plotar mais um ponto na curva F-N. Dessa forma, para vários valores de N, pode-se construir a curva.

Os passos seguintes, adaptados a partir de CPR18E (2005), descrevem o método para o cálculo do Risco Social:

1. Selecionar:
  - um evento inicial,  $S$ , com frequência  $f_S$
  - uma direção do vento,  $k$ , com frequência  $f_k$
  - um evento de ignição,  $i$ , com probabilidade  $p_i$  de ocorrência (apenas para substâncias inflamáveis)
2. Selecionar uma célula e definir o número populacional na célula,  $N_{cel}$ .
3. Calcular a fração de mortes,  $F_d$ , na célula, dado o evento inicial, a direção do vento e o evento de ignição. A altura de referências para o cálculo dos efeitos é igual a 1 metro.
4. Calcular o número esperado de mortes na célula,  $N_{cel,S,k,i}$ , dado o evento inicial, a direção do vento e o evento de ignição.

$$N_{grade,S,k,i} = F_d \times N_{grade}$$

O número esperado de mortes na célula não é necessariamente um número inteiro.

5. Repetir passos 2 a 4 para todas as células. Calcular a contribuição de todas as células para o total de número de mortes,  $N_{S,k,i}$ , para o evento inicial  $S$ , a direção do vento  $k$  e o evento de ignição  $i$ .

$$N_{S,k,i} = \sum_{toda\ grade} N_{grade,S,k,i}$$

6. Calcular a frequência,  $f_{S,k,i}$ , da combinação do evento inicial  $S$ , a direção do vento  $k$  e o evento de ignição  $i$ .

$$f_{S,k,i} = f_S \times P_k \times P_i$$

7. Repetir o cálculo dos passos 1 a 6 para todos os eventos iniciais, direções do vento e eventos de ignição. A curva F-N é agora construída pela frequência acumulada de todas as frequências  $f_{S,k,i}$  para as quais  $N_{S,k,i}$  é maior do que  $N$ :

$$FN = \sum_{S,k,i} f_{S,k,i} \quad \forall N_{S,k,i} \geq N$$

A Figura 3.6 mostra a curva F-N adotada por CETESB (2000) como critério para avaliação do risco social. Os riscos situados na região ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*), apesar de estarem abaixo da região intolerável, devem ser reduzidos tanto quanto possível.



Figura 3.6 - Curva F-N de tolerabilidade para risco social.  
Fonte: CETESB (2000).

### 3.7.3. Cálculo do Risco Individual

De acordo com a CETESB (2000, p. 27), “o risco individual pode ser definido como o risco para uma pessoa presente na vizinhança de um perigo, considerando a natureza do dano que pode ocorrer e o período de tempo em que o mesmo pode acontecer”.

Por ser difícil avaliar certos danos mais subjetivos e para os quais não existem dados estatísticos, os danos individuais são estimados em termos de danos irreversíveis ou fatalidades. Eles podem ser estimados para um indivíduo que esteja mais exposto a um perigo, para um grupo de pessoas ou para a média de pessoas presentes na zona de efeito. (CETESB, 2000)

O risco individual total num determinado ponto pode ser calculado pela somatória de todos os riscos individuais nesse ponto, conforme apresentado a seguir:

$$RI_{x,y} = \sum_{i=1}^n RI_{x,y,i}$$

Onde:

$RI_{x,y}$  = risco individual total de fatalidade no ponto x,y (chance de fatalidade por ano ( $\text{ano}^{-1}$ ));

$RI_{x,y,i}$  = risco de fatalidade no ponto x,y devido ao evento i (chance de fatalidade por ano ( $\text{ano}^{-1}$ ));

n = número total de eventos considerados na análise.

O risco de fatalidade em determinado ponto devido ao evento i é calculado pelo seguinte equação:

$$RI_{x,y,i} = f_i \cdot p_{fi}$$

Onde:

$RI_{x,y,i}$  = risco de fatalidade no ponto x,y devido ao evento i (chance de fatalidade por ano ( $\text{ano}^{-1}$ ));

$f_i$  = frequência de ocorrência do evento i;

$p_{fi}$  = probabilidade que o evento i resulte em fatalidade no ponto x,y, de acordo com os efeitos resultantes das consequências esperadas.

A apresentação dos resultados é feita através de curvas de iso-riscos (contornos de risco individual), os quais permitem visualizar a distribuição geográfica do risco em diferentes regiões. Esta curva é determinada pela interseção de pontos com os mesmos valores de risco provenientes de uma mesma instalação industrial e é também conhecida como “contorno de risco”.

## 4. APLICAÇÃO

Neste capítulo será aplicada a metodologia de AQR na URE de uma refinaria.

### 4.1. Caracterização do Sistema a Analisar

O sistema a ser analisado é uma típica Unidade de Recuperação de Enxofre (URE) de uma refinaria hipotética, vide seção 2.1.

A Figura 4.1 mostra o layout de uma típica refinaria e o muro que a contorna. No retângulo em preto encontra-se a URE desta refinaria, vide Figura 4.2.



Figura 4.1 - Layout do sistema a analisar. A área em destaque se encontra ampliada na Figura 4.2, para visualização da Unidade de Recuperação de Enxofre.

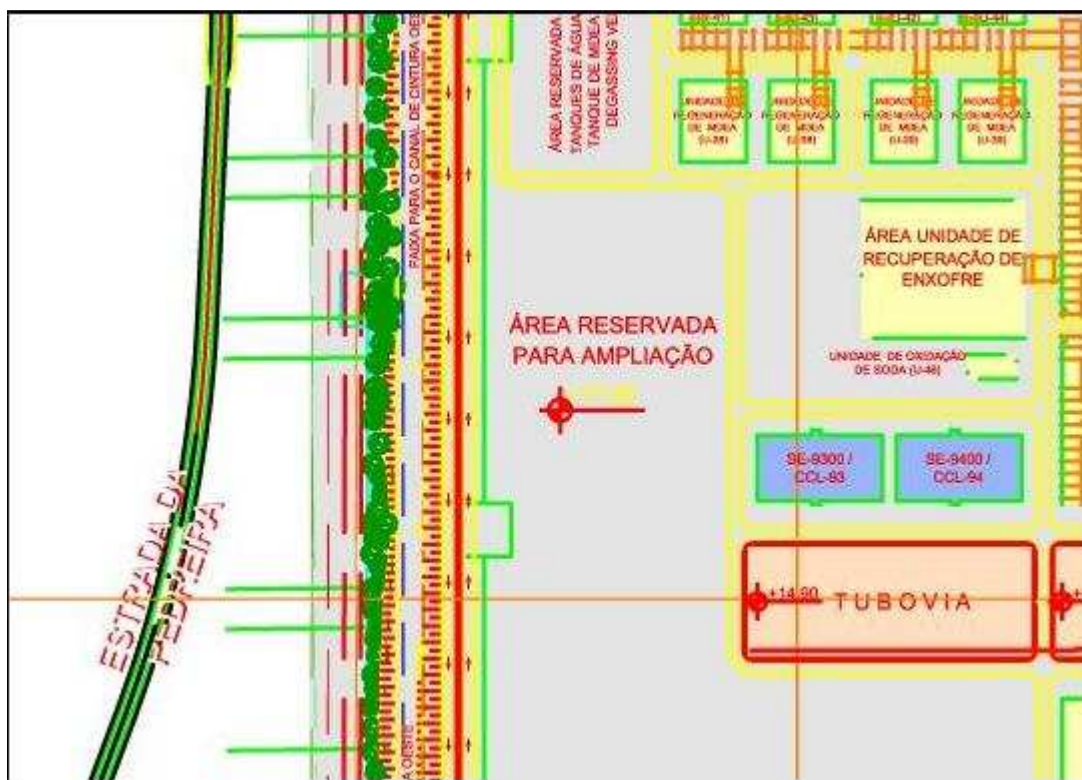


Figura 4.2 - Área da Unidade de Recuperação de Enxofre no layout da refinaria.

#### 4.2. Análise Preliminar de Risco (APR)

Para a realização das APRs, o autor se baseou no fluxograma de processo e no fluxograma de engenharia de uma URE de uma refinaria da Petrobrás. Estes documentos são de propriedade da Petrobrás, foram disponibilizados ao CEERMA para pesquisas e possuem termos de confidencialidade. Portanto, o autor não está autorizado a divulgar os documentos publicamente. Assim, aconselha-se que o leitor utilize o fluxograma simplificado apresentado na Figura 2.2.

As APRs da Unidade de Recuperação de Enxofre apresentou 120 cenários acidentais, utilizando-se a Tabela 3.1. Todas as APRs e os 120 cenários acidentais encontram-se no Apêndice deste trabalho.

Para a construção dos cenários, foram levantados dados da composição do material corrente nas linhas do processo (com as proporções em massa), temperatura e pressão da corrente, e diâmetro das linhas. Foram considerados como “causas”: fissura ou ruptura nas linhas, válvulas ou conexões; tendo efeitos tanto na segurança pessoal, quanto no meio-ambiente.

As Recomendações/Observações de medidas preventivas ou mitigadores na URE são apresentadas na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Recomendações/Observações nas APRs da URE.**

|           |                                                                                                                                                               |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>R1</b> | Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.                                       |
| <b>R2</b> | Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação, montagem e partida/operação das unidades.                                     |
| <b>R3</b> | Aplicar Normas PETROBRAS de detecção de vazamentos, fumaça e fogo, monitoramento, controle e segurança de processo.                                           |
| <b>R4</b> | Manter cronograma de simulação para combate às emergências.                                                                                                   |
| <b>R5</b> | Manter em perfeito estado de operação os sistemas de segurança do empreendimento.                                                                             |
| <b>O1</b> | Garantir o perfeito funcionamento dos analisadores de H <sub>2</sub> S e Amônia (Acompanhar a Confiabilidade do Sistema).                                     |
| <b>O2</b> | Garantir o perfeito funcionamento da lógica de controle e inter-travamento dos fluxos de processo através de redundância para os pontos críticos do controle. |

Dentre os 120 cenários acidentais, a distribuição como Risco Tolerável e Risco Moderado encontra-se na Figura 4.3. Nenhum cenário foi classificado com risco Não-Tolerável, ou seja, não há nenhum cenário para o qual as medidas de controle existentes são insuficientes.

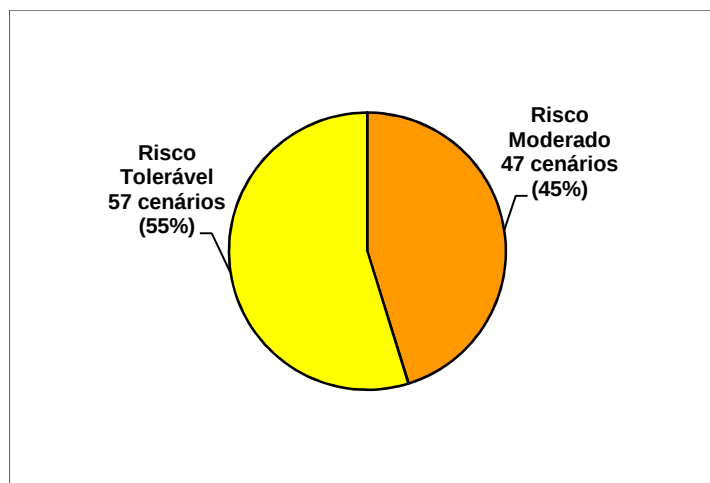


Figura 4.3 - Distribuição dos riscos dos cenários acidentais, em um total de 120 cenários.

Segundo CETESB (2000, p. 18), “deve-se estabelecer claramente o critério considerado para a escolha dos cenários acidentais considerados relevantes, levando-se em conta a severidade do dano decorrente da falha identificada”.

Neste sentido, os cenários acidentais escolhidos foram aqueles com severidade III ou IV, relacionados à liberação de grandes inventários de produtos tóxicos e/ou inflamáveis em pressões e temperaturas elevadas. Assim, 10 cenários foram selecionados.

Muitos destes cenários apresentam perigos semelhantes, bem como as outras características (causa, efeitos, severidade, etc.). Dessa forma, os cenários acidentais semelhantes podem ser agrupados, e o grupo representado pelo mais severo entre eles.

Para exemplificar, considere os cenários 23 e 27 da Tabela 4.2. O trecho do cenário 23 é a linha (com 14 polegadas de diâmetro) entre o Pré-aquecedor de Gás Ácido e o Forno 1; já o trecho do cenário 27 é a linha (com 6 polegadas de diâmetro) entre o Pré-aquecedor de Gás Ácido e o Forno 2. As características da APR para ambos os cenários são muito semelhantes, mudando apenas o diâmetro da linha. A linha do cenário 23 possui diâmetro maior e pressão operacional ligeiramente maior, de modo que caso haja uma ruptura, o inventário vazante será maior. Assim sendo, os cenários 23 e 27 podem ser agrupados e representados pelo cenário 23 (o mais severo entre eles).

*Tabela 4.2 - APR dos cenários 23 e 27. O trecho do cenário 23 é a linha (com 14 polegadas de diâmetro) entre o Pré-aquecedor de Gás Ácido e o Forno 1; o trecho do cenário 27 é a linha (com 6 polegadas de diâmetro) entre o Pré-aquecedor de Gás Ácido e o Forno 2.*

| <b>Perigos</b>                                                                         | <b>Causas</b>                                         | <b>Efeitos</b>                       | <b>Cat. Freq.</b> | <b>Cat. Sev.</b> | <b>Cat. Risco</b> | <b>Cenário</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|----------------|
| Grande liberação de gás ácido<br>T = 133 °C<br>P = 0,59 kgf/cm <sup>2</sup><br>d = 14" | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica; | B                 | III              | M                 | 23             |
| Grande liberação de gás ácido<br>T = 133 °C<br>P = 0,50 kgf/cm <sup>2</sup><br>d = 6"  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica; | B                 | III              | M                 | 27             |

Dessa forma, os 10 cenários selecionados foram agrupados em 5 eventos iniciadores (EIs), representando as possíveis consequências mais severas. A Tabela 4.3 apresenta os cenários agrupados, o mais representativos entre eles (em negrito) e suas condições operacionais.

Os principais contaminantes das correntes são: o sulfeto de hidrogênio, dióxido de enxofre e amônia, pelo potencial de toxicidade; e o enxofre líquido e amônia, pelo potencial de inflamabilidade. Suas proporções (em massa) para cada EI encontram-se na Tabela 4.4. Vale ressaltar que a amônia é tanto tóxica, como também inflamável.

*Tabela 4.3 – Agrupamento dos cenários acidentais selecionados para análise de vulnerabilidade e efeitos físicos. Em negrito, o cenário mais representativo do grupo, o qual representa o evento iniciador.*

| <b>Evento Iniciador</b> | <b>Cenários</b>        | <b>Perigo</b>                                   | <b>Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> | <b>Diâmetro da linha (pol)</b> |
|-------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| <b>EI-01</b>            | 23, 27                 | Grande liberação de gás ácido                   | 0,590                               | 133                     | 14                             |
| <b>EI-02</b>            | <b>43</b> , 59, 75, 91 | Grande liberação de enxofre líquido             | 0,360                               | 175                     | 4                              |
| <b>EI-03</b>            | 47, <b>51</b>          | Grande liberação de gás ácido                   | 0,345                               | 270                     | 20                             |
| <b>EI-04</b>            | 109                    | Grande liberação de gás rico em NH <sub>3</sub> | 0,045                               | 90                      | 8                              |
| <b>EI-05</b>            | 55                     | Grande liberação de gás ácido                   | 0,315                               | 324                     | 20                             |

*Tabela 4.4 – Proporção (em massa) dos contaminantes nas correntes dos Eventos Iniciadores.*

| <b>Evento Iniciador</b> | <b>H<sub>2</sub>S (% massa)</b> | <b>SO<sub>2</sub> (% massa)</b> | <b>NH<sub>3</sub> (% massa)</b> | <b>S (liq.) (% massa)</b> |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| <b>EI-01</b>            | 77,60                           | 0                               | 0,02                            | 0                         |
| <b>EI-02</b>            | 0                               | 0                               | 0                               | 100                       |
| <b>EI-03</b>            | 6,75                            | 6,72                            | 0                               | 0                         |
| <b>EI-04</b>            | 8,82                            | 0                               | 52,94                           | 0                         |
| <b>EI-05</b>            | 2,77                            | 2,59                            | 0                               | 0                         |

Analisando subjetivamente as proporções dos contaminantes nas correntes de cada EI, pode-se supor que o EI-01 causará o efeito físico mais severo, devido à grande quantidade de H<sub>2</sub>S e o seu alto grau de toxicidade.

#### **4.3. Análise de vulnerabilidade e efeitos físicos**

Os efeitos físicos analisados foram os de nuvem tóxica, incêndio em poça e incêndio em nuvem. Tais efeitos são apresentados na Tabela 4.5, bem como a justificativa para sua escolha.

*Tabela 4.5 - Efeitos físicos estudados para cada Evento Iniciador e a sua justificativa.*

| <b>Evento Iniciador</b> | <b>Nuvem Tóxica</b> | <b>Incêndio em Poça</b> | <b>Incêndio em Nuvem</b> | <b>Justificativa</b>                                                           |
|-------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>EI-01</b>            | X                   |                         |                          | H <sub>2</sub> S é tóxico e encontra-se no estado gasoso                       |
| <b>EI-02</b>            |                     | X                       |                          | Enxofre é inflamável e encontra-se no estado líquido                           |
| <b>EI-03</b>            | X                   |                         |                          | H <sub>2</sub> S e SO <sub>2</sub> são tóxicos e encontram-se no estado gasoso |
| <b>EI-04</b>            | X                   |                         | X                        | NH <sub>3</sub> é tóxica, inflamável e encontra-se no estado gasoso            |
| <b>EI-05</b>            | X                   |                         |                          | H <sub>2</sub> S e SO <sub>2</sub> são tóxicos e encontram-se no estado gasoso |

Os efeitos de nuvens tóxicas são decorrentes do vazamento de contaminantes tóxicos no estado gasoso, neste caso: H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub> nas correntes dos EIs-01, -03, -04 e -05. O efeito de incêndio em poça é consequência do vazamento de contaminante inflamável no estado líquido, neste caso: enxofre líquido na corrente do EI-02. Por fim, o efeito de incêndio em nuvem é causado pelo vazamento de substância inflamável no estado gasoso, neste caso: NH<sub>3</sub> na corrente do EI-04.

Para quantificar os efeitos físicos é necessário adotar certas condições ambientais e premissas, as quais são descritas na seção 4.3.1. Em seguida, os resultados das simulações dos cenários acidentais são apresentados na seção 4.3.2.

#### 4.3.1. Condições Ambientais e Premissas Adotadas

##### Condições Meteorológicas

Será considerado que a refinaria hipotética localiza-se no estado do Maranhão. Desta forma obtidas no Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) da refinaria PREMIUM-I, a qual será instalada no Maranhão. O EIA/RIMA da PREMIUM-I é um documento público disponibilizado pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Maranhão. (PETROBRAS, 2006)

As informações foram geradas a partir da base de dados obtida da LAKES (Professional Software Development, [www.weblakes.com](http://www.weblakes.com)), e são resultantes de três anos (2006-2008) de simulação numérica do Modelo atmosférico de mesoescala MM5 (quinta geração do NCAR/Penn State Mesooscale Model), centrado em 2,5° S e 44,3° W (região de localização do empreendimento).

Os dados apresentam-se decompostos em período diurno (6h às 18h) e noturno (18h às 6h). A Figura 4.4 e Figura 4.5 ilustram esses dados, apresentando a distribuição da intensidade e direção do vento, para o período diurno e noturno, respectivamente.

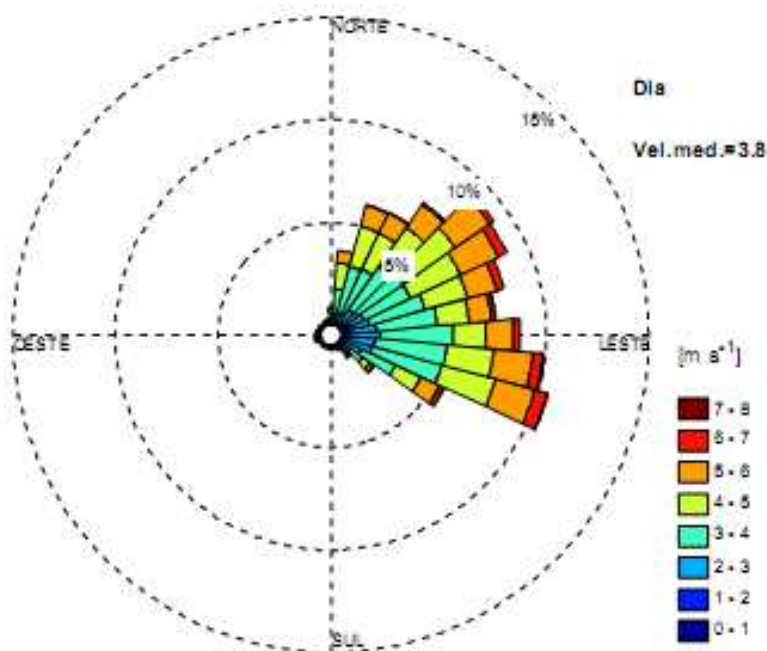


Figura 4.4 - Rosa dos ventos para o período diurno.  
Fonte: EIA/RIMA REPRE-I.

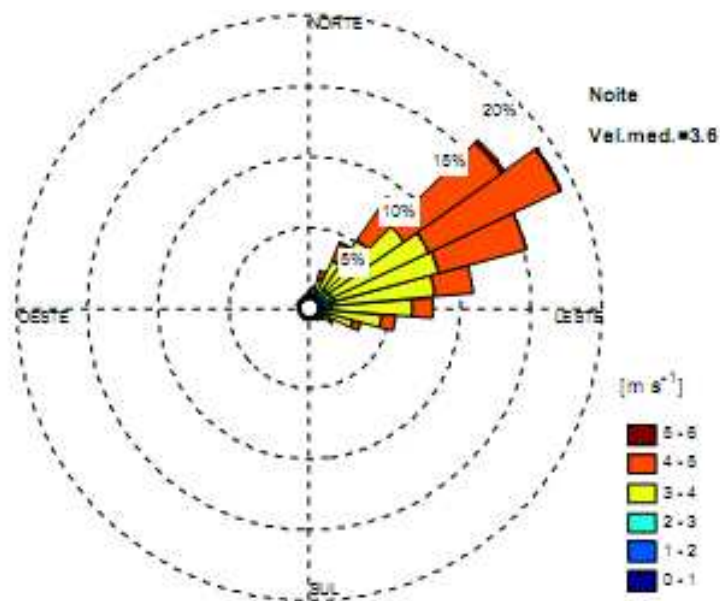


Figura 4.5 - Rosa dos ventos para o período noturno.  
Fonte: EIA/RIMA REPRE-I.

A velocidade dos ventos ( $V_{\text{ventos}}$ ), temperatura ( $T$ ), classe de estabilidade ( $C_{\text{estabilidade}}$ ), umidade relativa (UR) e pressão média ( $P$ ), para os períodos diurno e noturno, característicos da região do empreendimento, estão expostos na Tabela 4.6. As diferentes classes de estabilidade foram explanadas na Tabela 3.5.

Estes dados, assim como a direção predominante do vento, são necessários para a modelagem dos vazamentos e dispersão de gases.

Tabela 4.6 - Informações meteorológicas médias da região.

| Período | $V_{\text{ventos}}$ (m/s) | $T$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) | $C_{\text{estabilidade}}$ | UR (%) | $P$ (mb) |
|---------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------|----------|
| Dia     | 3,8                       | 28,3                       | C                         | 72,5   | 1009,3   |
| Noite   | 3,6                       | 26,2                       | E                         | 85,0   | 1009,2   |

Fonte: EIA/RIMA REPRE-I.

### Valores de referência

Os valores aqui adotados são retirados de CETESB (2000) e CPR18E (2005), conforme explanados na seção 3.5 (p. 22).

- Dispersão de nuvem tóxica

O alcance (contorno) da nuvem tóxica será simulado para dois cenários, usando como referência a concentração IDLH e a probabilidade de morte,  $P_E$ , igual a 1% (vide p. 27).

Vale ressaltar que o alcance da nuvem tóxica baseada no IDLH é simulado apenas para efeito ilustrativo. Caso esta nuvem tóxica venha a ultrapassar os limites do empreendimento, a concentração IDLH não chega a causar mortes e, portanto, não implica que os riscos deverão ser calculados. Para reforçar tal afirmação, é estabelecido por CETESB (2000, p. 21) que:

Para as substâncias tóxicas cuja função matemática do tipo *PROBIT* esteja desenvolvida, deverão ser adotados como valores de referência as concentrações tóxicas que correspondem às probabilidades de 1 % e 50 % de fatalidade para um tempo de exposição de pelo menos 10 (dez) minutos nos casos de liberações contínuas.

A Tabela 4.7 mostra os valores de IDLH (NIOSH, 2005) e os parâmetros da equação de Probit (CPR18E, 2005) para as substâncias tóxicas presentes na Unidade de Recuperação de Enxofre.

*Tabela 4.7 - parâmetros de toxicidade para o H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub>.*

| Substância       | IDLH (ppm) | Coefficientes de Probit       |
|------------------|------------|-------------------------------|
| H <sub>2</sub> S | 100        | A = -11,5<br>B = 1<br>N = 1,9 |
| SO <sub>2</sub>  | 100        | A = -19,2<br>B = 1<br>N = 2,4 |
| NH <sub>3</sub>  | 300        | A = -15,6<br>B = 1<br>N = 2   |

- Incêndio em poça

Os efeitos físicos do incêndio em poça serão analisados em três níveis, relacionados à radiação térmica causada pelo incêndio, conforme mostra a Tabela 4.8.

Com relação à área de contenção da poça para o EI-02, considerou-se que a sua contenção é alcançada através de canaletas de drenagem localizadas ao redor da unidade.

Devido à inexistência das dimensões e localização dessas canaletas e diques, adotou-se uma área de dique para rupturas catastróficas igual a 707 m<sup>2</sup>.

**Tabela 4.8 - Relação da radiação térmica com os efeitos físicos.**

| <b>Radiação Térmica</b> | <b>Efeitos</b>                   |
|-------------------------|----------------------------------|
| 3,0 kW/m <sup>2</sup>   | Início dos efeitos irreversíveis |
| 12,5 kW/m <sup>2</sup>  | 1% de fatalidade                 |
| 37,5 kW/m <sup>2</sup>  | 50% de fatalidade                |

- Incêndio em nuvem: o envelope da chama de é igual ao Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) no momento da ignição.

### **Tempo de vazamento**

O simulação do vazamento é bastante sensível ao tempo de vazamento, uma vez que este vai determinar a massa total vazada da substância perigosa.

Para todos os EIs, foi considerado um sistema de bloqueio a controle remoto e, portanto, um tempo de vazamento de 10 minutos (vide p. 24).

### **Comprimento das linhas**

Considera-se para todas as linhas (tubulações), o valor hipotético de 100 metros de comprimento, devido à falta de dados para tal.

### **Quantidade de substância vazada**

No caso de ruptura de uma tubulação (linha), a quantidade de substância vazada está relacionada à massa presente nos equipamentos aos quais a tubulação está conectada. A quantidade de produto existente em um sistema é denominada inventário, o qual depende do volume do equipamento.

Os volumes dos equipamentos que envolvem os Eventos Iniciadores foram hipoteticamente definidos em 100 m<sup>3</sup>.

Portanto, para substâncias gasosas, o inventário foi calculado considerando que a substância preenche todo o volume do equipamento. Para substâncias líquidas, o inventário de cada equipamento foi calculado utilizando-se a altura máxima que o líquido poderia alcançar

no equipamento, o HLL (*Higher Liquid Level*), estipulado subjetivamente por especialistas do CEERMA.

### **Vazão do contaminante**

Para vazamentos em que a corrente é uma mistura, a vazão do contaminante tóxico ou inflamável será dada pela Taxa de descarga para cálculo de dispersão multiplicada pela proporção em massa do contaminante na corrente, conforme Tabela 4.4.

### **Topografia**

Devido a existência de grandes obstáculos espalhados, a rugosidade média da superfície do solo é definida em 0,25 metros (CPR18E, 2005, p. 4.11), que corresponde a algo entre “área de floresta ou industrial” e “área urbana”, conforme Tabela 3.6 (p. 23).

#### **4.3.2. Resultados**

Para a quantificação dos efeitos físicos e avaliação da vulnerabilidade foi utilizado o software EFFECTS versão 8.0.1.3218, ferramenta computacional que possibilita calcular efeitos e consequências da liberação acidental de substâncias perigosas. O EFFECTS utiliza os modelos brevemente descritos na seção 3.5. Suas descrições detalhadas podem ser encontradas em CPR14E (2005) e CPR19E (1992).

Os resultados das simulações são apresentados da Tabela 4.9 até a Tabela 4.16, para cada cenário acidental, com os respectivos alcances máximos para os efeitos físicos e vulnerabilidade, com valores de condições e premissas referenciados na seção anterior.

Para os Eventos Iniciadores EI-03 e EI-05, os resultados são divididos para o sulfeto de hidrogênio e dióxido de enxofre. Da mesma forma, para o EI-04, os resultados são divididos para o sulfeto de hidrogênio e amônia.

Para o EI-04-NH<sub>3</sub> (Tabela 4.14), no que diz respeito a incêndio em nuvem, o cálculo da massa inflamável não encontrou concentrações maiores que o Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) na nuvem.

*Tabela 4.9 – Configuração do cenário acidental do EI-01, com os respectivos alcances máximos de efeitos físicos e vulnerabilidade.*

**Evento Iniciador 01 – H<sub>2</sub>S**

| Caracterização do Vazamento                       |               |                                                 |                        |
|---------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| Substância/Referência                             |               | Gás ácido com 77,6% de H <sub>2</sub> S (massa) |                        |
| Diâmetro da Tubulação (pol.)                      |               | 14                                              |                        |
| Pressão (atm)                                     |               | 1,5716                                          |                        |
| Temperatura (°C)                                  |               | 133                                             |                        |
| Tempo de liberação (s)                            |               | 600                                             |                        |
| Massa inicial (kg)                                |               | 161,57                                          |                        |
| Taxa de descarga para cálculo de dispersão (kg/s) |               | 18,218                                          |                        |
| Altura do Vazamento (m)                           |               | 1                                               |                        |
| Vazão de H <sub>2</sub> S (kg/s)                  |               | 14,1                                            |                        |
| Resultados das Simulações                         |               |                                                 |                        |
| Efeitos                                           |               | Alcance (m) -<br>DIA                            | Alcance (m) –<br>NOITE |
| Incêndio em poça (kw/m2)                          | 3             | -                                               | -                      |
|                                                   | 12,5          | -                                               | -                      |
|                                                   | 37,5          | -                                               | -                      |
| Incêndio em nuvem                                 | LII           | -                                               | -                      |
| Nuvem tóxica                                      | IDLH          | 778,57                                          | 2458,60                |
|                                                   | 1% fatalidade | 553,37                                          | 1769,30                |

*Tabela 4.10 – Configuração do cenário acidental do EI-02, com os respectivos alcances máximos de efeitos físicos e vulnerabilidade.*

| Evento Iniciador 02 – S (liq.)                               |               |                     |                     |
|--------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| Caracterização do Vazamento                                  |               |                     |                     |
| Substância/Referência                                        |               | Enxofre líquido (S) |                     |
| Diâmetro da Tubulação (pol.)                                 |               | 4                   |                     |
| Pressão acima do líquido, assumindo um sistema fechado (atm) |               | 0,347               |                     |
| Temperatura (°C)                                             |               | 175                 |                     |
| Tempo de liberação (s)                                       |               | 600                 |                     |
| Massa inicial (kg)                                           |               | 1,5003E05           |                     |
| Taxa de descarga para cálculo de dispersão (kg/s)            |               | 0,079               |                     |
| Altura do Vazamento (m)                                      |               | 0                   |                     |
| Vazão de S (kg/s)                                            |               | 0,079               |                     |
| Resultados das Simulações                                    |               |                     |                     |
| Efeitos                                                      |               | Alcance (m) - DIA   | Alcance (m) – NOITE |
| Incêndio em poça (kw/m2)                                     | 3             | 31,2                | 31,2                |
|                                                              | 12,5          | 15                  | 15                  |
|                                                              | 37,5          | 15                  | 15                  |
| Incêndio em nuvem                                            | LII           | -                   | -                   |
| Nuvem tóxica                                                 | IDLH          | -                   | -                   |
|                                                              | 1% fatalidade | -                   | -                   |

*Tabela 4.11 - Configuração do cenário acidental do EI-03-H<sub>2</sub>S, com os respectivos alcances máximos de efeitos físicos e vulnerabilidade.*

| Evento Iniciador 03 – H <sub>2</sub> S            |               |                                                 |                        |
|---------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| Caracterização do Vazamento                       |               |                                                 |                        |
| Substância/Referência                             |               | Gás ácido com 6,75% de H <sub>2</sub> S (massa) |                        |
| Diâmetro da Tubulação (pol.)                      |               | 20                                              |                        |
| Pressão (atm)                                     |               | 1,3334                                          |                        |
| Temperatura (°C)                                  |               | 270                                             |                        |
| Tempo de liberação (s)                            |               | 600                                             |                        |
| Massa inicial (kg)                                |               | 83,767                                          |                        |
| Taxa de descarga para cálculo de dispersão (kg/s) |               | 27,017                                          |                        |
| Altura do Vazamento (m)                           |               | 1                                               |                        |
| Vazão de H <sub>2</sub> S (kg/s)                  |               | 1,6                                             |                        |
| Resultados das Simulações                         |               |                                                 |                        |
| Efeitos                                           |               | Alcance (m) -<br>DIA                            | Alcance (m) –<br>NOITE |
| Incêndio em poça (kw/m2)                          | 3             | -                                               | -                      |
|                                                   | 12,5          | -                                               | -                      |
|                                                   | 37,5          | -                                               | -                      |
| Incêndio em nuvem                                 | LII           | -                                               | -                      |
| Nuvem tóxica                                      | IDLH          | 249,67                                          | 605,27                 |
|                                                   | 1% fatalidade | 168,66                                          | 395,67                 |

*Tabela 4.12 - Configuração do cenário acidental do EI-03-SO<sub>2</sub>, com os respectivos alcances máximos de efeitos físicos e vulnerabilidade.*

| Evento Iniciador 03 – SO <sub>2</sub>             |               |                                                |                        |
|---------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------|------------------------|
| Caracterização do Vazamento                       |               |                                                |                        |
| Substância/Referência                             |               | Gás ácido com 6,72% de SO <sub>2</sub> (massa) |                        |
| Diâmetro da Tubulação (pol.)                      |               | 20                                             |                        |
| Pressão (atm)                                     |               | 1,3334                                         |                        |
| Temperatura (°C)                                  |               | 270                                            |                        |
| Tempo de liberação (s)                            |               | 600                                            |                        |
| Massa inicial (kg)                                |               | 83,767                                         |                        |
| Taxa de descarga para cálculo de dispersão (kg/s) |               | 27,017                                         |                        |
| Altura do Vazamento (m)                           |               | 1                                              |                        |
| Vazão de H <sub>2</sub> S (kg/s)                  |               | 1,6                                            |                        |
| Resultados das Simulações                         |               |                                                |                        |
| Efeitos                                           |               | Alcance (m) -<br>DIA                           | Alcance (m) –<br>NOITE |
| Incêndio em poça (kw/m2)                          | 3             | -                                              | -                      |
|                                                   | 12,5          | -                                              | -                      |
|                                                   | 37,5          | -                                              | -                      |
| Incêndio em nuvem                                 | LII           | -                                              | -                      |
| Nuvem tóxica                                      | IDLH          | 191,38                                         | 447,17                 |
|                                                   | 1% fatalidade | 22,49                                          | 129,08                 |

*Tabela 4.13 - Configuração do cenário acidental do EI-04-H<sub>2</sub>S, com os respectivos alcances máximos de efeitos físicos e vulnerabilidade.*

| Evento Iniciador 04 – H <sub>2</sub> S            |               |                                                                         |                     |
|---------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Caracterização do Vazamento                       |               |                                                                         |                     |
| Substância/Referência                             |               | Gás ácido rico em NH <sub>3</sub> com 8,82% de H <sub>2</sub> S (massa) |                     |
| Diâmetro da Tubulação (pol.)                      |               | 8                                                                       |                     |
| Pressão (atm)                                     |               | 1,0435                                                                  |                     |
| Temperatura (°C)                                  |               | 90                                                                      |                     |
| Tempo de liberação (s)                            |               | 600                                                                     |                     |
| Massa inicial (kg)                                |               | 59,951                                                                  |                     |
| Taxa de descarga para cálculo de dispersão (kg/s) |               | 0,772                                                                   |                     |
| Altura do Vazamento (m)                           |               | 1                                                                       |                     |
| Vazão de H <sub>2</sub> S (kg/s)                  |               | 0,07                                                                    |                     |
| Resultados das Simulações                         |               |                                                                         |                     |
| Efeitos                                           |               | Alcance (m) - DIA                                                       | Alcance (m) – NOITE |
| Incêndio em poça (kw/m2)                          | 3             | -                                                                       | -                   |
|                                                   | 12,5          | -                                                                       | -                   |
|                                                   | 37,5          | -                                                                       | -                   |
| Incêndio em nuvem                                 | LII           | -                                                                       | -                   |
| Nuvem tóxica                                      | IDLH          | 3,08                                                                    | 95,59               |
|                                                   | 1% fatalidade | 3,08                                                                    | 3,05                |

*Tabela 4.14 - Configuração do cenário acidental do EI-04-NH<sub>3</sub>, com os respectivos alcances máximos de efeitos físicos e vulnerabilidade.*

| Evento Iniciador 04 – NH <sub>3</sub>             |               |                                                                         |                     |
|---------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Caracterização do Vazamento                       |               |                                                                         |                     |
| Substância/Referência                             |               | Gás ácido rico em NH <sub>3</sub> com 52,94% de NH <sub>3</sub> (massa) |                     |
| Diâmetro da Tubulação (pol.)                      |               | 8                                                                       |                     |
| Pressão (atm)                                     |               | 1,0435                                                                  |                     |
| Temperatura (°C)                                  |               | 90                                                                      |                     |
| Tempo de liberação (s)                            |               | 600                                                                     |                     |
| Massa inicial (kg)                                |               | 59,951                                                                  |                     |
| Taxa de descarga para cálculo de dispersão (kg/s) |               | 0,772                                                                   |                     |
| Altura do Vazamento (m)                           |               | 1                                                                       |                     |
| Vazão de H <sub>2</sub> S (kg/s)                  |               | 0,41                                                                    |                     |
| Resultados das Simulações                         |               |                                                                         |                     |
| Efeitos                                           |               | Alcance (m) - DIA                                                       | Alcance (m) – NOITE |
| Incêndio em poça (kw/m2)                          | 3             | -                                                                       | -                   |
|                                                   | 12,5          | -                                                                       | -                   |
|                                                   | 37,5          | -                                                                       | -                   |
| Incêndio em nuvem                                 | LII           | 0                                                                       | 0                   |
| Nuvem tóxica                                      | IDLH          | 41,35                                                                   | 201,15              |
|                                                   | 1% fatalidade | 3,08                                                                    | 3,05                |

*Tabela 4.15 - Configuração do cenário acidental do EI-05-H<sub>2</sub>S, com os respectivos alcances máximos de efeitos físicos e vulnerabilidade.*

| Evento Iniciador 05 – H <sub>2</sub> S            |               |                                                      |                        |
|---------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------|------------------------|
| Caracterização do Vazamento                       |               |                                                      |                        |
| Substância/Referência                             |               | Gás ácido rico com 2,77% de H <sub>2</sub> S (massa) |                        |
| Diâmetro da Tubulação (pol.)                      |               | 20                                                   |                        |
| Pressão (atm)                                     |               | 1,3048                                               |                        |
| Temperatura (°C)                                  |               | 324                                                  |                        |
| Tempo de liberação (s)                            |               | 600                                                  |                        |
| Massa inicial (kg)                                |               | 74,558                                               |                        |
| Taxa de descarga para cálculo de dispersão (kg/s) |               | 21,822                                               |                        |
| Altura do Vazamento (m)                           |               | 1                                                    |                        |
| Vazão de H <sub>2</sub> S (kg/s)                  |               | 0,6                                                  |                        |
| Resultados das Simulações                         |               |                                                      |                        |
| Efeitos                                           |               | Alcance (m) -<br>DIA                                 | Alcance (m) –<br>NOITE |
| Incêndio em<br>poça (kw/m2)                       | 3             | -                                                    | -                      |
|                                                   | 12,5          | -                                                    | -                      |
|                                                   | 37,5          | -                                                    | -                      |
| Incêndio em<br>nuvem                              | LII           | -                                                    | -                      |
| Nuvem tóxica                                      | IDLH          | 150,93                                               | 336,44                 |
|                                                   | 1% fatalidade | 110,54                                               | 217,86                 |

*Tabela 4.16 - Configuração do cenário acidental do EI-05-SO<sub>2</sub>, com os respectivos alcances máximos de efeitos físicos e vulnerabilidade.*

| Evento Iniciador 05 – SO <sub>2</sub>             |               |                                                     |                        |
|---------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------|------------------------|
| Caracterização do Vazamento                       |               |                                                     |                        |
| Substância/Referência                             |               | Gás ácido rico com 2,59% de SO <sub>2</sub> (massa) |                        |
| Diâmetro da Tubulação (pol.)                      |               | 20                                                  |                        |
| Pressão (atm)                                     |               | 1,3048                                              |                        |
| Temperatura (°C)                                  |               | 324                                                 |                        |
| Tempo de liberação (s)                            |               | 600                                                 |                        |
| Massa inicial (kg)                                |               | 74,558                                              |                        |
| Taxa de descarga para cálculo de dispersão (kg/s) |               | 21,822                                              |                        |
| Altura do Vazamento (m)                           |               | 1                                                   |                        |
| Vazão de H <sub>2</sub> S (kg/s)                  |               | 0,57                                                |                        |
| Resultados das Simulações                         |               |                                                     |                        |
| Efeitos                                           |               | Alcance (m) -<br>DIA                                | Alcance (m) –<br>NOITE |
| Incêndio em<br>poça (kw/m2)                       | 3             | -                                                   | -                      |
|                                                   | 12,5          | -                                                   | -                      |
|                                                   | 37,5          | -                                                   | -                      |
| Incêndio em<br>nuvem                              | LII           | -                                                   | -                      |
| Nuvem tóxica                                      | IDLH          | 116,12                                              | 243,85                 |
|                                                   | 1% fatalidade | 20,14                                               | 19,93                  |

Dentre os 5 cenários acidentais, o único que causa efeitos físicos extramuros (fora das fronteiras da refinaria) é o do EI-01, i.e., a nuvem tóxica causada por vazamento de gás ácido com 77,6% de H<sub>2</sub>S. A Figura 4.7 mostra o comportamento da nuvem tóxica no período diurno caso o vento esteja em sua direção mais provável (NE) e com sua velocidade média a noite (3,6 m/s), representando assim o cenário acidental mais conservador.

Embora a direção mais provável do vento seja Nordeste, esta pode mudar, ou seja, também existe a probabilidade do vento soprar em outras direções. Neste sentido, faz-se necessário considerar o alcance em todas as direções, como mostrados na Figura 4.8, para 1% de fatalidade, e na Figura 4.9, para o IDLH.

O segundo maior alcance é proveniente do cenário acidental do EI-03. A Figura 4.10 mostra este alcance para 1% de fatalidade, tanto da nuvem de  $H_2S$ , como a de  $SO_2$ . E a Figura 4.11 mostra este alcance para a concentração IDLH.

Apesar do alcance da nuvem de  $H_2S$  do EI-03 baseada no IDLH ultrapassar os limites da refinaria, isso não implica que os riscos para este cenário deverão ser calculados, uma vez que o alcance baseado em 1% de fatalidade não ultrapassa os limites. Tal critério foi estabelecido nas premissas adotadas para dispersão de nuvem tóxica e é baseado em CETESB (2000, p. 21).

Portanto, como mostra o esquema das etapas para elaboração de uma AQR ilustrado na Figura 3.1, o cenário acidental do EI-01 precisa seguir para as próximas etapas: estimativa de frequências e estima dos riscos. A Figura 4.6 identifica (círculo em vermelho) no fluxograma o trecho onde o cenário acidental que representa o EI-01 acontece.

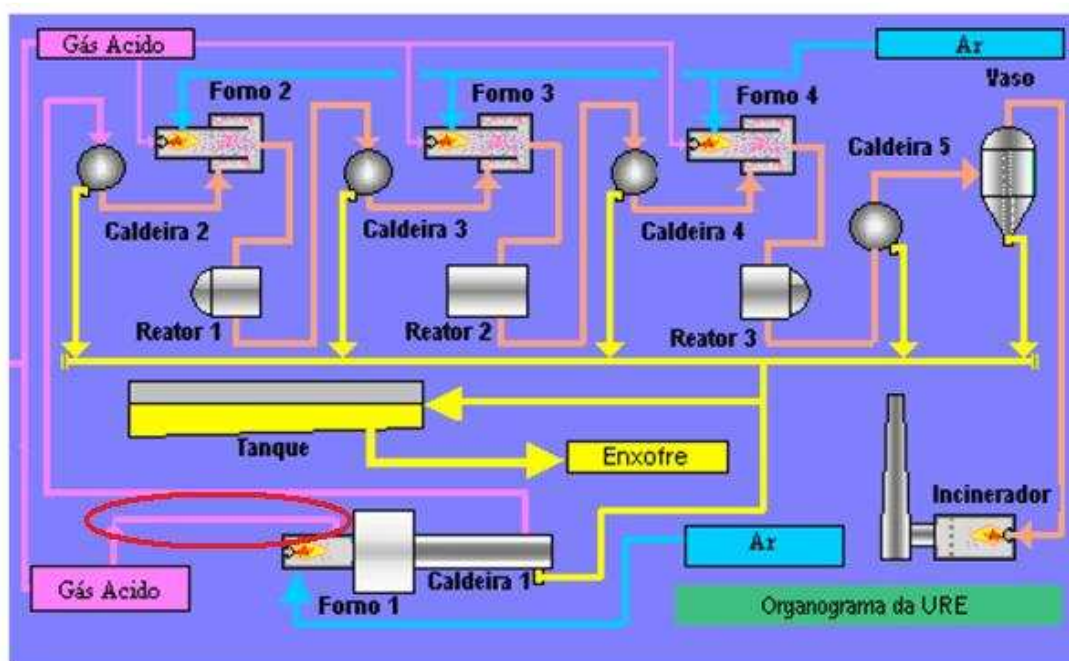


Figura 4.6 - Identificação no fluxograma do cenário acidental que representa o EI-01 (círculo em vermelho).

Uma vez que os alcances de vulnerabilidade dos outros eventos iniciadores não ultrapassam os limites do empreendimento, quantificar os riscos inerentes a eles seria desperdício de tempo e esforço. Assim, eles podem seguir direto para o programa de gerenciamento de riscos.

Consequentemente, as próximas seções consistem nas próximas etapas da AQR para o cenário acidental do EI-01.

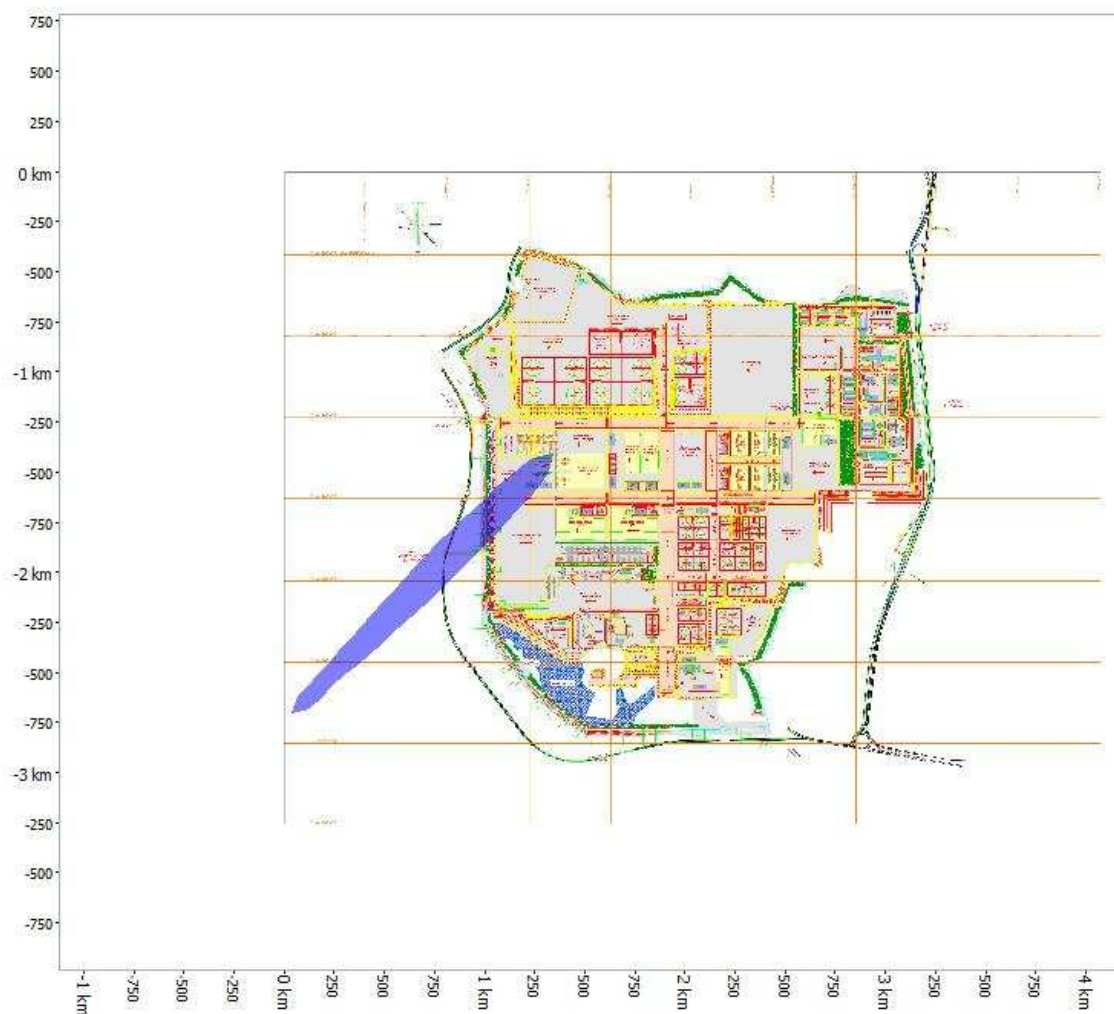


Figura 4.7 - Alcance da nuvem tóxica no período noturno do EI-01 para 1% de fatalidade na direção mais provável do vento (NE) e com a velocidade média do vento igual a 3,6 m/s.



Figura 4.8 - Alcance da nuvem tóxica no período noturno do EI-01 para 1% de fatalidade, em todas as direções do vento e com a velocidade média do vento igual a 3,6 m/s.

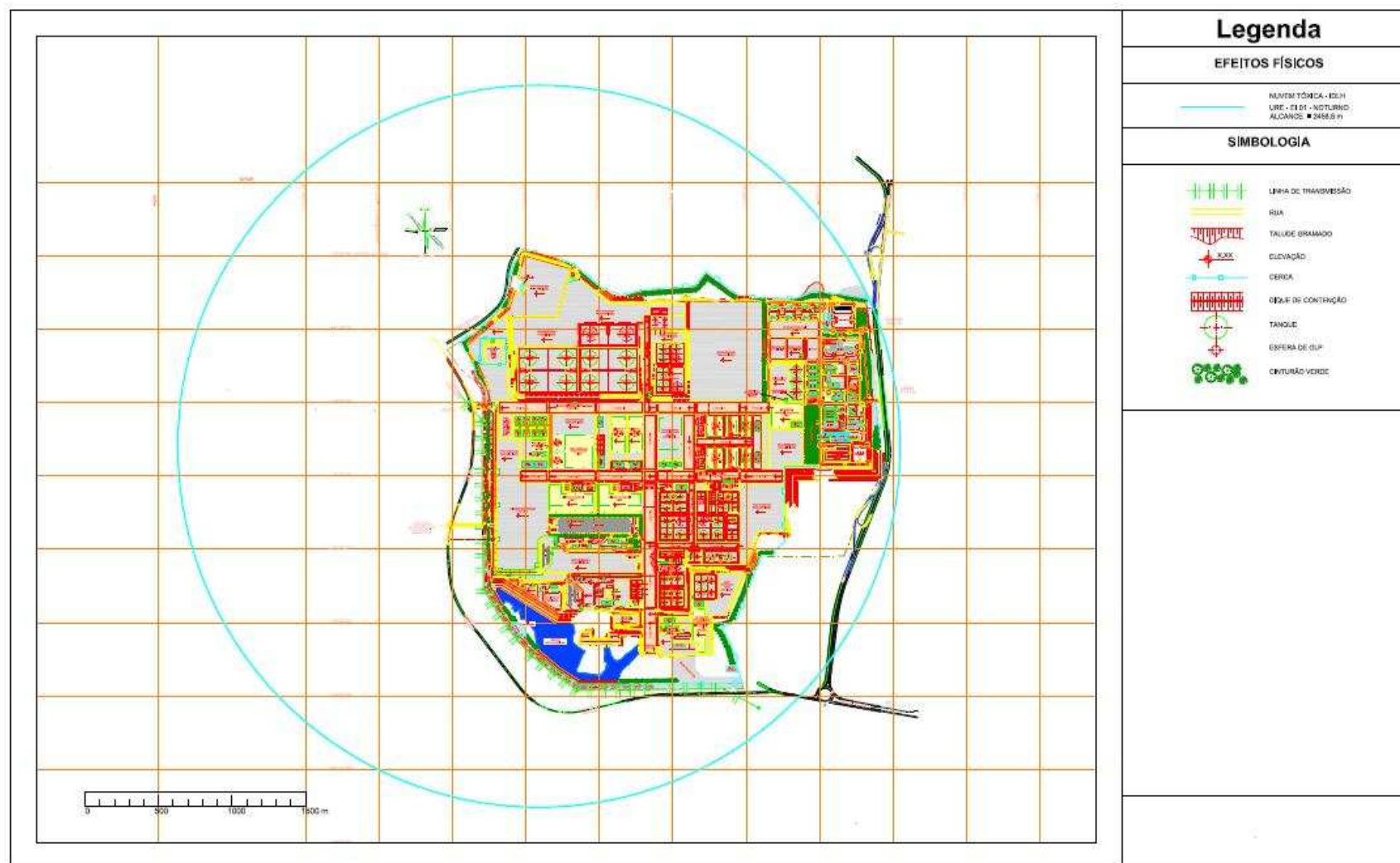


Figura 4.9 - Alcance da nuvem tóxica no período noturno do EI-01 para a concentração IDLH, em todas as direções do vento e com a velocidade média do vento igual a 3,6 m/s.



Figura 4.10 - Alcance da nuvem tóxica no período noturno do EI-03 para 1% de fatalidade, em todas as direções do vento e com a velocidade média do vento igual a 3,6 m/s.



Figura 4.11 - Alcance da nuvem tóxica no período noturno do EI-03 para a concentração IDLH, em todas as direções do vento e com a velocidade média do vento igual a 3,6 m/s.

#### 4.4. Estimativa da frequência de ocorrência dos acidentes

O EI-01 consiste é caracterizado por ser uma ruptura total em uma tubulação com 14 polegadas de diâmetro (14 pol = 355,6 mm) e 100 metros de comprimento. Conforme a Tabela 3.14 e a Tabela 3.15, a frequência de ocorrência de tal evento é de  $1 \times 10^{-7} m^{-1} ano^{-1}$ . Para 100 metros de comprimento:

$$f_{EI-01} = 1 \times 10^{-5} / ano$$

#### 4.5. Estimativa e avaliação dos riscos

Para a quantificação dos riscos social e individual foi utilizado o software RISKCURVES versão 7.6, programa computacional para calcular o risco de vazamento de materiais perigosos, através da entrada das consequências, efeitos físicos e frequência do evento. O RISKCURVES utiliza os cálculos brevemente descritos na seção 3.7 deste trabalho. Suas descrições detalhadas podem ser encontradas em CPR14E (2005), CPR16E (1992) e CRP18E (2005).

Para o cálculo dos riscos, é necessário estabelecer as condições meteorológicas, as quais são as mesmas adotadas na etapa de análise de vulnerabilidade do estudo de caso. Porém, na análise de vulnerabilidade usou-se a velocidade média do vento e a classe de estabilidade predominante. Nesta etapa de cálculo dos riscos, é desejável que os dados sejam os mais detalhados possíveis. Neste sentido, usaremos todos os dados da distribuição de probabilidade das condições meteorológicas, com as frequências de ocorrência em 3 anos (de 2006 a 2008) para as 6 classes de estabilidade, no período diurno e noturno e nas 12 direções do vento. Essa distribuição é requerida pelo RISKCURVES como dados de entrada e está disponibilizada no Anexo.

Além disso, também é preciso definir o tamanho das células na área de interesse e a população presente em cada célula. Estes são feitos nas próximas duas seções e, por fim, os resultados são apresentados na seção 4.5.3.

##### 4.5.1. Definição da célula

Para efeitos físicos com alcance maior que 300 metros, é recomendado o uso de células de 100 x 100 m (CPR18E, 2005). Tal recomendação será adotada.

#### 4.5.2. Definição da população presente

Foram hipoteticamente definidas três áreas populacionais próximas à refinaria e a densidade populacional de cada área em número de habitantes por hectare ( $\text{hm}^2$ ). As Áreas 1 e 3 possuem densidade populacional de 90 habitantes/ $\text{hm}^2$ , e a Área 2 possui densidade populacional de 70 habitantes/ $\text{hm}^2$ . A Figura 4.12 ilustra as áreas populacionais presentes.

A quantidade de pessoas dentro e fora de casa, durante o período diurno e noturno, foi determinada de acordo com a Tabela 3.9.

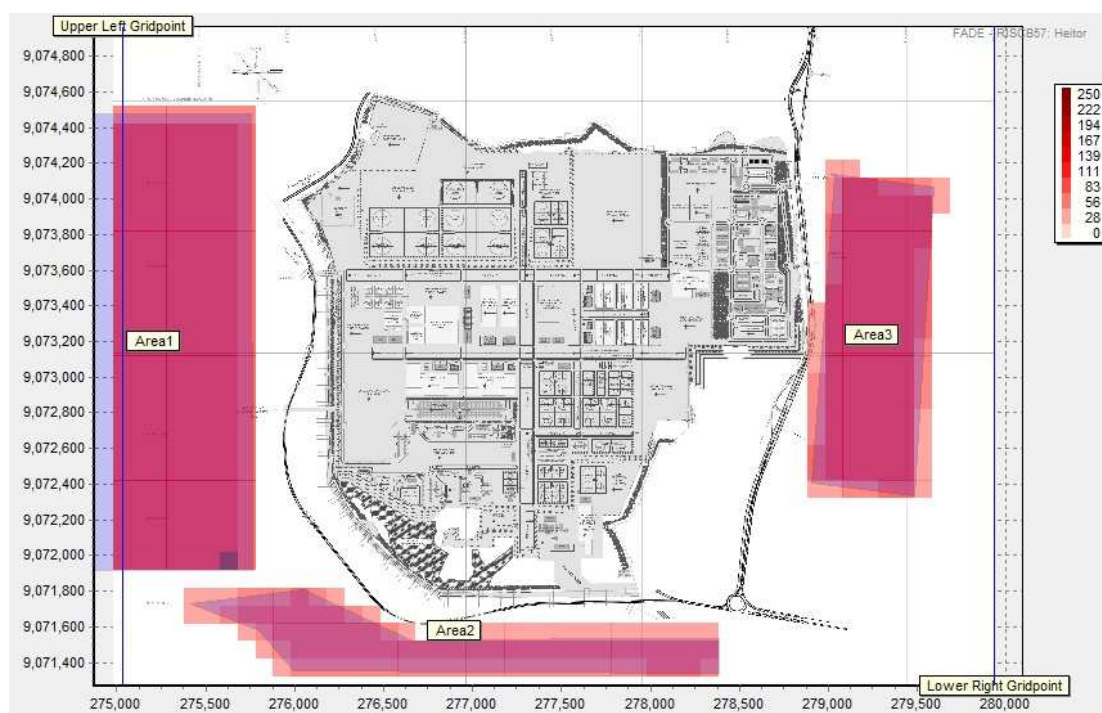


Figura 4.12 - gráfico das áreas populacionais próximas ao estabelecimento.

#### 4.5.3. Resultados

Aqui serão apresentados os resultados das simulações tanto para o risco social, quanto para o risco individual.

A Figura 4.13 representa o cálculo do risco social e é adotada pela regulamentação brasileira como critério para a avaliação do mesmo. Já para avaliação do risco individual, adotam-se as curvas de iso-risco, também conhecidas como contornos de risco. Estas são ilustradas na Figura 4.14.

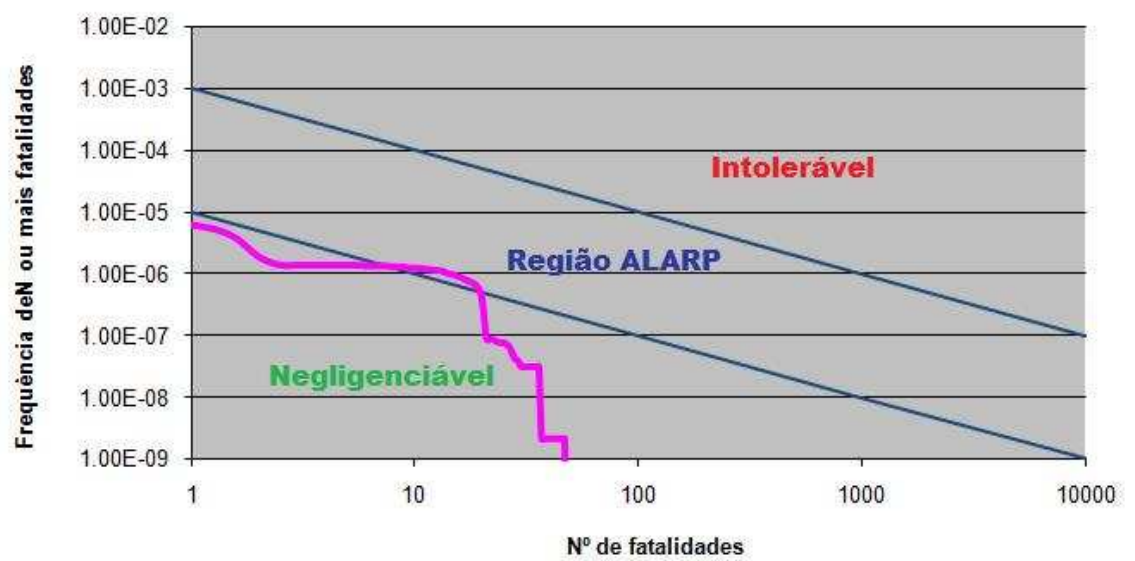


Figura 4.13 - curva FN do cenário acidental causado pelo EI-01, adotada como critério para avaliação do risco social.

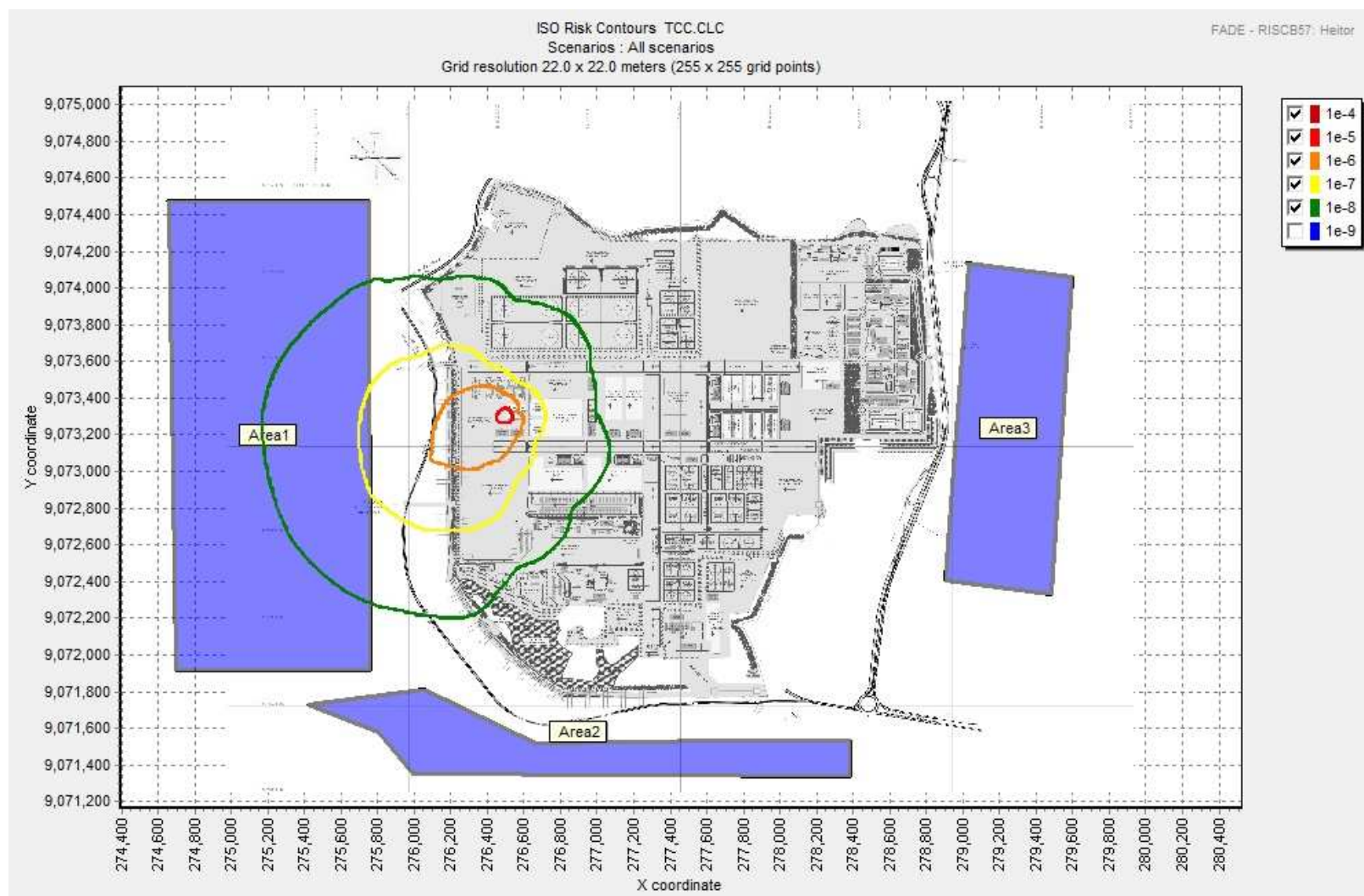


Figura 4.14 - Curva de iso-risco do cenário acidental causado pelo EI-01, adotada como avaliação do risco individual. Os contornos representam a probabilidade de morte individual e seus valores são aqueles definidos na legenda do canto superior direito.

#### 4.5.4. Avaliação dos riscos

Segundo CETESB (2000, p. 29), “Para a aprovação do empreendimento, deverão ser atendidos os critérios de risco social e individual conjuntamente [...]”.

O critério para aprovação quanto ao risco social é que a curva FN esteja situada na região Negligenciável ou região *ALARP* da Figura 4.13, acima da qual os riscos são intoleráveis. Entretanto, “Os riscos situados na região [...] denominada *ALARP* (*As Low As Reasonably Practicable*), embora situados abaixo da região de intolerabilidade, devem ser reduzidos tanto quanto praticável.” (CETESB, 2000, p. 29)

Quanto ao risco individual, são estabelecidos os seguintes limites:

- Risco máximo tolerável:  $1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$ ;
- Risco negligenciável:  $< 1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$ .

Desta forma, a região *ALARP* para o risco individual situa-se entre  $1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$  e  $1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$ . Qualquer valor acima de  $1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$  não deve atingir qualquer área populacional.

Analisando a curva FN da Figura 4.13, o risco social está dentro dos limites, uma vez que situa-se sempre abaixo da região de intolerabilidade. Entretanto, em certos números de fatalidade (entre 10 e 100), a curva encontra-se na região *ALARP*, significando que os riscos devem ser reduzidos tanto quanto praticável.

Quanto ao risco individual, analisando as curvas de iso-risco da Figura 4.14, o primeiro contorno a atingir qualquer região populacional (contorno amarelo) é o de probabilidade de fatalidade igual a  $1 \times 10^{-7} \text{ ano}^{-1}$ . Este valor está abaixo da região *ALARP* para o risco individual. Embora haja contornos com alto risco individual (maiores que o limite), estes estão dentro das fronteiras do empreendimento e assume-se que as pessoas que lá estão (empregados), o fazem voluntariamente e estão cientes do risco.

Tanto os critérios de risco social, quanto os de risco individual, são atendidos. Portanto, no que diz respeito aos riscos inerentes à URE, o empreendimento deverá ser aprovado pela CETESB.

## **5. CONCLUSÕES**

O principal foco deste trabalho foi aplicar a Análise Quantitativa de Risco (AQR) em uma típica Unidade de Recuperação de Enxofre (URE) de uma refinaria de petróleo, baseado nos métodos de cálculo mais atuais (CPR18E, 2005) e na regulamentação brasileira (CETESB, 2000).

Como primeira etapa da AQR, foram realizadas Análises Preliminares de Risco (APRs) na unidade e 120 cenários acidentais foram identificados. Os riscos dos cenários variaram entre Tolerável e Moderado e nenhum deles foi avaliado como Não Tolerável, devido às medidas mitigadoras serem suficientes para controlar as consequências do acidente.

Embora não houve nenhum cenário com risco Não Tolerável, foi utilizada a severidade como critério para selecionar os cenários acidentais que devem seguir para a próxima etapa da AQR. Desta forma, foram selecionados 10 cenários acidentais, os quais foram agrupados em 5 eventos iniciadores.

Em seguida, na etapa de Análise de Vulnerabilidade e Efeitos Físicos, foram identificadas as consequências dos acidentes e obtidos os alcances de vulnerabilidade. Os maiores alcances foram do Evento Iniciador 1 (EI-01) e do Evento Iniciador 3 (EI-03), mas só o alcance do EI-01 ultrapassou os limites da refinaria.

Por conseguinte, foi necessário estimar a frequência de ocorrência do EI-01 e calcular os riscos individual e social. Enquanto que para os outros eventos, por não causarem danos extramuros, continuar com as próximas etapas da AQR significaria desperdiçar esforços.

Portanto, foram calculados os riscos do EI-01, os quais representam os riscos extramuros inerentes à URE. Seus resultados foram apresentados pela curva FN, para o risco social, e pela curva de iso-risco, para o risco individual.

Finalmente, os riscos foram comparados com os limites estabelecidos pela regulamentação brasileira e resultou que, a depender apenas dos riscos inerentes à URE, o empreendimento deverá ser aprovado.

Para o autor, o trabalho foi de grande aprendizado e contribuição na sua carreira acadêmica e profissional, uma vez que ele pretende seguir com o desenvolvimento de trabalhos na área de Confiabilidade e Análise de Riscos, como mestrando e integrante do CEERMA.

Neste trabalho, foram calculados apenas riscos a pessoas, ou melhor, à comunidade circunvizinha ao empreendimento. Em outras palavras, riscos ecológicos não foram quantificados. Para a quantificação de riscos ecológicos, a metodologia é outra, pois envolve danos a vários elementos, como a contaminação de lençóis freáticos, contaminação de águas na superfície, contaminação do solo, incêndio de florestas, etc.

Neste sentido, uma proposta para trabalhos futuros seria analisar um sistema o qual apresente riscos de maior severidade ao meio-ambiente e, assim, quantificar os mesmos, através de metodologia disponível na literatura. Outra proposta seria desenvolver uma metodologia própria para tal, ou melhorar as já existentes.

## REFERÊNCIAS

- AICHE: American Institute of Chemical Engineers. *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. 2ª ed. New York. 2000.
- ARAÚJO, M. A. S. *Processos de Refino*: PETROBRAS. 2007.
- CANDEIAS, D. *Acidente na URE: Queda devido a vazamento de H<sub>2</sub>S*. Disponível em: <<http://www.sindipetrocaxias.org.br/imprensa/pdf/un45.pdf>>. Acesso em 20/08/2009.
- CASAL, J. *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants*, v.8. 2007. (Industrial Safety Series).
- CETESB. *Manual de orientação para elaboração de estudos de análise de riscos*. 2000. 52 p.
- CONAMA. *RESOLUÇÃO/conama/N.º 382 de 26 de dezembro de 2006*.
- CPR14E: Committee for the prevention of disasters. *Methods for the calculation of physical effects (the "Yellow Book")*. 3ª ed. 2005.
- CPR16E: Committee for the prevention of disasters. *Methods for the Determination of Possible Damage (the "Green Book")*. 1ª ed. 1992.
- CPR18E. *Guideline for quantitative risk assessment: "Purple book"*. 3ª ed. 2005.
- GUIMARÃES, E. M. *Causas e Formas de corrosão na Unidade de Recuperação de Enxofre da Refinaria Gabriel Passos (REGAP/PETROBRAS)*. (Dissertação de Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2006.
- NIOSH: National Institute of Occupational Safety and Health. *Pocket Guide to Chemical Hazards*. 2005.
- PETROBRAS. *Estudo e Relatório de Impacto Ambiental - EIA/RIMA do empreendimento "REFINARIA DO NORDESTE - RNEST"*. 2006. 1770 p.
- \_\_\_\_\_. *N-2782: Técnicas Aplicáveis à Análise de Riscos Industriais*. 2008.
- ROCHA, B. *Sindipetro Caxias pede interdição das UREs da Reduc*. Disponível em: <<http://www.sindipetrocaxias.org.br/imprensa/pdf/un137.pdf>>. Acesso em 20/08/2009.
- SZKLO, A. S.; ULLER, V. C. *Fundamentos do Refino do Petróleo*. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2008. 286 p.
- TEIXEIRA, P. C. *Enxofre*. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/sumariomineral2005/Enxofre%202005rev.doc>>. Acesso em 15/09/2009.

## GLOSSÁRIO

- **Análise de vulnerabilidade:** Estudo realizado para a previsão dos impactos danosos às pessoas, instalações e meio ambiente. Baseado em limites de tolerância estabelecidos através do parâmetro *Probit* para os efeitos de sobrepressão decorrentes de explosões, radiações térmicas decorrentes de incêndios e efeitos tóxicos de emissões agudas de substâncias químicas na atmosfera.
- **BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*):** Explosões físicas causadas pela ruptura de equipamentos contendo gás pressurizado ou líquido super aquecido em equilíbrio com sua fase vapor.
- **Cenário:** Define uma combinação de evento iniciador e efeitos físicos decorrentes.
- **Dano:** Efeito adverso à integridade física de um organismo.
- **Efeitos físicos:** Fenômenos físicos que ocorrem durante ou após o vazamento de substâncias químicas perigosas.
- **Estabilidade atmosférica:** Medida do grau de turbulência da atmosfera, normalmente definida em termos de gradiente vertical de temperatura. Segundo Pasquill, a atmosfera pode ser classificada em seis categorias de estabilidade, de A a F, sendo A a mais instável, F a mais estável e D a neutra.
- **Estudo de Impacto Ambiental (EIA):** Processo de realização de estudos preditivos sobre um empreendimento, analisando e avaliando os resultados. O EIA é composto de duas partes: uma fase de previsão, em que se procura prever os efeitos de impactos esperados antes que ocorra o empreendimento e outra em que se procura medir, interpretar e minimizar os efeitos ambientais durante a construção e após a finalização do empreendimento.
- **Evento iniciador:** Acidente que causa uma sequência de eventos e consequências.
- **Explosão em nuvem:** Explosões químicas envolvendo uma significativa quantidade de gás inflamável ou vapor misturado ao ar.
- **Fluxograma de Engenharia:** Representação da instrumentação do processo, apresentando quais instrumentos/dispositivos de medição estão instalados, onde estão instalados, qual sua função e quais estão ligados entre si formando uma malha de controle. Pode apresentar dados como o diâmetro das tubulações e as dimensões dos equipamentos.

- **Fluxograma de processo:** Representação esquemática do processo, apresentando os equipamentos, máquinas, tubulações, válvulas e instrumentos principais. Podem ser explicitados dados do processo como vazão, pressão e temperatura.
- **Incêndio em nuvem (*flash fire*):** Incêndio repentino e intenso em que a chama se propaga através de uma mistura de ar e gás ou vapor inflamável que esteja dentro dos limites de inflamabilidade.
- **Incêndio em poça:** Combustão de uma poça de líquido inflamável (normalmente um hidrocarboneto) com determinada forma e tamanho. A formação da poça é proveniente da fissura ou ruptura de um equipamento ou tubulação contendo líquido inflamável.
- **Inventário:** Massa ou energia diretamente envolvida em um acidente.
- **Jato de Fogo:** Fenômeno que ocorre quando um gás inflamável escoar a alta velocidade e encontra uma fonte de ignição próxima ao vazamento.
- **Limite Inferior de Inflamabilidade:** Mínima concentração de um gás que, misturada ao ar atmosférico, é capaz de provocar a combustão do produto, a partir do contato com uma fonte de ignição.
- **Nuvem Tóxica:** Massa de vapor ou gás causada por dispersão atmosférica de substância tóxica.
- **Probit:** Parâmetro que serve para relacionar a intensidade de fenômenos como radiação térmica, sobrepressão e concentração tóxica com os danos que podem causar. O Probit (unidade de probabilidade) é uma variável randômica com média 5 e variância 1.
- **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA):** Documento que tem por objetivo refletir as conclusões de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA).
- **Vulnerabilidade 1%:** Limite onde 1% da população exposta morrerá devido a um acidente envolvendo substâncias perigosas
- **Vulnerabilidade 50%:** Limite onde 50% da população exposta morrerá devido a um acidente envolvendo substâncias perigosas

Fontes: Casal (2007), CPR18E (2005) e CETESB (2000).

## **APÊNDICE**

### **Análise Preliminar de Risco (APR)**

As próximas páginas deste apêndice apresentam as tabelas das APRs elaboradas em planilhas Excel pelo autor.

Foram identificados 120 cenários acidentais, onde 10 possuem categoria de severidade maior igual a III.

Os cenários acidentais em vermelho são aqueles que representam os 5 eventos iniciadores.

Vale ressaltar que os cenários acidentais 113 a 116 encontram-se incompletos, pois devido à falta de dados nos documentos de referência do processo da URE, não foi possível identificar a composição dos contaminantes na corrente dos cenários em questão.

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                            |                                                        |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Seção de alimentação |           |            | Trecho: Do limite de bateria da unidade até a entrada do vaso F-3601                                                                                                                                                            |             |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                      |                                                        |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              | Revisão: 02 |  |
| Perigos                                                                                        | Causas                                                 | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                    | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário     |  |
| Pequena liberação de gás ácido (79,07% de H2S e 0,04% de NH3)<br>T = 90 °C<br>P = 1,29 kgf/cm² | Fissura em:<br>- Tubulação<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | D                             | II        | M          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 1           |  |
|                                                                                                |                                                        | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | D                             | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 2           |  |
| Grande liberação de gás ácido (79,07% de H2S e 0,04% de NH3)<br>T = 90 °C<br>P = 1,29 kgf/cm²  | Ruptura em:<br>- Tubulação<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                             | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 3           |  |
|                                                                                                |                                                        | Meio Ambiente:<br>- Contaminação             | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                             | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 4           |  |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                            |                                                        |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Seção de alimentação |           |            | Trecho: Linha entre o vaso F-3601 e o aquecedor C-3601                                                                                                                                                                          |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                      |                                                        |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              | Revisão: 02 |
| Perigos                                                                                        | Causas                                                 | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                    | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário     |
| Pequena liberação de gás ácido (79,07% de H2S e 0,04% de NH3)<br>T = 90 °C<br>P = 1,29 kgf/cm² | Fissura em:<br>- Tubulação<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | D                             | II        | M          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 5           |
|                                                                                                |                                                        | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | D                             | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 6           |
| Grande liberação de gás ácido (79,07% de H2S e 0,04% de NH3)<br>T = 90 °C<br>P = 1,29 kgf/cm²  | Ruptura em:<br>- Tubulação<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                             | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 7           |
|                                                                                                |                                                        | Meio Ambiente:<br>Danos leve                 | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                             | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 8           |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                        |                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Seção de alimentação |           |            | Trecho: Linha entre o vaso F-3601 e o vaso F-3602                                                                                                                                                                               |         |             |  |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|--|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                        |                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              |         | Revisão: 01 |  |
| Perigos                                                                   | Causas                                                 | Efeitos                                            | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                    | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário |             |  |
| Pequena liberação de água ácida                                           | Fissura em:<br>- Tubulação<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Pequena poça de água ácida | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | D                             | I         | T          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 9       |             |  |
|                                                                           |                                                        | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos       | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | D                             | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 10      |             |  |
| Grande liberação de água ácida                                            | Ruptura em:<br>- Tubulação<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Poça de água ácida         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                             | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 11      |             |  |
|                                                                           |                                                        | Meio Ambiente:<br>- Contaminação                   | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                             | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 12      |             |  |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                                   |                                                        |                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Seção de alimentação |           |            | Trecho: Do limite de bateria da unidade até a entrada do vaso F-3602                                                                                                                                                            |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                             |                                                        |                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              | Revisão: 02 |
| Perigos                                                                                               | Causas                                                 | Efeitos                                                      | Modos de Detecção/Salvaguadas                                                                                                                                                                                                                      | Cat. Freq.                    | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário     |
| Pequena liberação de gás rico em NH3 (56,64% de NH3, 4,72% de H2S)<br>T = 90 °C<br>P = 0,045 kgf/cm²g | Fissura em:<br>- Tubulação<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;                         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | D                             | I         | T          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 13          |
|                                                                                                       |                                                        | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos                 | - Sistema de águas contaminadas;<br>- SPIE                                                                                                                                                                                                         | D                             | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 14          |
| Grande liberação de gás rico em NH3 (56,64% de NH3, 4,72% de H2S)<br>T = 90 °C<br>P = 0,045 kgf/cm²g  | Ruptura em:<br>- Tubulação<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;<br>- Explosão em nuvem. | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                             | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 15          |
|                                                                                                       |                                                        | Meio Ambiente:<br>Danos leve                                 | - Sistema de águas contaminadas;<br>- SPIE                                                                                                                                                                                                         | B                             | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 16          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                        |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Seção de alimentação |           | Trecho: Linha de saída do vaso F-3601, passando pelo vaso F-3602 até a saída da unidade. |                                                                                                                                                                                                                                  |             |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                        |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |           |                                                                                          | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 01 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                 | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                    | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                                               | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de água ácida                                           | Fissura em:<br>- Tubulação<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Poça de água ácida   | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | D                             | I         | T                                                                                        | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 17          |
|                                                                           |                                                        | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | - Sistema de águas contaminadas;<br>- SPIE                                                                                                                                                                                                         | D                             | I         | T                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                  | 18          |
| Grande liberação de água ácida                                            | Ruptura em:<br>- Tubulação<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Poça de água ácida   | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                             | II        | T                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                  | 19          |
|                                                                           |                                                        | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | - Sistema de águas contaminadas;<br>- SPIE                                                                                                                                                                                                         | B                             | I         | T                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                  | 20          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                              |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Seção de alimentação |           | Trecho: Linha (1) entre o aquecedor C-3601 e o forno B-3601 (d = 14") |                                                                                                                                                                                                                                  |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                        |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |           |                                                                       | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 02 |
| Perigos                                                                                          | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                    | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                            | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de gás ácido (79,07% de H2S e 0,04% de NH3)<br>T = 133 °C<br>P = 0,59 kgf/cm²g | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | D                             | II        | M                                                                     | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 21          |
|                                                                                                  |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | - Sistema de águas contaminadas;<br>- SPIE                                                                                                                                                                                                         | D                             | I         | T                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                  | 22          |
| Grande liberação de gás ácido (79,07% de H2S e 0,04% de NH3)<br>T = 133 °C<br>P = 0,59 kgf/cm²g  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                             | III       | M                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                  | 23          |
|                                                                                                  |                                                       | Meio Ambiente:<br>Danos leve                 | - Sistema de águas contaminadas;<br>- SPIE                                                                                                                                                                                                         | B                             | II        | T                                                                     | 24                                                                                                                                                                                                                               |             |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                              |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Seção de alimentação |           | Trecho: Linha (3) entre o aquecedor C-3601 e o forno B-3602 (d = 6") |                                                                                                                                                                                                                                 |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                        |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |           |                                                                      | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              | Revisão: 02 |
| Perigos                                                                                          | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                    | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                           | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário     |
| Pequena liberação de gás ácido (79,07% de H2S e 0,04% de NH3)<br>T = 133 °C<br>P = 0,50 kgf/cm²g | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | D                             | II        | M                                                                    | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 25          |
|                                                                                                  |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | D                             | I         | T                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                 | 26          |
| Grande liberação de gás ácido (79,07% de H2S e 0,04% de NH3)<br>T = 133 °C<br>P = 0,50 kgf/cm²g  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                             | III       | M                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                 | 27          |
|                                                                                                  |                                                       | Meio Ambiente:<br>Danos leve                 | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                             | II        | T                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                 | 28          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Forno B-3601 e Caldeira GV-3601 |           |            | Trecho: Linha (2) entre o aquecedor de ar C-3602 e o Forno B-3601 (d = 8")                                                                                                                                                      |         |             |  |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|--|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                          |           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              |         | Revisão: 02 |  |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                               | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário |             |  |
| Pequena liberação de ar quente<br>T = 120 °C<br>P = 0,40 kgf/cm²g         | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                                        | I         | T          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 29      |             |  |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | SPIE                                                                                                                                                                                                                                               | B                                        | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | -       |             |  |
| Pequena liberação de ar quente<br>T = 120 °C<br>P = 0,40 kgf/cm²g         | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | A                                        | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 30      |             |  |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | SPIE                                                                                                                                                                                                                                               | A                                        | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | -       |             |  |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Forno B-3601 e Caldeira GV-3601 |           | Trecho: Linha (4) entre o aquecedor de ar C-3602 e o Forno B-3602 (d = 3") |                                                                                                                                                                                                                                  |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                          |           |                                                                            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 01 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                              | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                               | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                                 | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de ar quente<br>T = 120 °C<br>P = 0,34 kgf/cm²g         | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras; | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                                        | I         | T                                                                          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 31          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- nenhum           | SPIE                                                                                                                                                                                                                                               | B                                        | I         | T                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                  | -           |
| Grande liberação de ar quente<br>T = 120 °C<br>P = 0,34 kgf/cm²g          | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras; | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | A                                        | I         | T                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                  |             |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- nenhum           | SPIE                                                                                                                                                                                                                                               | A                                        | I         | T                                                                          | -                                                                                                                                                                                                                                |             |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                                                                                                   | Sistema: Forno B-3601 e Caldeira GV-3601                                                                                                                                                                                                           |            | Trecho: Linha entre a caldeira GV-3601, passando pelo pote de selagem F-3605 até o tanque F-3611 |            |                                                                                                                                                                                                                                  |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                    |            |                                                                                                  |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 01 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                                                                                           | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq. | Cat. Sev.                                                                                        | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de enxofre líquido<br>T = 300 °C<br>P = ?               | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz nuvem tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e vias aéreas | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B          | II                                                                                               | T          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 33          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos                                                                      | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B          | I                                                                                                | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 34          |
| Grande liberação de enxofre líquido<br>T = 300 °C<br>P = ? kgf/cm²        | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz nuvem tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e vias aéreas | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | A          | II                                                                                               | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 35          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>Danos leve                                                                                      | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A          | II                                                                                               | T          | 36                                                                                                                                                                                                                               |             |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                |                                                       |                                              | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores                                                                                                                                                                                                    |            |           | Trecho: Linha entre a caldeira GV-3601 e o condensador C-3603 |                                                                                                                                                                                                                                 |             |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A          |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |            |           |                                                               | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              | Revisão: 02 |
| Perigos                                                                            | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq. | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                    | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário     |
| Pequena liberação de gás ácido (5,48% de H2S; 2,91% de SO2)<br>T = 300 °C<br>P = ? | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | C          | II        | M                                                             | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 37          |
|                                                                                    |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | C          | I         | T                                                             |                                                                                                                                                                                                                                 | 38          |
| Grande liberação de gás ácido (5,48% de H2S; 2,91% de SO2)<br>T = 300 °C<br>P = ?  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br><del>Monitoramento por circuito</del>                                                                                        | A          | II        | T                                                             |                                                                                                                                                                                                                                 | 39          |
|                                                                                    |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Contaminação             | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A          | II        | T                                                             |                                                                                                                                                                                                                                 | 40          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Forno B-3601 e Caldeira GV-3601 |           | Trecho: Linha (15) entre o condensador C-3603, passando pelo pote de selagem F-3606 até o tanque F-3611 (d = 4") |                                                                                                                                                                                                                                  |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                          |           |                                                                                                                  | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 01 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                                                                                           | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                               | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                                                                       | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de enxofre líquido<br>T = 175 °C<br>P =0,36 kgf/cm²     | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz nuvem tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e vias aéreas | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                                        | II        | T                                                                                                                | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 41          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos                                                                      | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                                        | I         | T                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                  | 42          |
| Grande liberação de enxofre líquido<br>T = 175 °C<br>P =0,36 kgf/cm²      | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz nuvem tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e vias aéreas | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | A                                        | III       | T                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                  | 43          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>Danos leve                                                                                      | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A                                        | II        | T                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                  | 44          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                            |                                                       |                                              | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores                                                                                                                              |            |           | Trecho: Linha (6) entre o condensador C-3603 e o forno inline B-3602 (d = 20") |                                                                                                                                                                                                                                 |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                      |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                              |            |           |                                                                                | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              | Revisão: 02 |
| Perigos                                                                                        | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                               | Cat. Freq. | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                                     | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário     |
| Pequena liberação de gás ácido (5,48% de H2S; 2,91% de SO2)<br>T = 175 °C<br>P = 0,36 kgf/cm²g | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV) | C          | II        | M                                                                              | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 45          |
|                                                                                                |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                | C          | I         | T                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                 | 46          |
| Grande liberação de gás ácido (5,48% de H2S; 2,91% de SO2)<br>T = 175 °C<br>P = 0,36 kgf/cm²g  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                             | A          | III       | T                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                 | 47          |
|                                                                                                |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Contaminação             | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                | A          | II        | T                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                 | 48          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                             |                                                       |                                              | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores                                                                                                                                                                                                    |            | Trecho: Linha (7) entre o forno inline B-3602 e o reator D-3601 (d = 20") |            |                                                                                                                                                                                                                                  |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                       |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |            |                                                                           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 02 |
| Perigos                                                                                         | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq. | Cat. Sev.                                                                 | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de gás ácido (5,48% de H2S; 2,90% de SO2)<br>T = 270 °C<br>P = 0,345 kgf/cm²g | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | C          | II                                                                        | M          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 49          |
|                                                                                                 |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | C          | I                                                                         | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 50          |
| Grande liberação de gás ácido (5,48% de H2S; 2,90% de SO2)<br>T = 270 °C<br>P = 0,345 kgf/cm²g  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | A          | III                                                                       | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 51          |
|                                                                                                 |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Contaminação             | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A          | II                                                                        | T          | 52                                                                                                                                                                                                                               |             |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                       |                                                       |                                              | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores                                                                                                                                                                                                    |            |           | Trecho: Linha (8) entre o reator D-3601 e o condensador C-3604 (d = 20") |                                                                                                                                                                                                                                 |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                 |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |            |           |                                                                          | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              | Revisão: 01 |
| Perigos                                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq. | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                               | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário     |
| Pequena liberação de gás (2,27% de H2S, 1,13% de SO2)<br>T = 324 °C<br>P = 0,315 kgf/cm²g | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | C          | II        | M                                                                        | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 53          |
|                                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | C          | I         | T                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                 | 54          |
| Grande liberação de gás (2,27% de H2S, 1,13% de SO2)<br>T = 324 °C<br>P = 0,315 kgf/cm²g  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | A          | III       | T                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                 |             |
|                                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Contaminação             | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;                                                                                                                                                                                              | A          | II        | T                                                                        | 56                                                                                                                                                                                                                              |             |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores |           |            | Trecho: Linha (16) entre o condensador C-3604, passando pelo pote de selagem F-3607 até o tanque F-3611 (d = 3")                                                                                                                |             |  |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                 |           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              | Revisão: 01 |  |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                                                                                           | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                                      | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário     |  |
| Pequena liberação de enxofre líquido<br>T = 175 °C<br>P =0,27 kgf/cm²g    | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz nuvem tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e vias aéreas | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                                               | II        | T          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 57          |  |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos                                                                      | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                                               | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 58          |  |
| Grande liberação de enxofre líquido<br>T = 175 °C<br>P =0,27 kgf/cm²g     | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz nuvem tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e vias aéreas | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | A                                               | III       | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 59          |  |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>Danos leve                                                                                      | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A                                               | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 60          |  |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                            |                                                       |                                              | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores                                                                                                                                                                                                    |            |           | Trecho: Linha entre o condensador C-3604 e o reaquecedor C-3605 |                                                                                                                                                                                                                                  |             |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A      |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |            |           |                                                                 | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                        | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq. | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                      | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de gás (2% de H2S, 1% de SO2)<br>T = 180 °C<br>P = ? kgf/cm² | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | C          | II        | M                                                               | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 61          |
|                                                                                |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | C          | I         | T                                                               |                                                                                                                                                                                                                                  | 62          |
| Grande liberação de gás (2% de H2S, 1% de SO2)<br>T = 180 °C<br>P = ? kgf/cm²  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | A          | II        | T                                                               |                                                                                                                                                                                                                                  | 63          |
|                                                                                |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Contaminação             | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A          | II        | T                                                               |                                                                                                                                                                                                                                  | 64          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                              | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores                                                                                                                                                                                                    |            |           | Trecho: Linha entre o reaquecedor C-3605 e o reator D-3602 |                                                                                                                                                                                                                                  |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |            |           |                                                            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq. | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                 | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de gás (2% de H2S, 1% de SO2)<br>T = 220 °C<br>P = ?    | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | C          | II        | M                                                          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 65          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | C          | I         | T                                                          |                                                                                                                                                                                                                                  | 66          |
| Grande liberação de gás (2% de H2S, 1% de SO2)<br>T = 220 °C<br>P = ?     | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | A          | II        | T                                                          |                                                                                                                                                                                                                                  | 67          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Contaminação             | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A          | II        | T                                                          |                                                                                                                                                                                                                                  | 68          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                    |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores |           |            | Trecho: Linha (9) entre o reator D-3602 e o condensador C-3606 (d = 20")                                                                                                                                                         |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A              |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                 |           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                                | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                                      | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de gás (0.7% de H2S; 0,35% de SO2)<br>T = 240 °C<br>P = 0,21 kgf/cm² | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                                               | II        | T          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 69          |
|                                                                                        |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                                               | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 70          |
| Grande liberação de gás (0.7% de H2S; 0,35% de SO2)<br>T = 240 °C<br>P = 0,21 kgf/cm²  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | A                                               | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 71          |
|                                                                                        |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A                                               | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 72          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores |           | Trecho: Linha (17) entre o condensador C-3606, passando pelo pote de selagem F-3608 até o tanque F-3611 (d = 3") |                                                                                                                                                                                                                                 |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                 |           |                                                                                                                  | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                                                                                           | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                                      | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                                                                       | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário     |
| Pequena liberação de enxofre líquido<br>T = 170 °C<br>P =0,165 kgf/cm²    | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz névum tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e vias aéreas | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                                               | II        | T                                                                                                                | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 73          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos                                                                      | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                                               | I         | T                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                 | 74          |
| Grande liberação de enxofre líquido<br>T = 170 °C<br>P =0,165 kgf/cm²     | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz névum tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e vias aéreas | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | A                                               | III       | T                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                 | 75          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>Danos leve                                                                                      | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A                                               | II        | T                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                 | 76          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                 |                                                       |                                              | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores                                                                                                                                                                                                    |            |           | Trecho: Linha entre o condensador C-3606 e o reaquecedor C-3607 |                                                                                                                                                                                                                                  |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A           |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |            |           |                                                                 | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                             | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq. | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                      | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de gás (0.7% de H2S; 0,35% de SO2)<br>T = 165 °C<br>P = ? kgf/cm² | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B          | I         | T                                                               | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 77          |
|                                                                                     |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B          | I         | T                                                               |                                                                                                                                                                                                                                  | 78          |
| Grande liberação de gás (0.7% de H2S; 0,35% de SO2)<br>T = 165 °C<br>P = ? kgf/cm²  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | A          | II        | T                                                               |                                                                                                                                                                                                                                  | 79          |
|                                                                                     |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A          | I         | T                                                               |                                                                                                                                                                                                                                  | 80          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                 |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores |           |            | Trecho: Linha entre o reaquecedor C-3607 e o reator D-3603                                                                                                                                                                      |             |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A           |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                 |           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              | Revisão: 00 |  |
| Perigos                                                                             | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                                      | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário     |  |
| Pequena liberação de gás (0.7% de H2S; 0,35% de SO2)<br>T = 205 °C<br>P = ? kgf/cm² | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                                               | I         | T          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 81          |  |
|                                                                                     |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                                               | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 82          |  |
| Grande liberação de gás (0.7% de H2S; 0,35% de SO2)<br>T = 205 °C<br>P = ? kgf/cm²  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br><del>Monitoramento por circuito</del>                                                                                        | A                                               | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 83          |  |
|                                                                                     |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A                                               | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                 | 84          |  |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                      |                                                       |                                              | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores                                                                                                                                                                                                    |            |           | Trecho: Linha (10) entre o reator D-3603 e o condensador C-3608 (d = 20") |                                                                                                                                                                                                                                  |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |            |           |                                                                           | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                                  | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq. | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                                | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de gás (0,32% de H2S; 0,16% de SO2)<br>T = 201 °C<br>P = 0,105 kgf/cm² | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B          | I         | T                                                                         | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 85          |
|                                                                                          |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B          | I         | T                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                  | 86          |
| Grande liberação de gás (0,32% de H2S; 0,16% de SO2)<br>T = 201 °C<br>P = 0,105 kgf/cm²  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | A          | II        | T                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                  | 87          |
|                                                                                          |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A          | I         | T                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                  | 88          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores |           | Trecho: Linha (18) entre o condensador C-3608, passando pelo pote de selagem F-3609 até o tanque F-3611 (d = 3") |                                                                                                                                                                                                                                 |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                 |           |                                                                                                                  | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                              | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                                                                                           | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                                      | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                                                                       | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                     | Cenário     |
| Pequena liberação de enxofre líquido<br>T = 132 °C<br>P =0,06 kgf/cm²     | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz névum tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e vias aéreas | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                                               | II        | T                                                                                                                | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Cerificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 89          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos                                                                      | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                                               | I         | T                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                 | 90          |
| Grande liberação de enxofre líquido<br>T = 132 °C<br>P =0,06 kgf/cm²      | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz névum tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e vias aéreas | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | A                                               | III       | T                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                 | 91          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>Danos leves                                                                                     | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A                                               | II        | T                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                 | 92          |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                                                                | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores                           |            |           | Trecho: Linha (19) de alimentação de água fervente até a entrada do condensador C-3608 |                             |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                                                                |                                                                           |            |           | Data: outubro 2009                                                                     |                             | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                                                        | Modos de Detecção/Salvaguardas                                            | Cat. Freq. | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                                             | Recomendações / Observações | Cenário     |
| Pequena liberação de água quente<br>T = 120°C<br>P = 15,3                 | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras;<br>- Nuvem de vapor com alta temperatura. | - EPI's<br>- Câmeras de TV (CFTV);<br>- Válvulas de segurança;<br>- SPIE. | B          | I         | T                                                                                      |                             | 93          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Nenhum                                                     |                                                                           |            |           |                                                                                        |                             | -           |
| Grande liberação de água quente<br>T = 120°C<br>P = 15,3                  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras;<br>- Nuvem de vapor com alta temperatura. | - EPI's<br>- Câmeras de TV (CFTV);<br>- Válvulas de segurança;<br>- SPIE. | A          | II        | T                                                                                      |                             | 94          |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Nenhum                                                     |                                                                           |            |           |                                                                                        |                             | -           |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                            |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Reatores, Forno Inline e Condensadores |           |            | Trecho: Linha (11) entre o condensador C-3608 e o vaso F-3604 (d = 20")                                                                                                                                                          |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                      |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                 |           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                                        | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.                                      | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de gás ácido (0,32% de H2S e 0,16% de SO2)<br>T = 132 °C<br>P = 0,06 kgf/cm² | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                                               | I         | T          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 95          |
|                                                                                                |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                                               | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 96          |
| Grande liberação de gás ácido (0,32% de H2S e 0,16% de SO2)<br>T = 132 °C<br>P = 0,06 kgf/cm²  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | A                                               | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 97          |
|                                                                                                |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A                                               | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 98          |

|                                                                        |                                                       |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      |   |    |   |                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Pequena liberação de enxofre líquido<br>T = 132 °C<br>P = 0,04 kgf/cm² | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz<br>núvem tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e<br>vias aéreas | Sistema de combate à<br>incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia,<br>gás sulfídrico, fumaça,<br>chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito<br>fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e<br>intertravamento dos fluxos<br>de processo<br>Sis | B | II | T | R1 - Aplicar Normas sobre Análise<br>Crítica de Processo; Gerenciamento de<br>Mudanças e Política de Certificação<br>para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos<br>equipamentos durante o período de<br>fabricação , montagem e p | 99  |
|                                                                        |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos                                                                            | Sistema de coleta e<br>tratamneto de águas<br>contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                                  | B | I  | T |                                                                                                                                                                                                                                                 | 100 |
| Grande liberação de enxofre líquido<br>T = 132 °C<br>P = 0,04 kgf/cm²  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Incêndio em poça (produz<br>núvem tóxica de SO2)<br>- Irritação da pele, olhos e<br>vias aéreas | Sistema de combate à<br>incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia,<br>gás sulfídrico, fumaça,<br>chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                            | A | II | T |                                                                                                                                                                                                                                                 | 101 |
|                                                                        |                                                       | Meio Ambiente:<br>Danos leves                                                                                           | Sistema de coleta e<br>tratamneto de águas<br>contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                                  | A | II | T |                                                                                                                                                                                                                                                 | 102 |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                          |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Incinerador |           |            | Trecho: Linha entre o vaso F-3604 e o incinerador B-3603                                                                                                                                                                         |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                    |                                                       |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |                      |           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                                      | Causas                                                | Efeitos                                      | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.           | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |
| Pequena liberação de gás ácido (0,3% de H2S e 0,1% de SO2)<br>T = 201 °C<br>P = 0,07 kgf/cm² | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Nuvem tóxica         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | B                    | I         | T          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 103         |
|                                                                                              |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                    | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 104         |
| Grande liberação de gás ácido (0,3% de H2S e 0,1% de SO2)<br>T = 201 °C<br>P = 0,07 kgf/cm²  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;         | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | A                    | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 105         |
|                                                                                              |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Sem danos significativos | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | A                    | I         | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 106         |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                                                  |                                                       |                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema: Incinerador |           |            | Trecho: Linha (12) entre o vaso F-3602 e o incinerador B-3603 (d = 8")                                                                                                                                                           |             |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A                            |                                                       |                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                    |                      |           |            | Data: outubro 2009                                                                                                                                                                                                               | Revisão: 01 |  |
| Perigos                                                                                              | Causas                                                | Efeitos                                                                  | Modos de Detecção/Salvaguardas                                                                                                                                                                                                                     | Cat. Freq.           | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                                                                                                                                                      | Cenário     |  |
| Pequena liberação de gás rico em NH3 (56,64% de NH3, 4,72% de H2S)<br>T = 90 °C<br>P = 0,045 kgf/cm² | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;<br>- Explosão em nuvem.             | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito fechado de televisão (CFTV)<br>Sistemas de alarme e intertravamento dos fluxos de processo<br>Sis | C                    | II        | M          | R1 - Aplicar Normas sobre Análise Crítica de Processo; Gerenciamento de Mudanças e Política de Certificação para Operadores.<br>R2 Aplicar políticas de inspeção dos equipamentos durante o período de fabricação , montagem e p | 107         |  |
|                                                                                                      |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Contaminação localizada nas imediações do vazamento; | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | C                    | II        | M          |                                                                                                                                                                                                                                  | 108         |  |
| Grande liberação de gás rico em NH3 (56,64% de NH3, 4,72% de H2S)<br>T = 90 °C<br>P = 0,045 kgf/cm²  | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança pessoal<br>- Nuvem tóxica;<br>- Explosão em nuvem.             | Sistema de combate à incêndio;<br>Detectores;<br>Hidrocarbonetos, amônia, gás sulfídrico, fumaça, chama e incêndio<br>Monitoramento por circuito                                                                                                   | B                    | III       | M          |                                                                                                                                                                                                                                  | 109         |  |
|                                                                                                      |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Contaminação                                         | Sistema de coleta e tratamneto de águas contaminadas;<br>SPIE                                                                                                                                                                                      | B                    | II        | T          |                                                                                                                                                                                                                                  | 110         |  |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                                                                | Sistema: Sistemas auxiliares                                              |            |           | Trecho: Todas as linhas de alimentação de água fervente saindo do condensador C-3608 e distribuída para GV-3601, C-3603, C-3604, e C-3606 |                             |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                                                                |                                                                           |            |           | Data: outubro 2009                                                                                                                        |                             | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                                                        | Modos de Detecção/Salvaguardas                                            | Cat. Freq. | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                                                                                                | Recomendações / Observações | Cenário     |
| Pequena liberação de água quente<br>T = 120°C<br>P = ?                    | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras;<br>- Nuvem de vapor com alta temperatura. | - EPI's<br>- Câmeras de TV (CFTV);<br>- Válvulas de segurança;<br>- SPIE. | B          | I         | T                                                                                                                                         |                             | 111         |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Nenhum                                                     |                                                                           |            |           |                                                                                                                                           |                             | -           |
| Grande liberação de água quente<br>T = 120°C<br>P = ?                     | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras;<br>- Nuvem de vapor com alta temperatura. | - EPI's<br>- Câmeras de TV (CFTV);<br>- Válvulas de segurança;<br>- SPIE. | A          | II        | T                                                                                                                                         |                             | 112         |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Nenhum                                                     |                                                                           |            |           |                                                                                                                                           |                             | -           |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |         | Sistema: Sistemas auxiliares   |            |           | Trecho: Linha de alimentação do vaso F-3603, saindo de GV-3601, C-3603, C-3604 e C-3606 |                                                                          |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------|--------------------------------|------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |         |                                |            |           |                                                                                         | Data: outubro 2009                                                       | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos | Modos de Detecção/Salvaguardas | Cat. Freq. | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                                              | Recomendações / Observações                                              | Cenário     |
| Pequena liberação de contaminantes (quais?)<br>T = ?<br>P = ?             | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões |         |                                |            |           |                                                                                         | Não foi possível identificar os contaminantes no fluxograma do processo. | 113         |
|                                                                           |                                                       |         |                                |            |           |                                                                                         | Não foi possível identificar os contaminantes no fluxograma do processo. | 114         |
| Grande liberação de contaminantes (quais?)<br>T = ?<br>P = ?              | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões |         |                                |            |           |                                                                                         | Não foi possível identificar os contaminantes no fluxograma do processo. | 115         |
|                                                                           |                                                       |         |                                |            |           |                                                                                         | Não foi possível identificar os contaminantes no fluxograma do processo. | 116         |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                                                                |                                                                           | Sistema: Sistemas auxiliares |           |            | Trecho: Linhas (14) de liberação de vapor de baixa pressão dos condensadores C-3603, C-3604 e C-3606 |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                                                                |                                                                           |                              |           |            | Data: outubro 2009                                                                                   | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                                                        | Modos de Detecção/Salvaguadas                                             | Cat. Freq.                   | Cat. Sev. | Cat. Risco | Recomendações / Observações                                                                          | Cenário     |
| Pequena liberação de vapor quente<br>T = 164°C<br>P = 6 kgf/cm²           | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras;<br>- Nuvem de vapor com alta temperatura. | - EPI's<br>- Câmeras de TV (CFTV);<br>- Válvulas de segurança;<br>- SPIE. | B                            | I         | T          |                                                                                                      | 117         |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Nenhum                                                     |                                                                           |                              |           |            |                                                                                                      | -           |
| Grande liberação de vapor quente<br>T = 164°C<br>P = 6 kgf/cm²            | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras;<br>- Nuvem de vapor com alta temperatura. | - EPI's<br>- Câmeras de TV (CFTV);<br>- Válvulas de segurança;<br>- SPIE. | A                            | II        | T          |                                                                                                      | 118         |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Nenhum                                                     |                                                                           |                              |           |            |                                                                                                      | -           |

| Unidade: U-2225 - Unidade de Recuperação de Enxofre                       |                                                       |                                                                                |                                                                           | Sistema: Sistemas auxiliares |           | Trecho: Linhas (5) de liberação de vapor de média pressão da caldeira GV-3601 (d = 6") |                             |             |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Referência: I-DE-5220-2225-943-PPC-001_A_1 e I-MD-5220-2225-940-PPC-001_A |                                                       |                                                                                |                                                                           |                              |           |                                                                                        | Data: outubro 2009          | Revisão: 00 |
| Perigos                                                                   | Causas                                                | Efeitos                                                                        | Modos de Detecção/Salvaguardas                                            | Cat. Freq.                   | Cat. Sev. | Cat. Risco                                                                             | Recomendações / Observações | Cenário     |
| Pequena liberação de vapor quente<br>T = 197°C<br>P = 14 kgf/cm²          | Fissura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras;<br>- Nuvem de vapor com alta temperatura. | - EPI's<br>- Câmeras de TV (CFTV);<br>- Válvulas de segurança;<br>- SPIE. | B                            | I         | T                                                                                      |                             | 119         |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Nenhum                                                     |                                                                           |                              |           |                                                                                        |                             |             |
| Grande liberação de vapor quente<br>T = 197°C<br>P = 14 kgf/cm²           | Ruptura em:<br>- Na linha<br>- Válvulas<br>- Conexões | Segurança Pessoal:<br>- Queimaduras;<br>- Nuvem de vapor com alta temperatura. | - EPI's<br>- Câmeras de TV (CFTV);<br>- Válvulas de segurança;<br>- SPIE. | A                            | II        | T                                                                                      |                             | 120         |
|                                                                           |                                                       | Meio Ambiente:<br>- Nenhum                                                     |                                                                           |                              |           |                                                                                        |                             |             |

## ANEXO

**Tabela de distribuição de probabilidade das condições meteorológicas da região onde o empreendimento se localiza**

| Classe de estabilidade | A (Very Unstable) | B (Unstable) | C (Lightly Unstable) | D (Neutral) | E (Stable) | F (Very Stable) | Total |
|------------------------|-------------------|--------------|----------------------|-------------|------------|-----------------|-------|
| Velocidade do vento    | 1                 | 1.3          | 2.9                  | 4.7         | 4.7        | 7.3             |       |
| Dia                    | 1                 | 8.6          | 22                   | 13.8        | 4          | 0.6             | 50    |
| Noite                  | 0                 | 0            | 0                    | 9.8         | 32         | 8.2             | 50    |
| SSW                    | 1.1               | 0.6          | 0.2                  | 0.3         | 0.4        | 1.3             | 0.65  |
| SWW                    | 6.2               | 1.1          | 0.3                  | 0.4         | 0.2        | 0.8             | 1.5   |
| W                      | 6.2               | 1.5          | 0.4                  | 0.5         | 0.2        | 0.5             | 1.55  |
| NWW                    | 6.9               | 0.9          | 0.2                  | 0.6         | 0.4        | 1.1             | 1.68  |
| NNW                    | 8                 | 1.3          | 0.2                  | 0.3         | 0.4        | 1.4             | 1.93  |
| N                      | 12.1              | 6.8          | 4.3                  | 2.6         | 0.9        | 3.9             | 5.1   |
| NNE                    | 15.9              | 20.6         | 20                   | 18.2        | 13.6       | 16              | 17.38 |
| NEE                    | 20.5              | 24.9         | 25.3                 | 33.4        | 53.8       | 31              | 31.48 |
| E                      | 10.2              | 24           | 26.5                 | 26.9        | 24.2       | 28.4            | 23.37 |
| SEE                    | 8                 | 16           | 21.4                 | 15.3        | 5.2        | 10.3            | 12.7  |
| SSE                    | 2.2               | 2.1          | 1.1                  | 0.9         | 0.5        | 3.6             | 1.73  |
| S                      | 2.6               | 0.2          | 0.1                  | 0.5         | 0.2        | 1.7             | 0.88  |
| Total                  | 99.9              | 100          | 100                  | 99.9        | 100        | 100             | 99.97 |