



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Análise de Riscos da Unidade de Craqueamento Catalítico da REDUC

Geovani Moraes Pinto
Rodrigo Sgambato Roberto

Projeto de Final de Curso

Orientadores:

Prof. Márcio Nele de Souza, D.Sc
Prof. Paulo Fernando Frutuoso de Melo, D.Sc

Setembro de 2007

ANÁLISE DE RISCOS DA UNIDADE DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO DA REDUC

Geovani Moraes Pinto
Rodrigo Sgambato Roberto

Projeto de final de curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

Antônio Carlos Marques Alvim – Ph.D.

Caetano Moraes – Ph.D.

Valéria Castro de Almeida – D.SC.

Rio de Janeiro, RJ- Brasil
Setembro de 2007

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo apoio nos momentos fáceis e difíceis.

Aos meus pais pela ajuda financeira, e pelos incentivos em todos os momentos.

Aos professores Márcio Nele e Paulo Frutuoso pelo suporte.

Ao Luiz Chaves e Gisele Sandres, pelas discussões proveitosas e pela gentileza que me cederam diversas informações.

A todos os amigos do IVIG que tornaram meus dias de trabalho muito mais agradáveis.

Geovani Moraes

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado uma oportunidade.

Aos meus pais e à minha família, agradeço todo o amor, carinho, compreensão e respeito.

Aos amigos da UFRJ, pessoal da Engenharia Química.

Muitas das pessoas que passaram e passam pelo que eu passei e passo: em busca de um ideal comum.

Tenho muito a agradecer e a muitas pessoas que me auxiliaram até onde já cheguei...

Meus agradecimentos especiais a:

Simone Amorim, companheira nas horas mais decisivas.

Marina Príncipe, pela sinceridade e carinho de uma amizade.

Mário Jorge Lima, pela amizade, companheirismo, dedicação e sinceridade nas palavras.

Aos professores, Márcio Nele e Paulo Frutuoso pelo apoio.

Aos meus amigos do IVIG, e a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a concretização deste sonho.

Para vocês, ofereço esta página...

Muito obrigado a todos!

Rodrigo Sgambato

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

ANÁLISE DE RISCOS DA UNIDADE DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO DA REDUC

Geovani Moraes Pinto
Rodrigo Sgambato Roberto

Setembro, 2007

Orientadores: Prof. Márcio Nele de Souza, D.Sc
Prof. Paulo Fernando Frutuoso de Melo, D.Sc

O projeto consiste numa análise de riscos da Unidade de Craqueamento Catalítico da REDUC.

O trabalho foi baseado em três objetivos específicos a serem alcançados como: obter uma avaliação quantitativa das análises de frequências; modelagem, simulação e posterior avaliação da análise de conseqüências e vulnerabilidades, e uma avaliação dos riscos.

Primeiramente foi realizada uma análise qualitativa, ou seja, uma Análise Preliminar de Perigos (APP), a fim de prover os potenciais perigos decorrentes das atividades do sistema de processo produtivo na unidade, os cenários da APP que apresentaram as maiores conseqüências foram avaliados através da Análise Quantitativa de Riscos, para estudar detalhadamente os impactos causados pelos efeitos físicos dos cenários levantados previamente, obtendo assim os cálculos das frequências, uma avaliação das conseqüências e uma avaliação do risco.

A avaliação da frequência foi realizada através do desenvolvimento de Árvores de Falhas, para o cálculo obtido das frequências de ocorrências, foram feitas considerações para estimativa da frequência. Uma análise também dos cenários foi realizada, através de árvores de eventos. Para cada subsistema estudado, foi apresentada uma árvore de falhas e de eventos, e suas principais conseqüências.

Para apresentar a extensão da área que está sujeita aos efeitos físicos para os possíveis acidentes identificados, foi realizada uma análise de conseqüências e de vulnerabilidades. Os resultados da Análise de Conseqüência foram expressos em curvas de isoradiação, sobrepressão e concentração que determinam a “área vulnerável” do cenário em estudo, as áreas vulneráveis calculadas dão uma idéia da magnitude do alcance dos efeitos físicos dos acidentes analisados.

As simulações das conseqüências dos cenários acidentais foram realizadas através do software PHAST 6.51, foram apresentadas tabelas de caracterização, que listam os principais dados de entrada e resultados para cada cenário acidental, e os resultados foram plotados em imagem de satélite da REDUC.

Por fim, é demonstrada uma avaliação do risco individual e social.

ÍNDICE

Capítulo I – Introdução	1
I.1 – Objetivo do Trabalho	1
I.2 – Estudo Qualitativo	3
I.3 – Estudo Quantitativo	3
II.1 – Introdução	5
II.2 – Descrição da Unidade	5
II.3 – Descrição da Região de Interesse	6
II.3.1 – Características Territoriais da Área	6
II.3.2 – Características Meteorológicas da Área	7
Capítulo III – Caracterização das Substâncias	8
Capítulo IV – Identificação dos Perigos	13
IV.1 – Análise Histórica	13
IV.1.1 – Registro das Ocorrências	13
IV.2 – Análise Preliminar de Perigos	15
V.2.1 – Realização da APP	17
IV.3 – Relação dos Eventos Iniciadores (EI's)	21
Capítulo V – Análise das Frequências	22
V.1 – Análise por Árvore de Falhas	22
V.1.1 – Cálculo da Frequência de Ocorrência dos Eventos Iniciadores	23
V.2 – Frequência dos Cenários Acidentais	26
V.2.1 – Probabilidades de Ignição	26
V.2.2 – Probabilidades de Ocorrência de uma Explosão / Incêndio em Nuvem	27
V.2.3 – Probabilidades de Ocorrência de um BLEVE	27
V.2.4 – Árvores de Eventos	28
Capítulo VI – Análise de Consequências e de Vulnerabilidade	30
VI.1 – Definições	30
VI.2 – Modelos dos Efeitos Físicos	31
VI.3 – Modelos Matemáticos utilizados	31
VI.3.1 – Cálculo das Quantidades Vazadas	32
VI.3.2 – Dispersão de Gases Neutros	34
VI.3.3 – Modelagem do Fluxo Térmico	36
VI.3.4 – Modelagem da Explosão em Nuvem	37
VI.4 – Valores de Referência	39
VI.4.1 – Fluxo Térmico, Sobrepressão e Vazamento Tóxico	39
VI.5 – Caracterização dos Cenários Acidentais	40
VI.5.1 – Escolha de Fluidos Representativos	40
VI.5.2 – Tabelas de Caracterização	41
Capítulo VII – Avaliação do Risco	59
VII.1 – Risco Individual	59
VII.2 – Risco Social	60
Capítulo VIII – Conclusão	61
Referências Bibliográficas	62
Apêndice A1 – Planilhas APP	64

Capítulo I – Introdução

A preocupação com o meio ambiente e com a segurança das pessoas vem crescendo de forma exponencial a nível mundial, exigindo, desse modo, um maior controle das atividades industriais, manipulação e transporte de produtos.

A análise de riscos tem o propósito de prevenir ou minimizar a ocorrência de acidentes danosos à integridade das pessoas, do meio ambiente e das instalações, e é atualmente realizada, através de estudos que levam em conta um sistema de informações que inclui a técnica de avaliação de risco. Esta avaliação inclui os resultados da análise de riscos, na qual serve de parâmetro para a tomada de decisão, através de critérios comparativos de riscos, para definição da estratégia de gerenciamento de um empreendimento.

Resultados de investigações de grandes acidentes mostram que as falhas responsáveis pelos mesmos estão associadas a quatro fatores principais, a saber: tecnologia, sistemas de gerenciamento, fatores humanos e agentes externos. Deste modo, muitas indústrias têm se preocupado com a confiabilidade de seus equipamentos e investido em melhores tecnologias. Porém, uma análise mais detalhada acerca das causas que precedem estas situações mostra que o erro humano e a falta de sistemas de gerenciamento de riscos adequados são os contribuintes mais significativos para a concretização dos acidentes em plantas industriais.

I.1 – Objetivo do Trabalho

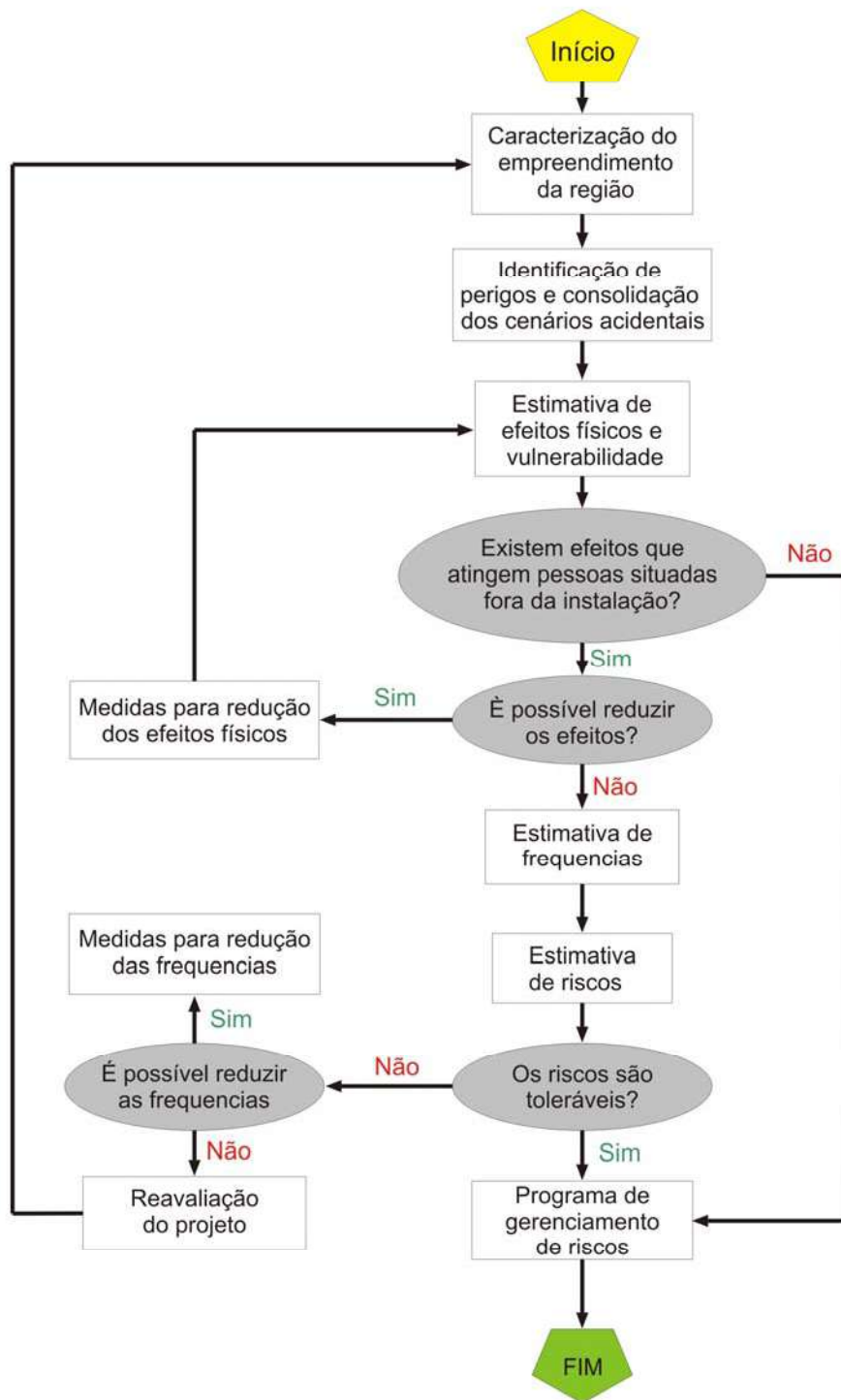
Este trabalho visa de um modo geral, apresentar de forma simples e objetiva um estudo de análise de riscos referente à unidade de craqueamento catalítico da REDUC.

Foi utilizada a metodologia de Análise Preliminar de Perigos (APP) para identificar e classificar os perigos que possam causar fatalidades e danos às instalações. Estes perigos identificados foram suposições próximas à realidade, realizadas para este trabalho. No entanto, como não podemos abordar este assunto de forma ampla, definimos três objetivos específicos a serem alcançados com este trabalho:

- Avaliação quantitativa através da Análise de Frequência.
- Avaliação através de simulações no PHAST 6.51, da Análise de Conseqüências e vulnerabilidades da unidade a ser estudada.
- Avaliação de Riscos.

As etapas da metodologia de Análise de Riscos estão ilustradas na figura I.1 abaixo:

Figura I.1 - Metodologia de execução da Análise de Riscos



I.2 – Estudo Qualitativo

A técnica utilizada neste estudo é denominada Análise Preliminar de Perigos (APP). Tal técnica prevê a identificação de perigos, eventos iniciadores potenciais e outros eventos que possam resultar em consequências indesejáveis. Através de sua utilização, é feita uma análise das causas potenciais da ocorrência destes eventos, de seus efeitos e da respectiva severidade. Também se deve indicar alternativas que possam eliminar ou reduzir a magnitude dos riscos avaliados.

A análise Preliminar de Perigos consiste basicamente de:

- ***Coleta de informações***

São descritos, sucintamente, os principais sistemas e subsistemas das instalações, instrumentação de controle e equipamentos de combate às emergências, além de uma descrição sobre aspectos físicos, geográficos e meteorológicos da região.

- ***Inventário de produtos***

Os produtos envolvidos na operação são caracterizados quanto às propriedades físicoquímicas, reatividade, dados de inflamabilidade e riscos toxicológicos.

Identificação dos perigos, análise de suas causas e avaliação qualitativa da severidade das consequências.

É realizado um estudo de eventos, estruturado em sistemas e subsistemas, capazes de provocar acidentes (vazamentos, incêndios e/ou explosões), que possam causar fatalidades e danos às instalações.

I.3 – Estudo Quantitativo

Esta etapa tem por objetivo estudar detalhadamente os impactos causados pelos efeitos físicos dos cenários levantados previamente e quantificar a frequência de ocorrência destes cenários, para a avaliação dos riscos sociais e individuais da instalação. Para tanto a análise quantitativa apresenta:

- ***Avaliação de Consequência***

São aplicados modelos matemáticos para mapeamento dos níveis de radiação, oriundos de incêndios em nuvem, poça, jatos de fogo e bolas de fogo; ou sobrepressão

oriunda de explosões e bleves; ou concentração oriunda de vazamento de substâncias tóxicas.

- ***Cálculo das Frequências***

A frequência de ocorrência dos cenários acidentais é definida através de Árvores de Falhas (AF) e registros históricos encontrados em bancos de dados e/ou bibliografia. Para cada um dos cenários acidentais é desenvolvida uma Árvore de Eventos (AE), nas quais são consideradas as probabilidades de ignição.

- ***Avaliação do Risco***

Nesta etapa, os riscos individuais e os riscos sociais serão avaliados.

- ***Medidas Mitigadoras e Preventivas***

Medidas de mitigação das consequências são propostas visando à redução dos riscos. Se os novos valores dos efeitos físicos não atingirem ocupações sensíveis estas medidas devem ser consolidadas. Caso contrário são propostas medidas de prevenção para redução da frequência de ocorrência dos cenários acidentais e os riscos devem ser reavaliados.

Capítulo II – Caracterização do Empreendimento e da Região

II.1 – Introdução

O conhecimento das instalações, suas fronteiras, as interdependências entre os sistemas, o inventário e as características perigosas do material envolvido é fundamental para Análise de Riscos. Neste capítulo é apresentada a descrição dos sistemas e as características da região de interesse.

II.2 – Descrição da Unidade

A unidade de craqueamento catalítico que recebe alimentação de uma mistura de gás-óleo, RAT e do óleo desasfaltado (ODES), e craqueia as frações mais pesadas em hidrocarbonetos mais leves.

A Unidade de Craqueamento Catalítico possui os seguintes sistemas:

- Conversor – Principal equipamento da unidade, onde ocorrem as transformações, através da quebra das moléculas das cargas (GOP, ODES e Nafta de Xisto), em produtos a serem recuperados nas outras unidades.
- Torre Fracionadora – Cujas função principal é a separação dos gases craqueados em grupos de hidrocarbonetos, utilizando uma coluna de destilação, que têm por princípio a separação por diferença de ponto de ebulição.
- Torre debutanizadora e Torre depropanizadora – Têm por finalidade efetuar a separação de propano e butano da nafta craqueada.
- Tratamento DEA (Gás combustível e GLP) – Utiliza o processo de absorção para remover o H₂S e o CO₂ das correntes a serem tratadas.
- Sistema de Regeneração da DEA – Cujos principais equipamentos são a coluna retificadora, que funciona de acordo com os princípios de destilação. O objetivo é regenerar a DEA para poder haver uma recirculação da mesma no processo.
- Tratamento Merox (GLP e Nafta) – Têm por finalidade remover impurezas (mercaptanas) no produto.

II.3 – Descrição da Região de Interesse

II.3.1 – Características Territoriais da Área

A Refinaria Duque de Caxias – REDUC está localizada no município de Duque de Caxias, às margens da Rodovia Washington Luís, no estado do Rio de Janeiro.

O município de Duque de Caxias possui uma Área territorial de 468,3 m², uma população de 842.890 habitantes divididos em 40 bairros e quatro distritos (IBGE 2005). O terreno da refinaria está apresentado na figura II.1.



Figura II.1 – Imagem das circunvizinhanças da REDUC

Fonte: Google Earth

II.3.2 – Características Meteorológicas da Área

- Condições meteorológicas consideradas

Tabela II.1 – Condições meteorológicas consideradas

Temperatura atmosférica	20°C
Umidade relativa do ar	70%
Temperatura da superfície para cálculo de dispersão	20°C
Temperatura da superfície para cálculo de poças	20°C
Fluxo de radiação solar	0,5 Kw/m ²

- **Ventos Locais**

Dentre os fatores meteorológicos que interessam a análise em questão, os ventos locais são os que mais importam.

- **Classes de Estabilidade**

A classe de estabilidade atmosférica é geralmente avaliada em função da intensidade da radiação solar, incidente ou emitida, e da velocidade do vento, segundo a classificação de Pasquill, de acordo com a Tabela abaixo:

Tabela II.2 – 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
$2 < V < 3$	A – B	B	C	E	F
$3 < V < 5$	B	B – C	C	D	E
$5 < V < 6$	C	C – D	D	D	D
$V > 6$	C	D	D	D	D

Fonte: Cowl, Daniel A. Chemical Process Safety 2ªed. Pág. 187

As Classes de estabilidade escolhidas para simulação foram as classes F (situação de alta estabilidade) e a classe A (situação muito instável). Estas classes representam duas condições limites de dispersão, e qualquer outro caso deverá se encontrar entre eles.

Tabela II.3 – Condições de estabilidades consideradas

Classe de Estabilidade	Velocidade do vento considerada (m/s)	Grau de estabilidade	Condições meteorológicas
A	5,0	Muito instável	Muito sol / vento moderado
F	1,0	Estável	Noite com nuvens moderadas e vento fraco

Capítulo III – Caracterização das Substâncias

Neste capítulo serão apresentadas as descrições das principais características físico-químicas e toxicológicas dos produtos associados à unidade analisada.

Os produtos perigosos manuseados na Unidade de Craqueamento Catalítico são: **Óleo Diesel, Gás Combustível, Nafta, GLP e Sulfeto de Hidrogênio.**

Tabela III.1 – Características do Óleo Diesel

Características do Óleo Diesel	
Registro CAS	CAS 77650-28-3
Número ONU	1203
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
Aspecto	
Estado Físico	Líquido
Cor	Amarelo-castanho
Odor	Característico
Ponto de Ebulição	170-370°C
Densidade Específica	0,841
Solubilidade	
Em água	Pouco solúvel
REATIVIDADE	
Condições Específicas	
Instabilidade	Estável sob condições normais
Materiais incompatíveis	Agentes oxidantes
Riscos de Incêndio e Explosão	
Ponto de Fulgor	60°C
Temperatura de auto-ignição	256,6°C
Limite de Inflamabilidade	
Superior	6,0%
Inferior	1,3%
RISCOS TOXICOLÓGICOS	
Parâmetros de Controle	
Limite de exposição ocupacional (EUA, ACGIH): TLV/TWA	5mg/m ³

Tabela III.2 – Características do Gás combustível

Características do Gás Combustível	
Número ONU	1964
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
Aspecto	
Estado Físico	Gás
Odor	Inodoro ou artificialmente odorizado
Ponto de Ebulição	-161,4°C
Ponto de Fusão	-182,6°C
Densidade Específica	0,4 - 0,81
Solubilidade	
Em água	Solúvel
Solventes Orgânicos	Solúvel
REATIVIDADE	
Condições Específicas	
Instabilidade	Estável sob condições normais
Materiais incompatíveis	Cloro, Dióxido de Cloro e Oxigênio Líquido
Riscos de Incêndio e Explosão	
Temperatura de auto-ignição	400-632°C
Limite de Inflamabilidade	
Superior	26,0%
Inferior	5,0%

Tabela III.3 – Características da Nafta

Características da Nafta	
Registro CAS	CAS 8030-30-6
Número ONU	1225
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
Aspecto	
Estado Físico	Líquido
Cor	Incolor
Faixa de Destilação	35-200°C
Densidade Específica	0,717
Solubilidade	
Em água	Insolúvel
Em solventes orgânicos	Miscível em álcool, benzeno, clorofórmio e éter
REATIVIDADE	
Condições Específicas	
Instabilidade	Estável sob condições normais
Materiais incompatíveis	Agentes oxidantes
Riscos de Incêndio e Explosão	
Ponto de Fulgor	43°C
Temperatura de auto-ignição	277°C
Limite de Inflamabilidade	
Superior	6,0%
Inferior	1,0%
RISCOS TOXICOLÓGICOS	
Parâmetros de Controle	
Limite de exposição ocupacional (EUA, ACGIH): TLV/TWA	100 ppm
Limite de exposição ocupacional (EUA, NIOSH): TLV/TWA: IDLH	10.000 ppm

Tabela III.4 – Características do GLP

Características do GLP	
Registro CAS	CAS 68476-85-7
Número ONU	1075
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
Aspecto	
Estado Físico	Gasoso
Cor	Incolor
Odor	Característico
Ponto de Ebulição	2°C
Pressão de Vapor	15 kgf/cm ² (37,8°C)
Densidade Específica	0,5 – 0,6
Solubilidade	
Em água	Insolúvel
Em solventes orgânicos	Muito Solúvel
REATIVIDADE	
Condições Específicas	
Instabilidade	Estável sob condições normais
Materiais incompatíveis	Agentes oxidantes
Riscos de Incêndio e Explosão	
Temperatura de auto-ignição	405°C
Limite de Inflamabilidade	
Superior	8,5 – 9,5%
Inferior	1,9 – 2,2%
RISCOS TOXICOLÓGICOS	
Parâmetros de Controle	
Limite de exposição ocupacional (EUA, ACGIH): TLV/TWA	1.000 ppm
Limite de exposição ocupacional (EUA, NIOSH): TLV/TWA: IDLH	10.000 ppm

Tabela III.5 – Características do Sulfeto de Hidrogênio

Características do Sulfeto de Hidrogênio (H₂S)	
Registro CAS	CAS 7783-06-4
Número ONU	1053
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
Aspecto	
Estado Físico	Gasoso
Cor	Incolor
Odor	Similar ao de ovo podre
Ponto de Ebulição	-60,4°C
Ponto de Fusão	-85,5°C
Densidade do vapor	1,189
Solubilidade	
Em água	Insolúvel
Em solventes orgânicos	Éter, Álcool, Gasolina e querosene
REATIVIDADE	
Condições Específicas	
Instabilidade	Estável sob condições normais
Materiais incompatíveis	Agentes oxidantes e óxidos metálicos
Riscos de Incêndio e Explosão	
Temperatura de auto-ignição	260°C
Limite de Inflamabilidade	
Superior	45%
Inferior	4,3%
RISCOS TOXICOLÓGICOS	
Parâmetros de Controle	
Limite de exposição ocupacional (EUA, ACGIH): TLV/TWA	10 ppm
Limite de exposição ocupacional (EUA, NIOSH): TLV/TWA: IDLH	300 ppm

Capítulo IV – Identificação dos Perigos

IV.1 – Análise Histórica

A Análise Histórica tem como objetivo fornecer subsídios para a determinação dos possíveis modos de falhas de componentes e os efeitos decorrentes destas falhas, tomando como base acidentes ocorridos com os produtos analisados em instalações similares. Adicionalmente, pode auxiliar no estabelecimento da probabilidade de ocorrência dos vários modos de falha e da ordem de magnitude das possíveis consequências de acidentes envolvendo os produtos analisados.

IV.1.1 – Registro das Ocorrências

Acidentes na indústria química seguem alguns “padrões”. O estudo tem objetivo de antecipar os mais prováveis acidentes que podem ocorrer. Como mostrado na tabela IV.1 abaixo, os acidentes mais comuns são incêndio, explosão e liberação tóxica. Em relação a fatalidades a ordem é inversa, com as liberações tóxicas tendo o maior potencial de fatalidades.

Tabela IV.1 – Acidentes mais comuns

Tipo do Acidente	Probabilidade de ocorrer	Potencial de fatalidades	Potencial de perdas econômicas
Incêndio	Alta	Baixo	Intermediário
Explosão	Intermediária	Intermediário	Alto
Liberação tóxica	Baixa	Alto	Baixo

Fonte: Cowl, Daniel A. Chemical Process Safety 2ªed. Pág. 15

As perdas econômicas são substancialmente mais elevadas em acidentes envolvendo explosões. O tipo de explosão que causa mais danos é a explosão de vapor não-confinada, onde uma grande nuvem de vapor volátil e inflamável é liberada e se dispersa ao longo da planta e é seguida de ignição e explosão. Uma análise dos maiores acidentes em plantas químicas é mostrado na figura abaixo. Como ilustrado pela figura, explosão da nuvem de vapor representa o maior percentual das maiores perdas. A categoria “outros” inclui inundações e ventanias.

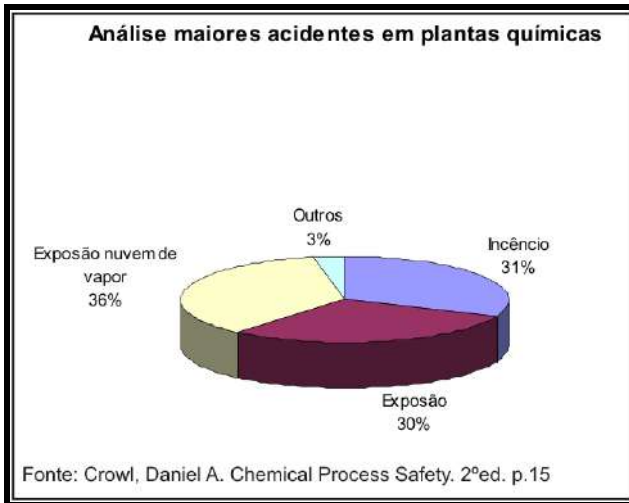


Figura IV.1 – Análise dos Acidentes

Liberações tóxicas normalmente representam pequenos danos a equipamentos, mas os danos pessoais, perda de empregados e indenizações podem ser significantes.

O Tabela IV.2 abaixo representa as causas de perdas nos maiores acidentes químicos. A maior causa de perdas em uma planta química é falha mecânica. Problemas deste gênero geralmente são causados por problemas de manutenção. Bombas, válvulas e equipamentos de controle falham se não sofrem manutenção apropriada. A segunda maior causa de perdas é erro do operador. Por exemplo, válvulas não são abertas ou fechadas na sequência correta ou reagentes não são alimentados no reator na ordem correta.

Erro humano é frequentemente usado para descrever causa de perdas. Praticamente todos os acidentes, exceto os causados por causas naturais, podem ser caracterizados como erro humano. Por exemplo, falhas mecânicas podem ocorrer por erro humano como resultado de uma má manutenção. O termo erro do operador utilizado na figura abaixo, inclui erros humanos ligados diretamente ao acidente.

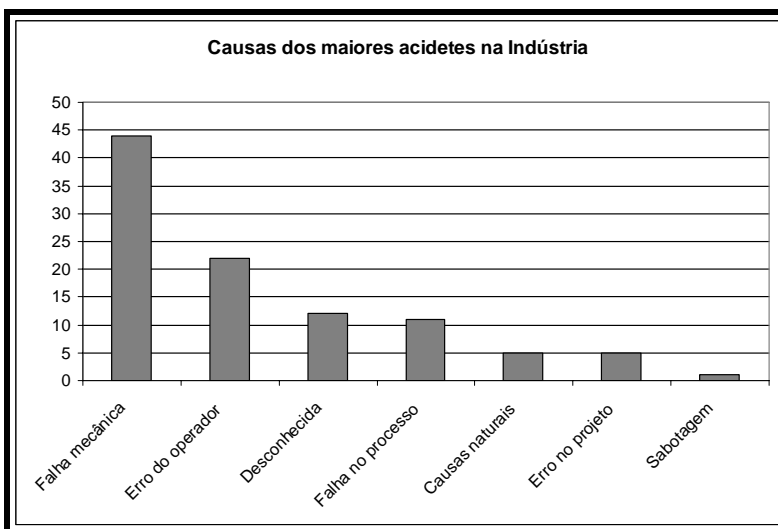


Figura IV.2 – Causas dos maiores acidentes

Fonte: Crowl, Daniel A. Chemical Process Safety
2ªed. Pág. 17

IV.2 – Análise Preliminar de Perigos

A fim de prover a identificação dos eventos iniciadores de acidentes de forma organizada e sistemática, foram utilizadas planilhas usualmente empregadas em estudos de avaliação de riscos, denominadas de “APP - Análise Preliminar de Perigos”.

A metodologia utilizada no estudo de Análise de Risco consiste em obter de forma sistemática todos os potenciais perigos decorrentes das atividades do sistema de processo produtivo na unidade industrial, considerando as tarefas operacionais, os subsistemas e os equipamentos utilizados. Desta forma, o desenvolvimento do estudo objetiva identificar e diagnosticar os tipos de falhas, desvios de processo ou projeto, procedimentos operacionais e eventos acidentais com conseqüências que provocam a liberação de massa e energia no ambiente e perda econômica.

A técnica empregada na Análise Preliminar de Perigo (APP), para identificação e diagnóstico dos perigos consiste na avaliação qualitativa da freqüência de falha a partir da Análise Histórica de Acidentes e análise investigativa dos sistemas.

Além da avaliação da freqüência de falha, a técnica permite uma análise quantitativa da massa de produto (inventário) contida nos limites de equipamentos e subsistemas, podendo ser produto contido em trecho de linha, tanque e outros equipamentos industriais. O tipo de falha permite assim determinar a magnitude do impacto, considerando a quantidade de massa que pode ser liberada no ambiente e a severidade.

A análise sistemática dos sistemas e subsistemas foi obtida a partir da análise das plantas, para diagnosticar possíveis desvios operacionais e eventos intermediários que apresentam potencial de descarga de produtos químicos no ambiente. As premissas básicas utilizadas para conduzir o estudo de APP quanto ao tipo e freqüência de falha e análise da severidade foram as seguintes:

- Considerar todos os produtos que apresentam maior ou menor potencial de severidade no ambiente para cada subsistema identificado referente às atividades operacionais, produção e escoamento de óleo e gás;
- Considerar os dados e informações da Análise Histórica de Acidentes;
- Analisar vazamentos do inventário total de produtos para cada equipamento avaliado nos diversos subsistemas;
- Acidentes com dispersão, Incêndio e explosão, além das variações e tipologias de cenários.

A metodologia aplicada avalia os riscos de vazamento de produtos para o ambiente e as possíveis conseqüências sendo apresentada na forma de planilhas para caracterização dos perigos. Os resultados são obtidos da combinação de informações da Severidade e da Freqüência em uma Matriz de Risco reduzindo a subjetividade para análise dos danos no ambiente.

Tabela IV.3 – Classes para Avaliação Qualitativa de Severidade

SEVERIDADE		
CATEGORIA	DENOMINAÇÃO	DESCRIÇÃO DAS CATEGORIAS
I	DESPREZÍVEL	Sem danos ou danos insignificantes aos equipamentos, à propriedade e /ou ao meio ambiente.
II	MARGINAL	Danos leves aos equipamentos, à propriedade e / ou ao meio ambiente (os danos materiais são controláveis e/ou de baixo custo de reparo);
III	CRÍTICA	Danos severos aos equipamentos, à propriedade e /ou meio ambiente;
IV	CATASTRÓFICA	Danos irreparáveis aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente (reparação lenta ou impossível)

Fonte: CETESB

O critério adotado na Tabela IV.3 auxilia o avaliador na utilização da Matriz de Riscos, pois a objetividade na descrição das categorias visa facilitar a interpretação das denominações “desprezível”, “marginal”, “crítica” e “catastrófica”. Os cenários de acidentes são classificados em categorias de frequência, as quais fornecem uma indicação qualitativa da frequência esperada de ocorrência, conforme indicado abaixo.

Tabela IV.4 – Graus de Frequência

Categoria	Denominação	Frequência(anual)	Descrição
A	Extremamente Remota	$F < 10^{-4}$	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil do processo/instalação.
B	Remota	$10^{-4} < F < 10^{-3}$	Não esperado de acontecer durante a vida útil do processo / instalação.
C	Improvável	$10^{-3} < F < 10^{-2}$	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil do processo / instalação.
D	Provável	$10^{-2} < F < 10^{-1}$	Esperado acontecer até uma vez durante a vida útil do processo / instalação.
E	Frequente	$F > 10^{-1}$	Esperado ocorrer várias vezes durante a vida útil do processo / instalação.

Combinando-se as categorias de frequências com as de severidade, obtém-se uma indicação qualitativa do nível de risco de cada um dos cenários identificados. A matriz de risco apresentada classifica os riscos como: 1- Desprezível; 2-Menor; 3-Moderado; 4-Sério e 5-Crítico.

O resultado qualitativo da severidade das consequências e do risco associado é então analisado na Matriz de Riscos na Tabela IV.5.

Tabela IV.5 – Matriz de riscos

FREQÜÊNCIA		SEVERIDADE			
		Desprezível	Marginal	Crítica	Catastrófica
		I	II	III	IV
Extremamente remota	A	1	1	1	2
Remota	B	1	1	2	3
Improvável	C	1	2	3	4
Provável	D	2	3	4	5
Freqüente	E	3	4	5	5

RISCO: 1-Desprezível; 2- Menor; 3- Moderado; 4- Sério; 5- Crítico

A elaboração da APP propriamente dita foi obtida através do preenchimento de planilhas, tal como apresentadas no apêndice A1.

V.2.1 – Realização da APP

A APP foi realizada com base no fluxograma da Unidade de Craqueamento Catalítico. Abaixo esta o digrama de blocos com os sistemas analisados.

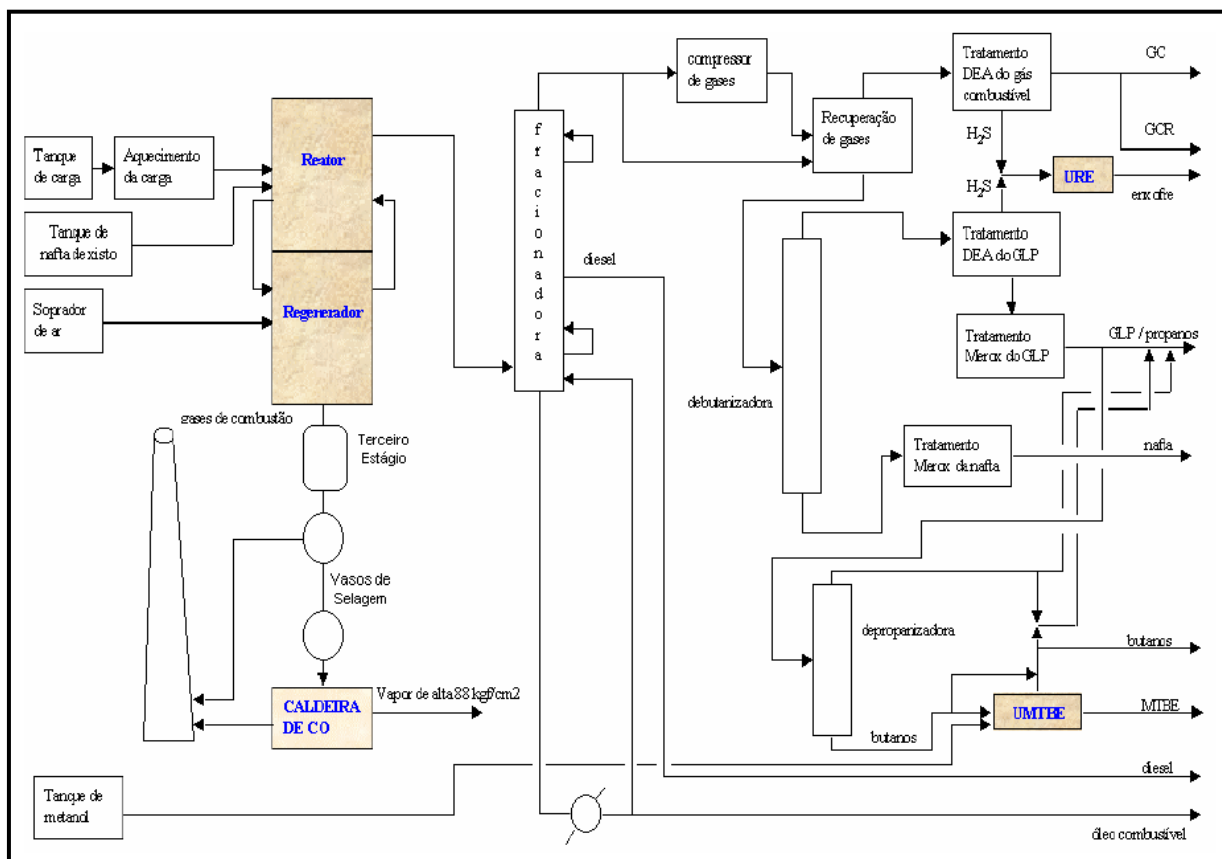
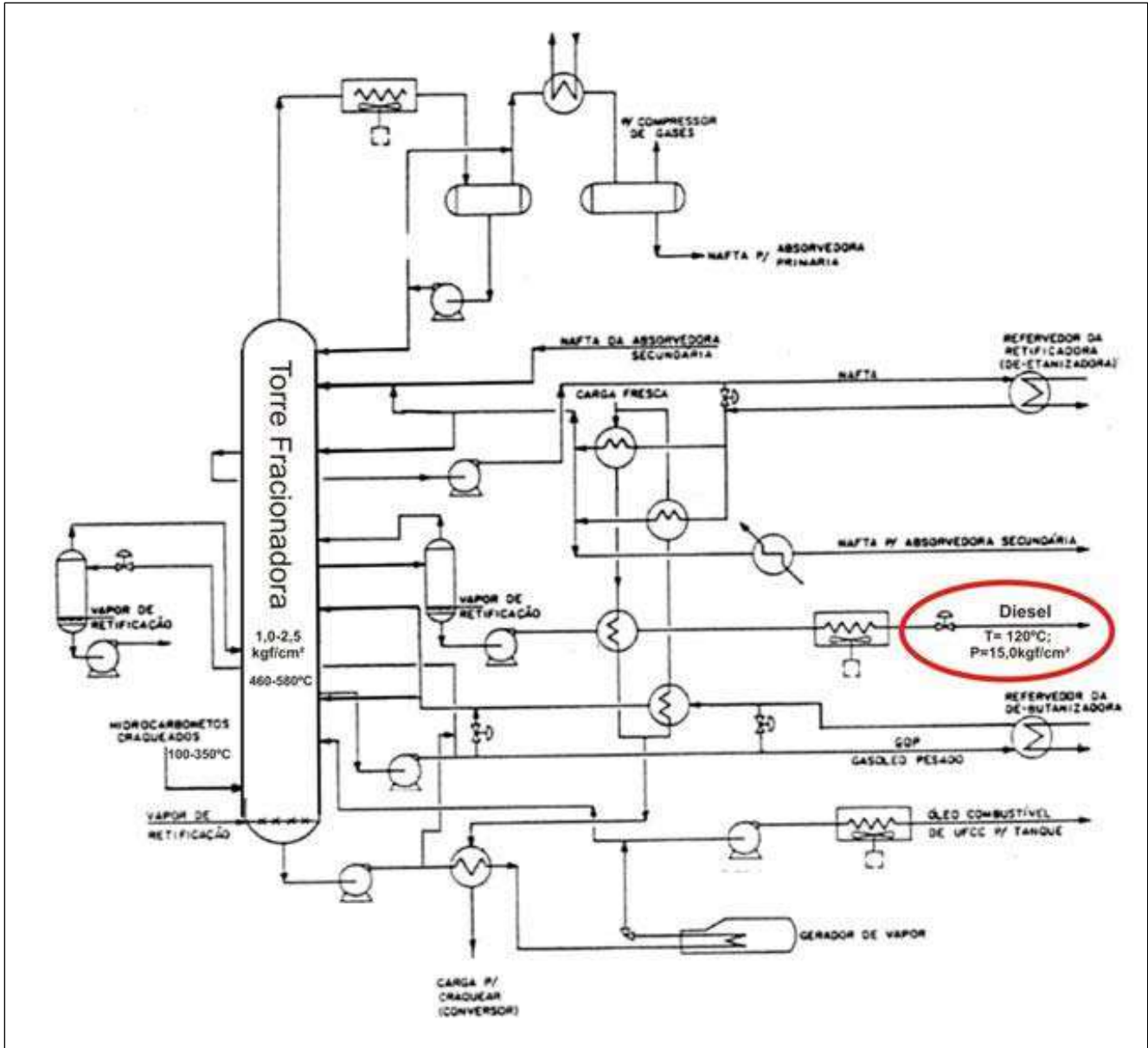


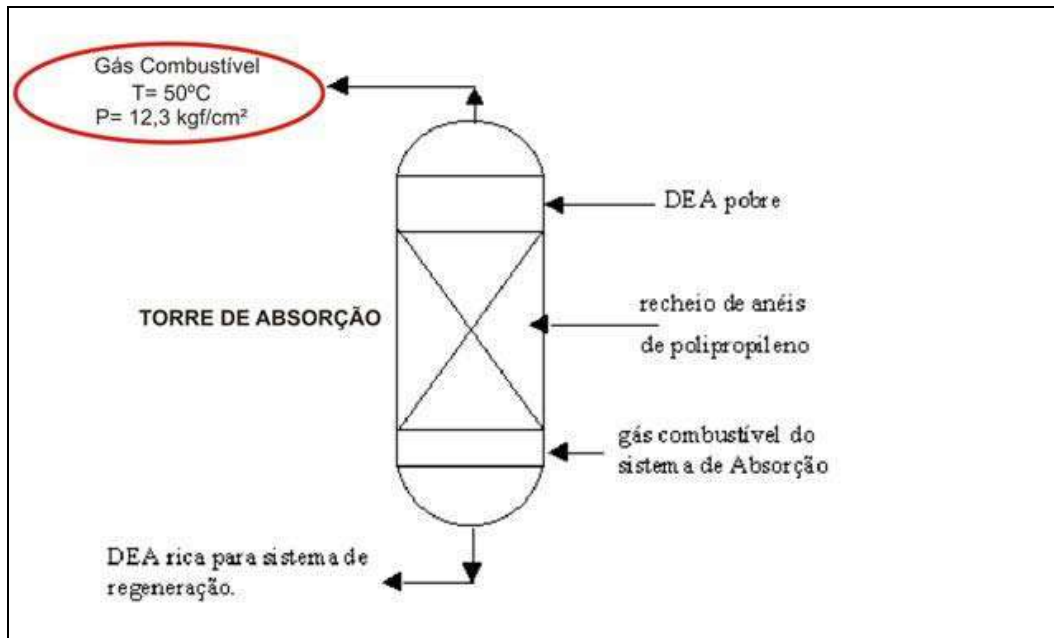
Figura IV.1 – Diagrama na Unidade de Craqueamento Catalítico.

A seguir estão selecionados os Subsistemas que foram objeto do estudo, foram selecionados os principais pontos notáveis na unidade, isto é, os sistemas que apresentam acidentes com as maiores severidades. Estes sistemas foram submetidos à simulação dos efeitos, visando determinar a área de alcance e os respectivos danos esperados (área vulnerável). Para este estudo foram considerados 5 cenários acidentais associados à ruptura catastrófica da linha.

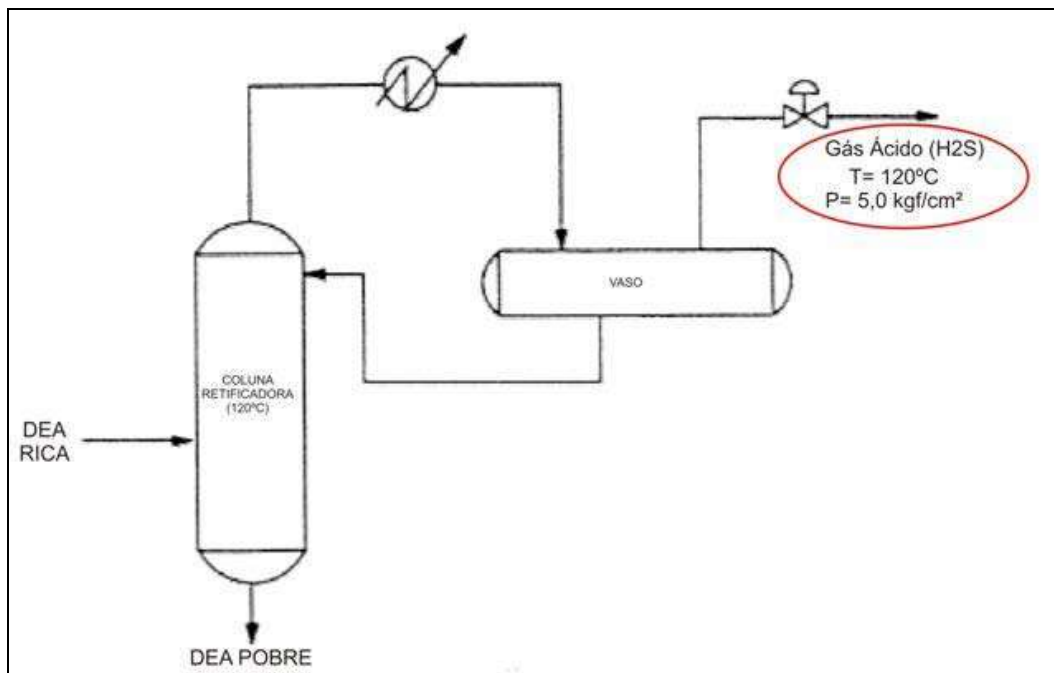
- **Subsistema 1 – Linha de Diesel de saída da Torre Fracionadora**



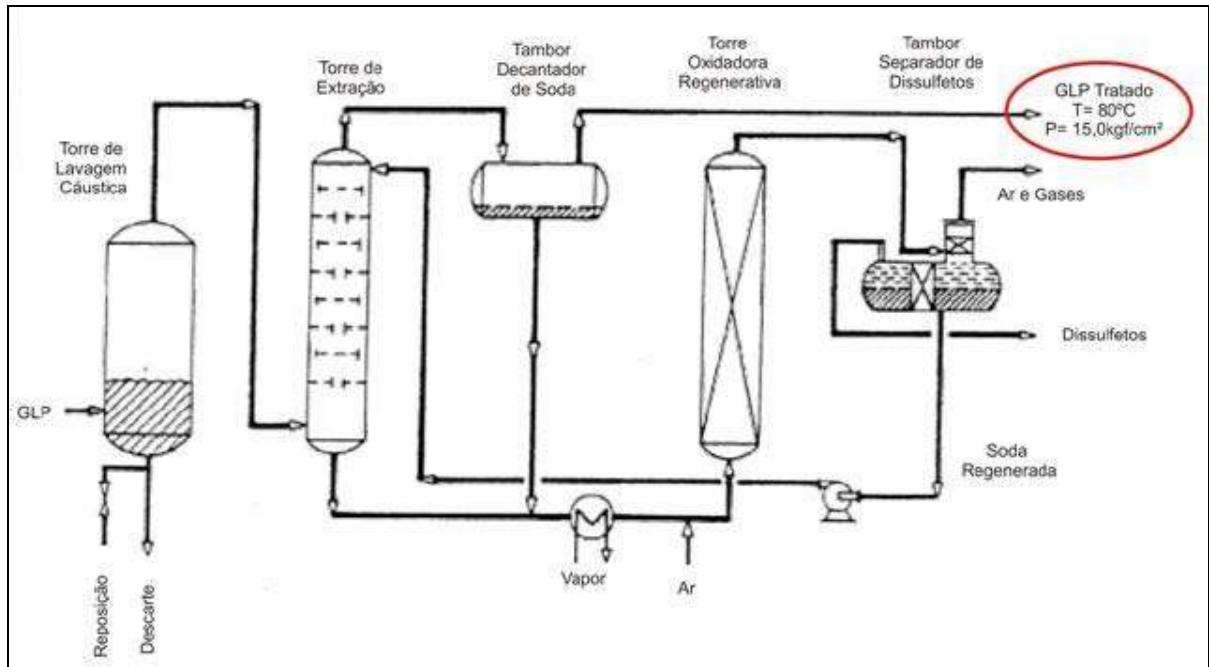
- **Subsistema 2 – Linha de Gás Combustível de saída do Tratamento DEA**



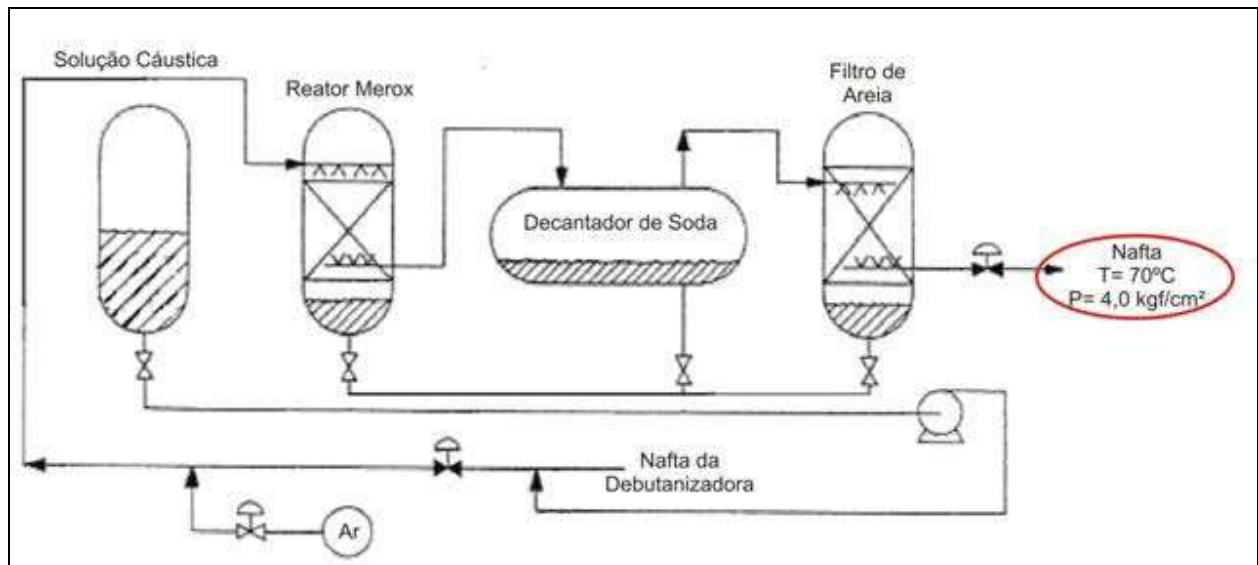
- **Subsistema 3 – Linha de Gás Ácido (H_2S) do sistema de regeneração de DEA**



- **Subsistema 4 – Linha de GLP de saída do Tratamento Merox do GLP**



- **Subsistema 5 – Linha de Nafta de saída do Tratamento Merox de Nafta**



IV.3 – Relação dos Eventos Iniciadores (EI's)

Os cenários da APP que apresentaram as maiores consequências serão avaliados através da Análise Quantitativa de Riscos (AQR).

Tabela IV.6 – Relação dos Eventos Iniciadores

Identificação	Descrição do evento iniciador	Risco
Subsistema 1	Grande liberação de Diesel devido à ruptura da linha da torre fracionadora da Unidade de Craqueamento Catalítico	Sério
Subsistema 2	Grande liberação de Gás Combustível devido à ruptura da linha de saída do Tratamento DEA do Gás Combustível	Moderado
Subsistema 3	Liberação de gás tóxico e inflamável (H ₂ S) devido à ruptura da linha do sistema de Regeneração de DEA	Moderado
Subsistema 4	Grande liberação de GLP devido à ruptura da linha de saída do Tratamento Merox do GLP	Moderado
Subsistema 5	Grande liberação de Nafta devido à ruptura da linha de saída do Tratamento Merox da Nafta	Sério

Capítulo V – Análise das Frequências

O risco de um acidente é caracterizado quantitativamente como um conjunto formado por dois elementos, conforme indicado abaixo:

$$\text{RISCO} = \{ \text{Frequência, Consequência} \}$$

A avaliação da frequência de ocorrência de acidentes em geral é feita através do desenvolvimento de Árvores de Falhas.

V.1 – Análise por Árvore de Falhas

Uma árvore de falhas fornece uma descrição concisa e ordenada das várias combinações de ocorrências possíveis em um sistema que podem resultar no evento acidental pré definido (ex. grande liberação de líquido inflamável). A seleção deste evento indesejado deve ser cuidadosa de modo que a análise não se torne ou muito dispersa, ou muito específica, não fornecendo uma visão suficientemente ampla do problema.

A estrutura de ramificação de uma árvore de falhas é definida por portões lógicos, localizados nas interseções dos ramos de árvore. Tais portões lógicos definem a relação causal entre os eventos:

- Portão “OU” – se uma das entradas ocorrer a saída ocorre
- Portão “E” – todas as entradas devem ocorrer para a saída ocorrer

Os eventos iniciadores selecionados pela aplicação da técnica de APP foram avaliados quantitativamente. Os eventos iniciadores estão relacionados aos cenários com potencial significativo para causar danos ao meio ambiente ou à população externa.

As frequências de falha em componentes podem ser obtidas da literatura e bancos de dados internacionais, conforme mostrado na tabela V.1.

Tabela V.1 – Taxas de falhas dos equipamentos

Taxas de falha relativas à ruptura		
Tubulação	$D_{\text{nominal}} < 3''$	$1,00 \times 10^{-6}$ oc/m.ano
	$3'' < D_{\text{nominal}} < 5,9''$	$3,00 \times 10^{-7}$ oc/m.ano
	$D_{\text{nominal}} > 5,9''$	$1,00 \times 10^{-7}$ oc/m.ano
Bombas		$5,00 \times 10^{-5}$ oc/ano
Trocadores de Calor		$1,00 \times 10^{-3}$ oc/ano
Tanques (vazamento contínuo)		$5,00 \times 10^{-7}$ oc/ano
Bocais e Flanges		$8,76 \times 10^{-5}$ oc/ano
Válvulas		$8,76 \times 10^{-5}$ oc/ano

Fonte: TNO. Guidelines for quantitative risk assessment. Pág 3.7

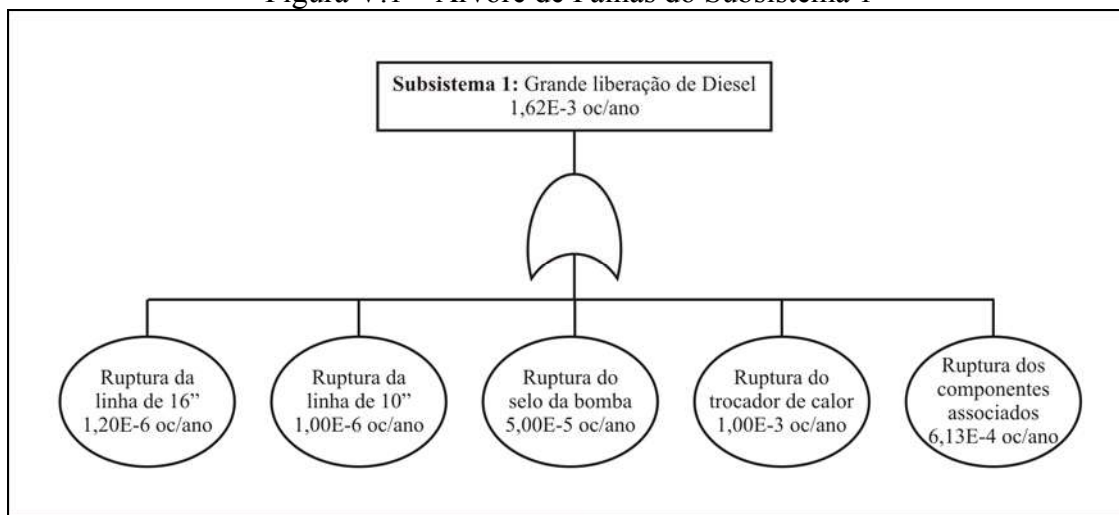
V.1.1 – Cálculo da Frequência de Ocorrência dos Eventos Iniciadores

Subsistema 1: Grande liberação de Diesel devido à ruptura da linha da torre fracionadora da Unidade de Craqueamento Catalítico

Considerações para estimativa da frequência

- 10 metros da linha de 16'' da torre até a bomba.
- 10 metros da linha de 10'' após a bomba
- Componentes associados: 10 válvulas e 6 bocais

Figura V.1 – Árvore de Falhas do Subsistema 1



Subsistema 2: Grande liberação de Gás Combustível devido à ruptura da linha de saída do Tratamento DEA do Gás Combustível

Considerações para estimativa da frequência

- 7 metros da linha de 8" da torre até o compressor.
- 10 metros da linha de 6" após o compressor.
- Componentes associados: 3 válvulas e 2 bocais

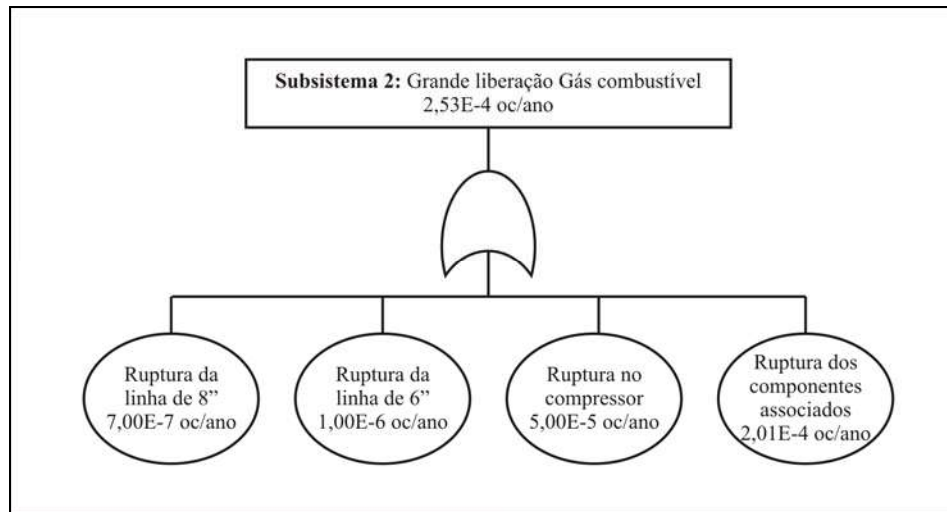


Figura V.2 – Árvore de Falhas do Subsistema 2

Subsistema 3: Grande liberação de gás tóxico e inflamável (H₂S) devido à ruptura da linha de saída do Tratamento DEA do Gás Combustível

Considerações para estimativa da frequência

- 10 metros da linha de 6" de saída do Tratamento DEA de Gás Combustível ao compressor
- 10 metros da linha de 4" após o compressor.
- Componentes associados: 6 válvulas, 2 bocal e 2 flanges.

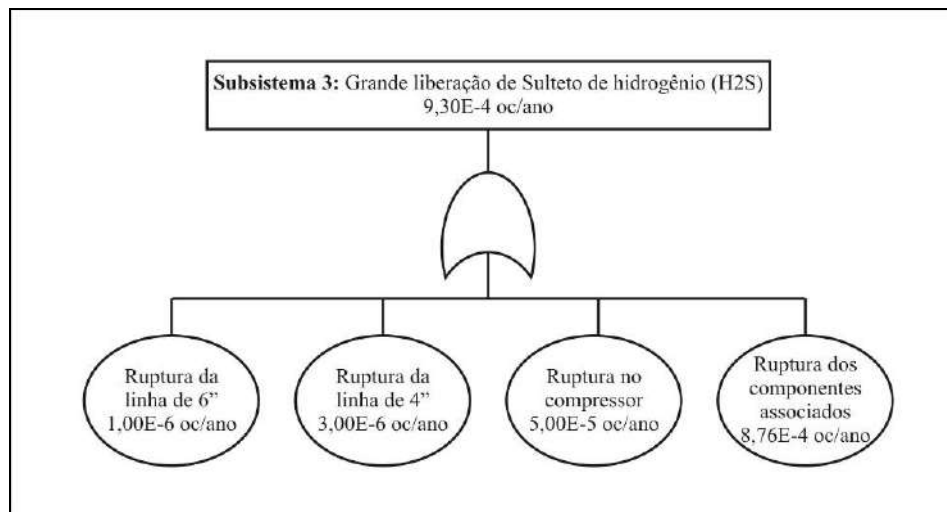


Figura V.3 – Árvore de Falhas do Subsistema 3

Subsistema 4: Grande liberação GLP devido à ruptura da linha de saída do Tratamento Merox do GLP

Considerações para estimativa da frequência

- 15 metros da linha de 12” de saída do Tratamento Merox até o compressor
- 20 metros da linha de 10” após o compressor
- Componentes associados: 10 válvulas, 6 flanges e 4 válvulas.

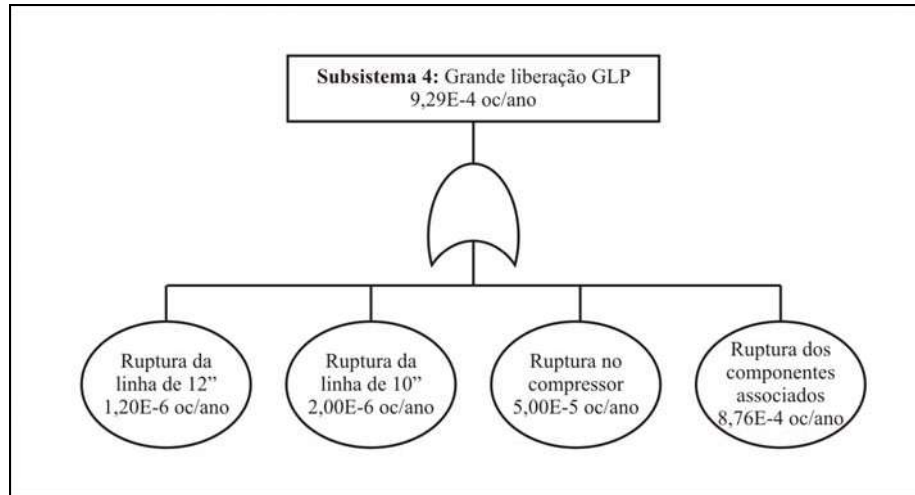


Figura V.4 – Árvore de Falhas do Subsistema 4

Subsistema 5: Grande liberação de Nafta devido à ruptura da linha de saída do Tratamento Merox da Nafta

Considerações para estimativa da frequência

- 10 metros da linha de 10” da torre até a bomba.
- 10 metros da linha de 8” após a bomba
- Componentes associados: 8 válvulas, 6 bocais e 2 flanges.

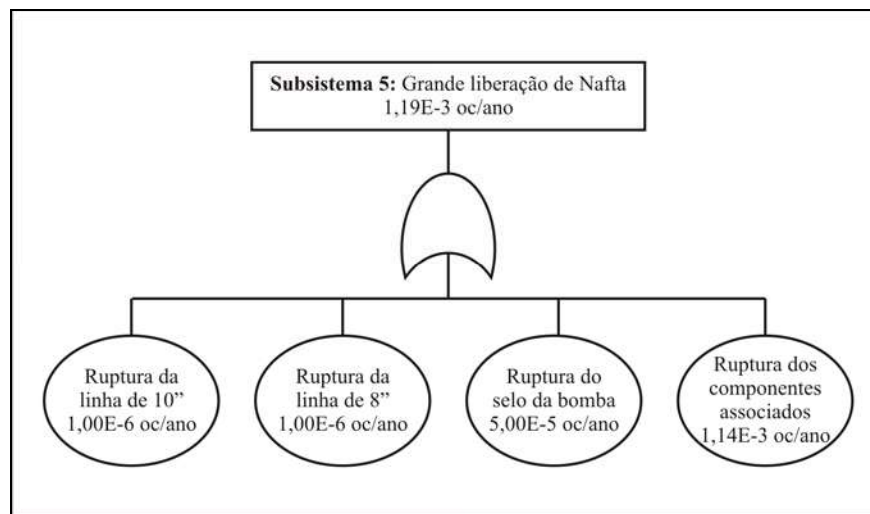


Figura V.5 – Árvore de Falhas do Subsistema 5

V.2 – Frequência dos Cenários Acidentais

A análise da frequência dos cenários acidentais é realizada por Árvores de Eventos (AE), que cobrem a seqüência lógica de propagação do evento desde o vazamento do produto até as consequências possíveis como incêndio, explosão ou simplesmente a dispersão da substância.

Nas colunas da AE questiona-se sobre a ocorrência de ignição imediata (no local). Em caso afirmativo, pode ocorrer, por exemplo, a formação de incêndio em poça. Não havendo ignição imediata do produto liberado, as perguntas subseqüentes referem-se à probabilidade de deslocamento da nuvem e ocorrência de ignição retardada da nuvem, resultando em incêndio em nuvem ou explosão, dependendo das condições. Caso não haja ignição, a nuvem se dispersa sem causar qualquer dano.

Após a construção das árvores de eventos, a frequência de cada cenário acidental é obtida multiplicando-se a frequência dos eventos iniciadores pelas probabilidades de cada uma das ramificações dos itens do cabeçalho da árvore (probabilidades de ignição e probabilidade de ocorrência de uma explosão).

V.2.1 – Probabilidades de Ignição

A probabilidade de ignição imediata está relacionada com a substância e o tipo de vazamento, se contínuo ou instantâneo, conforme a Tabela V.2 abaixo:

Tabela V.2 – Probabilidade de ignição imediata

Fonte		Estado do produto vazado	
Taxa de vazamento	Inventário vazado	Líquido	Gás (alta reatividade)
< 10Kg/s	< 1.000 Kg	0,065	0,2
10-100 Kg/s	1.000-10.000 Kg	0,065	0,5
>100 Kg/s	> 10.000 Kg	0,065	0,7

TNO. Purple Book

A tabela V.3 abaixo apresenta a probabilidade de ignição retardada em diferentes áreas ao redor de uma instalação industrial.

Tabela V.3 – Probabilidade de ignição retardada

Fonte de ignição	Probabilidade de Ignição
Céu aberto	0
Planta Química	0,9
Refinaria	0,9
Indústria Pesada	0,7

Fonte: TNO. Purple book, 1998

V.2.2 – Probabilidades de Ocorrência de uma Explosão / Incêndio em Nuvem

Estima que a massa mínima de hidrocarboneto inflamável para transição entre incêndio em nuvem e explosão é de 1 tonelada. A curva desenvolvida por Prugh relaciona a probabilidade de explosão com a quantidade de vapor inflamável na nuvem. Esta curva indica que a probabilidade de explosão depois da formação de uma nuvem de 5 toneladas de hidrocarbonetos é de 5%, enquanto para 1 tonelada a probabilidade é menor do que 1%.

V.2.3 – Probabilidades de Ocorrência de um BLEVE

BLEVE é o fenômeno decorrente da explosão catastrófica de um reservatório pressurizado com projeção de fragmentos e de expansão adiabática, quando o líquido nele contido atinge uma temperatura bem acima da sua temperatura de ebulição à pressão atmosférica. Ocorre quando da incidência direta de radiação térmica (provavelmente ocasionada por um jato de fogo e/ou incêndio em poça) sobre um vaso de pressão contendo líquido inflamável. Embora possa ocorrer mesmo quando as salvaguardas existentes (válvulas de alívio de pressão) estejam atuando corretamente, é mais comum quando estas falham quando demandadas.

Estima-se que em instalações estacionárias, 70% dos vazamentos instantâneos com ignição imediata resultam num BLEVE e bola de fogo.

V.2.4 – Árvores de Eventos

As árvores de eventos estão apresentadas a seguir:

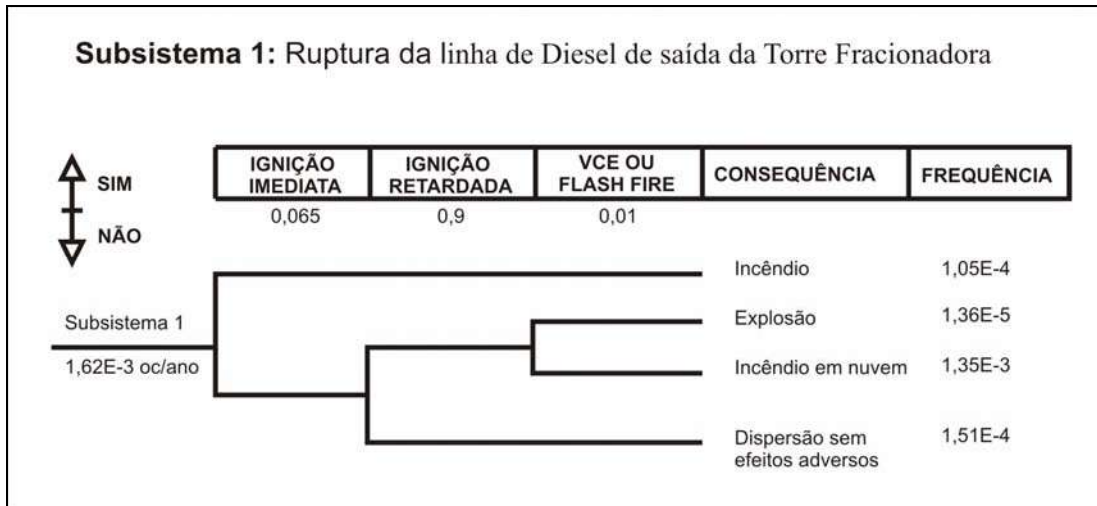


Figura V.6 – Árvore de eventos do Subsistema 1

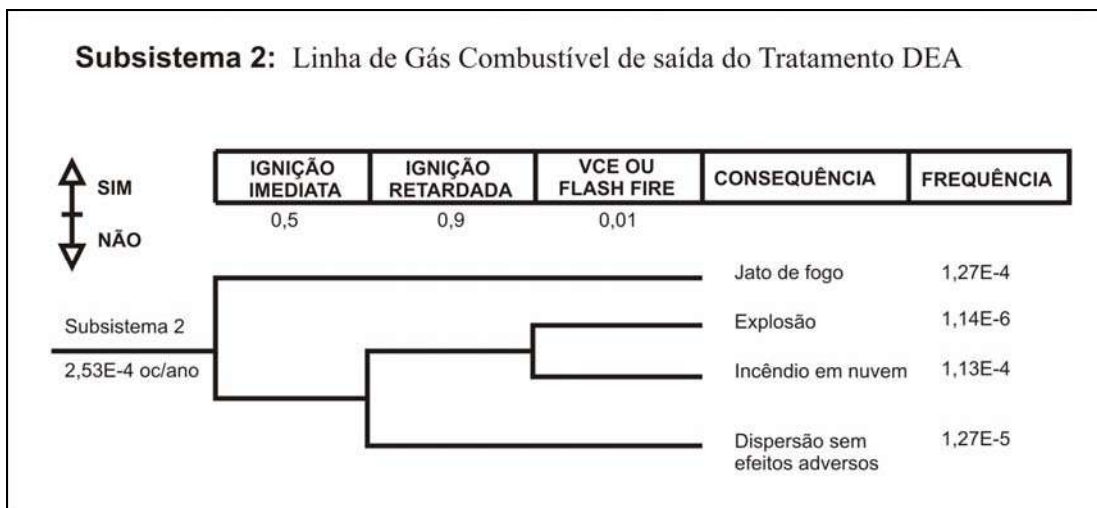


Figura V.6 – Árvore de eventos do Subsistema 2

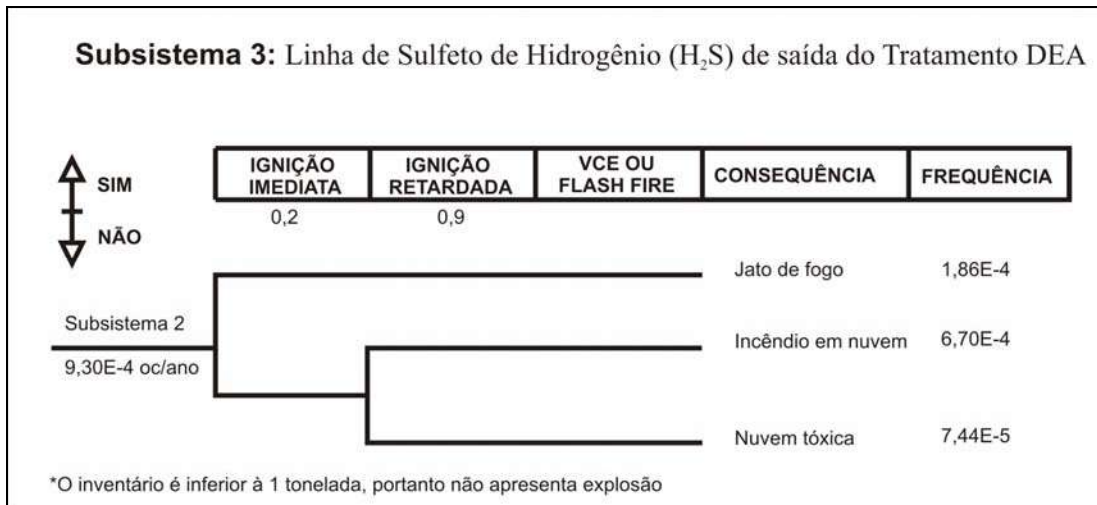


Figura V.7 – Árvore de eventos do Subsistema 3

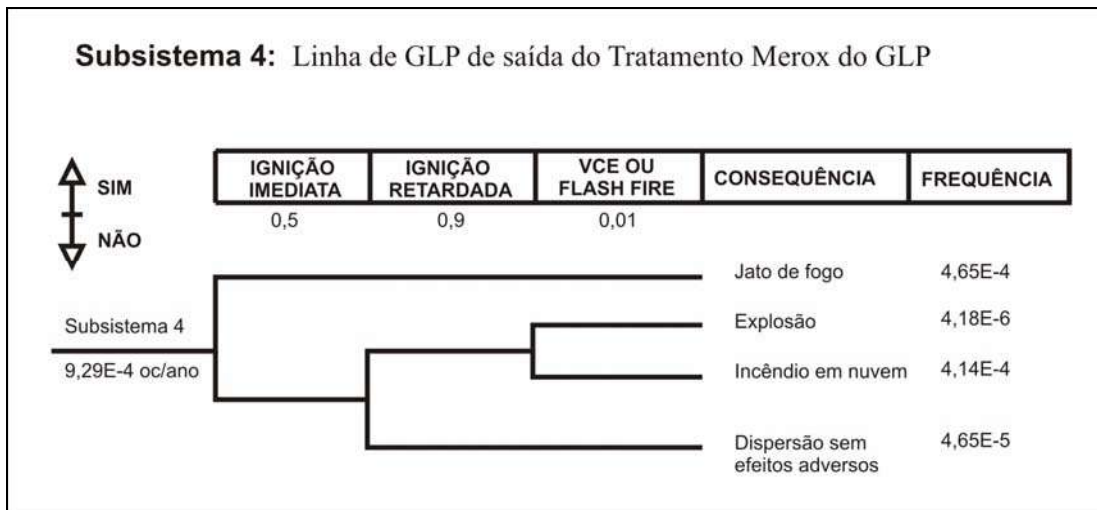


Figura V.8 – Árvore de eventos do Subsistema 4

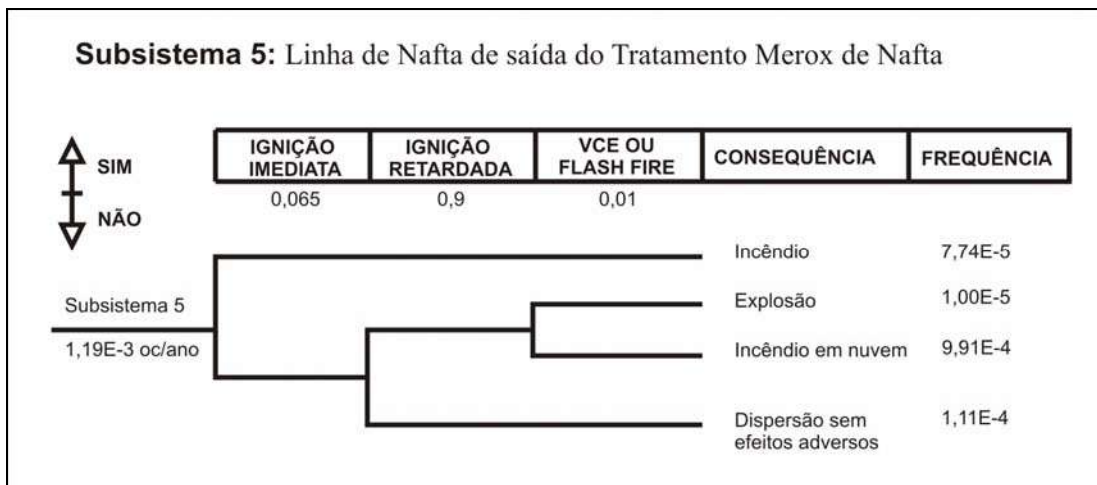


Figura V.9 – Árvore de eventos do Subsistema 5

Capítulo VI – Análise de Consequências e de Vulnerabilidade

Este capítulo tem como objetivo apresentar a extensão da área que está sujeita aos efeitos físicos para os acidentes identificados na Análise Preliminar de Perigos. Os resultados da Análise de Consequência são expressos em curvas de isoradiação, sobrepressão e/ou concentração que determinam a “área vulnerável” do cenário em estudo.

As áreas vulneráveis apresentadas sob a forma de círculos representam os limites das áreas que poderiam vir a ser atingidas em cada caso. É importante frisar que a área vulnerável não corresponde àquela que seria efetivamente atingida em caso de formação de nuvem de material tóxico ou inflamável, e sim ao conjunto das áreas potencialmente sujeitas aos efeitos do acidente.

VI.1 – Definições

- Cenário de acidente: qualquer situação adversa no sistema que possa vir a ocasionar uma emergência.
- Liberação de material e/ou energia de acidente estocástico: qualquer ocorrência anormal que resulte na liberação do produto para o meio ambiente, podendo ocorrer em qualquer equipamento da instalação operacional, não estando necessariamente associada a uma emergência.
- BLEVE - Explosão de Vapor de Líquido em Ebulição: é o fenômeno decorrente da explosão catastrófica de um reservatório com projeção de fragmentos e de expansão adiabática, quando um líquido nele contido atinge uma temperatura bem acima da sua temperatura de ebulição à pressão atmosférica.
- Incêndio em nuvem (flash fire): Combustão de uma mistura de ar e vapor inflamável, na qual, a chama passa através da nuvem com uma velocidade inferior a velocidade sônica, de modo que a sobrepressão gerada é desprezível para causar danos.
- Jato de fogo (jet fire): É o fenômeno que ocorre quando um gás inflamável escoar a alta velocidade e encontra uma fonte de ignição próxima ao ponto de vazamento.
- Explosão: Explosão de uma mistura combustível-oxidante em um sistema aberto. Se houver ignição, a velocidade da chama pode chegar a altas velocidades e produzir sobrepressão capaz de causar destruição.
- Concentração tóxica: É a concentração atingida por substâncias tóxicas, após um vazamento ou exposição prolongada, capaz de provocar danos, permanentes ou não, ao homem.

VI.2 – Modelos dos Efeitos Físicos

As simulações das consequências dos cenários acidentais foram realizadas através do software PHAST 6.51, selecionando-se os modelos de cálculo mais apropriados (TNO, The Yellow Book[1]):

A Figura VI.1 mostra o esquema básico a ser seguido para modelagem de um cenário acidental envolvendo produtos tóxicos ou inflamáveis.

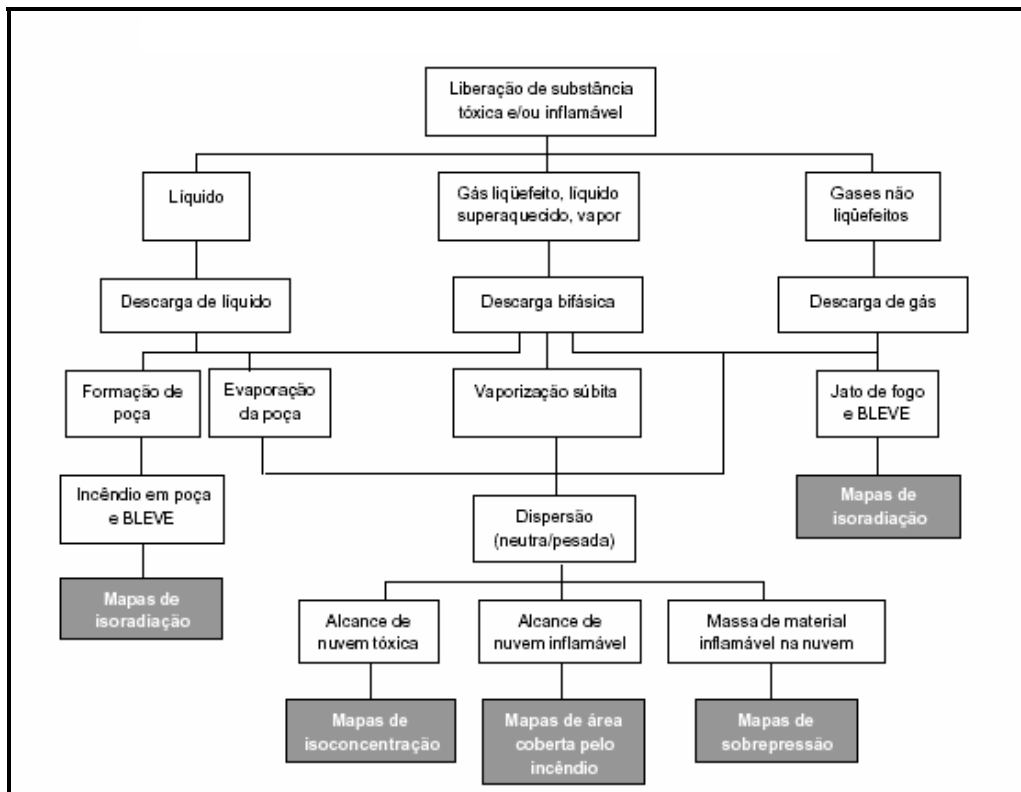


Figura VI.1 – Diagrama lógico para avaliação de consequências

VI.3 – Modelos Matemáticos utilizados

A avaliação dos efeitos físicos, dependendo do tipo de material e das condições em que este se encontra pode requerer o uso de modelos, os quais possibilitam o cálculo de:

- 1- Quantidades vazadas ou taxas de descarga de material (líquido, gasoso e bifásico);
- 2- Evaporação súbita ("flasheamento") de líquidos superaquecidos e evaporação de poça;

- 3- Dispersão de gases (leves ou pesados) na atmosfera;
- 4- Campos de radiação térmica devido a incêndio em poça;
- 5- Campos de sobrepressão devido à explosão de nuvem de vapor

VI.3.1 – Cálculo das Quantidades Vazadas

O cálculo das taxas de descarga devido a liberações acidentais de materiais perigosos é realizado de acordo com os modelos clássicos encontrados na literatura. O procedimento de cálculo da taxa de descarga varia conforme o estado em que o material deixa o sistema:

VI.3.1.1 – Vazamento de Líquidos

A taxa de descarga inicial de líquidos contidos em um dado sistema via orifício em uma tubulação depende basicamente do diferencial de pressão, da altura da coluna de líquido, do tamanho da ruptura e das perdas de carga, sendo dada por [DNV. PHAST Versão 6.51]:

$$m_0 = C_F A_0 \rho_l \sqrt{\frac{2(p_{r0} - p_a)}{\rho_l} + 2g(h_0 - h_{out})}$$

onde:

m_0 = descarga líquida inicial	[kg/s]
C_F = coeficiente de fricção	[adimensional]
A_0 = área do orifício de saída de líquido	[m ²]
ρ_l = densidade do líquido	[kg/m ³]
p_{r0} = pressão do gás na fase vapor	[Pa]
p_a = pressão atmosférica	[Pa]
g = aceleração da gravidade	[m/s ²]
h_0 = altura inicial do nível de líquido	[m]
h_{out} = altura do orifício de saída	[m]

A perda de carga devido à fricção com as paredes da tubulação, passagem através de válvulas, curvas, expansões, contrações, etc., é levada em conta na avaliação do coeficiente de fricção C_F [DNV. PHAST Versão 6.51]:

$$C_F = \left(1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_0}{A_i} \right)^2 \tau_i \right)^{\frac{1}{2}}$$

onde:

- A_i = área da seção transversal disponível para o escoamento de líquido no componente i [m²]
- τ_i = coeficiente de resistência do componente i [adimensional]
- n = número de componentes no trajeto do reservatório até o ponto de vazamento.

Se o vazamento ocorre através de orifício no próprio reservatório, $C_F = C_D$ (coeficiente de descarga).

Em geral, a altura do líquido diminui à medida que o líquido sai do sistema, fazendo com que a taxa de descarga decresça ao longo do tempo.

VI.3.1.2 – Vazamento de Gás

No escoamento de gás a partir de um reservatório, é necessária a distinção de regime conforme a relação entre a pressão interna e externa.

A taxa de descarga gasosa inicial m_0 é dada por [DNV. PHAST Versão 6.51]:

$$m_0 = \psi C_F A_o \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \frac{p_{ro}}{\sqrt{\frac{RT}{M}}}$$

onde, para escoamento subcrítico:

$$\psi = \left(\frac{p_a}{p_{ro}}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{1 - \left(\frac{p_a}{p_{ro}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \sqrt{\frac{2}{\gamma-1} \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}$$

e para escoamento crítico: $\psi = 1$

Método Adiabático para Descarga de Gás

O procedimento de cálculo é análogo ao método isotérmico. Enquanto a pressão no sistema for alta o suficiente para manter o escoamento crítico, o fator Ψ permanece igual a 1. A pressão no reservatório varia de acordo com [DNV. PHAST Versão 6.51]:

$$p_r(t) = p_{ro} \left[1 + \left(\frac{\gamma-1}{2}\right) \frac{\psi C_F A_o}{V_r} \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \sqrt{\frac{RT_{ro}}{M}} t \right]^{\frac{2\gamma}{1-\gamma}}$$

A taxa de descarga pode ser avaliada por:

$$m_{ad}(t) = \left[\frac{p_r(t)}{p_{ro}} \right]^{\frac{1+\gamma}{2\gamma}} m_0$$

enquanto:

$$\frac{p_a}{p_r(t)} < \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

A partir do momento em que o fluxo tornar-se subcrítico,

$$\frac{P_a}{P_r(t)} > \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

VI.3.2 – Dispersão de Gases Neutros

A previsão do comportamento de gases neutros (gases com densidade similar à densidade do ar) na atmosfera é feita com base no modelo Gaussiano, o qual é largamente utilizado para este tipo de previsão.

Tanto as liberações contínuas de material que dão lugar à formação de uma pluma correspondente a um campo de concentrações estacionário, como as liberações instantâneas gerando um "puff" de gás que é transportado pelo vento, podem ser avaliadas com o modelo Gaussiano.

As premissas que servem de base para o modelo são:

- a) Não há perda de material na nuvem;
- b) Por ação da turbulência atmosférica, a concentração do gás toma a forma da distribuição Gaussiana tanto na horizontal como na vertical, sendo que os parâmetros da distribuição (coeficientes de dispersão) variam de acordo com a distância entre o ponto de observação e o ponto de liberação;
- c) Aplica-se somente para gases neutros, ou mais leves que o ar com algumas correções;
- d) As estimativas de concentração representam valores correspondentes a valores médios sem que se possa reproduzir as flutuações de turbulência que se observa na prática.

Do ponto de vista de dispersão de gases na atmosfera, há dois parâmetros determinantes: gradiente de temperatura (há um decréscimo da temperatura do ar com altura medida a partir do solo) e turbulência. Para poder levar em consideração as diferentes variações e combinações de valores destes parâmetros, define-se seis classes de estabilidade atmosférica (classes de Pasquill), mostradas na tabela a seguir.

Tabela VI.1 - Classes de Estabilidade Atmosférica

Classe	Descrição
A	Muito instável
B	Instável
C	Ligeiramente instável
D	Neutra
E	Estável
F	Muito estável

O comprimento de rugosidade do solo está relacionado com a conformação da superfície do solo ou do tipo de cobertura do mesmo (vegetação, construções, etc.). Na tabela 2 estão apresentados valores típicos de comprimento de rugosidade.

Tabela VI.2 - Valores Típicos de Comprimento de Rugosidade

Tipo de região	Descrição	z_0 (m) (aprox.)
Terreno plano	Vegetação rasteira com poucas árvores	0,03
Área rural	Terras para agricultura	0,1
Área cultivada	Região com vegetação alta e poucas construções espalhadas	0,3
Área residencial	Região com casas baixas, sítios industriais sem muitos obstáculos	1,0
Área urbana	Cidade com prédios altos, área industrial com muitos obstáculos	3,0

A estimativa do campo de concentrações correspondente ao estado estacionário, para o caso de liberação de gás a taxa constante, é feita por [DNV. PHAST Versão 6.51]:

$$C(x, y, z) = \frac{G}{2\pi u \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) \right]$$

onde:

$C(x,y,z)$ = concentração no ponto de coordenadas (x,y,z) , sendo que x corresponde à distância medida na direção do vento [kg/m³]

G = taxa de liberação de gás (termo fonte) [kg/s]

u = velocidade do vento [m/s]

H = altura do ponto de liberação [m]

$\sigma_y(x)$ = coeficiente de dispersão lateral [m]

$\sigma_z(x)$ = coeficiente de dispersão vertical [m]

Na literatura, encontram-se valores medidos de coeficientes de dispersão. A partir destes valores, pode-se expressar os coeficientes de dispersão de modo aproximado, na forma:

$$\sigma_y(x) = a x^b$$

$$\sigma_z(x) = c x^d$$

VI.3.3 – Modelagem do Fluxo Térmico

VI.3.3.1 – Incêndio em poça

A liberação acidental de líquido inflamável pode ocasionar a formação de poça, que seguida de ignição do material dá lugar à ocorrência de incêndio em poça com parte da energia liberada na combustão sendo emitida na forma de radiação térmica.

Para a determinação da intensidade da radiação térmica para o meio ambiente a partir de um incêndio em poça, a superfície irradiante é tomada como sendo um cilindro vertical reto com diâmetro (D) e altura (L), ambos em metros. O fluxo térmico, em W/m², experimentado a uma distância r, em metros, do centro do incêndio.

Valores de intensidade média da radiação emitida na superfície da chama, durante a combustão, por diferentes substâncias podem ser encontrados na literatura (TNO).

Parte do calor irradiado é absorvido principalmente pela água contida no ar entre o objeto exposto à radiação térmica e o incêndio. A redução na intensidade de calor que ocorre como resultado é levada em conta pelo coeficiente de transmissividade atmosférica o qual depende, entre outros fatores, da quantidade de vapor d'água no ar entre as chamas e o objeto. Para uma situação específica, devemos conhecer a umidade relativa do ar e então determinar o coeficiente de transmissividade atmosférica.

Em um incêndio em poça, dois fatores afetam a taxa de evaporação:

- a) A evaporação normal da poça
- b) A evaporação resultante da radiação térmica recebida pela poça devido ao incêndio.

Na prática, a segunda contribuição mencionada acima é amplamente dominante.

A taxa de combustão ou taxa de evaporação (m') para líquidos com ponto de ebulição menor que a temperatura ambiente, devido à radiação térmica recebida pela poça é dada por:

$$m' = \left(\frac{h_c}{h_v}\right) 10^{-3}$$

onde:

h_c = calor de combustão do líquido [J/kg]

h_v = calor de evaporação [J/kg]

O valor da taxa de evaporação obtido pela expressão acima, na maioria dos casos, é muito maior, após um período de tempo relativamente curto, do que o valor da contribuição devido à troca térmica com o meio circundante.

Em caso de incêndio em poça de líquidos com ponto de ebulição acima da temperatura ambiente, é necessário que ocorra primeiro a elevação da temperatura do líquido (ou pelo menos da camada superficial) até o ponto de ebulição. Em contraste com os líquidos considerados anteriormente (aqueles com ponto de ebulição abaixo da temperatura ambiente), nem toda a radiação térmica recebida das chamas é diretamente empregada no processo de evaporação que ocorre no ponto de ebulição do líquido, parte da radiação recebida das chamas é empregada para aquecer o líquido (ou a camada superior do mesmo) até o seu ponto de ebulição. Desta forma, somente uma parte da radiação térmica recebida das chamas é usada para a evaporação.

VI.3.4 – Modelagem da Explosão em Nuvem

Nesta seção será apresentado um dos modelos utilizados para avaliação da variação de uma onda de choque em análise de riscos. Todos os modelos são correlações semi-empíricas sendo comentado suas vantagens de aplicação e suas limitações, sendo dado maior atenção ao modelo TNT equivalente, que foi o método selecionado para este trabalho.

VI.3.4.1 – O método TNT equivalente

Este modelo é baseado na equivalência da massa da nuvem inflamável presente entre os limites de inflamabilidade e a massa de TNT (Trinitrotolueno) capaz de causar os mesmos efeitos. Na verdade, há vários modelos de equivalência em TNT, mas em todos, os estudos foram realizados de maneira que os efeitos causados para uma dada massa de TNT fossem semelhantes quando comparados com uma mistura explosiva.

Foram os pioneiros desenvolvidos em experiências com armas militares principalmente nos períodos de guerra.

Para a aplicação deste método, determina-se a massa equivalente de TNT correspondente a massa de gás. Na avaliação dos efeitos da explosão é necessário definir uma eficiência em TNT, que pode variar entre 1% a 10% para uma explosão de nuvem de gás contendo uma determinada massa inflamável pela equação [Crowl, 2002]:

$$W_{TNT} = \eta * \left(\frac{M_{GAS} * H_C}{4,6 * 10} \right)$$

Onde:

M_{GAS} – é a massa de gás que entrou em combustão em [kg],

H_C – é o calor de combustão da substância em [J/kg],

A constante $4,6 * 10^6$ é a energia de composição do TNT em [J/kg].

Com a massa equivalente já determinada, parte-se para a estimativa de fator de escala, mostrado pela equação abaixo, cujo resultado serve para realizar a normalização da distância e dos outros parâmetros do método, como tempo de duração da fase positiva, o tempo de chegada e o impulso.

$$\text{Fator de Escala} = (W_{TNT})^{1/3}$$

Assim, para de determinar a distância até o centro de uma explosão de uma certa quantidade de gás inflamável e um dado pico de sobrepressão em escala, por exemplo, basta calcular a massa equivalente de TNT, em seguida o fator de escala e através do valor da distância normalizada correspondente ao pico desejado, retira-se da abscissa da figura abaixo [Lees,1996] na curva P_s versus z (pico de sobrepressão em escala versus distância normalizada), determina-se a distância do centro da explosão pela equação abaixo [Crowl, 2002].

$$z = \frac{x}{W_{TNT}^{1/3}}$$

Onde :

z – é o valor da distância normalizada ou distância em escala em $[m/kg^{1/3}]$

x – é o valor da distância ao centro de uma explosão.

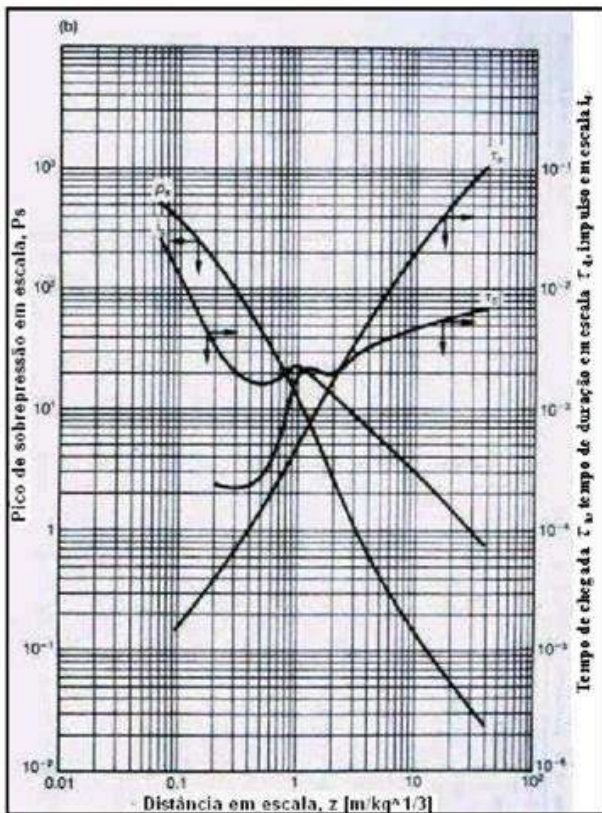


Figura VI.2 – Gráficos dos efeitos normalizados em função da distância em escala do método TNT equivalente

VI.4 – Valores de Referência

VI.4.1 – Fluxo Térmico, Sobrepressão e vazamento tóxico

Para os cenários que envolvem explosões, os valores de sobrepressão utilizados nas modelagens e seus respectivos efeitos serão apresentados na tabela VI.3, para os cenários com incêndio, os valores dos fluxos de radiação térmica, assim como seus respectivos efeitos serão apresentados na tabela VI.4, e para as liberações tóxicas de sulfeto de hidrogênio, os valores das concentrações e seus efeitos serão apresentados na tabela VI.5.

Tabela VI.3 – Valores de Sobrepressão

Sobrepressão (bar)	Efeitos
0,02068	Distância segura ao humano, que representa a probabilidade de 0,95 da ocorrência de nenhum dano sério abaixo deste valor de sobrepressão, 10% das janelas são quebradas, possível dano ao telhado das casas ¹ .
0,1379	Colapso parcial das paredes e telhados das casas ² .
0,2068	Ruptura de tanques estocagem de petróleo, demolição de estruturas ² , Máquinas pesadas (mais de 1 ton) em instalações industriais sofrem pequenos danos ² .

¹Referência: AIChE, American Institute Chemical Engineers.

Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. 2ª Ed., p. 163.

²Referência: LEES, Frank. Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 2, 2a Ed., p. 16/260.

Tabela VI.4 – Valores dos Fluxos de Radiação Térmica

Fluxo Térmico (kw/m2)	Efeitos
37,5	100% de letalidade ao humano e provoca danos aos equipamentos de processo.
12,5	10% de letalidade ao humano e provoca a ignição da madeira.
4,0	Causa dor as pessoas no intervalo de tempo de 20 segundos, contudo pode causar bolhas na pele (queimaduras de segundo grau).

Referência: LEES, Frank. Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 2, 2a Ed., p. 16/260.

Tabela VI.5 – Valores das concentrações da liberação tóxica de Sulfeto de Hidrogênio

Concentração (ppm)	Efeitos
1000	Inconsciência imediata e morte em poucos minutos
500	Inconsciência após 15 minutos de exposição e possível parada respiratória
100	Causa perda do olfato em alguns segundos e hemorragia e morte após 8 horas de exposição

H.S.E Manual, Hydrogen Sulphide

VI.5 – Caracterização dos Cenários Acidentais

VI.5.1 – Escolha de Fluidos Representativos

Para a simulação de misturas, as substâncias representativas devem ser definidas em primeiro lugar pelas semelhanças com o Ponto Normal de Ebulição e pelo Peso Molecular da substância original, e em segundo lugar, pelas semelhanças entre as densidades. Se esses valores são desconhecidos para a mistura, pode-se calcular seu valor através da relação:

É apresentada a seguir uma tabela ilustrativa com os fluidos escolhidos como representativos nas simulações dos cenários acidentais.

Tabela VI.6 – Fluidos representativos

Tabela de fluidos representativos	
Produto	Fluido representativo
Diesel	n-Dodecano
GLP	50% propano e 50% de butano
Gás Combustível	50% metano e 50% de etano
Nafta	50% hexano e 50% de n-pentano

VI.5.2 – Tabelas de Caracterização

As tabelas de caracterização, a seguir, listam os principais dados de entrada e resultados para cada cenário acidental, e os resultados foram plotados na imagem de satélite da REDUC.

Tabela VI.7 – Caracterização do Subsistema 1

Caracterização do subsistema 1			
Temperatura ambiente	20°C		
Umidade relativa do ar	70%		
Velocidade do vento	1,0 m/s	5,0 m/s	
Classe de estabilidade atmosférica	F	A	
Produto	Diesel		
Estado físico do produto	Líquido		
Temperatura do produto	120°C		
Pressão no ponto de vazamento	15,0 kgf/cm ²		
Diâmetro do orifício	10"		
Efeitos	Incêndio, flash fire e explosão		
Considerações			
<ul style="list-style-type: none"> • Para efeito de cálculo, utilizou-se as propriedades do n-Dodecano como fluido representativo do diesel. • Inventário: Descarga da torre fracionadora durante 10 min (Tempo de detecção e fechamento das válvulas). 			
Resultados			
Alcance do incêndio (m)	4,0 kw/m ² –	94,6	103,4
	12,5 kw/m ² –	77,8	88,4
	37,5 kw/m ² –	64,9	76,9
Alcance incêndio em nuvem – Flash fire (m)	Limite inferior inflamabilidade	106,5	123,4
Alcance da Explosão (m)	0,02068 bar –	166,4	178,5
	0,1379 bar –	134,7	154,0
	0,2068 bar –	121,3	136,3

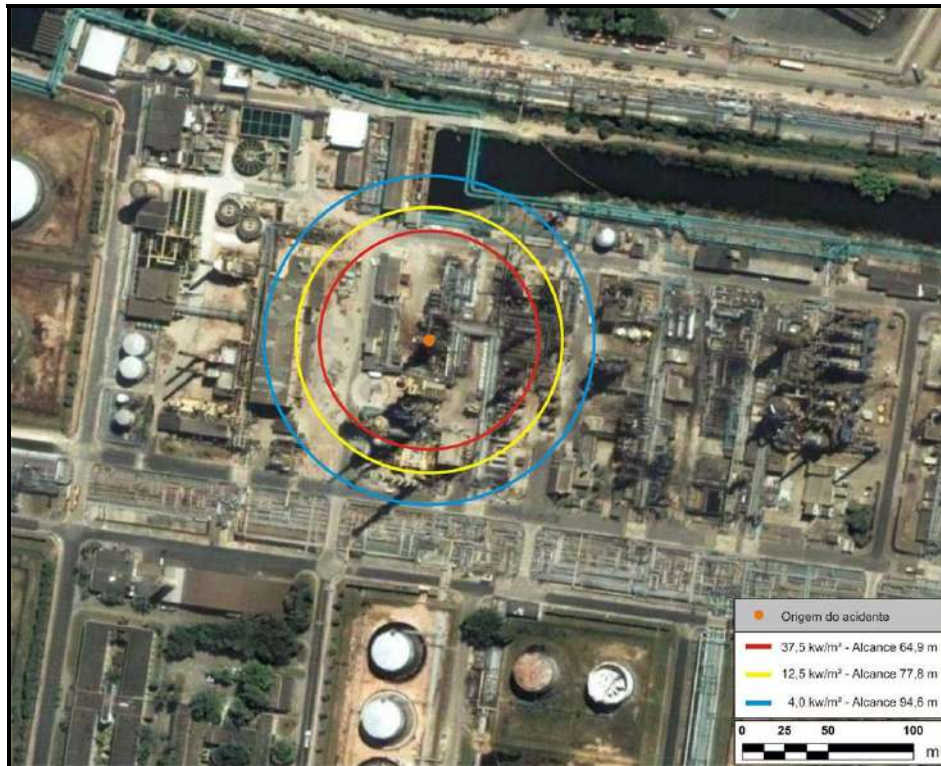


Figura VI.3 – Área vulnerável ao incêndio - velocidade do vento: 1,0 m/s

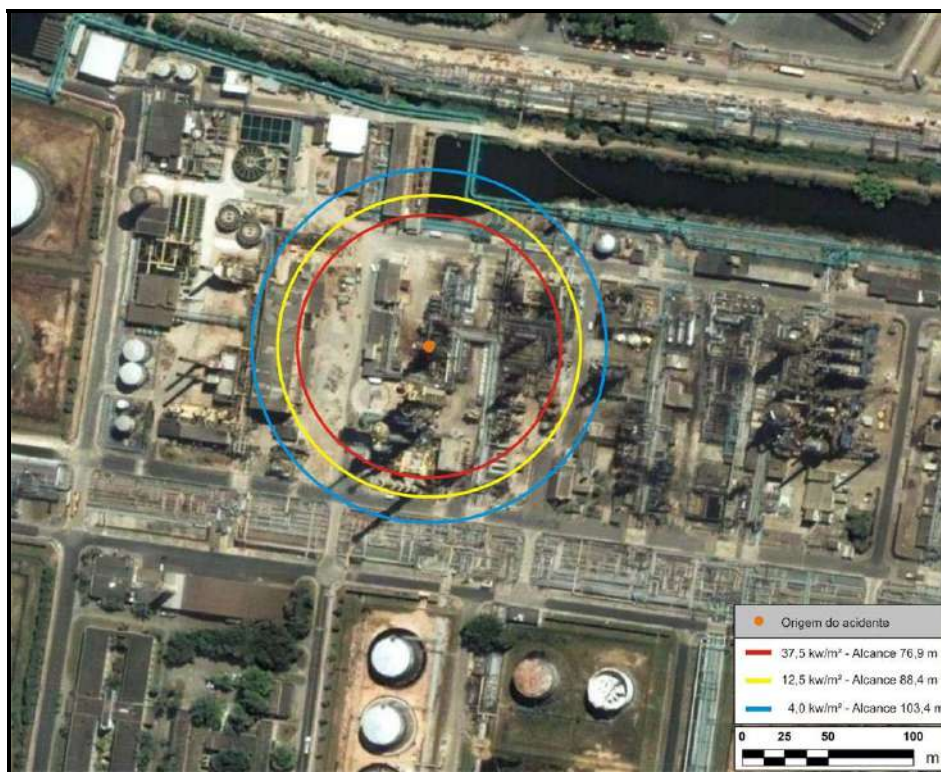


Figura VI.4 – Área vulnerável ao incêndio - velocidade do vento: 5,0 m/s

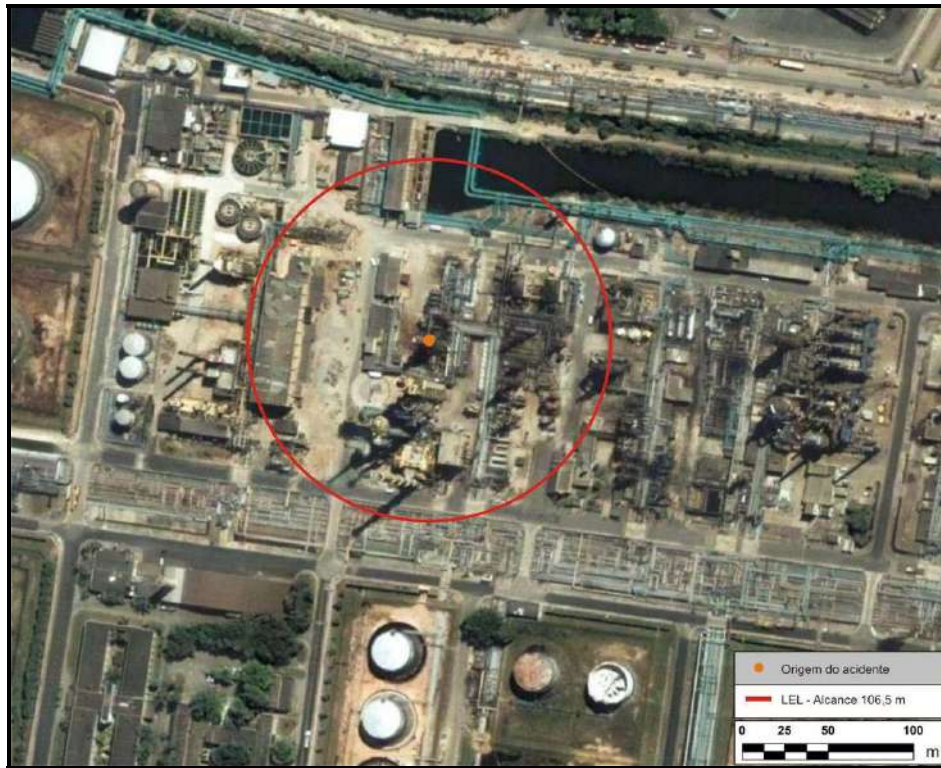


Figura VI.5 – Área vulnerável ao flash fire - velocidade do vento: 1,0 m/s

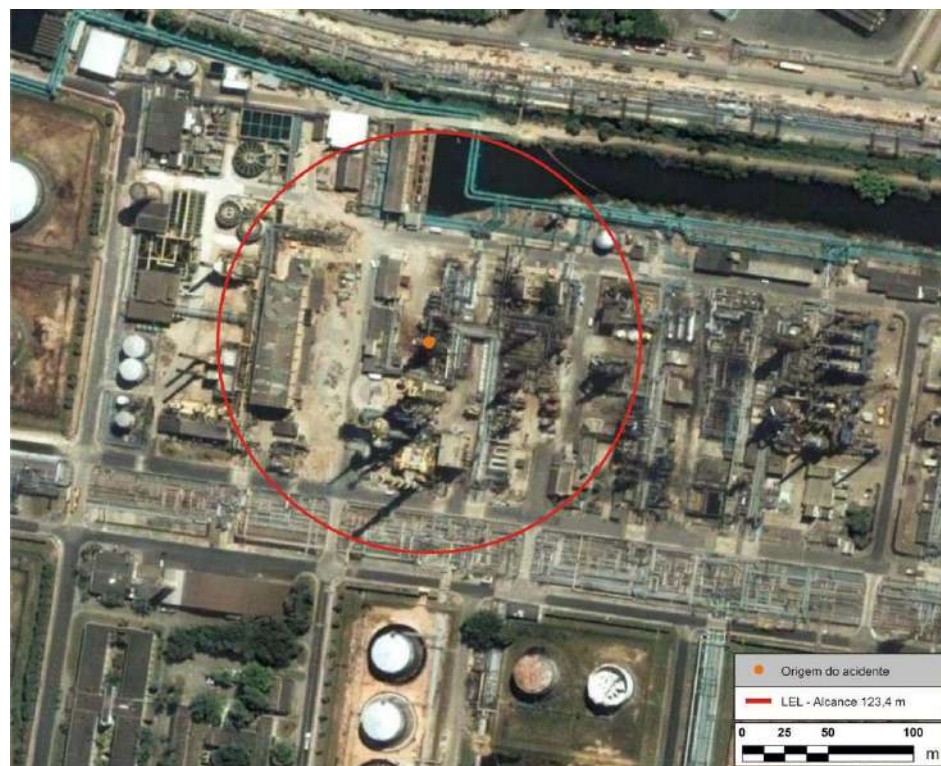


Figura VI.6 – Área vulnerável ao flash fire - velocidade do vento: 5,0 m/s



Figura VI.7 – Área vulnerável à explosão - velocidade do vento: 1,0 m/s



Figura VI.8 – Área vulnerável à explosão - velocidade do vento: 5,0 m/s

Tabela VI.8 – Caracterização do Subsistema

Caracterização do subsistema 2				
Temperatura ambiente	20°C			
Umidade relativa do ar	70%			
Velocidade do vento	1,0 m/s	5,0 m/s		
Classe de estabilidade atmosférica	F	A		
Produto	Gás Combustível			
Estado físico do produto	Gás			
Temperatura do produto	50°C			
Pressão no ponto de vazamento	12,3 kgf/cm ²			
Diâmetro do orifício	8"			
Efeitos	Incêndio em poça, flash fire e explosão			
Considerações				
<ul style="list-style-type: none"> • Para efeito de calculo, utilizaram-se as propriedades da mistura de 50% de metano e 50% de etano como fluido representativo do gás combustível. • Inventário: Descarga da linha de saída do tratamento DEA durante 10 min (Tempo de detecção e fechamento das válvulas). 				
Resultados				
Alcance do jato de fogo (m)	4,0 kw/m ²	–	138,8	138,5
	12,5 kw/m ²	–	101,6	106,1
	37,5 kw/m ²	–	76,9	84,2
Alcance incêndio em nuvem – Flash fire (m)	Limite inferior inflamabilidade		100,0	104,3
Alcance da Explosão (m)	0,02068 bar	–	191,5	186,3
	0,1379 bar	–	120,4	126,3
	0,2068 bar	–	108,4	114,7

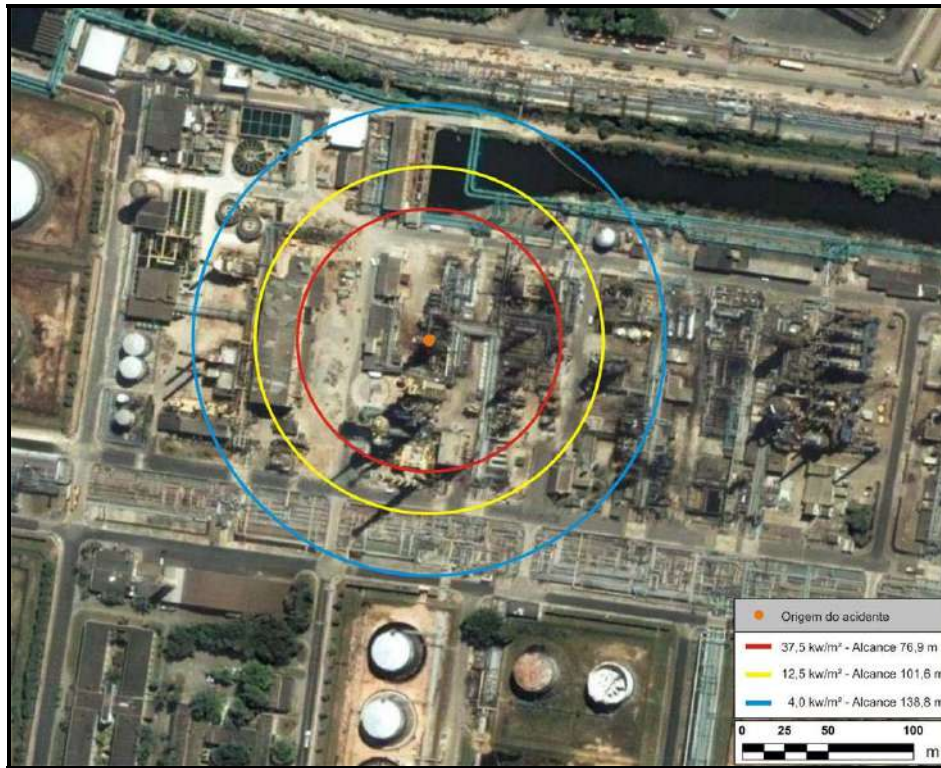


Figura VI.9 – Área vulnerável ao jet fire - velocidade do vento: 1,0 m/s

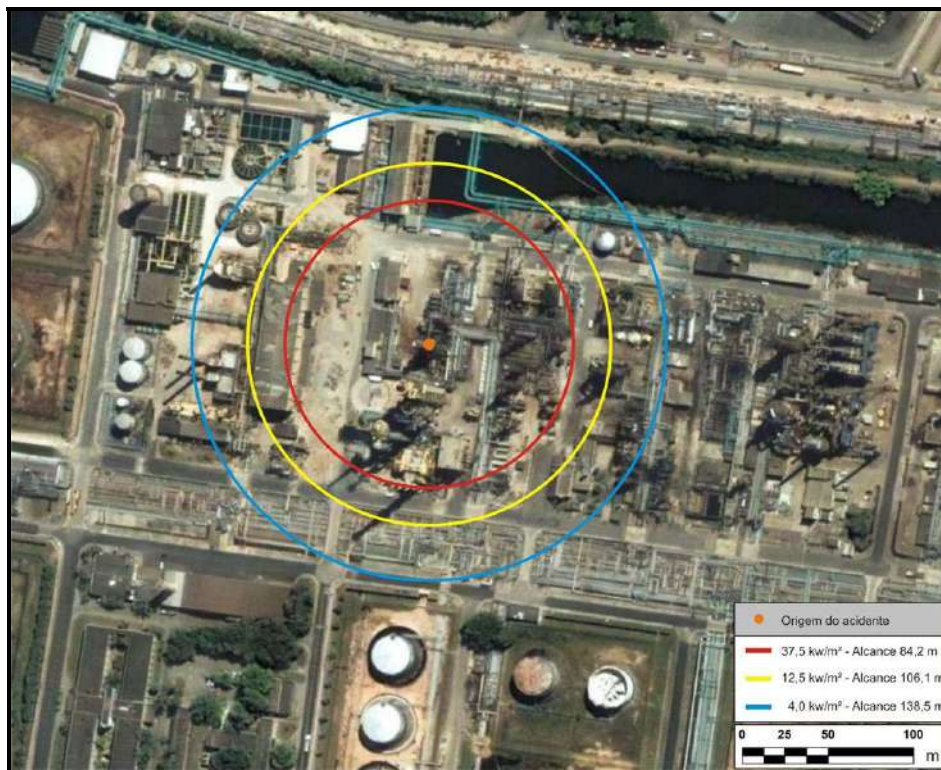


Figura VI.10 – Área vulnerável ao jet fire - velocidade do vento: 5,0 m/s

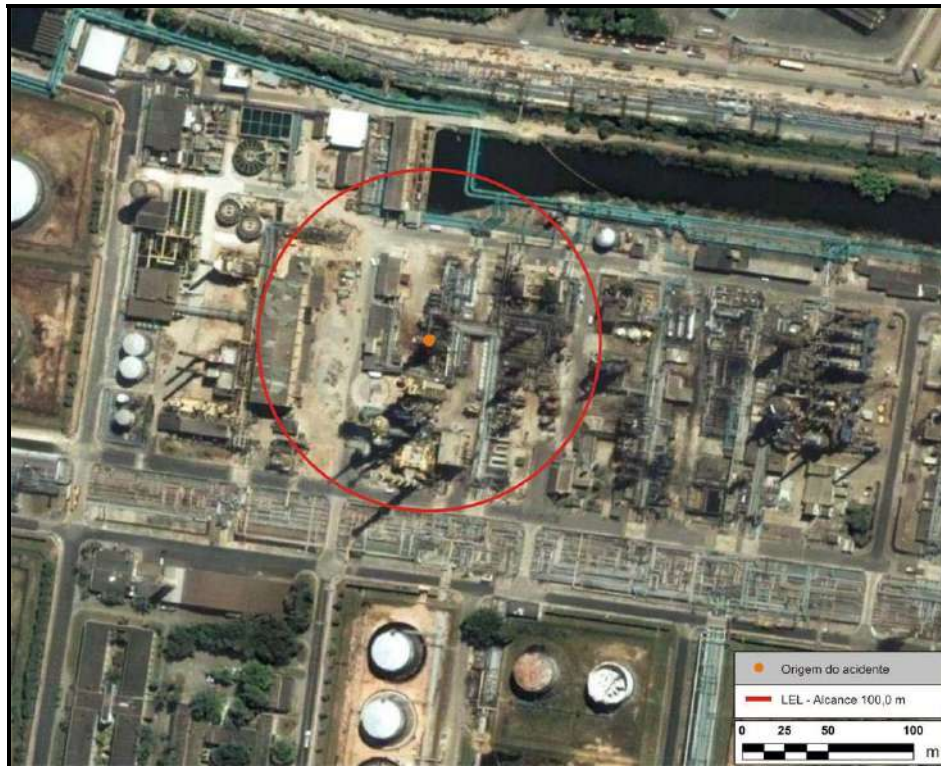


Figura VI.11 – Área vulnerável ao flash fire - velocidade do vento: 1,0 m/s

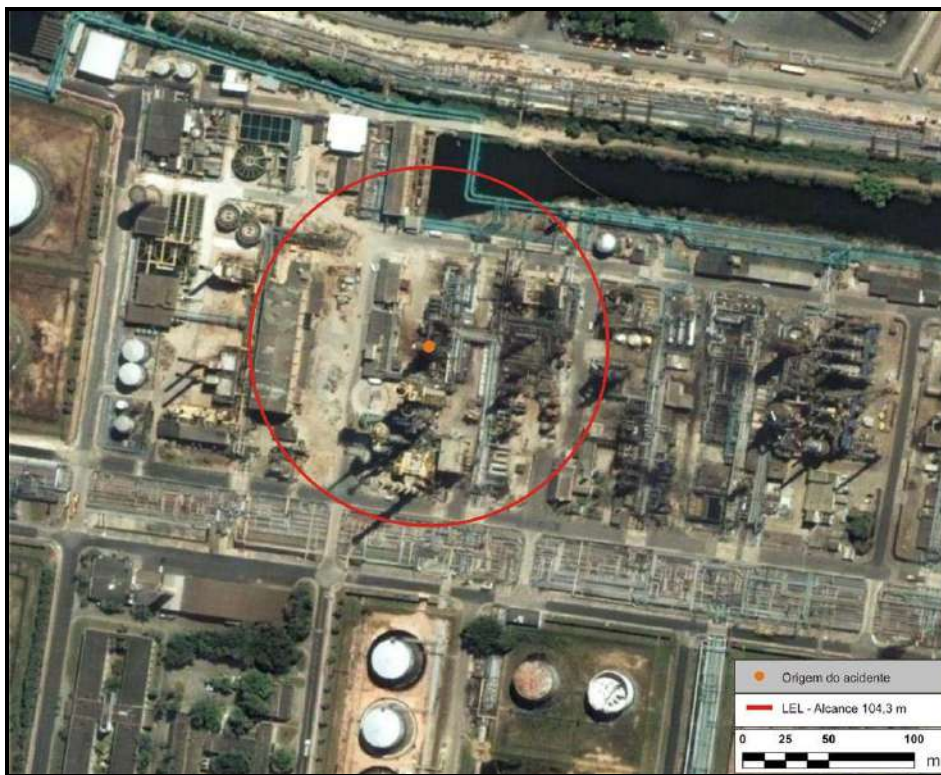


Figura VI.12 – Área vulnerável ao flash fire - velocidade do vento: 5,0 m/s



Figura VI.13 – Área vulnerável à explosão - velocidade do vento: 1,0 m/s



Figura VI.14 – Área vulnerável à explosão - velocidade do vento: 5,0 m/s

Tabela VI.9 – Caracterização do Subsistema 3

Caracterização do subsistema 3				
Temperatura ambiente	20°C			
Umidade relativa do ar	70%			
Velocidade do vento	1,0 m/s	5,0 m/s		
Classe de estabilidade atmosférica	F	A		
Produto	Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)			
Estado físico do produto	Gás			
Temperatura do produto	120°C			
Pressão no ponto de vazamento	2,5 kgf/cm ²			
Diâmetro do orifício	6"			
Efeitos	Nuvem tóxica			
Considerações				
<ul style="list-style-type: none"> • Inventário: Descarga da linha durante 10 min (Tempo de detecção e fechamento das válvulas). 				
Resultados				
Nuvem tóxica (m)	100 ppm	–	737,3	543,2
	500 ppm	–	483,8	442,0
	1000 ppm	–	411,3	393,5

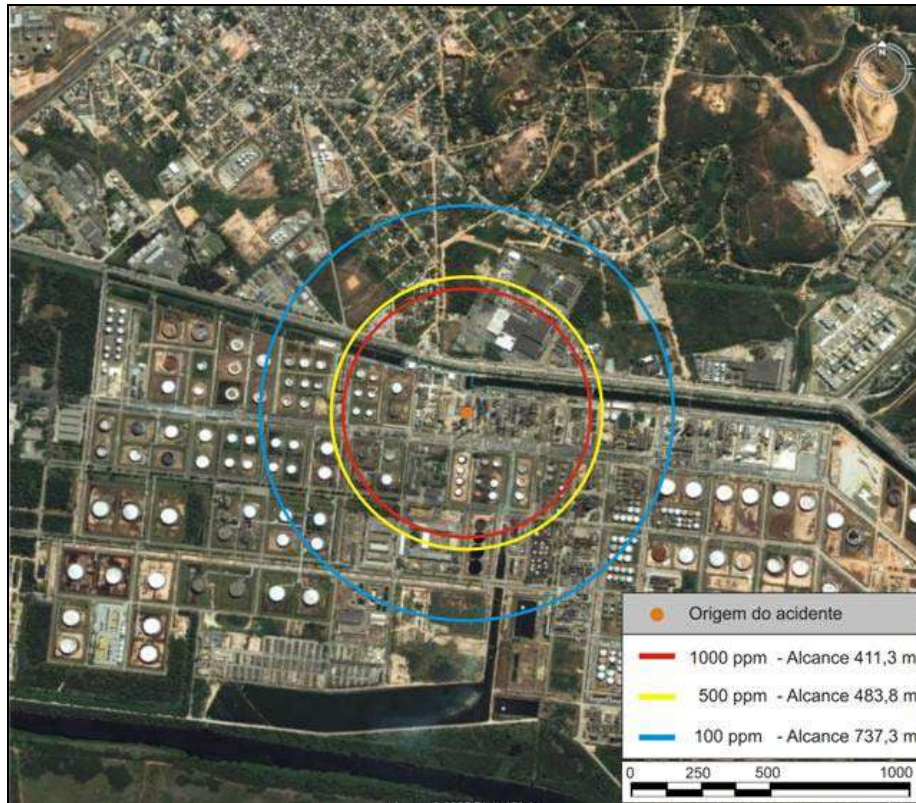


Figura VI.15 – Área vulnerável à nuvem tóxica- velocidade do vento: 1,0 m/s

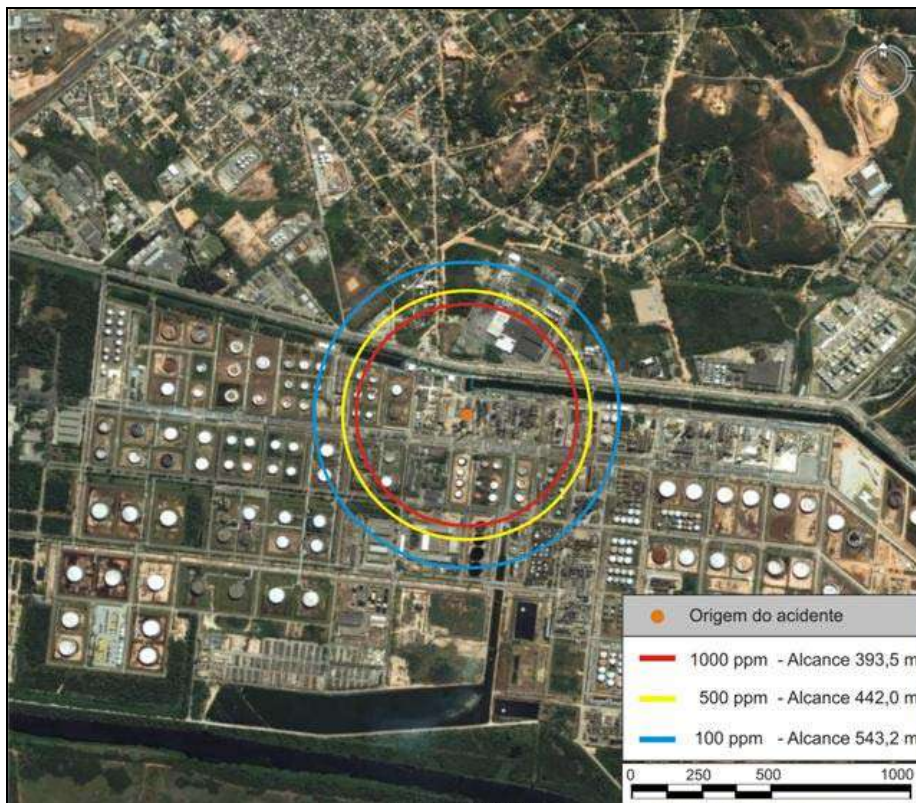


Figura VI.16 – Área vulnerável à nuvem tóxica- velocidade do vento: 5,0 m/s

Tabela VI.10 – Caracterização do Subsistema 4

Caracterização do subsistema 4			
Temperatura ambiente	20°C		
Umidade relativa do ar	70%		
Velocidade do vento	1,0 m/s	5,0 m/s	
Classe de estabilidade atmosférica	F	A	
Produto	GLP		
Estado físico do produto	Gás		
Temperatura do produto	80°C		
Pressão no ponto de vazamento	15,0 kgf/cm ²		
Diâmetro do orifício	10''		
Efeitos	Jato de fogo, flash fire e explosão		
Considerações			
<ul style="list-style-type: none"> • Para efeito de calculo, utilizou-se as propriedades da mistura de 50% de propano e 50% de butano como fluido representativo do GLP. • Inventário: Descarga da linha de saída do tratamento Merox durante 10 min (Tempo de detecção e fechamento das válvulas). 			
Resultados			
Alcance do jato de fogo (m)	4,0 kw/m ² –	223,8	220,0
	12,5 kw/m ² –	155,8	163,2
	37,5 kw/m ² –	115,9	124,8
Alcance incêndio em nuvem – Flash fire (m)	Limite inferior inflamabilidade	154,2	188,7
Alcance da Explosão (m)	0,02068 bar –	268,4	266,3
	0,1379 bar –	215,7	238,4
	0,2068 bar –	190,1	213,0

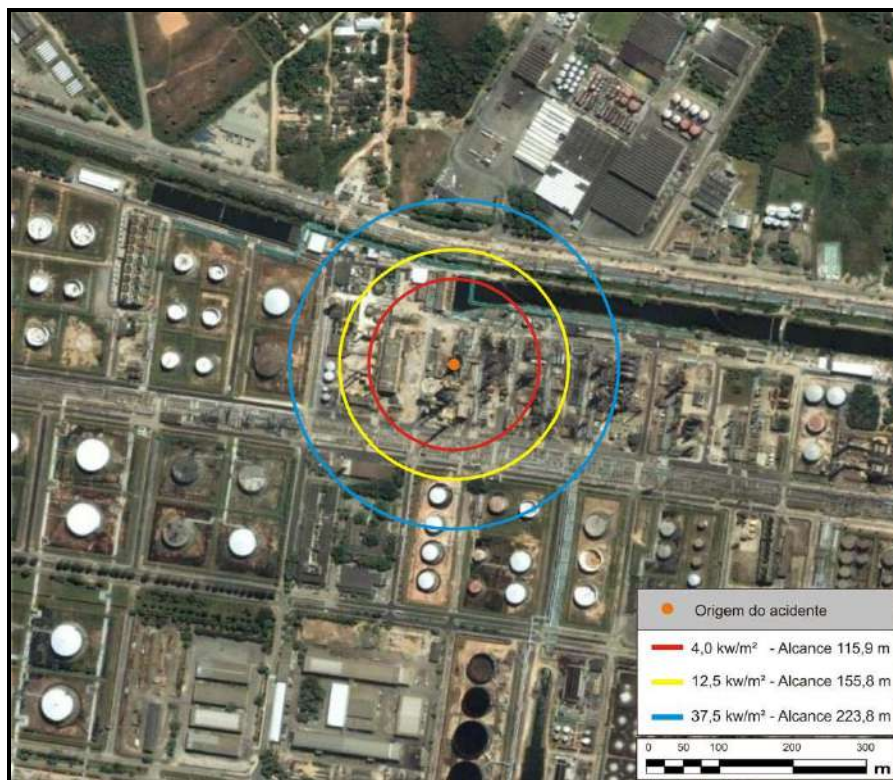


Figura VI.17 – Área vulnerável ao jet fire- velocidade do vento: 1,0 m/s



Figura VI.18 – Área vulnerável ao jet fire- velocidade do vento: 5,0 m/s

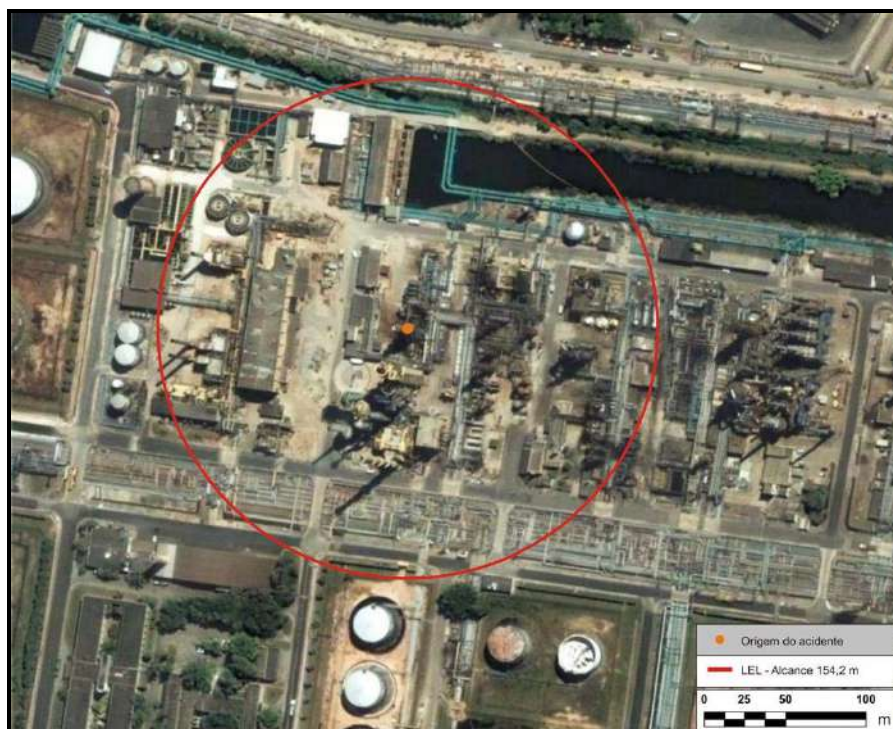


Figura VI.19 – Área vulnerável ao flash fire- velocidade do vento: 1,0 m/s

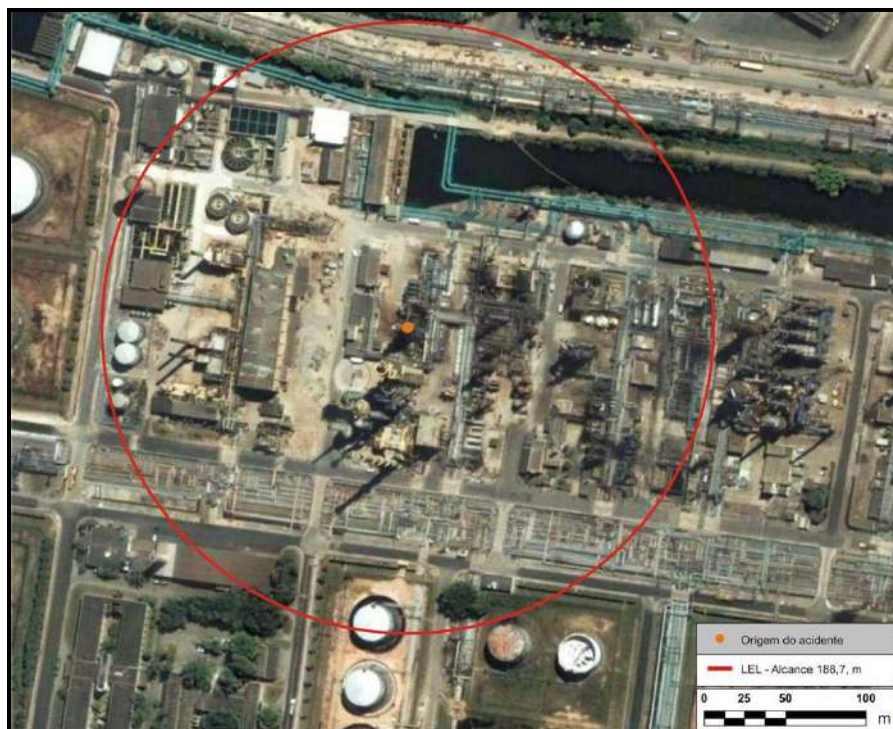


Figura VI.20 – Área vulnerável ao flash fire- velocidade do vento: 5,0 m/s

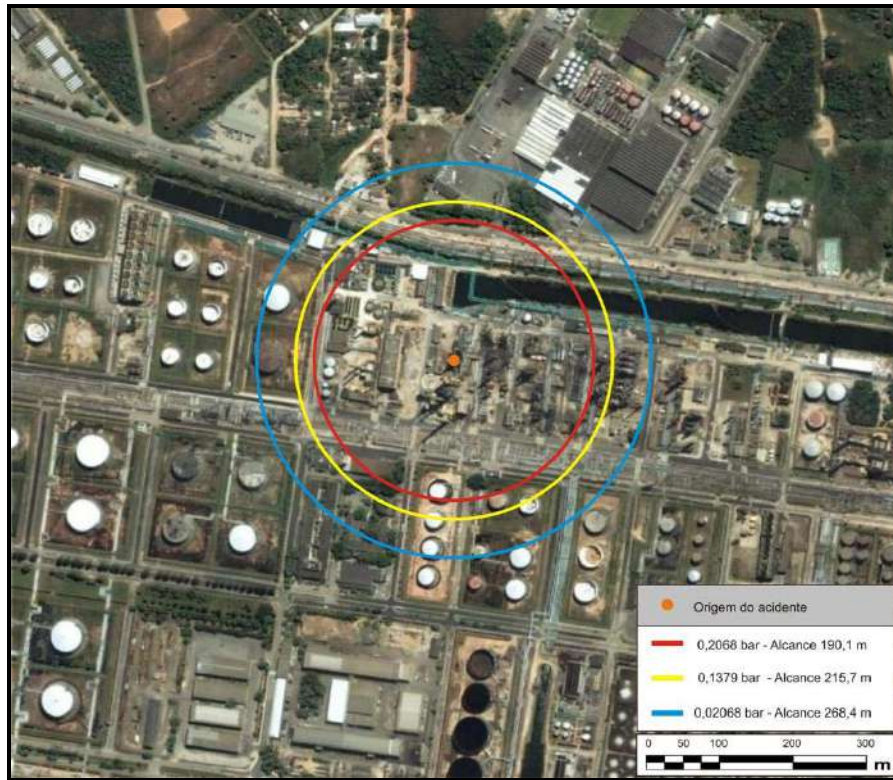


Figura VI.21 – Área vulnerável à explosão - velocidade do vento: 1,0 m/s

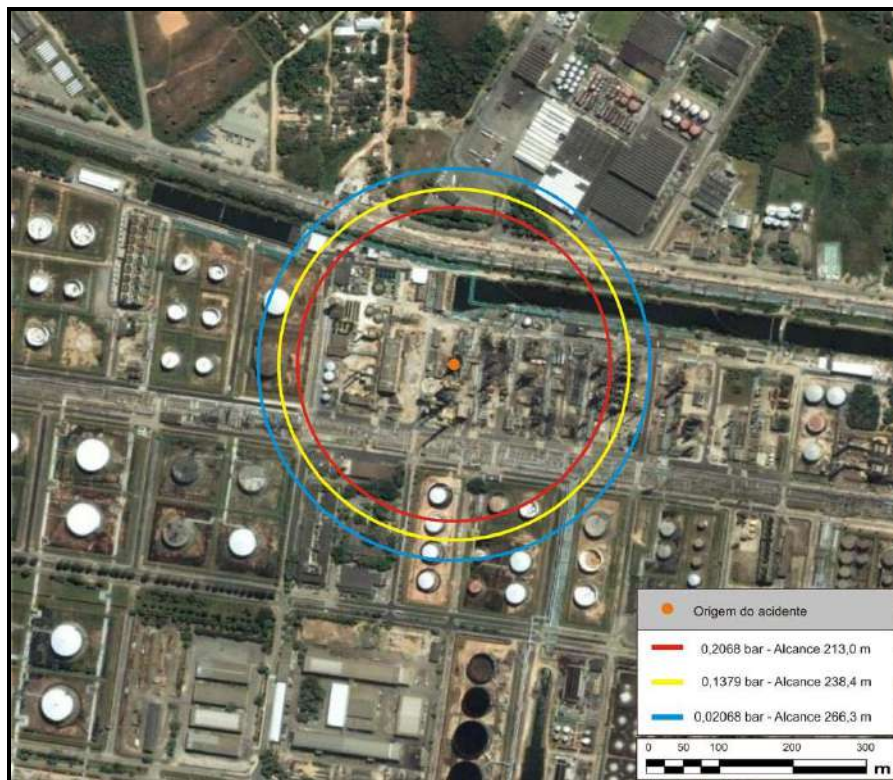


Figura VI.22 – Área vulnerável à explosão - velocidade do vento: 5,0 m/s

Tabela VI.11 – Caracterização do Subsistema 5

Caracterização do subsistema 5			
Temperatura ambiente	20°C		
Umidade relativa do ar	70%		
Velocidade do vento	1,0 m/s	5,0 m/s	
Classe de estabilidade atmosférica	F	A	
Produto	Nafta		
Estado físico do produto	Líquido		
Temperatura do produto	70°C		
Pressão no ponto de vazamento	4,0 kgf/cm ²		
Diâmetro do orifício	8"		
Efeitos	Incêndio, flash fire e explosão		
Considerações			
<ul style="list-style-type: none"> • Para efeito de calculo, utilizou-se as propriedades da mistura de 50% de hexano e 50% de n-pentano como fluido representativo da nafta. • Inventário: Descarga da linha durante 10 min (Tempo de detecção e fechamento das válvulas). 			
Resultados			
Alcance do incêndio (m)	4,0 kw/m ² –	75,0	73,2
	12,5 kw/m ² –	56,3	55,2
	37,5 kw/m ² –	49,0	47,6
Alcance incêndio em nuvem – Flash fire (m)	Limite inferior inflamabilidade	368,6	267,9
Alcance da Explosão (m)	0,02068 bar –	935,4	450,2
	0,1379 bar –	899,5	340,5
	0,2068 bar –	850,2	309,6

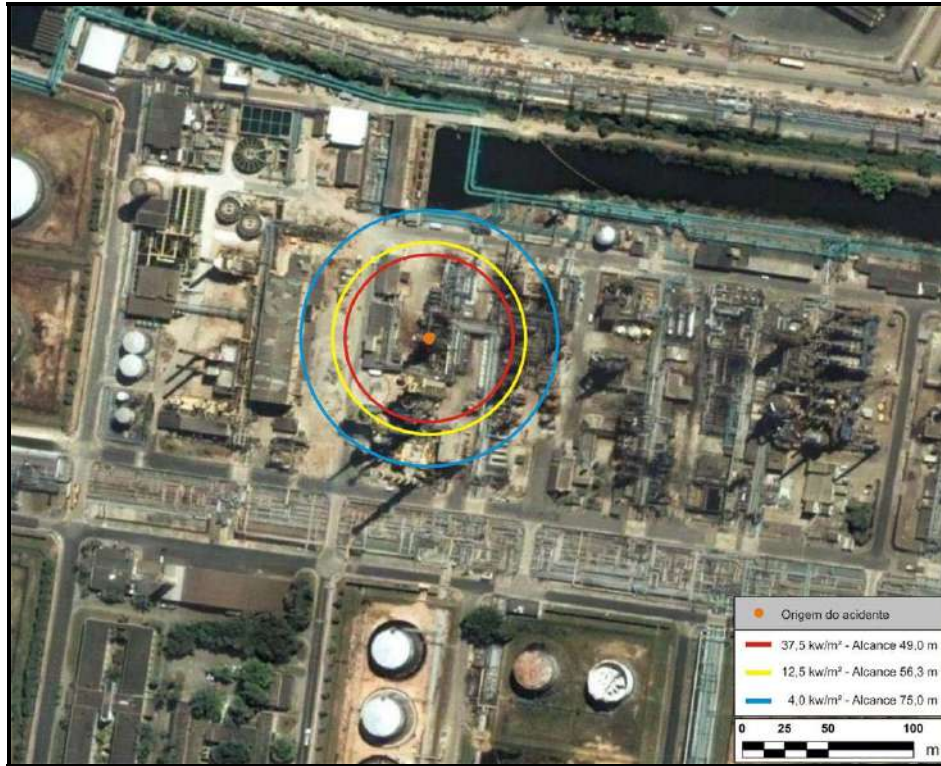


Figura VI.23 – Área vulnerável ao incêndio - velocidade do vento: 1,0 m/s

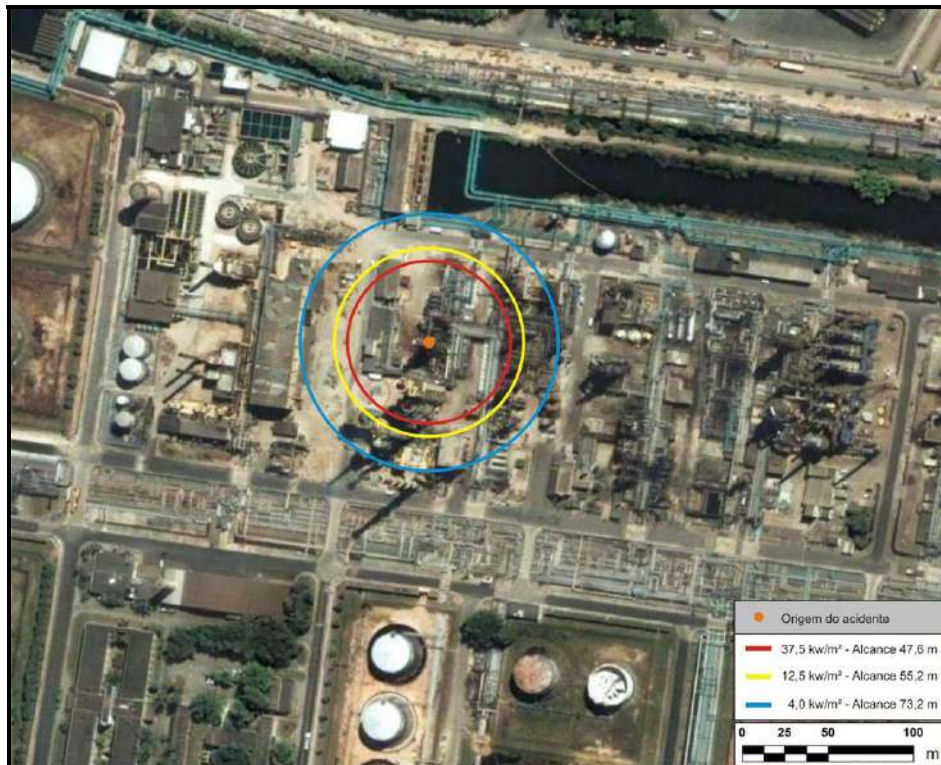


Figura VI.24 – Área vulnerável ao incêndio - velocidade do vento: 5,0 m/s



Figura VI.25 – Área vulnerável ao flash fire - velocidade do vento: 1,0 m/s



Figura VI.26 – Área vulnerável ao flash fire - velocidade do vento: 5,0 m/s

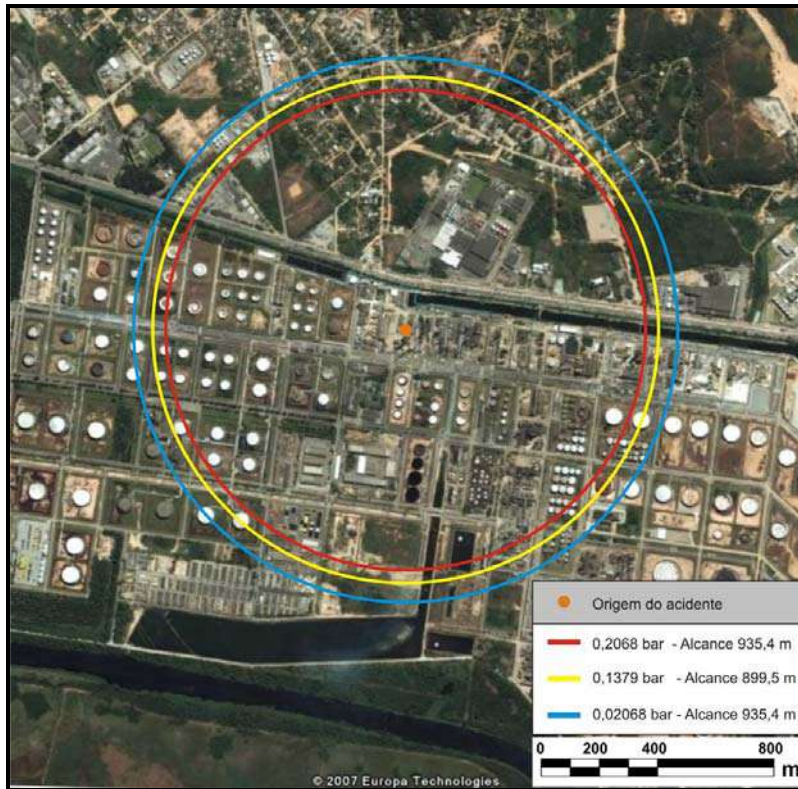


Figura VI.27 – Área vulnerável à explosão - velocidade do vento: 1,0 m/s

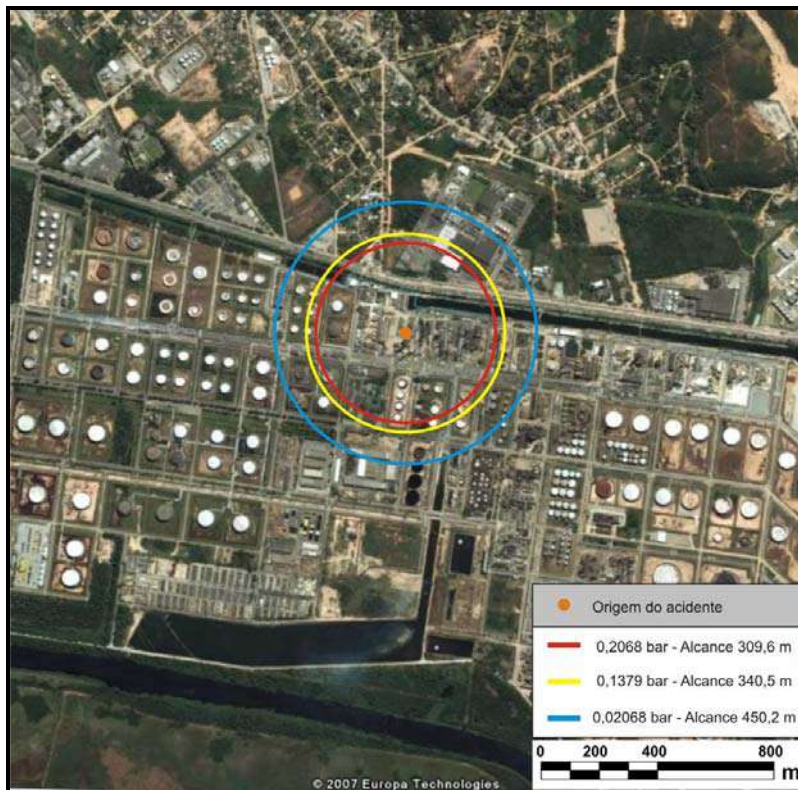


Figura VI.28 – Área vulnerável à explosão - velocidade do vento: 5,0 m/s

Capítulo VII – Avaliação do Risco

O conceito de risco traduz “a incerteza de uma perda” que, do ponto de vista quantitativo, manifesta-se na avaliação da frequência esperada dos eventos causadores do risco e na avaliação do grau de dano esperado no caso da ocorrência dos referidos eventos. Normalmente os riscos oriundos de uma instalação perigosa dizem respeito ao indivíduo que pode ser atingido, como também à sociedade como um todo, quando existir o potencial para um desastre de amplas proporções.

VII.1 – Risco Individual

O Risco Individual pode ser definido como a probabilidade de que um indivíduo, situado nas imediações de uma instalação perigosa, venha a sofrer um dano, ao longo do ano, em decorrência de acidentes na instalação. Os níveis de dano dependem das aplicações particulares, mas seguramente estão relacionados à perda de vida e ferimentos mais ou menos graves.

A definição de critérios de tolerabilidade de riscos é importante para avaliar empreendimentos com potencial para danos à população, decorrentes de acidentes envolvendo produtos perigosos. Foram os Critérios de Tolerabilidade, propostos pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – SP), apresentados na Figura a seguir:

Critério de Tolerabilidade de Risco Individual adotado pelo CETESB			
		<i>Instalações industriais</i>	<i>Dutos</i>
<i>Limite de Intolerabilidade</i>	Região Intolerável	10^{-5} /ano	10^{-4} /ano
<i>Limite de Tolerabilidade</i>	Região ALARA <i>As Low As Reasonably Achievable</i>	10^{-6} /ano	10^{-5} /ano
	Região Perfeitamente Tolerável		

Figura VII.1- Critério de tolerabilidade

Para os valores de riscos situados na região denominada ALARA ou ALARP (As Low As Reasonably Achievable ou As Low As Reasonably Practicable), compreendidos entre os dois limites, deverão ser introduzidas modificações nas instalações e/ou operações de modo que o novo valor de risco seja reduzido, situando-se na Região de Risco Negligenciável.

VII.2 – Risco Social

O Risco Social indica a probabilidade de um certo grupo de pessoas morrer face a ocorrência de um acidente considerando a área circunvizinha à instalação. Em outras palavras, o Risco Social indica o risco da população que está na zona de influência do acidente.

Há, em geral, uma grande expectativa do público de que desastres potenciais venham a receber uma atenção prioritária dos órgãos regulamentadores, assim como providências para a adoção de medidas destinadas à prevenção destes. O Risco Social indica o grau do dano catastrófico e é normalmente representado através de Curvas F-N, onde F é a frequência acumulada ou ocorrências acidentais e N, o número de fatalidades.

A filosofia adotada para os Critérios de Tolerabilidade de Risco Social também se baseia no estabelecimento de dois níveis de risco:

- Um nível superior, acima do qual os riscos são considerados Intoleráveis.
- Um nível inferior, abaixo do qual os riscos são considerados Negligenciáveis.

Para os valores de risco situados na faixa intermediária, denominada Região ALARP (As Low As Reasonably Practicable) deverão ser introduzidas modificações nas instalações e/ou operações de modo que o novo valor de risco seja reduzido, situando-se na Região de Risco Negligenciável.

Capítulo VIII – Conclusão

Neste estudo foi realizado a Análise de Riscos da Unidade de Craqueamento da REDUC. Os principais objetivos foram avaliação do risco para a população externa e apresentar a análise de vulnerabilidade dos cenários de acidentes.

Os cálculos apresentados neste relatório foram realizados considerando os casos de dispersão máxima da pluma (Classe de Estabilidade “A” e velocidade do vento de 5,0 m/s) e o caso que representa a menor dispersão da pluma (Classe de Estabilidade “F” e velocidade do vento 1,0 m/s). Logo, as áreas vulneráveis calculadas dão uma idéia da magnitude do alcance dos efeitos físicos dos acidentes analisados.

Deve-se salientar que as áreas vulneráveis mostradas nas figuras contêm círculos para delimitar as regiões potencialmente sujeitas aos vários efeitos, mas que a zona que realmente seria atingida dependeria da direção do vento, no momento do acidente. Assim, para incêndio em nuvem, somente a zona localizada no interior da isopleta correspondente ao limite inferior de inflamabilidade é que seria efetivamente atingida.

Analogamente, no caso de explosão de nuvem, a região efetivamente sujeita a cada um dos níveis de sobrepressão analisados seriam círculos de raios iguais à distância desde o centro da explosão até o ponto onde se observaria cada um dos níveis de pico de sobrepressão na onda de choque. O centro da explosão dependeria da direção do vento no instante do acidente e estaria em um ponto ao longo do eixo da pluma que se formaria antes de ocorrer a explosão. Aqui, também, obtém-se a zona vulnerável por rotação do maior alcance em cada um dos níveis de sobrepressão.

No caso do jato de fogo, também haveria uma dependência da direção em que o jato se formasse. Para fins de determinação de áreas vulneráveis, fez-se os cálculos considerando-se a formação de um jato horizontal (aquele que poderia ter o maior alcance possível) e gerou-se a área vulnerável por rotação das maiores distâncias obtidas para os três níveis de fluxo térmico analisados.

Foi utilizada a metodologia de Análise preliminar de perigos (APP) para identificar e classificar os perigos que possam causar fatalidades e danos às instalações. Dos 5 eventos iniciadores identificados, a 3 deles foi atribuída categoria de severidade moderada e a 2 deles categoria séria. Estes cenários foram avaliados através da Análise de Frequência, da Análise de Consequência e da Avaliação de Riscos.

Os resultados obtidos na Análise de Consequência indicam que os cenários envolvendo formação da nuvem tóxica de sulfeto de hidrogênio (H₂S); explosão de GLP; e flash fire e explosão em nuvem da nafta são os que apresentam maiores impactos extra-muros, isto é, apresentam maiores área de vulnerabilidade. É importante frisar que a área vulnerável não corresponde àquela que seria efetivamente atingida em caso de formação de nuvem de material tóxico ou inflamável, e sim ao conjunto das áreas potencialmente sujeitas aos efeitos físicos dos acidentes (explosão, jet fire, jet fire entre outros).

É importante frisar que o estudo quantitativo se baseou em considerações. Para um estudo mais preciso é necessário que houvesse um maior detalhamento das instalações e seus inventários.

Referências Bibliográficas

- AICHE (2000). Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, 2º ed.
- Crowl, Daniel A. et al (2002), Chemical Process Safety: fundamentals with applications, 2º ed.
- DNV - Technica Ltd. PHAST – Process Hazard Analysis Software Toll. Versão 6.51 (2000)
- Health and Safety Executive, “Quantified risk assessment: its input to decision making”, 1989.
- Health and Safety Executive, “Controlling Risks Around Explosives Stores”, Review of the requirements on separation distances, 2002.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Demográfico 2000. Disponível em <www.ibge.net/censo>
- Kaiser, Gary Handwerd. Petroleum Refining: Technology and Economics. 5º ed.
- Lees, Frank P., Loss Prevention in the Process Industries, London: Butterworths, 1996, 2ªEdição.
- Lees, Frank P. Loss prevention in the process industries: Hazard identification, assessment and control. 2º ed. Vol. 1, 2 e 3
- Manual de Orientação para Elaboração de Estudos de Análise de Riscos, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB, maio/2003.
- Prugh, R. W. (1985). “Mitigation of Vapour Cloud Hazards” Plant/Operations Progress 4 (2,Abril), 95-104.
- Prugh, R. W. (1986). “Mitigation of Vapour Cloud Hazards; Part II Limiting the Quantity Released and Countermeasures for Releases” Plant/Operations Progress 5 (3, Julho), 169-174
- Yaws Carl L (1999). Chemical properties handbook: physical, thermodynamic, environmental, transport, safety, and health related properties for organic and inorganic chemicals.
- TNO. Guidelines for Quantitative risk Assessment, (The Purple Book), Directorate General of Labour, Holanda, 1ª Edição, 1999.

TNO. Methods for the Calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Materials: Liquids and Gases, (The Yellow Book), Directorate General of Labour, Holanda, 3ª Edição, 1997.

TNO. Methods for the Calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Materials: Liquids and Gases, (The Yellow Book), Directorate General of Labour, Holanda, 3ª Edição, 1997.

TNO. Guidelines for Quantitative risk Assessment, (The Purple Book), Directorate General of Labour, Holanda, 1ª Edição, 1999.

Manual de Orientação para Elaboração de Estudos de Análise de Riscos, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB, maio/2003.

Apêndice A1 – Planilhas APP

ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS							
Atividade: Vazamento de Diesel							
Sistema: Torre Fracionadora							Hipótese Acidental N° 1
Subsistema: Linha de saída da torre							Data: Revisão:
Perigo	Causas	Modos de detecção	Conseqüência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações/Comentários
Vazamento de Diesel	<ul style="list-style-type: none"> - Choque mecânico - Corrosão interna - Desgaste do material das válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> - Por meio de instrumentos - Visual - Fechamento automático das válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> - Formação de uma poça de Diesel - Danos materiais -Parada de produção 	C	IV	4	---

ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS

Atividade: Vazamento de Gás Combustível

Sistema: Tratamento DEA do Gás Combustível

Hipótese Acidental N° 2

Subsistema: Vazamento de linha

Data:

Revisão:

Perigo	Causas	Modos de detecção	Conseqüência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações/Comentários
Vazamento de Gás Combustível	<ul style="list-style-type: none"> - Choque mecânico - Corrosão interna - Desgaste do material das válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> - Por meio de instrumentos - Fechamento automático das válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> - Formação de nuvem de Gás - Danos materiais -Parada de produção 	B	IV	3	---

ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS

Atividade: Vazamento de Sulfeto de Hidrogênio (H₂S)

Sistema: Tratamento DEA do Gás Combustível

Hipótese Acidental N° 3

Subsistema: Vazamento de linha

Data:

Revisão:

Perigo	Causas	Modos de detecção	Conseqüência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações/Comentários
Vazamento de Sulfeto de Hidrogênio	<ul style="list-style-type: none"> - Choque mecânico - Corrosão interna - Desgaste do material das válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> - Por meio de instrumentos - Fechamento automático das válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> - Formação de nuvem de Gás - Danos materiais -Parada de produção 	B	IV	3	---

ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS

Atividade: Vazamento de GLP

Sistema: Tratamento MEROX do GLP

Hipótese Acidental N° 4

Subsistema: Vazamento de linha

Data:

Revisão:

Perigo	Causas	Modos de detecção	Conseqüência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações/Comentários
Vazamento de GLP	- Choque mecânico - Corrosão interna - Desgaste do material das válvulas	- Por meio de instrumentos - Fechamento automático das válvulas	- Formação de nuvem de Gás tóxica - Danos materiais -Parada de produção	C	IV	3	---

ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS

Atividade: Vazamento de Nafta

Sistema: Tratamento MEROX de Nafta

Hipótese Acidental N° 5

Subsistema: Vazamento na linha

Data:

Revisão:

Perigo	Causas	Modos de detecção	Conseqüência	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações/Comentários
Vazamento de Nafta	<ul style="list-style-type: none"> - Choque mecânico - Corrosão interna - Desgaste do material das válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> - Por meio de instrumentos - Visual - Fechamento automático das válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> - Formação de uma poça de Nafta Combustível - Danos materiais -Parada de produção 	C	IV	4	---