

MARCOS APARECIDO FRANCO PORTELA

**Aplicação da análise de riscos para determinação de áreas de riscos em
instalações contendo substâncias inflamáveis.**

**Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Engenheiro de
Segurança do Trabalho**

**Área de Concentração: Engenharia de
Segurança do Trabalho**

**ESP/EST-2006
P832a**

**São Paulo
2006**

Aos meus pais, minha irmã, minha namorada, meu cunhado, meus familiares e amigos, que sempre possamos continuar provando a nós mesmos que tudo é possível quando passamos a acreditar.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as coisas presentes em minha vida.

Aos meus familiares pelo apoio, paciência e compreensão nas horas em que estive ausente.

À toda equipe do setor de análise de riscos da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) pelo carinho e pelos ensinamentos proporcionados durante meu estágio e até os dias de hoje.

Às empresas de consultoria que contribuíram diretamente com as ferramentas para possibilitar a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de curso mesmo àqueles que não tive um contato maior, pelo conhecimento trazido e trocado em sala de aula e pelo respeito nas opiniões divergentes.

Aos doutores Ivo Torres de Almeida e Guglielmo Taralli, pelas críticas construtivas sobre a forma de apresentação e conteúdo presente neste trabalho.

À todos do Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE), docentes e funcionários, por contribuírem em meu crescimento e desenvolvimento pessoal e profissional.

RESUMO

Neste trabalho de monografia foi aplicada a metodologia para realização de estudos de análise de riscos com o objetivo de determinar as áreas de riscos em uma instalação onde há armazenamento e manipulação de substância inflamável, em contraste à metodologia estabelecida atualmente na NR16 do Ministério do Trabalho e Emprego. Estão apresentadas as ferramentas utilizadas para analisar os riscos presentes na instalação, e as demais existentes que podem ser aplicadas de acordo com o objetivo do trabalho e com o tipo de instalação analisada. Durante a análise foram identificadas e estudadas situações acidentais envolvendo a perda de contenção da substância com potencial de causar danos aos trabalhadores da instalação. Os resultados possibilitaram a avaliação das áreas de riscos presentes na instalação de acordo com limites de tolerabilidade de riscos que possam ser aplicáveis à ambientes ocupacionais.

ABSTRACT

In this monograph was applied the methodology to realize quantitative risk analysis determining the installation risk areas where there are storage and manipulation of inflammable chemical substances, in contrast as the methodology actually established in the sixteenth Regulamentation Law of Ministry of Labor. The work frames applied to analyze the installation risks are showed here within others work frames existents that can be applied in according of the work's objective and the kind of installation analyzed. Accidental situations involving the loss containment of substances, with potential to cause damage to the workers of installation, were identified and studied during the analysis. The results became possible the evaluation of the installation risk areas in according of the risk tolerability limits that can be applied to labor environments.

X

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Apresentação	1
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Justificativa.....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Conceitos e Terminologias.....	3
2.2 Histórico de Aplicação da Ciência de Análise de Riscos.....	5
2.3 Etapas da Análise de Riscos.....	7
2.4 Técnicas para Aplicação das Etapas de Análise de Riscos	8
2.4.1 Classificação das Substâncias Perigosas	8
2.4.2 Análise das Instalações, Operações e Região.....	11
2.4.3 Identificação dos Perigos.....	13
2.4.4 Estimativa das Conseqüências.....	15
2.4.5 Estimativa das Freqüências de Ocorrência.....	18
2.4.6 Estimativa e Avaliação dos Riscos.....	20
2.5 Resultados de uma Análise de Riscos	22
3 METODOLOGIA	23
3.1 Classificação das Substâncias Perigosas	23
3.2 Caracterização das Instalações, Operações e Região	23
3.3 Identificação dos Perigos.....	24
3.4 Estimativa das Conseqüências.....	24
3.5 Estimativa das Freqüências de Ocorrência.....	25
3.6 Estimativa e Avaliação dos Riscos.....	25
4 ESTUDO DE CASO	27
4.1 Caracterização das Instalações, Operações e Região	27
4.1.1 Instalações e Operações.....	27

4.1.2 Região.....	30
4.2 Identificação dos Perigos.....	31
4.3 Estimativa das Conseqüências.....	32
4.4 Estimativa das Freqüências de Ocorrência.....	36
4.5 Estimativa e Avaliação dos Riscos.....	40
5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	48
6 CONCLUSÕES.....	51
6.1 Conclusões.....	51
6.2 Sugestões para Futuros Trabalhos.....	52
Anexo A – Layout das Instalações com Determinação das Áreas de Risco	54
Anexo B – Layout e Fluxograma de Operações da Instalação.....	55
Anexo C – Planilhas Elaboradas Durante a Aplicação da Etapa de Identificação dos Perigos Através da Técnica de Análise Preliminar de Perigos (APP)	56
Anexo D – Amplitude dos Efeitos Físicos, por Hipótese Acidental, de Acordo com os Níveis de Fatalidades Estudados Durante o Período Diurno.....	71
Anexo E – Freqüências de Ocorrência dos Eventos Identificados na Análise Preliminar de Perigos	79
Anexo F – Freqüência de Ocorrência das Hipóteses Acidentais para o Período Diurno.....	80
Anexo G – Freqüência de Ocorrência dos Efeitos Físicos para o Período Diurno	82
Anexo H – Layout da Instalação com Identificação dos Pontos de Liberação das Hipóteses Acidentais	87
Apêndice A – Dados de entrada para realização das modelagens matemáticas de conseqüências no software PHAST	88
Apêndice B – Exemplos de relatórios obtidos durante a modelagem matemática das conseqüências realizadas com o software PHAST.....	93
Apêndice C – Levantamento das taxas de falhas e probabilidades de falhas para os equipamentos e modos de falha.....	94
Apêndice D – Metodologia empregada para obtenção da taxa de ocorrência de médios vazamentos em válvulas	99
Apêndice E – Árvores de falhas elaboradas para as hipóteses acidentais H-1 e H-2.....	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas para Elaboração de Estudos de Análise de Riscos no Brasil.....	8
Figura 2 – Árvore de Eventos para Vazamentos de GLP nas Fases Líquida e Gasosa.....	39
Figura 3 – Árvore de Eventos Quantificada para Vazamentos de GLP nas Fases Líquida e Gasosa	40
Figura 4 – Resultado do Cálculo do Risco Individual.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das Substâncias Tóxicas Através do CL ₅₀	10
Tabela 2 – Classificação das Substâncias Tóxicas Através do DL ₅₀	10
Tabela 3 – Classificação das Substâncias Inflamáveis.....	10
Tabela 4 – Categorias de Estabilidade de Pasquill-Gifford	12
Tabela 5 – Valores de Probit em função da Probabilidade de Ocorrência.....	17
Tabela 6 – Dados Meteorológicos para o Estudo de Conseqüências	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AAE – Análise por Árvore de Eventos
AAF – Análise por Árvore de Falhas
ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química
ACMH – Advisory Committee on Major Hazards
AIChE – American Institute of Chemical Engineers
AIChem – Institution of Chemical Engineers
AMFE – Análise de Modos de Falhas e Efeitos
API – American Petroleum Institute
APP – Análise Preliminar de Perigos
ASME – American Society of Mechanical Engineers
CCPA – Advisory Committee on Major Hazards
CEE – Comunidade Econômica Européia
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (SP)
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
EAR – Estudo de Análise de Riscos
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
FAR – Fatal Accidents Rate
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente (MG)
FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (RJ)
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roesller (RS)
FMECA – Failure Model Effects Causes Analysis
GLP – Gás Liqüeffeito de Petróleo
HazOp – Hazards and Operability Studies
HSC – Health and Safety Commision
HSE – Health and Safety Executive
IAC – Instituto Agronômico de Campinas
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LII – Limite Inferior de Inflamabilidade

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego

PAE – Plano de Ação de Emergência

PE – Ponto de Ebulação

PF – Ponto de Fulgor

PGR – Programa de Gerenciamento de Riscos

PSV – Pressure and Safety Valve

RIMA – Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

SRA – Society for Risk Analysis

TAF – Taxa de Acidentes Fatais

TNO – Netherlands Organization for Applied Scientific Research

UVCE – Unconfined Vapour Cloud Explosion

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Os critérios atualmente aplicados no Brasil pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) para tratamento da periculosidade em instalações industriais, onde há manipulação de substâncias químicas inflamáveis, não permitem a determinação de áreas de risco da empresa em função das condições da instalação, dos sistemas de segurança presentes na instalação e da quantidade e comportamento da substância manipulada, impondo apenas distâncias pré-estabelecidas a serem consideradas para o pagamento de salário adicional de periculosidade aos trabalhadores que operem dentro das áreas determinadas.

A incorporação deste tipo de benefício remete à Lei N°2.573, promulgada em 15 de agosto de 1955 no diário Oficial da União e regulamentada pelo Decreto N°40.119 de 15 de outubro de 1956, na qual foi prevista uma remuneração adicional de 30% incorporada ao salário de trabalhadores que desenvolvessem atividades em contato permanente com inflamáveis.

Isto prejudica, muitas vezes, o benefício social que as famílias destes trabalhadores poderiam ter se os mesmos estivessem submetidos a condições de trabalho mais seguras, fazendo também com que não haja um estímulo para a indústria com relação a implantação de sistemas de segurança e redundâncias nos mesmos de forma a promover a redução dos riscos presentes na instalação.

Diante da simplicidade observada no critério aplicado faz-se necessário a busca por ferramentas que possibilitem a realização de estimativas e avaliações mais precisas dos riscos a que os trabalhadores estão expostos, suportando, quando necessário, a imposição de condições mais seguras à instalação.

No Brasil a ciência de análise de riscos ainda é muito pouco difundida como ferramenta de segurança de processos, porém vêm ganhando espaço no âmbito do licenciamento ambiental de instalações através da estimativa dos riscos aos quais os indivíduos presentes na comunidade circunvizinha à mesma são expostos.

Como resultado é possível avaliar os riscos presentes em uma instalação segundo a tolerabilidade dos mesmos pela comunidade circunvizinha.

A determinação de aplicação desta ferramenta para avaliações ambientais já está presente na legislação federal e, em alguns estados, em legislações estaduais.

Neste trabalho a ciência de análise de riscos foi utilizada como ferramenta para determinação das áreas de risco de uma instalação na qual atualmente é realizado o pagamento de salário adicional de periculosidade, de modo a possibilitar uma tratativa diferenciada à atualmente realizada pelo empregador em cumprimento à NR16, frente aos riscos impostos aos trabalhadores.

O intuito da aplicação desta metodologia, em contrate à estabelecida pela NR16 do Ministério do Trabalho e Emprego, é de possibilitar mecanismos para uma avaliação mais precisa dos riscos presentes na instalação, com possibilidade de redução dos mesmos proporcionando ambientes de trabalho mais seguros aos trabalhadores e consequente suspensão do pagamento de salário adicional de periculosidade em função dos resultados obtidos.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é aplicar a análise de riscos para determinação das áreas de riscos de uma instalação, em contraste as áreas de riscos estabelecidas pela NR16 do Ministério do Trabalho e Emprego, de modo possibilitar o provimento de segurança aos trabalhadores por meio da redução dos riscos presentes.

1.3 Justificativa

A aplicação desta metodologia permite avaliar as áreas de risco proporcionando ao empregador bases para tomada de decisão com relação à condições mais seguras para os trabalhadores por meio da redução dos riscos associados à instalação, tais como a aplicação de sistemas de segurança, a diminuição dos inventários ou a modificação do modo operacional.

Esclarece-se que o objetivo deste trabalho não é contestar a existência jurídica da NR16, assegurada pelos artigos de 193 a 197 do Código Legal Trabalhista (CLT), e sim a metodologia desenvolvida para aplicação dos critérios técnicos apresentados pela mesma.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo estão apresentados alguns conceitos aplicados à ciência de análise de riscos, um breve histórico da ciência e de sua aplicação no Brasil, as etapas para elaboração de uma análise de riscos, as principais técnicas para realização de cada etapa e os resultados de uma análise de riscos.

2.1 Conceitos e Terminologias

Segundo Faertes (1994) o comitê de definições da Society of Risk Analysis (SRA) reuniu-se em uma seção com o objetivo de obter um consenso sobre o significado dos termos utilizados na ciência de análise de riscos.

Após dois anos de trabalho os membros do comitê foram incapazes de chegar à um consenso único sobre o significado da palavra “risco”, admitindo a existência de várias definições as quais devem ser aplicadas segundo o objetivo da análise realizada. (FAERTES, 1994)

No estado de São Paulo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), órgão estadual responsável pela fiscalização do meio ambiente, define risco como sendo a “medida de danos à vida humana resultante da combinação entre a freqüência de ocorrência e a magnitude das perdas e danos (conseqüências)”, podendo entender que o risco é uma função direta da freqüência de ocorrência dos acidentes e das conseqüências oriundas do mesmo. (CETESB, 2003)

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) 2003 traz ainda as definições comumente aplicadas as terminologias presentes em uma análise de riscos, porém estas não serão transcritas a partir de referências específicas, sendo apresentadas definições com base no conhecimento adquirido pelo autor. São estas:

- Análise de riscos: Ciência que estuda e avalia os riscos presentes em uma determinada instalação industrial ou de transporte de produtos perigosos, a partir da aplicação de técnicas de identificação dos perigos, estimativa das conseqüências, estimativa das freqüências de ocorrência dos acidentes e estimativa e avaliação dos riscos;
- Estudo de Análise de Riscos (EAR): Estudo da instalação realizado com base na ciência de análise de riscos;

- Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR): Relatório que contempla as ferramentas necessárias para o gerenciamento dos riscos de uma instalação;
- Plano de ação de emergências (PAE): Relatório que contempla o conjunto de elementos que define as responsabilidades, procedimentos e ações voltadas ao rápido controle de uma situação emergencial não desejada;
- Vazamento contínuo: Perda da contenção de uma substância ao longo de um tempo;
- Vazamento instantâneo: Perda da contenção de uma substância em um período de tempo muito curto, o qual possa ser considerado instantâneo;
- Jato de fogo ou *Jet Fire*: Efeito físico decorrente da ignição de uma substância inflamável que esteja escoando em alta velocidade através de um orifício, gerando radiação térmica;
- Incêndio em nuvem ou *Flashfire*: Efeito físico de incêndio em uma nuvem de substância inflamável que esteja presente na atmosfera, dentro dos limites de inflamabilidade, gerando radiação térmica;
- Explosão de vapor não confinada ou *Unconfined Vapor Cloud Explosion (UVCE)*: Efeito físico de explosão de uma nuvem de substância inflamável na atmosfera, a partir da ocorrência de incêndio na mesma, gerando ondas de pressão;
- Bola de fogo ou *Fireball*: Incêndio da superfície de uma nuvem densa e esférica de substância inflamável na atmosfera, oriunda de vazamentos instantâneos, gerando radiação térmica;
- Radiação térmica: Quantidade de calor ou energia medida por metro quadrado;
- Ondas de pressão: Pulso de pressão que gera picos de sobrepressão devido ao rápido deslocamento do ar atmosférico;
- Explosão: Rápida liberação de energia que causa ondas de sobrepressão;
- Risco individual: Risco à um indivíduo que possa estar presente em um determinado ponto nas proximidades da instalação, considerando-se o tipo de dano estudado e o período de tempo;

- Risco social: Risco à um grupamento de indivíduos presentes nas proximidades da instalação, considerando-se o tipo de dano estudado e o período de tempo;
- Limites de inflamabilidade: Concentração combustível/comburente propicia a ocorrer combustão na presença de uma fonte de ignição. Está presente entre os limites de inflamabilidade inferior e superior;
- Probabilidade: Chance de ocorrer o evento estudado, quando demandado;
- Freqüência de ocorrência ou taxa de falha: Chance de ocorrer o evento estudado em um determinado período de tempo especificado;
- CL_{50} : Concentração letal para 50% da população, apresentada em ppm;
- DL_{50} : Dose letal para 50% da população, apresentada em mg/kg;

Estas terminologias foram comumente aplicadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

2.2 Histórico de Aplicação da Ciência de Análise de Riscos

A criação da ciência de análise de riscos nos remete à adoção de mecanismos de controle e prevenção de perdas a partir da década de 60, em decorrência ao cenário industrial de crescimento acelerado que caracterizou este período. (LEES, 1996)

Indústrias químicas e petroquímicas ampliavam suas instalações com grande velocidade, aumentando o número de equipamentos presentes e de energia, matérias-primas e produtos intermediários e finais estocados, além da adoção de mecanismos de operação cada vez mais complexos. (LEES, 1996)

Técnicas de identificação de perigos, análise de confiabilidade de sistemas e índices de riscos, que atualmente compõe as etapas de análise de riscos, já eram adotados como ferramentas para o controle e prevenção de perdas no processo.

À parte dos acidentes industriais envolvendo vítimas, a prevenção e controle de perdas teve início em organizações não governamentais com o intuito de gerenciamento dos riscos de grandes acidentes industriais, mostrando que estes podem não somente resultar em perdas humanas e econômicas, mas também em sérios danos à companhia, podendo até ameaçar sua existência. (LEES, 1996)

No ano de 1960 o American Institute of Chemical Engineers (AIChE) deu

início ao primeiro simpósio, de uma série de simpósios, sobre perigos de processos químicos, com foco especial em projeto de plantas industriais. (LEES, 1996)

○ Já em 1964 a companhia Dow Chemical publicou o manual de segurança de processos, sendo que em 1967 o American Institute of Chemicals Engineers (AIChE) deu início à uma série de simpósios anuais sobre prevenção de perdas. (LEES, 1996)

A partir destes uma série de simpósios e grupos de trabalho foram criados com foco na prevenção de perdas e promoção de segurança nas indústrias de processo.

Porém foi somente em 1975 na Inglaterra, após o acidente de Flixborough em 1974, que foi criado o primeiro grupo de trabalho governamental com foco na identificação e controle de grandes perigos em instalações industriais, denominado Advisory Committee on Major Hazards (ACMH). (LEES, 1996)

Este foi um marco da constatação de que os órgãos competentes estavam começando a se mobilizar frente aos grandes acidentes.

Este grupo trabalhou desde 1975 à 1983 aconselhando o Health and Safety Comission, na Inglaterra, sobre iniciativas legislativas na área de prevenção e controle de grandes acidentes industriais. (LEES, 1996)

○ Contudo, a regulamentação da obrigatoriedade da realização de análise de riscos em instalações industriais somente teve início a partir de 1982, nos países formadores da Comunidade Econômica Européia (CEE), com a criação da Diretiva de Seveso. (FAERTES, 1994)

Esta diretiva preconizou, dentre suas várias diretrizes, a realização de análises de riscos em instalações industriais onde haja manipulação, armazenamento ou geração de determinadas substâncias perigosas, acima de quantidades especificadas, devendo essas análises, chamadas de relatórios de segurança, ser apresentadas periodicamente ao órgão governamental fiscalizador.

Com base nesta diretiva, os órgãos governamentais regulamentadores e fiscalizadores dos países europeus criaram legislações federais determinando as etapas a serem consideradas para a elaboração de uma análise de riscos. (FAERTES, 1994)

No Brasil, com o acidente ocorrido na Vila Socó, em Cubatão, no ano de 1984, os técnicos da área de atendimento emergencial da CETESB iniciaram, em 1985, um

estudo sobre os métodos de aplicação das técnicas preventivas da ciência de análise e gerenciamento de riscos.

Em 1986 foi criado pela CETESB o setor de análise de riscos, sendo em 2003 homologada a Norma CETESB P4.261 – Manual de Orientação para Elaboração de Estudos de Análise de Riscos.

Em 1985 a Canadian Chemical Producers Association (CCPA) criou o Responsible Care Program, adotado oficialmente pela Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM), em 1992, com o nome de Programa de Atuação Responsável, onde as empresas químicas interessadas podiam aderir ao mesmo de forma voluntária.

Dentre os códigos voltados à implantação dos princípios diretivos deste programa está o código de prática gerencial de segurança de processos, voltado à prevenção de acidentes nas instalações industriais através da determinação das fontes de riscos. Em 1998 a adesão a este programa passou a ser obrigatória às indústrias associadas à ABIQUIM.

Atualmente no Brasil, com exceção às indústrias que aderiram ao Programa de Atuação Responsável da ABIQUIM e àquelas poucas que realizam gerenciamento de riscos por iniciativa própria, buscando propiciar melhores condições aos trabalhadores e ao meio ambiente, o gerenciamento de riscos é empregado somente como ferramenta de licenciamento ambiental com foco aos riscos impostos à comunidade.

O Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) não preconiza em nenhuma das Normas Regulamentadoras a realização de análises de riscos com foco no controle e prevenção de grandes acidentes em ambientes laborais.

2.3 Etapas da Análise de Riscos

No Brasil, com exceção ao estado do Rio de Janeiro*, a realização de uma análise de riscos durante o processo de licenciamento ambiental deve contemplar todas as etapas desta ciência, diferentemente de alguns países onde atualmente a análise de riscos é restrita à estimativas qualitativas, à estimativas somente do caso de pior acidente (*worst case*) ou do uso de parte das etapas que compõe a ciência. Assim, no Brasil, um estudo de análise de riscos é composto pelas seguintes etapas:

* O critério aplicado no Rio de Janeiro prevê que a escolha das etapas a serem contempladas em uma análise de riscos é função da classificação da instalação quanto aos perigos presentes.

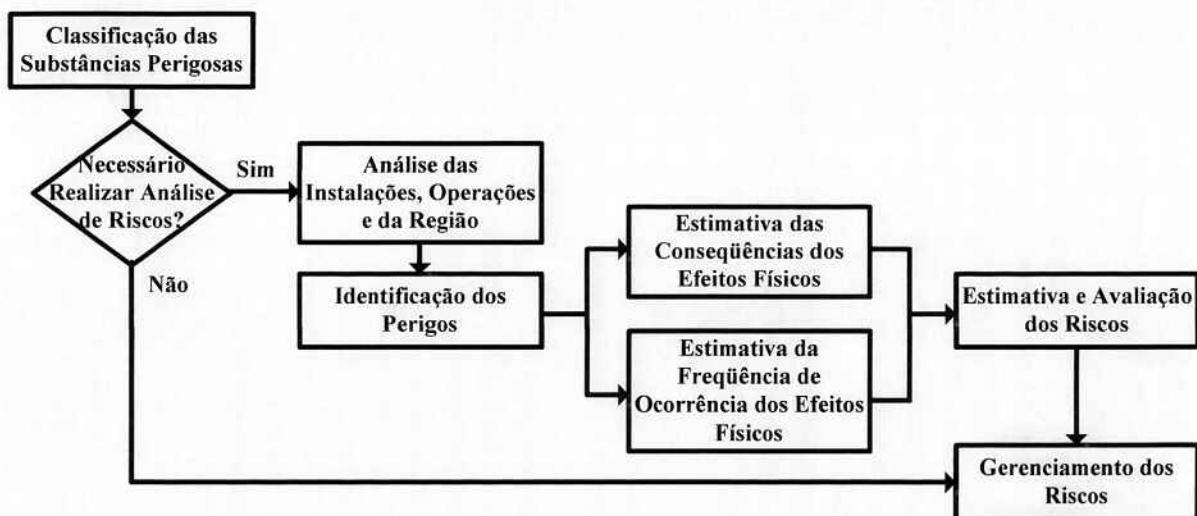


Fig.1 – Etapas para Elaboração de Estudos de Análise de Riscos no Brasil

2.4 Técnicas para Aplicação das Etapas da Análise de Riscos

A seguir estão relacionadas as principais técnicas para realização de cada etapa de um estudo de análise de riscos, sendo que em alguns casos, como na etapa de classificação de substâncias perigosas, os critérios são intrínsecos ao órgão ambiental estadual ou federal.

É importante esclarecer que a análise de riscos pode ser aplicada em diversos outros setores, como o nuclear, o de extração mineral, o militar, o elétrico, entre outros, focando riscos provenientes de materiais radioativos e liberações energéticas a partir de explosivos e eletricidade, embora atualmente apenas o nuclear e o elétrico atendam a legislações específicas onde é preconizado este tipo de análise.

Porém as metodologias de classificação aplicadas à estes setores não serão discutidas, uma vez que o objetivo deste trabalho é avaliar a aplicabilidade da ciência de análise de riscos em instalações contendo substâncias inflamáveis.

2.4.1 Classificação das Substâncias Perigosas

Como a análise de riscos é atualmente aplicada no Brasil para licenciamento ambiental, essencialmente para substâncias inflamáveis e tóxicas nos estados líquido ou gasoso, nesta etapa inicial são classificadas as substâncias presentes na instalação para identificação do potencial de inflamabilidade e toxicidade.

Cabe ressaltar, conforme já mencionado anteriormente, que nesta etapa são aplicados critérios distintos entre os órgãos ambientais estaduais do Brasil. De um

modo simplificado podemos dizer que todos possuem o mesmo objetivo, porém são utilizadas metodologias diferentes.

No estado de São Paulo a CETESB classifica a substância e avalia as distâncias presentes entre o inventário e a comunidade com relação à distância de segurança necessária em função do inventário presente na instalação, o qual possa ser liberado em um acidente. A constatação da necessidade de elaboração de estudo de análise de riscos é dada de acordo com os resultados desta análise.

Já a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente e a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roesller, órgãos ambientais fiscalizadores dos estados do Rio de Janeiro e do Rio Grande do Sul, respectivamente, calculam um índice de risco em função de uma distância de segurança presente entre o inventário e a comunidade, de uma distância de referência estabelecida para cada tipo de substância, do inventário presente na instalação que possa ser liberado em um acidente e do inventário de referência para cada tipo de substância.

A partir do índice de risco obtido é constatada a necessidade de elaboração de estudo de análise de riscos.

Em outros países são adotados critérios distintos, porém sempre com o mesmo objetivo e partindo dos mesmos princípios, a utilização do inventário presente na instalação que possa ser liberado em um eventual acidente e a distância existente entre a população vizinha ou a adoção de massas de referência limites, acima das quais há necessidade de elaboração de estudos de análise de riscos.

Pode-se afirmar que no Brasil a existência de diferentes critérios, segundo cada órgão ambiental fiscalizador de cada estado, é resultado da inexistência de um critério único que possa ser aplicado à toda federação.

Neste trabalho serão apresentados, apenas para compreensão, os critérios adotados pela CETESB para classificação das substâncias com potencial de causar danos ao ser humano e ao meio ambiente, também denominadas como substâncias perigosas. (CETESB, 2003)

Para gases e líquidos tóxicos

São definidos quatro níveis de toxicidade, conforme apresentado nas tabelas a seguir, de acordo com o CL₅₀ e o DL₅₀, para substâncias com pressão de vapor igual

ou superior a 10 mmHg nas condições normais de temperatura e pressão.

Caso a pressão de vapor da substância seja inferior a 10 mmHg a mesma é dispensada de classificação. Caso sejam obtidos níveis de toxicidade distintos para uma mesma substância, em função do CL₅₀ e o DL₅₀ utilizados, deve-se prevalecer o mais restritivo, ou seja, o superior. (CETESB, 2003)

Tabela 1 – Classificação das Sustâncias Tóxicas através do CL₅₀

Nível de Toxicidade	CL ₅₀ (ppm.h)
4 – Muito tóxica	CL ₅₀ ≤ 500
3 – Tóxica	500 < CL ₅₀ ≤ 5000
2 – Pouco tóxica	5000 < CL ₅₀ ≤ 50000
1 – Praticamente não tóxica	50000 < CL ₅₀ ≤ 150000

Fonte: CETESB, 2003

Tabela 2 – Classificação das Sustâncias Tóxicas através do DL₅₀

Nível de Toxicidade	DL ₅₀ (mg/kg)
4 – Muito tóxica	DL ₅₀ ≤ 50
3 – Tóxica	50 < DL ₅₀ ≤ 500
2 – Pouco tóxica	500 < DL ₅₀ ≤ 5000
1 – Praticamente não tóxica	5000 < DL ₅₀ ≤ 15000

Fonte: CETESB, 2003

Para gases e líquidos inflamáveis

Da mesma forma que para as substâncias tóxicas, para os inflamáveis foram estabelecidos quatro níveis de inflamabilidade em função do ponto de fulgor (PF) e do ponto de ebulação (PE), conforme apresentado a seguir.

Tabela 3 – Classificação das Sustâncias Inflamáveis

Nível de Inflamabilidade	PF (°C) e PE (°C)
4 – Gás ou líquido altamente inflamável	PF ≤ 37,8 e PE ≤ 37,8
3 – Líquido facilmente inflamável	PF ≤ 37,8 e PE > 37,8
2 – Líquido inflamável	37,8 < PF ≤ 60
1 – Líquido pouco inflamável	PF > 60

Fonte: CETESB, 2003

Tanto para as substâncias tóxicas quanto para as inflamáveis, as classificadas como sendo de nível 3 ou 4 são classificadas como perigosas e devem ser estudadas com relação as distâncias presentes entre o inventário e a comunidade, em função da distância de segurança necessária para o inventário presente o qual possa

ser liberado em um acidente, determinando a necessidade de elaboração de estudo de análise de riscos.

Já as classificadas como sendo de nível 1 ou 2 estão dispensadas de qualquer tipo de análise sendo necessário a elaboração de um programa de gerenciamento de riscos apenas.

2.4.2 Análise das Instalações, Operações e Região

Para realização de estudo de análise de riscos é necessário o conhecimento da região e das instalações e operações nas áreas onde há armazenamento, manipulação ou geração das substâncias químicas classificadas como perigosas.

Nesta etapa são identificados os equipamentos e sistemas de segurança presentes na instalação, assim como o modo de funcionamento e parâmetros operacionais dos mesmos, de modo a embasar as próximas etapas do trabalho.

Normalmente estas análises são realizadas primeiramente no local, juntamente com operadores ou colaboradores da instalação que conheçam os equipamentos e o modo operacional da instalação, e posteriormente em cima de fluxogramas de operações, layout's das áreas da instalação, diagramas de processo e instrumentação ou isométricos da instalação, entre outros documentos que forneçam informações sobre os equipamentos e sistemas presentes na instalação.

Um ponto que deve ser observado é o período de operação da instalação e as condições em que os equipamentos permanecem após o término da jornada operacional, pois o cálculo dos riscos tem como base um período de tempo determinado, sendo este, normalmente anual.

A análise da região é voltada às etapas de estimativa das consequências, onde são levantados os dados meteorológicos locais para realização das modelagens matemáticas, e de cálculo dos riscos, onde é analisada a vulnerabilidade da população local em função dos resultados obtidos na etapa de estimativa das consequências.

Os dados meteorológicos locais devem ser minimamente dos últimos três anos, e devem contemplar informações sobre umidade relativa, temperatura do ar, velocidade dos ventos e direção predominante dos ventos, de preferência por período do dia.

Em função da velocidade dos ventos e da insolação do período diurno e nebulosidade do período noturno são selecionadas as categorias de estabilidade atmosférica, de acordo com as classes de Pasquill-Gifford. (CETESB, 2003)

De modo sucinto podemos colocar que as classes de Pasquill-Gifford representam a variação das massas de ar atmosférico na vertical, isto é, do solo para a troposfera, e que a estabilidade de uma nuvem de substância formada a partir de um vazamento é função desta variável natural, sendo que quanto mais estável a classe maior será a amplitude alcançada durante a dispersão da substância.

A seguir estão apresentadas as categorias de estabilidade atmosférica em função da velocidade dos ventos e das condições do período.

Tabela 4 – Categorias de Estabilidade de Pasquill – Gifford

Velocidade dos Ventos (V) Medida a 10 m em Relação ao Solo	Período Diurno			Período Noturno	
	Insolação			Nebulosidade	
	Forte	Moderada	Fraça	Parcialmente Encoberto	Encoberto
V ≤ 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

(A) extremamente instável; (B) moderadamente instável; (C) levemente instável; (D) neutra; (E) levemente estável; (F) moderadamente estável

Fonte: CETESB, 2003

Caso não haja disponibilidade de dados locais, e que representem a realidade da região onde está presente a instalação, são propostos nos manuais para elaboração de estudos de análise de riscos condições meteorológicas que podem ser empregadas para realização do estudo divididas em períodos diurno e noturno.

Já a vulnerabilidade da população local recomenda-se que seja levantada no local da maneira mais precisa possível, identificando o tipo de população presente (residências, instalações industriais, comércio, propriedades rurais, rodovias, avenidas, entre outros) e quantidade de indivíduos aproximada, em cada tipo de ocupação, por período.

Este tipo de análise fornece embasamento para identificação da possibilidade de presença de fontes de ignição nas proximidades da instalação em caso de substâncias inflamáveis.

Caso não seja possível realizar levantamentos no local ou então não sejam obtidas informações com relação ao tipo de ocupação, informações sobre a quantidade de indivíduos e a permanência dos mesmos em cada tipo de ocupação são apresentadas em referências como a Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) 1992, podendo estas ser utilizadas em conjunto com aerofotogrametrias da região para determinar densidades populacionais ou mesmo a distribuição da população no local.

2.4.3 Identificação dos Perigos

As técnicas de identificação dos riscos são ferramentas voltadas à identificação dos possíveis eventos indesejáveis que podem levar a ocorrência de um risco, provenientes de condições de perigo da instalação, podendo acarretar consequências significativas aos colaboradores, ao meio ambiente, à instalação e à população presente no entorno da instalação (vizinhança).

Estas técnicas são amplamente utilizadas tanto para a realização de estudos de análise de riscos, em conjunto com as demais etapas, como isoladamente em processos de revisão dos riscos de projeto, revisão dos riscos de operação, revisões dos sistemas de segurança, identificação de possíveis desvios operacionais, entre outros.

Existem diversas técnicas voltadas a identificação de perigos sendo aplicadas atualmente em diversos setores conforme a necessidade. Dentre as mesmas podemos citar a análise de perigos e operabilidade (*hazard and operability analysis* – HazOp), a análise preliminar de perigos (APP), os planos de inspeção, as auditorias em sistemas de segurança, os monitoramentos de parâmetros de sistemas, os testes não destrutivos, as listas de verificação (*checklists*), a técnica dedutiva “E se” (“*what if*”), a análise de modos de falhas e efeitos (AMFE) ou *Failure Model Effects Causes Analysis* (FMECA), dentre outras. (LEES, 1996)

Dentre estas técnicas as mais empregadas atualmente no Brasil para a etapa de identificação dos perigos em estudos de análise de riscos são:

- Análise de Perigos e Operabilidade (HazOp);
- Análise Preliminar de Perigos (APP).

A aplicação destas duas técnicas depende, fundamentalmente, do tipo de instalação a ser analisada e do escopo dirigido ao trabalho realizado.

Em linhas gerais a técnica de Análise de Perigos e Operabilidade (HazOp) provém da indústria de processos químicos, sendo voltada a instalações de processo e análises mais detalhadas do sistema, onde a análise dos eventos indesejáveis esteja relacionada à desvios operacionais.

Esta técnica permite avaliar não somente perigos decorrentes de perdas de contenção mas também de alterações e perdas de controle de um processo. (CETESB, 2001)

Já a técnica de Análise Preliminar de Perigos (APP) tem herança na área militar, seguindo as diretrizes da norma MIL – STD – 882B do Programa Militar Padrão de Segurança dos Estados Unidos da América. (CETESB, 2001)

Esta técnica é aplicada à análises de instalações mais simples, onde não haja processos com um grande número de variáveis, podendo também ser aplicada em revisões de projetos onde não estejam definidos os parâmetros operacionais, análises de grandes áreas onde seja necessário identificar os locais de risco para posteriormente realizar uma análise mais detalhada, como o HazOp, se necessário, entre outras.

Através da aplicação destas técnicas são identificadas as situações capazes de dar origem a acidentes nas instalações analisadas, sob a forma de condições de perigos ou hipóteses accidentais, suas possíveis causas, e os possíveis efeitos físicos (consequências) que possam ser gerados pelo perigo intrínseco a atividade e/ou substância química presente na instalação.

Dependendo do analista e da equipe de elaboração do trabalho podem ser inseridas informações relativas aos sistemas de detecção e proteção presentes, voltados à normalização da situação emergencial prevista ou mesmo à redução da possibilidade de ocorrência ou da amplitude dos efeitos físicos que possam ser gerados.

Juntamente a estas poderão ser realizadas avaliações qualitativas ou quantitativas, em caso de estudos de análise de riscos que contemplem as etapas de

estimativa das consequências e das freqüências de ocorrência, da magnitude dos efeitos físicos e das freqüências esperadas para ocorrência das hipóteses acidentais ou dos efeitos físicos.

Poderão ser adicionados ainda, durante a avaliação, observações sobre o sistema em análise e medidas mitigadoras que possam ser aplicadas na instalação para redução das situações capazes de originar acidentes nas instalações.

2.4.4 Estimativa das Conseqüências

A etapa de estimativa das consequências é baseada em equações matemáticas para determinação da amplitude dos danos provenientes dos efeitos físicos que possam ser gerados de acordo com as características intrínsecas à substância estudada e aos parâmetros operacionais da mesma na instalação.

Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) 2005; Lees (1996), entre outras referências, apresentam uma compilação destas equações matemáticas que podem ser empregadas para a estimativa dos diferentes efeitos físicos, além de valores referentes aos tipos de danos que podem ser propiciados pelos mesmos.

Porém atualmente não é usual a realização da etapa de estimativa das consequências manualmente, por dois motivos distintos apresentados a seguir, sendo normalmente empregados softwares específicos para realização das modelagens de consequências.

- A etapa de estimativa das consequências envolve o estudo de diversos efeitos físicos em diferentes condições operacionais, podendo acarretar em longos períodos de tempo para realizá-la manualmente e grandes possibilidades de erro devido a complexidade de algumas equações e condições do sistema estudado;
- Alguns softwares aplicados à modelagem das consequências possuem seus modelos teóricos corrigidos por curvas de aderência, obtidas através de ocorrências reais dos acidentes ou levantadas em campo de testes.

Para que seja possível a realização destas modelagens, seja manualmente ou através de softwares específicos, é necessário que sejam definidos uma série de parâmetros, dentre estes o tempo de vazamento a ser considerado, a substância de

interesse e a quantidade envolvida, a pressão e a temperatura de trabalho no sistema estudado, o tipo de vazamento (tubulações, válvulas de alívio, recipientes, entre outros), a fase vazada da substância, o comprimento da tubulação e as singularidades presentes até o ponto de vazamento, o diâmetro do orifício através do qual há vazamento (vazamentos contínuos), entre outros parâmetros relativos às condições de estocagem e operacionais da substância no sistema. (UFRJ, 2003)

Além destes parâmetros é necessária a utilização dos dados meteorológicos já indicados na etapa de Análise das Instalações, Operações e Região.

Com a realização destas modelagens são obtidas a amplitude das consequências para cada um dos efeitos físicos provenientes das condições estudadas em cada condição de perigo ou hipótese accidental.

Assim, condições de perigos ou hipóteses accidentais envolvendo uma mesma substância poderão ter diferentes consequências em função dos parâmetros inerentes à operação.

Além das condições e parâmetros operacionais estudados é necessário que sejam definidos os níveis de fatalidade de interesse para o estudo dos danos que possam ser gerados.

De acordo com a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) 2003 os valores estudados para os efeitos físicos de jato de fogo, incêndio em poça, bola de fogo, explosões e dispersões tóxicas devem corresponder, minimamente, aos níveis de fatalidade de 1% e 50%, e para o efeito físico de incêndio em nuvem estuda-se o nível de fatalidade de 100%, correspondente à amplitude da nuvem de substância alcançada na atmosfera até o seu limite inferior de inflamabilidade (LII).

Ainda segundo a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) 2003 para os efeitos físicos de incêndios em poça e jatos de fogo são estudadas as radiações térmicas de $12,5 \text{ kW/m}^2$ e $37,5 \text{ kW/m}^2$, em um tempo de exposição de 30 segundos e 20 segundos, respectivamente, correspondendo aos níveis de fatalidade de 1% e 50%.

Porém uma alternativa à isto é a aplicação de equações de *Probit*, onde a probabilidade de fatalidade é função do tempo de exposição e da radiação térmica a

que o indivíduo está exposto, conforme a eq.(1) apresentada por Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) 1992.

$$\text{Probit} = -36,38 + 2,56 \times \ln(T \times Q^{4/3}) \quad (1)$$

Onde: Probit é o número relacionado à probabilidade de ocorrência do dano estudado, de acordo com a tabela de correspondência apresentada a seguir
 T é o tempo de duração do efeito físico, em segundos
 Q é o nível de radiação térmica em W/m^2

Tabela 5 – Valores de Probit em função da Probabilidade de Ocorrência

% de Fatalidade	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	4,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33

Fonte: TNO, 1992

Para o efeito físico de bola de fogo os valores de radiação térmica apresentados não são válidos pois a duração deste efeito é muito curta, muitas vezes não atingindo 10 segundos, sendo necessário a utilização de equações de *Probit*, como a apresentada para os efeitos de incêndio em jato e incêndio em poça.

Para os efeitos físicos relacionados à explosões os níveis de sobrepressão de interesse são definidos como 0,1 bar e 0,3 bar, para 1% e 50% de fatalidade, respectivamente.

Neste caso não é levado em consideração o tempo por ser tratar de um efeito quase que instantâneo, o qual tem duração de milésimos de segundos. (CETESB, 2003)

Para este tipo de efeito físico também há equações de *Probit* que podem ser aplicadas, porém estas estão relacionadas somente à ocorrência de danos ao pulmão e ruptura dos tímpanos.

As eq.(2) e (3), apresentadas por Metropolo (2003), são exemplos de equações de *Probit* para determinação de níveis de sobrepressão em explosões.

$$\text{Para danos ao ouvido} \quad \text{Probit} = -12,6 + 1,524 \ln(Po) \quad (2)$$

$$\text{Para danos ao pulmão} \quad \text{Probit} = -5,0 - 5,74 \ln((4,2/Pp) + (1,3/Ip)) \quad (3)$$

Onde: Probit é o número relacionado à probabilidade de ocorrência do dano estudado, de acordo com a tabela 5 já apresentada

Po é a pressão necessária para ocasionar ruptura do tímpano

Pp é a pressão necessária para ocasionar danos ao pulmão

Ip é o impulso necessário para ocasionar danos ao pulmão

Para as substâncias tóxicas as concentrações de interesse para os níveis de fatalidade estudados devem ser definidas em cada caso, de acordo com a substância e o tempo de exposição estudado, concretizando uma dose tóxica.

Recomenda-se, neste caso, a utilização de equações de *Probit*, como a eq.(4) apresentada por Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) 1992.

$$\text{Probit} = A + B \times \ln(C^N \times T) \quad (4)$$

Onde: Probit é o número relacionado à probabilidade de ocorrência do dano estudado, de acordo com a tabela 5 já apresentada

T é o tempo de exposição do indivíduo, em minutos

C é a concentração de interesse em ppm

A, B e N são valores constantes intrínsecos a cada substância tóxica

2.4.5 Estimativa das Freqüências de Ocorrência

A etapa de estimativa das freqüências de ocorrência é voltada à análise das relações funcionais dos equipamentos e sistemas presentes na instalação, sendo esta realizada normalmente a partir da aplicação das técnicas de Análise por Árvore de Falhas (AAF) e Análise por Árvore de Eventos (AAE), tendo como base as informações levantadas nas etapas de identificação dos perigos e análise das instalações, operações e região.

A Análise por Árvore de Falhas (AAF) é uma técnica dedutiva voltada a análise do encadeamento de uma hipótese accidental, ou condição perigosa, a partir da relação casual entre as causas básicas de ocorrência do evento e os modos de falha humana e dos sistemas de segurança presentes na instalação com o emprego de portões lógicos (E e/ou OU). (FAERTES, 1994)

Esta técnica permite estimar a freqüência de ocorrência de um evento a partir da ocorrência de eventos básicos, sendo utilizadas taxas de falhas e/ou probabilidades de falhas para quantificação das causas estudadas.

As taxas de falhas e probabilidades de falhas aplicadas aos equipamentos, sistemas de segurança e modos de falha humana são obtidas através de análises históricas de acidentes e julgamentos de especialistas.

Durante esta etapa do trabalho faz-se necessária a busca de dados que representem a situação real da instalação, julgando com pertinência os dados apresentados por bibliografias, pois em alguns casos é preferível não desenvolver o estudo de um equipamento ou sistema à desenvolver o mesmo tendo como base equipamentos ou sistemas que não condizem com a realidade da instalação analisada.

A Análise por Árvore de Eventos (AAE) é uma técnica indutiva, onde são analisados os sucessos e falhas de uma ou mais condições incidentes sobre um evento iniciador.

O evento iniciador analisado pode ser uma hipótese accidental, um efeito físico ou mesmo uma causa básica levantada na identificação dos perigos, de modo que o objetivo da aplicação desta técnica dependerá da fase em que a mesma será utilizada durante a estimativa das freqüências de ocorrência.

Já os sucessos ou falhas analisados estão relacionados à sistemas de segurança, condições temporais, direções dos ventos, presença de fontes de ignição, entre outros, determinados de acordo com o objetivo da aplicação da técnica.

Como resultado da análise por árvore de eventos têm-se os eventos provenientes do desencadeamento do evento iniciador estudado, podendo ser quantificados com base nas probabilidades de ocorrência levantadas.

Como resultado da aplicação de ambas as técnicas são obtidos valores que representam o número de ocorrências das hipóteses accidentais e de seus efeitos físicos em um determinado período de tempo estudado.

A aplicação destas técnicas em conjunto facilita a realização de estimativas mais precisas e detalhadas dos sistemas.

2.4.6 Estimativa e Avaliação dos Riscos

Nesta etapa são calculados os riscos provenientes das hipóteses de acidentes identificadas para a instalação, sendo os mesmos posteriormente avaliados de acordo com critérios propostos pelo órgão fiscalizador ou pela própria equipe de análise, devendo neste caso serem definidos antes da elaboração do estudo de análise de riscos.

Em função dos resultados obtidos são propostas medidas para redução e controle dos riscos, devendo sempre ser observado o custo-benefício gerado pelas medidas propostas.

Em uma instalação podem ser calculados diversos tipos de riscos, de acordo com o objetivo da análise, estando os mesmos sempre relacionados a amplitude das consequências estimadas e a freqüência de ocorrência das mesmas.

Dentre os diferentes tipos de riscos que podem ser estimados o risco individual e o risco social são amplamente empregados em análises voltados à comunidade, sendo este o foco atual da análise de riscos no processo de licenciamento ambiental nos estados brasileiros.

O risco individual pode ser entendido como sendo “a freqüência esperada que um indivíduo venha a sofrer um determinado nível de dano, decorrente da realização de atividades perigosas específicas”. (JONES, 1994)

O risco individual de uma instalação pode ser obtido através da eq.(5), adaptada de Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) 1994:

$$\text{Risco Individual em um Ponto X,Y} = \sum F_{EF} \times P_{DV} \times P_F \quad (5)$$

Onde: F_{EF} – Freqüência dos Efeitos Físicos

P_{DV} – Probabilidade da Direção do Vento

P_F – Probabilidade de Fatalidade do Nível Estudado

Como resultado obtém-se as freqüências de ocorrência dos danos na área estudada. Interligando-se os pontos de mesmo valor têm-se a delimitação das áreas da instalação de acordo com a criticidade dos riscos estudados.

A criticidade dos riscos é apresentada sob a forma de curvas de Iso-Risco as quais representam o número de ocorrência esperado para os danos estudados em um período de tempo determinado.

Se o resultado obtido em cada ponto da instalação for dividido pelo número de horas trabalhadas por ano e multiplicado posteriormente por 10^8 , conforme apresentado na eq.(6), obtém-se os riscos individuais para trabalhadores da indústria, conhecido como *Fatal Accident Rate (FAR)* ou Taxa de Acidentes Fatais (TAF). (FAERTES, 1994)

$$\text{FAR} = \text{Risco individual em um ponto} \times 10^8 / \text{horas trabalhadas em um ano} \quad (6)$$

Já o risco social é apresentado como uma “a relação entre a freqüência e o número de pessoas que sofrem um nível específico de dano, em uma determinada população, decorrente da realização de atividades perigosas específicas”. (JONES, 1994)

O risco social de uma instalação é obtido através da curva de distribuição cumulativa complementar, denominada também como sendo curva F-N, formada pela interligação dos pontos determinados pelas eq.(7) e (8), adaptadas de Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) 2003:

$$\text{Freqüência de ocorrência} = F_N = \sum F_I \quad (7)$$

$$\text{Número de fatalidades} (N_I) = \sum P_{X,Y} \times PF_I \quad (8)$$

Onde: F_N é a freqüência de ocorrência acumulada para os cenários acidentais em função do número de fatalidades obtidas N_I

F_I é a freqüência de ocorrência do cenário acidental I

$P_{X,Y}$ é o número de pessoas afetadas no ponto x,y

PF_I é a probabilidade do cenário acidental I resultar no nível de fatalidade estudado, no ponto x,y, de acordo com as consequências obtidas

Como resultado têm-se a quantidade de pessoas afetadas, pelo dano estudado, em função da freqüência de ocorrência dos mesmos.

Anteriormente o risco social da instalação era expresso em termos de risco social médio, conforme a eq.(9), porém este índice se tornou obsoleto com o tempo, sendo substituído pelo risco social. (FAERTES, 1994)

$$\text{Risco Social Médio} = \sum F_I \times P_{X,Y} \quad (9)$$

Os resultados obtidos em cada forma de representação dos riscos de uma instalação são avaliados segundo critérios propostos por órgãos fiscalizadores ou adotados pela equipe de elaboração dos trabalhos, durante a realização da análise.

Os critérios de avaliação dos riscos apresentados pelos órgãos estaduais fiscalizadores do meio ambiente no Brasil são voltados somente à tolerabilidade dos riscos impostos à comunidade, não havendo quaisquer critérios voltados à análises de ambientes ocupacionais.

O Ministério do Trabalho e Emprego, órgão brasileiro atuante na normatização e fiscalização ocupacional, não aborda em suas normas regulamentadoras a aplicação de análises de riscos para realização de avaliações ocupacionais em ambientes contendo substâncias inflamáveis, não existindo assim nenhum critério de avaliação definido para este tipo de análise.

A NR16 preconiza a elaboração de análises de risco, porém com foco na exposição do trabalhador aos riscos associados à instalações elétricas, mas de qualquer forma não existem critérios de avaliação definidos para este tipo de análise.

2.5 Resultados de uma Análise de Riscos

Estimados os riscos os mesmos são avaliados de acordo com os critérios estabelecidos. Caso os riscos avaliados estejam presentes em regiões de intolerabilidade medidas para redução destes riscos devem ser propostas para a instalação, sejam estas a implantação de equipamentos e sistemas de segurança ou a redução ou rateio do inventário, podendo chegar até, em alguns casos específicos, em substituição da substância presente ou relocação de unidades.

Propostas as medidas uma nova estimativa e avaliação dos riscos deve ser realizada com base na revisão das etapas anteriores, buscando evidenciar a efetividade da implantação das medidas mitigadoras.

É importante esclarecer que somente a proposição de medidas não evidencia que os riscos da instalação serão reduzidos.

Quando constatado que o risco pode ser aceito perante o foco da análise um programa de gerenciamento de riscos deve ser desenvolvido e implementado na instalação, de forma que estejam preconizadas ações e medidas preventivas e mitigadoras à ocorrência dos acidentes identificados.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado a partir da aplicação das etapas de um estudo de análise de riscos em uma instalação onde há armazenamento e manipulação de substância inflamável com o objetivo de determinar áreas de riscos em um ambiente ocupacional.

A metodologia aplicada neste trabalho é composta por todas as etapas de um estudo de análise de riscos realizado em instalações industriais, onde seja necessário identificar, estimar e avaliar os riscos presentes, sendo estas:

- a) Classificação das Substâncias Perigosas;
- b) Caracterização das Instalações, Operações e Região;
- c) Identificação dos Perigos;
- d) Estimativa das Conseqüências;
- e) Estimativa das Freqüências de Ocorrência;
- f) Estimativa e Avaliação dos Riscos.

3.1 Classificação das Substâncias Perigosas

Esta etapa não foi realizada uma vez que esta metodologia foi aplicada a uma instalação que armazena, manipula e transfere substâncias já classificadas pela vigésima Norma Regulamentadora como "líquido combustível de classe I", fazendo com que a instalação seja submetida a delimitação de áreas de risco de acordo com a NR16.

3.2 Caracterização das Instalações, Operações e Região

Nesta etapa foram identificadas as operações e parâmetros operacionais dos equipamentos que operam com a substância analisada, além dos sistemas de segurança presentes na instalação voltados à mitigação e prevenção de acidentes envolvendo a mesma.

Por ser um estudo com foco no ambiente ocupacional, a caracterização da região foi restringida à análise dos dados meteorológicos da região para posterior aplicação durante a etapa de estimativa das consequências.

3.3 Identificação dos Perigos

Para a realização desta etapa foi selecionada a técnica de Análise Preliminar de Perigos (APP), por ter boa aplicabilidade em etapas de projetos, em unidades já em operação e também em análises nas quais o enfoque não seja as consequências trazidas por desvios operacionais ou sistêmicos, e sim a ocorrência de acidentes na instalação que possam gerar danos ao ambiente ocupacional ou externo, proporcionando também uma revisão dos aspectos de segurança existentes na instalação.

Para aplicação da técnica de Análise Preliminar de Perigos na instalação foi elaborada uma planilha padrão, onde foram levantadas as hipóteses de acidentes, as possíveis causas de ocorrência das mesmas, as consequências que podem ser geradas e os sistemas de segurança presentes na instalação para mitigação ou prevenção da ocorrência.

Foram identificadas liberações instantâneas em decorrência de rupturas catastróficas dos equipamentos de armazenamento da substância analisada, e liberações contínuas em decorrência da abertura dos dispositivos de alívio de pressão e de rupturas catastróficas e furos e fissuras com diâmetro equivalente a 100% e a até 20% do diâmetro nominal dos equipamentos utilizados para transferência da substância analisada.

As hipóteses de acidentes foram levantadas em função das operações realizadas na instalação.

3.4 Estimativa das Consequências

Nesta etapa foram estimadas as amplitudes das consequências geradas nas hipóteses de acidentes pelo vazamento da substância analisada. Para isto foram utilizados modelos matemáticos computacionais presentes no software *Process Hazards Analysis System Tool* (PHAST) Versão 6.1, da empresa DNV Technica.

Para possibilitar a realização das modelagens foram utilizados os parâmetros operacionais da instalação, sendo os mesmos relativos às condições operacionais de cada trecho identificado nas hipóteses de acidentes levantadas durante a Análise Preliminar de Perigos.

Para possibilitar a realização das modelagens matemáticas foram utilizados os

dados meteorológicos descritos na etapa de caracterização da região.

3.5 Estimativa das Freqüências de Ocorrência

A estimativa das freqüências de ocorrência foi realizada de maneira quantitativa em três etapas. Primeiramente foi realizado um levantamento do histórico de freqüências e probabilidades de ocorrência para os eventos estudados como possíveis causas das hipóteses de acidentes e falhas dos sistemas de segurança presentes na instalação, identificados nas planilhas de Análise Preliminar de Perigos.

Com as freqüências e probabilidades de ocorrência dos eventos estudados foram estimadas as freqüências de ocorrência das hipóteses de acidentes da instalação com a aplicação da técnica de Análise por Árvore de Falhas (AAF), sendo os valores obtidos divididos para os períodos do dia estudados.

A partir dos valores de freqüência de ocorrência das hipóteses acidentais por período foram estimadas as freqüências de ocorrência dos efeitos físicos (conseqüências) por período, com a aplicação da técnica de Análise por Árvore de Eventos (AAE), considerando-se as possíveis interferências que podem suceder um vazamento da substância estudada, propiciando as condições necessárias para ocorrência dos efeitos físicos.

3.6 Estimativa e Avaliação dos Riscos

A estimativa dos riscos foi realizada a partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores de estimativa das conseqüências e estimativa das freqüências de ocorrência.

Os riscos presentes na instalação foram estimados sob a forma de risco individual, também identificado como curvas de Iso-Risco, uma vez que são delimitadas as áreas da instalação de acordo com a criticidade dos riscos estudados.

O risco social não foi calculado neste trabalho por estar relacionado a estimativa dos riscos em função da presença de grupamento de pessoas, o que não proporciona informações úteis ao objetivo desta análise.

Estimado o risco individual foi realizada a avaliação dos resultados de acordo com os critérios estabelecidos neste trabalho.

As áreas de riscos da instalação foram determinadas em função da avaliação

dos resultados obtidos com valores propostos para tolerabilidade dos riscos de operação em ambientes ocupacionais.

4 ESTUDO DE CASO

A seguir é descrito o estudo de caso realizado neste trabalho para determinação das áreas de riscos a partir da aplicação da ciência de análise de riscos.

A instalação escolhida foi uma base de distribuição e engarrafamento de gás liquefeito de petróleo (GLP), situada em Paulínia – SP, onde atualmente são pagos adicionais de periculosidade aos colaboradores da instalação que operam nas áreas de armazenamento de GLP, transferência de GLP e enchimento de botijões e cilindros industriais, consideradas como sendo áreas de risco.

No Anexo A deste trabalho está apresentado o layout da instalação contendo as áreas de riscos determinadas em função das distâncias estabelecidas na NR16.

Ao longo de todo o trabalho encontram-se referenciados alguns documentos e informações que estão apresentados nos anexos e apêndices do mesmo.

A empresa responsável pelas instalações analisadas teve seu nome omitido ao longo deste trabalho, sendo que as numerações constantes nos documentos apresentados pela empresa foram alteradas buscando assegurar sigilo às informações.

4.1 Caracterização das Instalações, Operações e Região

4.1.1 Instalações e Operações

As instalações da base de distribuição e engarrafamento estão situadas em Paulínia – SP, no Bairro Replan, sendo as mesmas destinadas às operações de recebimento de GLP via gasoduto, armazenamento de GLP em vasos pressurizados, engarrafamento de GLP em botijões P-13 e cilindros industriais P-2, P-20, P-45 e P-90 e distribuição de GLP através de caminhões-tanque e veículos do tipo *Bobtail* (caminhão-tanque com menor volume que opera em abastecimentos de vasos pressurizados presentes em instalações industriais).

As instalações da empresa operam de segunda a sexta-feira, das 07h30' às 17h30' e aos sábado das 07h00' às 12h00' no setor de engarrafamento de cilindros e botijões e de segunda a sexta-feira das 07h30' às 17h30' para recebimentos de GLP via gasoduto e no setor de carregamento de caminhões-tanque e veículos do tipo *Bobtail*.

A operação de armazenamento de GLP em vasos de pressão é realizada continuamente.

Convém mencionar que todos os vasos de pressão para armazenamento de GLP operam com, no máximo, 85% de sua capacidade nominal, isto por que estão presentes na composição do GLP impurezas que elevam sua pressão de saturação.

A operação de recebimento de GLP é realizada por meio de bombeamento da substância desde a Refinaria da Petrobrás denominada Refinaria do Planalto Paulista (REPLAN), através de um gasoduto com diâmetro interno à instalação da base variando entre 4" e 6".

Esta operação é continuamente monitorada por um operador da Refinaria e um operador da instalação, com comunicação via rádio em faixa exclusiva, sendo acompanhado o enchimento dos vasos de pressão através da vareta medidora de nível.

Na instalação analisada estão presentes 8 vasos de pressão com capacidade nominal de 117 m³ cada, sendo os mesmos do tipo cilíndrico, horizontal, pressurizado, fabricado conforme Norma ASME – Boiler Pressure Vessel, em aço carbono, assentado em duas bases de concreto, cada.

A pressão de armazenamento de GLP nestes vasos de pressão varia conforme a composição da substância, sendo esta aproximada de 7,0 kgf/cm². Cada vaso de pressão apresenta 21,3 m de comprimento e 2,7 m de diâmetro.

Todos os vasos de pressão são dotados de uma válvula de alívio de pressão (PSV), com set de abertura em 17,5 kgf/cm² e saída de 3".

Todas as tubulações de entrada e saída de GLP dos vasos de armazenamento possuem válvulas com controle pneumático remoto e dispositivo automático de excesso de fluxo, estando estas presentes no interior dos vasos de armazenamento.

Periodicamente são realizadas operações de drenagem nos vasos de armazenamento, no intuito de retirar a água residual que possa estar presente no GLP recebido da Refinaria.

Esta operação é realizada semanalmente através da abertura do dreno manual presente na parte inferior do costado do vaso, por cerca de 5 segundos, onde o conteúdo coletado é disposto em tambores para envio à Refinaria, responsável pela

destinação deste resíduo composto por água e hidrocarbonetos. Neste sistema está presente também uma válvula automática com fechamento por excesso de fluxo.

Para realização da operação de abastecimento de caminhões-tanque e veículos do tipo *Bobtail* a instalação conta com 2 pontos de transvase. Os pontos de transvase são totalmente independentes entre si, com capacidade de operação simultânea.

O vaso de pressão dos caminhões-tanque possui capacidade nominal média de 21 toneladas. Já o vaso de pressão dos veículos do tipo *Bobtail* possui capacidade nominal média de 13 toneladas.

A conexão entre os veículos e os pontos de transvase é realizada através de mangotes (mangueiras flexíveis) dotados de válvulas do tipo *pull-away* na extremidade da conexão, as quais possibilitam um rápido fechamento em caso de uma desconexão inesperada durante a operação de abastecimento.

O abastecimento é realizado com a utilização dos compressores presentes na instalação, onde a fase gasosa presente no vaso de pressão do veículo é comprimida e enviada para os vasos de armazenamento da instalação, por meio das tubulações de fase gasosa, criando um diferencial de pressão entre os vasos, o qual leva o GLP presente nos vasos de armazenamento da instalação retornar ao vaso de pressão do veículo através das tubulações de fase líquida, abastecendo o mesmo.

A operação de engarrafamento de GLP, em botijões P-13 (13 kg) e cilindros industriais P-2 (2 kg), P-20 (20 kg), P-45 (45 kg) e P-90 (90 kg), é realizada em carrosséis circulares e em linha situados na plataforma de engarrafamento da instalação. Nesta mesma é realizada a expedição dos botijões e cilindros industriais em caminhões de distribuição.

A operação consiste em enviar o GLP com a utilização das bombas centrífugas presentes na instalação, através da tubulação de fase líquida, à plataforma de engarrafamento.

Na plataforma os botijões e cilindros industriais são colocados nos carrosséis de enchimento pelos operadores, sob uma balança a qual está interligada à válvula de enchimento.

Este sistema está ajustado para a quantidade de GLP de cada tipo de recipiente. Durante a operação de enchimento, quando o recipiente atinge a quantidade exata de GLP, medida através da balança, a válvula de enchimento é desconectada

automaticamente do bocal de enchimento do recipiente, sendo o mesmo retirado dos carrosséis pelos operadores.

É realizada também, no setor de engarrafamento, a operação de decantação de botijões e cilindros industriais, no intuito de esvaziar totalmente eventuais recipientes que contenham GLP residual ou então recipientes cheios que possam estar fora dos parâmetros estabelecidos para a capacidade nominal dos mesmos.

Esta operação é realizada em bancadas contendo bocais de conexão. O recipiente é conectado à mesma pelo operador, sendo esvaziado. O GLP retirado dos recipientes nesta bancada é enviado para um vaso de pressão denominado vaso de decantação, com capacidade nominal inferior à dos vasos de armazenamento da instalação.

A capacidade nominal deste vaso é de 10 m³, sendo que ao longo do dia o conteúdo coletado no mesmo é retornado às bombas, através da linha de recalque, e às plataformas de enchimento de botijões e cilindros industriais.

Há na instalação um sistema voltado ao combate a incêndios, porém não foi realizado o detalhamento deste sistema, nem a averiguação referente ao atendimento à legislação, uma vez que o mesmo não foi empregado neste estudo.

Na instalação estão presentes sistemas de controle operacional e segurança, compostos por válvulas pneumáticas, válvulas de controle com atuador solenóide e válvulas de excesso de fluxo.

O fechamento das válvulas pneumáticas e de controle com atuador solenóide é realizado remotamente a partir do acionamento das botoeiras de emergência presentes em área. Estas válvulas são do tipo falha fechada, isto é, na falta de ar no sistema a mesma permanece na posição fechada.

Já as válvulas de excesso de fluxo são atuadas automaticamente a partir de um eventual aumento de vazão nas linhas, ocasionado normalmente por vazamentos.

As demais válvulas presentes nas tubulações de GLP, líquido ou gasoso, são do tipo esfera, com acionamento manual no local, e de retenção, com acionamento automático em caso de fluxo reverso de substância na tubulação.

4.1.2 Região

No estudo de consequências são utilizados dados referentes à umidade relativa,

temperatura do ar, temperatura do solo, velocidade dos ventos e freqüência de ocorrência dos ventos em cada direção.

Em consulta à CETESB, ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) não foram encontradas estações meteorológicas presentes na região de Paulínia – SP.

Assim, para realização da estimativa das consequências foram adotados dados padrões, apresentados por CETESB (2003), para estudos de consequências aplicados a regiões onde não há disponibilidade de dados meteorológicos.

Os dados aplicados estão apresentados na etapa de estimativa das consequências.

4.2 Identificação dos Perigos

Com a aplicação da planilha elaborada foram levantadas as situações capazes de originar acidentes nas instalações analisadas. As planilhas de Análise Preliminar de Perigos estão apresentadas no Anexo C deste trabalho.

Foram identificadas 56 hipóteses de acidentes, relacionadas a vazamentos de GLP através de linhas e equipamentos, rupturas catastróficas dos vasos de pressão, cilindros industriais e botijões e liberação de GLP para a atmosfera através da abertura da válvula de alívio de pressão (PSV) dos vasos.

Dentre as hipóteses de acidentes levantadas foram identificadas a ocorrência de 152 efeitos físicos relacionados à jatos de fogo, incêndios em nuvem de GLP, explosões de nuvens de GLP não confinadas e bolas de fogo na atmosfera.

Nas planilhas de APP elaboradas foram criadas colunas referentes à amplitude dos efeitos físicos e à freqüência de ocorrência de cada efeito durante a jornada operacional da instalação.

Estas colunas foram preenchidas com as informações obtidas posteriormente nas etapas de estimativa consequências e estimativa das freqüências de ocorrência.

A coluna referente a amplitude dos efeitos físicos foi subdividida em duas, para apresentação dos valores obtidos em cada nível de fatalidades estudado.

No caso dos efeitos físicos de jato de fogo, explosão de nuvem de vapor não confinado e bola de fogo foram estudados os níveis de 1% e 50%, e no caso do efeito físico de incêndio em nuvem foi estudado o nível de fatalidade de 100%.

O estudo dos níveis de fatalidade descrito está apresentado no item 3.3 Estimativa das Conseqüências, a seguir.

O *layout* das instalações e o fluxograma das operações realizadas na instalação, utilizados nesta etapa como base para a análise realizada, estão apresentados no Anexo B deste trabalho.

Os valores de comprimento das tubulações apresentados na coluna “Causas”, da planilha utilizada, foram levantados em campo e estão aproximados.

Com base nas informações apresentadas nas planilhas foram desenvolvidas as demais etapas da análise de riscos da instalação.

4.3 Estimativa das Conseqüências

A partir das hipóteses de acidentes identificadas na instalação foram realizadas as modelagens matemáticas para estimativa da amplitude dos efeitos físicos, considerando-se os parâmetros operacionais dos trechos analisados, sendo definidos:

- Tempo de vazamento da substância;
- Substância modelada, ou substância de referência para modelagem;
- Inventário disponível para vazamento;
- Pressão e temperatura de trabalho no trecho ou sistema estudado;
- Tipo de liberação;
- Fase liberada;
- Singularidades presentes desde o inventário até o ponto de liberação;
- Diâmetro do vazamento;
- Altura da coluna de líquido em relação ao ponto de vazamento, para vazamentos contínuos na fase líquida somente;
- Altura do ponto de vazamento, para vazamentos contínuos somente;
- Presença de meios de contenção da substância vazada;
- Direção do vazamento, para vazamentos contínuos somente;
- Dados meteorológicos da região.

Para todas as hipóteses de acidentes a substância estudada foi o GLP, obtido através da elaboração de uma mistura entre os hidrocarbonetos propano, propeno, butano e buteno, em proporções mássicas equivalentes, ou seja, 25% para cada.

Para os casos de vazamento contínuo através de linhas e equipamentos o modelo utilizado foi o de ruptura de linha, com direção de vazamento horizontal.

Para os casos de vazamento contínuo através da abertura da válvula de alívio de pressão (PSV) o modelo utilizado foi o de válvula de alívio, com direção de vazamento vertical.

Já para os casos de vazamento instantâneo através da ruptura catastrófica dos vasos de pressão o modelo utilizado foi o de ruptura catastrófica.

Cabe observar que a direção de vazamento horizontal maximiza a amplitude dos danos gerados pelos efeitos físicos analisados. Esta não foi estudada nos casos de vazamento contínuo através da abertura da PSV por não haver possibilidade de ocorrência.

Para os casos de vazamento instantâneo não é necessária a definição da direção do vazamento estudado, por se tratar da formação quase que instantânea de uma nuvem de substância na atmosfera.

Com exceção às hipóteses de acidentes durante a operação de recebimento de GLP via gasoduto, as massa de GLP disponíveis para vazamento variam de acordo com o volume nominal presente no recipiente de origem da substância.

No caso das hipóteses de acidentes relacionadas à operação de recebimento de GLP via gasoduto, identificadas como H-1, H-2, H-3 e H-4, foi considerada uma massa qualquer grande o bastante para alimentar o vazamento durante todo o tempo estudado.

Para grandes vazamentos os diâmetros de vazamento da substância são os mesmos do trecho de tubulação identificado na hipótese acidental.

Já para médios vazamentos os diâmetros de vazamento da substância são cerca de 20% do diâmetro da tubulação identificado na hipótese acidental.

Nos casos de abertura da PSV o diâmetro de vazamento equivale ao diâmetro da válvula.

As pressões operacionais do GLP na instalação foram utilizadas como sendo de saturação à temperatura ambiente, no momento da ocorrência da hipótese acidental,

uma vez que o GLP é mantido liquefeito no sistema através de pressurização e não baixas temperaturas.

As fases de vazamento do GLP estão descritas nas hipóteses acidentais e são função das condições operacionais do trecho estudado.

Para a hipótese acidental de abertura da PSV foi estudado o vazamento na pressão de abertura da mesma, a qual é de 17,50 kgf/cm², com temperatura de saturação.

Nenhuma das áreas da instalação é provida de dique de contenção.

Para a altura da liberação da substância na atmosfera, com exceção das hipóteses acidentais de abertura das PSV's, em se tratando de uma instalação horizontal onde não estão presentes entradas e saídas de tubulações de equipamentos em pontos elevados, foi considerada uma altura média das tubulações na instalação de 1,0 m, em relação ao solo.

Para as hipóteses acidentais de abertura das PSV's foram consideradas as alturas dos vasos de pressão de armazenamento, dos caminhões-tanque e do pulmão de decantação, em relação ao solo, uma vez que as mesmas estão locadas na parte superior dos mesmos, somado à extensão da PSV a qual varia entre 0,5 m a 1,0 m.

Devido as pressões exercidas pelas colunas de líquido serem desprezíveis, quando trata-se de uma substância com pressão de saturação próxima à 7 kgf/cm² como é o caso do GLP, a altura da coluna de líquido passa a ser irrelevante como dado de entrada no modelo, porém necessária para a realização da modelagem.

Para todas as hipóteses de acidentes a altura da coluna de líquido de GLP considerada foi correspondente ao diâmetro do vaso de pressão.

Em todas as hipóteses de acidentes envolvendo vazamento contínuo foram consideradas as singularidades presentes anteriores ao trecho, tais como tubulações e válvulas, as quais possam acarretar perdas de carga no sistema analisado tornando mais real a estimativa das consequências em questão.

Com relação ao tempo de vazamento, foi considerado um tempo de 10 minutos de acordo com o tempo mínimo de vazamento apresentado por Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) 2003, buscando representar uma condição de estabilidade da amplitude da nuvem na atmosfera durante um vazamento contínuo.

Para determinação da amplitude dos efeitos físicos proporcionados por vazamentos de GLP, foram estudados os níveis de fatalidade de 1% e 50% para os efeitos físicos de jato de fogo, bola de fogo e explosão de vapor não confinado (UVCE) e 100% para o efeito físico de incêndio em nuvem. (CETESB, 2003)

Para o efeito físico de jato de fogo a radiação térmica estudada foi de 12,5 kw/m², para um tempo de exposição de 30 segundos, e 37,5 kw/m², em um tempo de exposição de 20 segundos, respectivamente. (CETESB, 2003)

Para o efeito físico de bola de fogo a radiação térmica necessária para proporcionar os níveis de fatalidade estudados foi calculada diretamente pelo software através de equações de *Probit*, como as apresentadas na revisão bibliográfica, em função do tempo de duração deste efeito ser curto e estar relacionado com a massa de substância vazada. (DNV, 2001)

Para o efeito físico de explosão de vapor não confinado (UVCE) os níveis de sobrepressão estudados foram de 0,1 bar e 0,3 bar, independentemente ao tempo de duração. (CETESB, 2003)

Para o efeito físico de incêndio em nuvem foi estudada a concentração de 17.776,4 ppm, correspondente ao limite inferior de inflamabilidade da substância. (CETESB, 2003)

Todos os níveis de fatalidade, provenientes da ocorrência de efeitos físicos, foram estudados à altura de 1,0m em relação ao solo, buscando avaliar os mesmos em relação aos indivíduos.

Com relação aos dados meteorológicos utilizados durante esta etapa, devido a indisponibilidade de dados relativos à região da instalação em análise foram adotados os dados apresentados pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) 2003, para estimativa das consequências, sendo estes:

Tabela 6 – Dados Meteorológicos para o Estudo de Consequências

Parâmetro	Período Diurno	Período Noturno
Velocidade dos ventos	3 m/s	2 m/s
Classe Pasquill	C – Levemente Instável	E – Levemente Estável
Temperatura do ar	25 C	20 C
Temperatura do solo	30 C	25 C
Umidade relativa	80%	80%

Fonte: CETESB, 2003

No Apêndice A está apresentada uma compilação dos dados de entrada utilizados durante a realização das modelagens matemáticas, por hipótese accidental, de acordo com as informações já apresentadas neste item.

Como resultado foi determinada a amplitude de cada efeito físico identificado nas hipóteses de acidentes levantadas, de acordo com os níveis de fatalidades de interesse, para os períodos estudados.

Como o objetivo deste trabalho é aplicar a análise de riscos para determinar as áreas de riscos da instalação às quais os trabalhadores estão expostos, a avaliação das mesmas foi realizada somente durante o período diurno, sendo descartadas as informações relativas ao período noturno uma vez que não são realizadas operações na instalação durante o mesmo.

É importante esclarecer que a consideração do período noturno no cálculo dos riscos implicaria em erros durante a determinação das áreas de risco da instalação, uma vez que os trabalhadores não estão expostos às hipóteses de acidentes durante o mesmo.

As amplitudes dos efeitos físicos obtidas nas modelagens matemáticas para o período diurno estão apresentadas no Anexo D deste trabalho e nas planilhas de Análise Preliminar de Perigos, sendo que foram utilizadas posteriormente durante a etapa de estimativa dos riscos.

No Apêndice B deste trabalho estão apresentados dois relatórios das modelagens matemáticas realizadas, escolhidos aleatoriamente como exemplos, onde é possível visualizar as informações dos dados de entrada fornecidos, do comportamento da substância durante o vazamento (descarga) e da amplitude dos efeitos físicos para cada nível de fatalidade requerido, segundo os valores de radiações térmicas e níveis de sobrepressão apresentados anteriormente neste trabalho.

4.4 Estimativa das Freqüências de Ocorrência

As freqüências de ocorrência das hipóteses accidentais foram levantadas com base nas causas e ocorrências de erro humano e falha dos sistemas de detecção e proteção, identificados na Análise Preliminar de Perigos.

Já as freqüências de ocorrência dos efeitos físicos foram levantadas a partir das possíveis interferências que possam suceder as hipóteses de acidentes identificadas, propiciando as condições necessárias para ocorrência dos efeitos físicos.

Assim, inicialmente foram levantadas as taxas de falhas para ocorrência dos danos estudados em equipamentos e linhas, indicados como possíveis causas das hipóteses de acidentes na instalação, e as probabilidades de ocorrência de erro humano e falhas nos sistemas de detecção e proteção esperados durante situações operacionais e emergenciais na instalação, sendo estes:

- Rupturas catastróficas e parciais em tubulações em aço com diâmetros de 1½", 2", 3", 4", 6" e 8";
- Rupturas catastróficas e parciais em válvulas manuais em aço, válvulas de retenção em aço, válvulas de excesso de fluxo em aço, válvulas de controle em aço, válvulas de engate rápido em aço, válvulas de enchimento em aço e válvulas *pull-away* em aço;
- Falha ao fechar do mecanismo pneumático das válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo;
- Falha ao fechar do mecanismo de excesso de fluxo das válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo e de válvulas de excesso de fluxo;
- Falhas ao fechar dos mecanismos de atuação de válvulas de controle;
- Rupturas catastróficas e parciais em filtros de GLP em aço;
- Abertura de válvulas de alívio de pressão;
- Ruptura catastrófica em vasos de pressão;
- Rupturas catastróficas em conectores flexíveis;
- Erros humanos nas condições operacionais de realização de operação de rotina (drenagem dos vasos de pressão) e realização de ação emergencial simplificada (acionamento da botoeira de emergência).

Todo o levantamento foi realizado com base em análises históricas de acidentes ocorridos em instalações análogas à estudada.

Os valores obtidos durante o levantamento das taxas de falhas e probabilidades de falhas, os quais foram aplicados durante a estimativa das freqüências de ocorrência das hipóteses de acidentes, estão apresentados no Anexo E deste trabalho enquanto que o levantamento das mesmas está apresentado no Apêndice C.

Com a aplicação da técnica de AAF estudou-se o comportamento lógico dos equipamentos e sistemas de segurança em cada hipótese de acidente obtendo como resultado o encadeamento lógico da ocorrência do acidente.

Com a aplicação dos valores obtidos no levantamento histórico, na AAF realizada, foi possível estimar a freqüência de ocorrência de cada hipótese de acidente.

No Apêndice E deste trabalho estão apresentadas as árvores de falhas elaboradas para as hipóteses acidentais H-1 e H-2 apenas como ilustração da técnica utilizada.

Como produto entre a freqüência de ocorrência da hipótese accidental e a probabilidade de ocorrência de cada período do dia estudado, sendo estes diurno e noturno, obteve-se a freqüência de ocorrência da hipótese accidental por período.

Conforme já descrito na Estimativa de Conseqüências, neste trabalho estudou-se as áreas de risco da instalação, e estas são referentes ao ambiente ocupacional.

Como são realizadas operações somente durante o período diurno na instalação as informações relativas ao período noturno foram descartadas, evitando que os resultados obtidos representassem uma situação superestimada de risco na instalação.

No Anexo F deste trabalho estão apresentadas as freqüências de ocorrência das hipóteses acidentais para o período diurno.

A partir da hipótese accidental quantificada foram estudadas as possíveis interferências incidentes sobre a ocorrência de liberações contínuas de GLP e suas probabilidades de incidência, através da AAE, buscando estimar as probabilidades de ocorrência dos efeitos físicos estudados.

No caso de liberações instantâneas não foi necessário analisar o desdobramento da ocorrência através da técnica de AAE, uma vez que o efeito físico originado será unicamente a bola de fogo.

A seguir está apresentada a AAE realizada para a ocorrência de liberações contínuas da substância estudada.

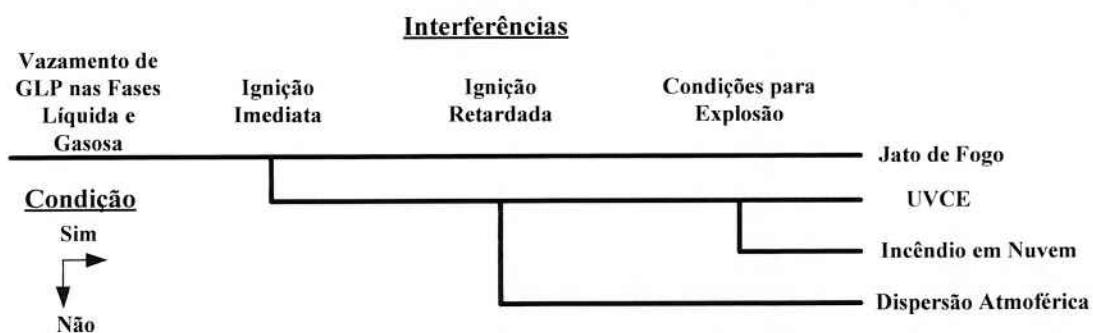


Fig.2 – Árvore de Eventos para Vazamentos de GLP

De acordo com Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) 1994, a incidência do efeito de bola de fogo em liberações instantâneas é de 70%, sendo esta a probabilidade aplicada às hipóteses acidentais que têm como consequência este efeito físico.

Com relação as probabilidades de incidência das interferências identificadas na árvore de evento apresentada na fig.(2) pode-se considerar para a ocorrência de ignição imediata em áreas de armazenamento de gás liquefeito de petróleo o valor de 0,1.(AIChE, 2000)

Cabe esclarecer que o valor aplicado é baixo devido ao fato de empresas deste tipo possuírem um rígido controle de presença de fontes de ignição e materiais comburentes em área, em consequência à freqüente ocorrência de emissões fugitivas ao longo da jornada de trabalho.

Já a ocorrência de ignição retardada é dependente das características presentes no entorno da instalação.

A instalação analisada se encontra em uma área composta basicamente por empresas do mesmo ramo, sendo que o Health and Safety Executive (HSE) 1978 apresenta o valor de 0,5 para a ocorrência de ignição retardada em áreas compostas por terminais de gás.

Ainda de acordo com American Institute of Chemical Engineers (AIChE) 2000 a probabilidade de ocorrência de uma explosão em uma nuvem de vapor não confinada (UVCE) pode ser considerada como sendo 0,5 em relação à ocorrência de um incêndio em nuvem, uma vez que este tipo de evento depende de uma série de

fatores que mesmo estando presentes podem não propiciar a condição ideal para ocorrência do efeito.

A seguir está apresentada a AAE quantificada para ocorrência de liberações contínuas de GLP.



Fig.3 – Árvore de Eventos Quantificada para Vazamentos de GLP

As probabilidades de ocorrência de cada um dos efeitos físicos foram aplicadas sobre as freqüências de ocorrência das hipóteses acidentais para o período diurno, obtendo-se a freqüência de ocorrência de cada efeito físico.

As freqüências de ocorrência dos efeitos físicos para o período diurno estão apresentadas no Anexo G deste trabalho e nas planilhas de Análise Preliminar de Perigos, sendo que foram utilizadas posteriormente durante a etapa de estimativa dos riscos.

4.5 Estimativa e Avaliação dos Riscos

Os riscos da instalação foram estimados através do cálculo do risco individual, obtido a partir dos valores de amplitude dos efeitos físicos e freqüência de ocorrência dos efeitos físicos para o período diurno.

Para delimitar as áreas da instalação, de acordo com a criticidade dos riscos presentes, os resultados foram apresentados sob a forma de curvas de Iso-Risco.

As áreas de riscos da instalação foram determinadas em função da ocorrência de acidentes acima de níveis toleráveis aos trabalhadores.

O cálculo do risco individual é realizado para cada ponto de uma instalação a partir da somatória dos valores de freqüência de ocorrência dos efeitos físicos, para as distâncias alcançadas pelos níveis de fatalidades estudados em cada direção dos

ventos, através da eq.(10), adaptada de Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) 1994:

$$\text{Risco Individual em um Ponto } X, Y = \sum F_{EF} \times P_{DV} \times P_F \quad (10)$$

Onde: F_{EF} – Freqüência dos Efeitos Físicos

P_{DV} – Probabilidade da Direção do Vento

P_F – Probabilidade de Fatalidade do Nível Estudado

Assim, o risco individual foi estimado a partir das freqüências de ocorrência dos efeitos físicos, das probabilidades de incidência dos ventos em cada direção, das probabilidades de fatalidade dos níveis estudados e dos valores de amplitude dos efeitos físicos.

Para isto foi necessário definir as probabilidades de fatalidade dos níveis estudados e identificar os pontos de ocorrência das hipóteses acidentais no *layout* da instalação.

Os pontos de ocorrência das hipóteses acidentais foram definidos de acordo com o início de cada trecho estudado durante a análise preliminar de perigos e estão apresentados no Anexo H deste Trabalho.

Fatores médios foram definidos para as probabilidades de fatalidade aplicadas aos níveis estudados, de acordo com Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) 2003, sendo estes:

- 0,25 e 0,75 para os níveis de fatalidade de 1% e 50, respectivamente, aplicados aos efeitos físicos de jato de fogo, bola de fogo e explosão de nuvem de vapor não confinada (*UVCE*);
- 1,0 para o nível de fatalidade de 100% aplicado ao efeito físico de incêndio em nuvem;

Além disso as freqüências de ocorrência dos efeitos físicos associados à incêndios em nuvem e explosões de nuvem de vapor não confinada (*UVCE*), susceptíveis à deslocamentos pela ação dos ventos, foram multiplicadas pela probabilidade de incidência dos ventos em cada direção.

De acordo com Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) 2003, a distribuição da freqüência de ocorrência dos ventos deve ser igualitária para

as direções estudadas, quando não se tem disponibilidade de dados meteorológicos que representem a região.

Assim, foi considerada a freqüência de ocorrência de 12,5%, considerando-se 8 direções de ventos.

Já as freqüências de ocorrência do efeito físico de jato de fogo foram multiplicadas pela probabilidade igualitária de ocorrência do mesmo em cada uma das direções, sendo esta de 12,5%.

Não foram estudadas as ocorrências de jatos de fogo verticais e inclinados por estes minimizarem os danos que este efeito físico pode propiciar.

Para o efeito físico de bola de fogo não foi aplicado nenhum fator de direção ou de probabilidade de incidência dos ventos uma vez que trata-se de um efeito com conseqüências radiais.

Devido a complexidade envolvida neste cálculo em função da quantidade de efeitos físicos a estimativa do risco individual foi realizada com a utilização de um software específico para esta finalidade, denominado Cálculo do Risco Individual e Social (CRIS), desenvolvido pela empresa Rabaneda Consultoria Ambiental (RCA).

A lógica de funcionamento deste software consiste em uma malha presente em um sistema cartesiano com duas dimensões, sob a qual são aplicados os valores calculados pela eq.(10) de acordo com os pontos de ocorrência de cada hipótese accidental, realizando posteriormente a somatória das freqüências de ocorrência presentes em cada célula desta malha.

A partir dos valores obtidos em cada célula da malha adotada tem-se o risco individual da instalação.

Como resultado o software fornece uma relação de coordenadas bipolares para cada nível de risco obtido, sendo estes interpretados em um software com interface gráfica para que sejam interligadas as malhas com mesmo nível de risco determinando assim as curvas de Iso-Risco.

Neste estudo foi utilizada uma malha com células de 5 mts x 5 mts.

Inicialmente foram inseridos no software CRIS, para cada hipótese accidental estudada, as coordenadas referentes aos pontos de ocorrência das mesmas definidas com base no layout da instalação, as freqüências de ocorrência de cada efeito físico,

as distâncias obtidas para os níveis de fatalidades estudados dos efeitos físicos e as probabilidades de incidência dos ventos em cada direção.

Inseridos os dados de entrada e definidos os parâmetros de cálculo executou-se o modelo obtendo-se como resultado seqüências de coordenadas binárias para os níveis de fatalidade requeridos, as quais foram transportadas para um programa com interface gráfica, no caso o AutoCad®, o qual interpretou estas coordenadas como sendo pontos, plotando os mesmos para que fossem interligados formando as curvas de Iso-Risco.

Para apresentação dos resultados foram utilizados os níveis de risco variando nas ordens de grandeza até a maior ordem de grandeza obtida, na qual foram variados os níveis por unidade representando o maior nível de risco presente na instalação.

As curvas de Iso-Risco obtidas foram plotadas sobre a instalação com o uso da aerofotogrametria da região.

Os níveis de risco apresentados foram avaliados de acordo com a abrangência obtida no ambiente ocupacional.

O critério aplicado atualmente para avaliação do risco individual, no âmbito de obtenção de licenças ambientais no estado de São Paulo, traz os valores de $1,0 \times 10^{-5}$ ano⁻¹ para o risco máximo tolerável, o qual deve estar restritos aos limites do empreendimento, e $1,0 \times 10^{-6}$ ano⁻¹ para o risco negligenciável à comunidade, sendo que o foco deste tipo de análise são os riscos impostos à comunidade circunvizinha às instalações. (CETESB, 2003)

Não se julgou adequada a aplicação do critério de tolerabilidade de riscos apresentado acima para determinação das áreas de riscos de uma instalação.

Devido a inexistência de critérios de avaliação de risco individual no Brasil com foco em análises ocupacionais foram estudados critérios com base em informações levantadas em referências que abordam este tipo de assunto, buscando avaliar a situação presente na instalação de acordo com os conceitos que vêm sendo desenvolvidos e aplicados em outros países.

Assim, a avaliação dos riscos e determinação das áreas de risco da instalação foi realizada com base nos dados obtidos no estudo realizado.

É essencial o entendimento para este tipo de avaliação de que os riscos aos quais os trabalhadores estão expostos em uma instalação são maiores que os riscos aos quais a comunidade presente nas proximidades desta instalação está exposta.

Quando avaliados os riscos segundo um critério definido tem-se que um risco presente acima do limite estabelecido é inaceitável em quaisquer que sejam as circunstâncias, com exceção para atividades realizadas voluntariamente ou em tempos de guerra. (LEES, 1996).

Quando um indivíduo tem conhecimento dos possíveis danos associados à um determinado risco pode ser gerada uma falsa sensação confortável de controle da situação, fazendo com que ele tenha uma tolerância aos mesmos superior à dos riscos desconhecidos, ou que estejam fora de seu controle.

Isto demonstra que, de certa maneira somos mais toleráveis aos riscos à que nos expomos voluntariamente do que aos quais somos expostos involuntariamente, ou que não tenhamos controle sobre.

Quando analisado os motivos pelos quais um indivíduo aceita um emprego em uma determinada instalação uma das primeiras razões que se pode identificar, pelo menos na sociedade em que vivemos atualmente, é a da condição econômica proporcionada, fazendo com que o mesmo esteja presente voluntariamente na condição de trabalhador.

A aceitação ou tolerância dos riscos de maneira voluntária pode ser associada ao conhecimento e informação sobre os mesmos ou à compensação dos riscos assumidos em troca de um benefício oferecido, sendo que um risco passa a ser involuntário em caso de ignorância do indivíduo. (NARDOCCI, 1999)

Deve-se ter ciência de que a delimitação de áreas de risco em uma instalação, nas quais há pagamento de adicional de periculosidade, não é um benefício oferecido pelo empregador e sim imposto ao empregador pelo Ministério do Trabalho e Emprego através da NR16 do Ministério de Trabalho e Emprego.

Como benefícios oferecidos pelo empregador podemos citar o salário base, adicionais por tempo de serviço e por desempenho de cargo ou função, planos de saúde, associações à grêmios de recreação e desportivos, entre outros os quais todos os funcionários da instalação podem usufruir.

De maneira geral considera-se que os riscos aos quais uma comunidade é exposta, provenientes de uma determinada instalação industrial, são involuntários, assim como os riscos provenientes de fenômenos naturais ou de um corpo controlador como o governo ou entidades públicas. (LEES, 1996)

Já com relação aos trabalhadores, considera-se que estes aceitam voluntariamente os riscos associados ao seu trabalho. (LEES, 1996)

De acordo com Faertes (1994) Starr (1969) estudou a relação entre o risco de morte e os benefícios econômicos gerados, quando analisou a distinção entre os níveis de risco associados a atividades voluntárias e involuntárias, sendo mencionado que: “[...] o público está disposto a aceitar riscos voluntários, digamos a grosso modo, 1000 vezes maiores do que aqueles riscos involuntários e impostos”.

Podemos mensurar esta afirmação quando analisamos a diferença entre os valores de tolerabilidade dos riscos pelos trabalhadores e aceitabilidade dos riscos pela população, descrita pelo Health and Safety Executive (HSE) (1988) apud Lees (1996, p.90, cap.9), e apresentada a seguir:

“[...] O risco de trabalhadores de instalações nucleares, a partir dos níveis médios de dose de radiação, geram em entorno de $1,0 \times 10^{-4}$ ano $^{-1}$ e $2,5 \times 10^{-4}$ ano $^{-1}$. Um pequeno número de trabalhadores são expostos à riscos em alguns casos até 10 vezes maior. [...] o limite de tolerabilidade de riscos amplamente aplicado à trabalhadores é de $1,0 \times 10^{-3}$ ano $^{-1}$ e o limite de tolerabilidade de riscos aplicado à comunidade deve ser ao menos uma ordem de grandeza menor que ao aplicado aos trabalhadores, sendo este de $1,0 \times 10^{-4}$ ano $^{-1}$. O valor de risco que deve ser considerado aceitável para a comunidade, em contraste ao tolerável, é de $1,0 \times 10^{-6}$ ano $^{-1}$ ”.

O valor apresentado de $1,0 \times 10^{-6}$ ano $^{-1}$ aparece como sendo um nível de risco trivial, sendo aproximadamente o risco de um indivíduo ser eletrocutado em casa e um centésimo do risco de morte de um indivíduo em um acidente de trânsito. (LEES, 1996)

De acordo com Cassidy (1993) apud Faertes (1994), publicações inglesas tomam por consenso tolerável o risco de morte de trabalhadores como sendo de um a cada 1000 anos, representando o limite máximo de tolerabilidade.

De acordo com Faertes (1994) o Health and Safety Commission (HSC) (1992) propõe como nível de risco individual máximo tolerável para trabalhadores a ordem de grandeza de $1,00 \times 10^{-3}$ ano $^{-1}$, ou seja, 1 morte em 1.000 a cada ano, e para o público um nível de risco individual máximo tolerável 10 vezes menor, sendo necessária a futura redução para um nível de risco individual máximo aceitável de 1

morte em 1.000.000 a cada ano, representada pela ordem de grandeza de $1,00 \times 10^{-6}$ ano $^{-1}$.

Deve-se ainda fazer uma distinção teórica entre risco tolerável e risco aceitável. De acordo com Health and Safety Executive (HSE) (1998) apud Lees (1996, p.5, cap.4) tolerabilidade não significa aceitabilidade, sendo definido que:

“Tolerabilidade refere-se à espontaneidade de se conviver com um risco para assegurar certo benefício, confiando que o mesmo seja controlado apropriadamente. Tolerar um risco significa que nós não devemos considerá-lo como negligenciável ou algo que podemos ignorar, mas como sendo algo que precisamos manter sob redução e revisão constantes, enquanto for possível”.

Assim, pode-se entender que os riscos presentes em ambientes ocupacionais devem ser toleráveis, e não necessariamente aceitáveis, uma vez que os trabalhadores se expõem aos mesmos de certa maneira voluntária, assegurando um benefício econômico, empregatício, social, ou outro qualquer de interesse do indivíduo.

Tomando como base o levantamento realizado, foi estabelecido para a avaliação dos resultados deste trabalho o valor do limite para determinação de áreas de riscos em ambientes ocupacionais como sendo de $1,00 \times 10^{-4}$ ano $^{-1}$, referente aos riscos médios de trabalhadores de instalações nucleares, publicado pelo Health and Safety Executive.

Ainda conforme observado pelo Health and Safety Executive no levantamento realizado, este valor corresponde à um limite 10 vezes menor que o limite de tolerabilidade de riscos amplamente aplicado à trabalhadores de instalações nucleares.

A adoção desta consideração para o estabelecimento de um critério de tolerabilidade proporciona a criação de uma faixa de valores para determinação de áreas de riscos em ambientes ocupacionais, onde:

- Áreas da instalação com níveis de riscos inferiores à $1,00 \times 10^{-4}$ ano $^{-1}$ são considerados como de risco plenamente tolerável pelos trabalhadores, devendo o empregador adotar mecanismos de gerenciamento dos mesmos;
- Áreas da instalação com níveis de riscos iguais ou superiores à $1,00 \times 10^{-4}$ ano $^{-1}$ e inferiores à $1,00 \times 10^{-3}$ ano $^{-1}$ são considerados como áreas de risco, devendo o empregador proporcionar condições mais seguras para os

- trabalhadores por meio da redução imediata dos riscos associados à instalação, ou então dar continuidade ao pagamento do salário adicional de periculosidade para aqueles que operem dentro da mesma;
- Áreas da instalação com níveis de riscos iguais ou superiores à $1,00 \times 10^{-3}$ ano⁻¹ são considerados como de risco intolerável aos trabalhadores, devendo ser reduzidos à níveis inferiores e aceitáveis, extintos ou isolados das áreas operacionais da unidade.

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos com a estimativa dos riscos, sendo os mesmos avaliados, segundo os critérios de tolerabilidade estabelecidos neste trabalho para determinação das áreas de risco da instalação.

Como resultados da estimativa dos riscos obteve-se as curvas de Iso-Risco referentes aos níveis de fatalidades variando entre $1,0 \times 10^{-12}$ ano $^{-1}$ à $5,0 \times 10^{-5}$ ano $^{-1}$.

O nível de risco correspondente ao valor de $5,0 \times 10^{-5}$ ano $^{-1}$ foi o máximo alcançado na instalação, sendo que na área interna ao mesmo não estão presentes regiões com nível de risco superior ao mesmo.

A seguir está apresentado o resultado do risco individual estimado para a instalação, consistindo em curvas de Iso-Risco referentes aos níveis de riscos obtidos.



Risco Individual

Escala 1:5.000

Curvas de Iso-Risco	Níveis de Risco (ano ⁻¹)
—	$5,00 \times 10^{-5}$
—	$4,00 \times 10^{-5}$
—	$3,00 \times 10^{-5}$
—	$2,00 \times 10^{-5}$
—	$1,00 \times 10^{-5}$
—	$1,00 \times 10^{-6}$
—	$1,00 \times 10^{-7}$
—	$1,00 \times 10^{-8}$
—	$1,00 \times 10^{-9}$
—	$1,00 \times 10^{-10}$
—	$1,00 \times 10^{-11}$
—	$1,00 \times 10^{-12}$

Figura 4 - Resultado do Cálculo do Risco Individual

De acordo com a fig.(4) o valor máximo obtido para os níveis de riscos da instalação analisada foi de $5,00 \times 10^{-5}$ ano⁻¹.

Quando comparado os resultados obtidos às faixas de valores do critério de tolerabilidade estabelecido neste trabalho, para determinação das áreas de risco em ambientes ocupacionais, obteve-se que os mesmos não atingem o valor limite de $1,00 \times 10^{-4}$ ano⁻¹, relativo ao risco plenamente tolerável pelos trabalhadores.

6 CONCLUSÕES

6.1 Conclusões

Com a aplicação da ciência de análise de riscos determinou-se com maior precisão as áreas da instalação susceptíveis à ocorrência de acidentes em diferentes níveis de risco, em função da substância armazenada, do inventário, dos sistemas de segurança presentes, do modo operacional da instalação, entre outros.

Foram levantadas situações de perigo envolvendo a substância química GLP, denominadas hipóteses acidentais, às quais os trabalhadores da instalação estão expostos em decorrência das atividades realizadas.

Para cada situação de perigo levantada foi estimada a amplitude das consequências dos efeitos físicos que podem ser gerados e as freqüências de ocorrência dos mesmos, possibilitando a estimativa e avaliação dos riscos da instalação impostos aos trabalhadores pelas atividades relacionadas com a substância química GLP.

Devido a inexistência de critérios brasileiros para avaliação dos riscos impostos aos trabalhadores foi realizado um levantamento com base em referências empregadas atualmente em outros países para tolerabilidade de riscos em ambientes ocupacionais, a partir do qual foram estabelecidos valores para determinação das áreas de riscos com a aplicação da ciência de análise de riscos.

Assim foi proposto para a avaliação da instalação analisada, bem como para a aplicação da ciência de análise de riscos com esta finalidade, um critério para classificação das áreas em três categorias de risco, sendo:

- Áreas da instalação com níveis de riscos inferiores à $1,00 \times 10^{-4}$ ano⁻¹ são considerados como áreas de risco plenamente tolerável pelos trabalhadores, devendo o empregador adotar mecanismos de gerenciamento dos mesmos;
- Áreas da instalação com níveis de riscos iguais ou superiores à $1,00 \times 10^{-4}$ ano⁻¹ e inferiores à $1,00 \times 10^{-3}$ ano⁻¹ são considerados como áreas de risco, devendo o empregador proporcionar condições mais seguras para os trabalhadores por meio da redução imediata dos riscos associados à instalação, ou então dar continuidade ao pagamento do salário adicional de periculosidade para aqueles que operem dentro da mesma;

- Áreas da instalação com níveis de riscos iguais ou superiores à $1,00 \times 10^{-3}$ ano⁻¹ são considerados como áreas de risco intolerável aos trabalhadores, devendo ser reduzidos à níveis inferiores e aceitáveis, extintos ou isolados das áreas operacionais da unidade.

Como resultado da análise realizada foi possível determinar a necessidade de supressão, ou não, das áreas de riscos presentes na instalação, de modo a proporcionar condições mais seguras aos trabalhadores, evitando que os mesmos estejam expostos freqüentemente à eminência da ocorrência de um acidente com consequências que possam gerar fatalidades.

Quando aplicada a análise de riscos na instalação analisada constatou-se que os resultados obtidos divergem totalmente à atual delimitação das áreas de risco da instalação realizada de acordo com os critérios estabelecidos pela NR16 do Ministério do Trabalho e Emprego.

Conforme pode ser visualizado no Anexo A, com a aplicação da NR16 o salário adicional de periculosidade é devido aos trabalhadores da instalação que operam nas áreas de armazenamento, transvaso (carga e descarga) e engarrafamento, sendo estas consideradas áreas de risco da instalação.

Como resultado da aplicação da ciência de análise de riscos para determinação das áreas de riscos verificou-se que na instalação analisada os riscos à que os trabalhadores estão expostos situam-se em uma faixa de valores inferiores à $1,00 \times 10^{-4}$ ano⁻¹, podendo estes serem considerados plenamente toleráveis, de acordo com o critério de tolerabilidade proposto.

O resultado obtido descharacteriza a presença de quaisquer áreas de risco na instalação, cessando, consequentemente, o pagamento do salário adicional de periculosidade devido.

6.2 Sugestões para Futuros Trabalhos

Sugere-se que seja estudada a possibilidade de adaptação da ciência de análise de riscos para determinação de áreas de riscos em instalações industriais, uma vez que a realização de estudos como este apresentado nesta monografia modificam totalmente a visão já incorporada pelas empresas, e por seus colaboradores, sobre segurança nas instalações e pagamento de salário adicional.

Sugere-se também que seja aprofundado o estudo sobre os critérios de avaliação voltados à tolerabilidade de riscos ocupacionais, já que nesta monografia foi realizado um estudo simplificado destes critérios apenas com o intuito de suportar a aplicação da ciência de análise de riscos para determinação de áreas de riscos em contraste à metodologia preconizada atualmente pela NR16.

ANEXO A – Layout da instalação com determinação das áreas de risco

ANEXO B – Layout e fluxograma de operações da instalação

ANEXO C – Planilhas elaboradas durante a aplicação da etapa de identificação de perigos através da técnica de Análise Preliminar de Perigos (APP)

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Operação: Recebimento de GLP através do gasoduto

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Planilha: 01/14

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção	Amplitude das Consequências (metros)		Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Observações	Identificação dos Efeitos Físicos
					1% Fatalidade	50% Fatalidade			
1	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 6", ao longo do trecho que interliga a entrada do gasoduto da base aos vasos de pressão de armazenamento	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: • 20 mts de linha de 6"; • 9 válvulas manuais; • 1 válvula de controle; • 1 válvula de retenção.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		142,8	122,4	1,80 x 10 ⁻⁹		1
2	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 6", ao longo do trecho que interliga a entrada do gasoduto da base aos vasos de pressão de armazenamento	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: • 20 mts de linha de 6"; • 9 válvulas manuais; • 1 válvula de controle; • 1 válvula de retenção.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		124,4 ⁽²⁾	100,0	4,05 x 10 ⁻⁹		2
3	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 4", ao longo do trecho que interliga a entrada do gasoduto da base aos vasos de pressão de armazenamento	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: • 40 mts de linha de 4"; • 8 válvulas manuais; • 8 válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo ⁽¹⁾ .	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		183,3	141,5	4,05 x 10 ⁻⁹		3
4	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 4", ao longo do trecho que interliga a entrada do gasoduto da base aos vasos de pressão de armazenamento	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: • 40 mts de linha de 4"; • 8 válvulas manuais; • 8 válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo ⁽¹⁾ .	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)	Válvula de controle no trecho do gasoduto interno à instalação; Válvula de atuação remota, presente na saída da refinaria, atuada pelo operador da Petrobrás;	28,9	24,2	2,18 x 10 ⁻⁹		4
5				Válvula de atuação remota, presente na saída da refinaria, atuada pelo operador da Petrobrás;		-	4,91 x 10 ⁻⁹		5
6				Sistema de comunicação via rádio, em canal exclusivo, entre os operadores da instalação e da Refinaria da Petrobrás, durante a operação;	84,2	42,0	4,91 x 10 ⁻⁹		6
7				O acionamento da válvula de controle da instalação é realizado através das botociras de emergência espalhadas ao longo das áreas da base.	84,3	72,3	1,84 x 10 ⁻⁹		7
8					62,1 ⁽²⁾	41,3	4,13 x 10 ⁻⁹		8
9					190,6	95,2	4,13 x 10 ⁻⁹		9
10					19,4	-	2,25 x 10 ⁻⁹		10
11						-	5,05 x 10 ⁻⁹		11
12					62,2	31,1	5,05 x 10 ⁻⁹		12

1 Válvula interna ao vaso de pressão.

2 O nível de fatalidade relativo a este efeito físico é de 100%

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Operação: Carga e Descarga de GLP em Caminhões-Tanque e Veículos do Tipo *Bobtail*

Planilha: 02/14

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção	Amplitude das Consequências (metros)		Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Observações	Identificação dos Efeitos Físicos
					1% Fatalidade	50% Fatalidade			
5	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 4", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: • 45 mts de linha de 4"; • 8 válvulas manuais; • 1 válvula de controle; • 8 válvulas pneumáticas com dispositivo de fluxo ⁽¹⁾ .	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)		134,4 114,7 ⁽²⁾	114,9	4,65 x 10 ⁻¹⁰ 1,05 x 10 ⁻⁹		13 14
6	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 4", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: • 45 mts de linha de 4"; • 8 válvulas manuais; • 1 válvula de controle; • 8 válvulas pneumáticas com dispositivo de fluxo ⁽¹⁾ .	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)		269,8 30,5	134,7 25,5	1,05 x 10 ⁻⁹ 5,70 x 10 ⁻¹⁰		15 16
7	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 3", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: • 10 mts de linha de 3"; • 2 válvulas manuais; • 2 válvulas de controle.	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)		88,3 72,8	44,1 62,4	1,28 x 10 ⁻⁹ 2,05 x 10 ⁻¹⁰		17 18
8	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 3", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: • 10 mts de linha de 3"; • 2 válvulas manuais; • 2 válvulas de controle.	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>) Explosão de vapor não confinada (<i>UI/CE</i>)	Válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo presentes na saída dos vasos de pressão de armazenamento. Válvula de controle presente ao longo do sistema.	49,4 ⁽²⁾ 170,5 15,6	49,4 ⁽²⁾ 85,1 -	4,61 x 10 ⁻¹⁰ 4,61 x 10 ⁻¹⁰ -		19 20 21
									22 23 24

1 Válvula interna ao vaso de pressão.

2 O nível de fatalidade relativo a este efeito físico é de 100%.

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Operações: Carga e Descarga de GLP em Caminhões-Tanque e Veículos do Tipo *Bobtail*.

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Planilha: 03/14

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção	Amplitude das Consequências (metros)		Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Observações	Identificação dos Efeitos Físicos
					1% Fatalidade	50% Fatalidade			
9	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 8 mts de linha de 2";• 4 válvulas manuais;• 4 válvulas <i>pull-away</i>;• 4 conectores flexíveis.	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)	44,1 -	37,8 -	3,67 x 10 ⁹ 8,26 x 10 ⁹			25
10	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 8 mts de linha de 2";• 4 válvulas manuais;• 4 válvulas <i>pull-away</i>;• 4 conectores flexíveis.	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)	116,9 -	58,4 -	8,26 x 10 ⁹ 3,47 x 10 ⁸			26
11	Grande vazamento de GLP na fase gasosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 3", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 4,5 mts de linha de 3";• 8 válvulas manuais;• 8 válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo⁽¹⁾.	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)	54,8 27,8 ⁽²⁾	47,1 47,1	4,23 x 10 ⁻¹⁰ 9,51 x 10 ⁻¹⁰			27
12	Médio vazamento de GLP na fase gasosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 3", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 4,5 mts de linha de 3";• 8 válvulas manuais;• 8 válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo⁽¹⁾.	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)	182,3 -	91,1 -	9,51 x 10 ⁻¹⁰ 1,18 x 10 ⁻⁹			28
					59,0	24,5	1,18 x 10 ⁻⁹		36

¹ Válvula interna ao vaso de pressão.

² O nível de fatalidade relativo a este efeito físico é de 100%.

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Operação: Carga e Descarga de GLP em Caminhões-Tanque e Veículos do Tipo *Bobtail*

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Planilha: 04/14

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção	Amplitude das Consequências (metros)		Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Observações	Identificação dos Efeitos Físicos
					1% Fatalidade	50% Fatalidade			
13	Grande vazamento de GLP na fase gasosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none"> • 10 mts de linha de 2" • 14 válvulas manuais; • 2 válvulas de controle. 	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)		25,7	22,1	8,05 x 10 ⁻¹⁰		37
14	Médio vazamento de GLP na fase gasosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none"> • 10 mts de linha de 2" • 14 válvulas manuais; • 2 válvulas de controle. 	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)		100,6	50,2	1,81 x 10 ⁻⁹		38
15	Grande vazamento de GLP na fase gasosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 1½", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none"> • 4 mts de linha de 1½" • 2 válvulas manuais; • 2 válvulas <i>pull-away</i>; • 2 conectores flexíveis. 	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)	Válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo presentes na saída dos vasos de pressão de armazenamento.	3,4	-	9,60 x 10 ⁻¹⁰		39
16	Médio vazamento de GLP na fase gasosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 1½", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento ao vaso de pressão dos caminhões-tanque e veículos do tipo <i>Bobtail</i>	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none"> • 4 mts de linha de 1½" • 2 válvulas manuais; • 2 válvulas <i>pull-away</i>; • 2 conectores flexíveis. 	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)	Válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo presentes na saída dos vasos de pressão de armazenamento.	76,2	38,1	4,13 x 10 ⁻⁹		40
				As válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo, presentes na saída dos vasos de pressão de armazenamento, asseguram a operação deste trecho.					41
					24,5	12,2	2,16 x 10 ⁻⁹		42
					18,2	15,6	1,84 x 10 ⁻⁹		43
					76,2	38,1	4,13 x 10 ⁻⁹		44
									45
									46
									47
									48

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Operação: Engarrafamento de GLP em Cilindros Industriais e Botijões

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Planilha: 06/14

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção	Amplitude das Consequências (metros)			Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Observações	Identificação dos Efeitos Físicos
					1% Fatalidade	50% Fatalidade	50% Fatalidade			
19	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 8", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento às bombas localizadas na casa de bombas GLP	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 40 mts de linha de 8";• 1 válvula de controle.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		244,1	209,7	5,30 x 10 ⁻¹¹			53
					226,0 ⁽²⁾		1,19 x 10 ⁻¹⁰			54
					395,5		197,5	1,19 x 10 ⁻¹⁰		55
20	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 8", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento às bombas localizadas na casa de bombas GLP	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 40 mts de linha de 8";• 1 válvula de controle.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		53,2	45,5	6,90 x 10 ⁻¹¹			56
					24,5 ⁽²⁾		1,55 x 10 ⁻¹⁰			57
					134,2	67,0	1,55 x 10 ⁻¹⁰			58
21	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 4", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento às bombas localizadas na casa de bombas GLP	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 40 mts de linha de 4";• 8 válvulas manuais;• 1 válvula de controle;• 8 válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo⁽¹⁾.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		134,4	114,9	4,63 x 10 ⁻¹⁰			59
					114,7 ⁽²⁾		1,04 x 10 ⁹			60
					269,8	134,7	1,04 x 10 ⁹			61
22	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 4", ao longo do trecho que interliga os vasos de pressão de armazenamento às bombas localizadas na casa de bombas GLP	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 40 mts de linha de 4";• 8 válvulas manuais;• 1 válvula de controle;• 8 válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo⁽¹⁾.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		30,5	25,5	5,65 x 10 ⁻¹⁰			62
					-		1,27 x 10 ⁹			63
					88,3	44,1	1,27 x 10 ⁹			64

¹ Válvula interna ao vaso de pressão. ² O nível de fatalidade relativo a este efeito físico é de 100%

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Operação: Engarrafamento de GLP em Cilindros Industriais e Botijões.

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Planilha: 07/14

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção	Amplitude das Consequências (metros)		Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Observações	Identificação dos Efeitos Físicos
					1% Fatalidade	50% Fatalidade			
23	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 4", ao longo do trecho que interliga as bombas GLP, as na casa de bombas GLP, as plataformas de enchimento de botijões P-13	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 40 mts de linha de 4";• 1 válvula de controle.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		124,3	106,0	3,65 x 10 ⁻¹¹		65
24	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 4", ao longo do trecho que interliga as bombas GLP, as na casa de bombas GLP, as plataformas de enchimento de botijões P-13	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 40 mts de linha de 4";• 1 válvula de controle.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		103,9 ⁽²⁾		8,21 x 10 ⁻¹¹		66
25	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 3", ao longo do trecho que interliga as bombas GLP, as na casa de bombas GLP, as plataformas de enchimento de botijões P-13	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 16 mts de linha de 3";• 2 válvulas de controle;• 2 válvulas de retenção.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		254,3	127,0	8,21 x 10 ⁻¹¹		67
26	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 3", ao longo do trecho que interliga as bombas GLP, as na casa de bombas GLP, as plataformas de enchimento de botijões P-13	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 16 mts de linha de 3";• 2 válvulas de controle;• 2 válvulas de retenção.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		15,6	-	1,45 x 10 ⁻¹⁰		74
							3,26 x 10 ⁻¹⁰		75
					53,0	26,5	3,26 x 10 ⁻¹⁰		76

2 O nível de fatalidade relativo a este efeito físico é de 100%

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.
Operação: Engarrafamento de GLP em Cilindros Industriais e Botijões

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Planilha: 08/14

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção			Identificação dos Efeitos Físicos
				1% Fatalidade	50% Fatalidade	Freqüências de Ocorrência (ano ⁻¹)	
27	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga as bombas localizadas na casa de bombas GLP às plataformas de enchimento de botijões P-13	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: • 30 mts de linha de 2"; • 3 válvulas manuais.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)	71,9 49,1 ⁽²⁾	61,5	9,80 x 10 ⁻¹¹ 2,21 x 10 ⁻¹⁰	77
28	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga as bombas localizadas na casa de bombas GLP às plataformas de enchimento de botijões P-13	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: • 30 mts de linha de 2"; • 3 válvulas manuais.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)	168,2 15,2	84,0 -	2,21 x 10 ⁻¹⁰ 1,27 x 10 ⁻¹⁰	78
29	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de ½", nos carroséis das plataformas de enchimento de botijões P-13	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: • 24 válvulas de enchimento com ½".	Válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo presentes na saída dos vasos de pressão de armazenamento.	52,6	26,3	2,86 x 10 ⁻¹⁰	80
30	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de ½", nos carroséis das plataformas de enchimento de botijões P-13	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: • 24 válvulas de enchimento com ½".	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)	44,3 -	22,1 -	6,85 x 10 ⁻¹⁰ 1,54 x 10 ⁻⁹	81
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	82
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	83
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	84
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	85
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	86
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	87
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	88
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	89
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	90
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	91
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	92
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	93
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	94
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	95
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	96
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	97
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	98
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	99
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	100
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	101
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	102
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	103
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	104
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	105
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	106
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	107
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	108
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	109
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	110
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	111
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	112
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	113
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	114
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	115
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	116
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	117
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	118
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	119
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	120
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	121
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	122
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	123
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	124
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	125
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	126
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	127
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	128
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	129
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	130
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	131
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	132
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	133
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	134
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	135
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	136
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	137
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	138
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	139
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	140
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	141
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	142
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	143
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	144
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	145
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	146
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	147
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	148
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	149
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	150
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	151
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	152
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	153
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	154
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	155
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	156
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	157
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	158
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	159
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	160
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	161
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	162
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	163
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	164
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	165
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	166
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	167
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	168
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	169
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	170
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	171
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	172
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	173
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	174
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	175
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	176
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	177
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	178
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	179
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	180
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	181
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	182
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	183
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	184
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	185
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	186
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	187
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	44,3 -	22,1 -	1,54 x 10 ⁻⁹	188

2 O nível de fatalidade relativo a este efeito físico é de 100%

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Operação: Engarrafamento de GLP em Cilindros Industriais e Botijões

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Planilha: 09/14

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção			Amplitude das Consequências (metros)	Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Observações	Identificação dos Efeitos Físicos
				1% Fatalidade	50% Fatalidade	1% Fatalidade				
31	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga as bombas localizadas na casa de bombas GLP às plataformas de enchimento de cilindros industriais P-2, P-20, P-45 e P-90	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: • 60 mts de linha de 2"; • 2 válvulas de enchimento; • 2 válvulas de controle; • 5 válvulas manuais.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)	Válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo presentes na saída dos vasos de pressão de armazenamento, presentes na saída dos vasos de pressão de armazenamento, Válvula de controle presente ao longo do sistema	71,9 49,1 ⁽²⁾	61,5	2,82 x 10 ⁻¹⁰	As válvulas pneumáticas com dispositivo de excesso de fluxo, presentes na saída dos vasos de pressão de armazenamento, asseguram a operação deste trecho; A simples paralisação das bombas não impede a continuidade de um vazamento;	89	
32	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga as bombas localizadas na casa de bombas GLP às plataformas de enchimento de cilindros industriais P-2, P-20, P-45 e P-90	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: • 60 mts de linha de 2"; • 2 válvulas de enchimento; • 2 válvulas de controle; • 5 válvulas manuais.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)	168,2	84,0	15,2	6,35 x 10 ⁻¹⁰	As bombas são dimensionadas para operar em pressões máximas próximas à pressão de asturação do GLP, de modo a evitar a ocorrência de uma ruptura ou fissura da tubulação por uma eventual sobrepresurização.	90	
33	Ruptura catastrófica de botijões P-13	• Falha intrínseca do material; • Falha durante a operação de enchimento	Explosão de vapor não confinada (U/ICE)	52,6	26,3	-	3,56 x 10 ⁻¹⁰	8,00 x 10 ⁻¹⁰	91	
34	Ruptura catastrófica de cilindros industriais P-2	• Falha intrínseca do material; • Falha durante a operação de enchimento	Bola de fogo (fireball)	3,8	-	-	3,50 x 10 ⁻⁷	3,50 x 10 ⁻⁷	92	
35	Ruptura catastrófica de cilindros industriais P-20	• Falha intrínseca do material; • Falha durante a operação de enchimento	Bola de fogo (fireball)	-	-	-	3,50 x 10 ⁻⁷	3,50 x 10 ⁻⁷	93	
36	Ruptura catastrófica de cilindros industriais P-45	• Falha intrínseca do material; • Falha durante a operação de enchimento	Bola de fogo (fireball)	5,2	-	-	3,50 x 10 ⁻⁷	3,50 x 10 ⁻⁷	94	
37	Ruptura catastrófica de cilindros industriais P-90	• Falha intrínseca do material; • Falha durante a operação de enchimento	Bola de fogo (fireball)	8,5	-	-	3,50 x 10 ⁻⁷	3,50 x 10 ⁻⁷	95	
				12,5	3,8	-	3,50 x 10 ⁻⁷	3,50 x 10 ⁻⁷	96	
									97	Os cilindros industriais e botijões permanecem armazenados, isoladamente, por categorias.
									98	
									99	

² O nível de fatalidade relativo a este efeito físico é de 100%

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Planilha: 10/14

Operação: Decantação de Cilindros Industriais e Botijões

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção	Amplitude das Consequências (metros)		Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Observações	Identificação dos Efeitos Físicos
					1% Fatalidade	50% Fatalidade			
38	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga a plataforma de decantação de botijões P-13 à linha proveniente da plataforma de decantação de cilindros industriais P-2, P-20, P-45 e P-90	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none"> • 5 mts de linha de 2"; • 1 válvula manual; • 1 filtro. 	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		68,8	58,9	7,25 x 10 ⁻⁸		100
39	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga a plataforma de decantação de botijões P-13 à linha proveniente da plataforma de decantação de cilindros industriais P-2, P-20, P-45 e P-90	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none"> • 5 mts de linha de 2"; • 1 válvula manual; • 1 filtro. 	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		45,9 ⁽²⁾	1,63 x 10 ⁻⁷			101
40	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 1½", ao longo do trecho que interliga a plataforma de decantação de botijões P-13 à linha proveniente da plataforma de decantação de cilindros industriais P-2, P-20, P-45 e P-90	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none"> • 5 mts de linha de 1½"; • 5 válvulas manuais; • 5 válvulas de engate rápido. 	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		46,6	23,3	1,63 x 10 ⁻⁷		102
41	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 1½", ao longo do trecho que interliga a plataforma de decantação de botijões P-13 à linha proveniente da plataforma de decantação de cilindros industriais P-2, P-20, P-45 e P-90	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none"> • 5 mts de linha de 1½"; • 5 válvulas manuais; • 5 válvulas de engate rápido. 	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		14,6	-	3,50 x 10 ⁻⁷		103
							7,86 x 10 ⁻⁷		104
							7,86 x 10 ⁻⁷		105
							7,86 x 10 ⁻⁷		106
							7,68 x 10 ⁻⁸		107
							7,68 x 10 ⁻⁸		108
							7,68 x 10 ⁻⁸		109
							4,09 x 10 ⁻⁸		110
							9,19 x 10 ⁻⁸		111

2 O nível de fatalidade relativo a este efeito físico é de 100%



APP - Análise Preliminar de Perigos

Planilha: 11/14

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Operação: Decantação de Cilindros Industriais e Botijões

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção	Amplitude das Consequências (metros)		Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Observações	Identificação dos Efeitos Físicos
					1% Fatalidade	50% Fatalidade			
42	Grande vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga a plataforma de decantação de cilindros industriais P-2, P-45 e P-90 ao vaso de pressão pulmão de decantação	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 35 mts de linha de 2";• 5 válvulas manuais;• 1 válvula de controle;• 1 válvula de retenção;• 1 filtro.	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flash fire</i>)		68,8	58,9	9,45 x 10 ⁻⁸		112
43	Médio vazamento de GLP na fase líquida, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga a plataforma de decantação de cilindros industriais P-2, P-45 e P-90 ao vaso de pressão pulmão de decantação	Rupiura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 35 mts de linha de 2";• 5 válvulas manuais;• 1 válvula de controle;• 1 válvula de retenção;• 1 filtro.	Jato de fogo (<i>jet fire</i>) Incêndio em nuvem (<i>flash fire</i>) Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	Atuação do operador sobre a plataforma de decantação.	45,9 ⁽²⁾	46,6	2,13 x 10 ⁻⁷		113
					23,3	-	2,13 x 10 ⁻⁷		114
					14,6	-	3,77 x 10 ⁻⁷		115
					-	-	8,48 x 10 ⁻⁷		116
					46,5	23,2	8,48 x 10 ⁻⁷		117

2 O nível de fatalidade relativo a este efeito físico é de 100%

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Operação: Recuperação do GLP Decantado

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Planilha: 12/14

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção	Amplitude das Consequências (metros)		Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Identificação dos Efeitos Físicos
					1% Fatalidade	50% Fatalidade		
44	Grande vazamento de GLP na fase gasosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga o vaso de pressão pulmão de decantação às plataformas de enchimento de botijões P-13 e cilindros industriais P-2, P-20, P-45 e P-90	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 5 mts de linha de 2";• 2 válvulas manuais;• 1 válvula de controle;• 1 válvula de retenção.	Jato de fogo (jet, fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		37,9	32,7	1,81 x 10 ⁻⁵	118
45	Médio vazamento de GLP na fase gasosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 2", ao longo do trecho que interliga o vaso de pressão pulmão de decantação às plataformas de enchimento de botijões P-13 e cilindros industriais P-2, P-20, P-45 e P-90	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 5 mts de linha de 2";• 2 válvulas manuais;• 1 válvula de controle;• 1 válvula de retenção.	Jato de fogo (jet, fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		7,4	5,9	2,11 x 10 ⁻⁵	121
46	Grande vazamento de GLP na fase gasosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 1½", ao longo do trecho que interliga o vaso de pressão pulmão de decantação às plataformas de enchimento de botijões P-13	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 30 mts de linha de 1½";• 1 válvula de retenção;• 1 válvula de controle.	Jato de fogo (jet, fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		42,8	21,4	4,74 x 10 ⁻⁵	122
47	Médio vazamento de GLP na fase gasosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 1½", ao longo do trecho que interliga o vaso de pressão pulmão de decantação às plataformas de enchimento de botijões P-13	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: <ul style="list-style-type: none">• 30 mts de linha de 1½";• 1 válvula de retenção;• 1 válvula de controle.	Jato de fogo (jet, fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		104,0	51,9	2,46 x 10 ⁻⁵	126
					3,4	-	1,48 x 10 ⁻⁵	127
							3,32 x 10 ⁻⁵	128
					27,4	13,7	3,32 x 10 ⁻⁵	129

Este trecho não possui sistemas de proteção automáticos ou com acionamento remoto, sendo necessária a presença do operador no local para efetuar o fechamento da válvula manual.

Este trecho não possui sistemas de proteção automáticos ou com acionamento remoto, sendo necessária a presença do operador no local para efetuar o fechamento da válvula manual.

Este trecho não possui sistemas de proteção automáticos ou com acionamento remoto, sendo necessária a presença do operador no local para efetuar o fechamento da válvula manual.

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Operação: Recuperação do GLP Decantado

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Planilha: 13/14

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção	Amplitude das Consequências (metros)	Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Observações	Identificação dos Efeitos Físicos
								1% Fatalidade
								50% Fatalidade
48	Grande vazamento de GLP na fase gaseosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 1½", ao longo do trecho que interliga o vaso de pressão pulmão de decantação à linha de recalque das bombas localizadas na casa de bombas GLP	Ruptura catastrófica ou parcial, com diâmetro equivalente ao diâmetro nominal, em: • 5 mts de linha de 1½"; • 1 válvula manual; • 1 válvula de controle.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		25,8 -	22,3 -	9,00 x 10 ⁻⁶ 2,03 x 10 ⁻⁵	130 131
49	Médio vazamento de GLP na fase gaseosa, em tubulações e equipamentos com diâmetro de 1½", ao longo do trecho que interliga o vaso de pressão pulmão de decantação à linha de recalque das bombas localizadas na casa de bombas GLP	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em: • 5 mts de linha de 1½"; • 1 válvula manual; • 1 válvula de controle.	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire)		104,0 -	51,9 -	2,03 x 10 ⁻⁵ 1,10 x 10 ⁻⁵	132 133
50	Ruptura catastrófica do vaso de pressão pulmão de decantação	• Falha intrínseca do material; • Falha durante a operação de enchimento	Bola de fogo (fireball)		27,4 -	13,7 -	2,46 x 10 ⁻⁵ 2,46 x 10 ⁻⁵	134 135
51	Abertura da válvula de alívio de pressão (PSV) do vaso de pressão pulmão de decantação	• Incêndio na instalação. • Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	Jato de fogo (jet fire) Incêndio em nuvem (flashfire) Explosão de vapor não confinada (UI/CE)		87,3 -	55,6 -	1,75 x 10 ⁻⁷ 5,00 x 10 ⁻⁸ 1,13 x 10 ⁻⁷ 1,13 x 10 ⁻⁷	136 137 138 139

APP - Análise Preliminar de Perigos

Instalações: Base de Distribuição e Engarrafamento de Gás Liquefeito de Petróleo.

Operação: Armazenamento de GLP em Vassos de Pressão

Documentação de Referência: Fluxograma de Processo de GLP (Desenho 2 – Anexo B), Layout Geral (Desenho 1 – Anexo B) e Informações levantadas em Campo.

Planilha: 14/14

Número da Hipótese	Hipótese Acidental	Causas	Consequências (Efeitos Físicos)	Sistemas de Detecção e Proteção			Amplitude das Consequências (metros)	Frequências de Ocorrência (ano ⁻¹)	Observações	Identificação dos Efeitos Físicos
				1% Fatalidade	50% Fatalidade	1% Fatalidade				
52	Ruptura catastrófica dos vasos de pressão de armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> Falha intrínseca do material; Falha durante a operação de enchimento 	Bola de fogo (<i>fireball</i>)	263,9	181,7	1,40 x 10 ⁴	As válvulas de alívio de pressão abrem quando a pressão interna do vaso atinge 17,5 kgf/cm ² , liberando a substância para a atmosfera.	140		
53	Abertura da válvula de alívio de pressão (PSV) dos vasos de pressão de armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> Incêndio na instalação. 	Jato de fogo (<i>jet fire</i>)	-	-	5,00 x 10 ⁻⁸	A abertura da PSV é um sistema de segurança para evitar que o vaso de pressão tenha sobrepressurização durante a ocorrência de um incêndio, de modo a evitar que a probabilidade de ocorrência do efeito físico de bola de fogo seja maior.	141		
54	Vazamento durante a operação de drenagem dos vasos de pressão de armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> Erro operacional durante a realização da operação de drenagem nos vasos de pressão. 	Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)	190,6	95,2	1,13 x 10 ⁻⁷		142		
55	Grande vazamento de GLP na fase líquida, nas tubulações e equipamentos com diâmetro de 2"	<ul style="list-style-type: none"> • 8 mts de linha de 2"; • 8 válvulas de excesso de fluxo; • 16 válvulas manuais; 	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em:	71,9	61,5	6,35 x 10 ⁻⁷	Para que haja vazamento é necessário que haja falha ao fechar da válvula de excesso de fluxo e as falhas do operador em abrir a segunda válvula manual sem ter fechado a primeira e não fechar as válvulas manuais quando iniciado o vazamento	144		
56	Médio vazamento de GLP na fase líquida, nas tubulações e equipamentos com diâmetro de 2" presentes no dreno dos vasos de pressão de armazenamento.	<ul style="list-style-type: none"> • 8 mts de linha de 2"; • 8 válvulas de excesso de fluxo; • 16 válvulas manuais. 	Ruptura parcial com diâmetro equivalente de até 20% do diâmetro nominal, em:	168,2	84,0	1,43 x 10 ⁻⁶		145		
			Jato de fogo (<i>jet fire</i>)	71,9	61,5	3,46 x 10 ⁻⁵		146		
			Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)	49,1 ⁽²⁾	-	1,43 x 10 ⁻⁶		147		
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	168,2	84,0	1,43 x 10 ⁻⁶		148		
			Jato de fogo (<i>jet fire</i>)	71,9	61,5	7,77 x 10 ⁻⁵	A válvula de excesso de fluxo presente neste trecho do sistema é externa ao vaso de pressão de armazenamento.	149		
			Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)	49,1 ⁽²⁾	-	7,77 x 10 ⁻⁵	Esta válvula atua automaticamente quando a vazão é elevada acima da normalmente praticada.	150		
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	168,2	84,0	7,77 x 10 ⁻⁵		151		
			Jato de fogo (<i>jet fire</i>)	15,2	-	4,10 x 10 ⁻⁵		152		
			Incêndio em nuvem (<i>flashfire</i>)	-	-	9,23 x 10 ⁻⁵				
			Explosão de vapor não confinada (UI/CE)	52,6	26,3	9,23 x 10 ⁻⁵				

ANEXO D – Amplitude dos efeitos físicos, por hipótese accidental, de acordo com os níveis de fatalidades estudados durante o período diurno.

Hipóteses Acidentais	Efeitos Físicos	Probabilidades de Fatalidade	Amplitude (m)
H-1	Jato de Fogo	1%	142,8
		50%	122,4
	Inc.em Nuvem	100%	124,4
		1%	183,3
	UVCE	50%	141,5
H-2	Jato de Fogo	1%	28,9
		50%	24,2
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	84,2
	UVCE	50%	42,0
H-3	Jato de Fogo	1%	84,3
		50%	72,3
	Inc.em Nuvem	100%	62,1
		1%	190,6
	UVCE	50%	95,2
H-4	Jato de Fogo	1%	19,4
		50%	(1)
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	62,2
	UVCE	50%	31,1
H-5	Jato de Fogo	1%	134,4
		50%	114,9
	Inc.em Nuvem	100%	114,7
		1%	269,8
	UVCE	50%	134,7
H-6	Jato de Fogo	1%	30,5
		50%	25,5
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	88,3
	UVCE	50%	44,1

1 – Nível de fatalidade não alcançado

2 – O efeito físico não propicia as consequências esperadas na altura estudada

Continua

Continuação

Hipóteses Acidentais	Efeitos Físicos	Probabilidades de Fatalidade	Amplitude (m)
H-7	Jato de Fogo	1%	72,8
		50%	62,4
	Inc.em Nuvem	100%	49,4
		1%	170,5
	UVCE	50%	85,1
H-8		1%	15,6
Jato de Fogo	50%	(1)	
	100%	(2)	
UVCE	1%	53,0	
	50%	26,5	
H-9	Jato de Fogo	1%	44,1
		50%	37,8
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	116,9
	UVCE	50%	58,4
H-10	Jato de Fogo	1%	9,8
		50%	(1)
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	35,5
	UVCE	50%	18,7
H-11	Jato de Fogo	1%	54,8
		50%	47,1
	Inc.em Nuvem	100%	27,8
		1%	182,3
	UVCE	50%	91,1
H-12	Jato de Fogo	1%	11,8
		50%	10,1
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	59,0
	UVCE	50%	24,5
H-13	Jato de Fogo	1%	25,7
		50%	22,1
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	100,6
	UVCE	50%	50,2

1 – Nível de fatalidade não alcançado

2 – O efeito físico não propicia as consequências esperadas na altura estudada

Continua

Continuação

Hipóteses Acidentais	Efeitos Físicos	Probabilidades de Fatalidade	Amplitude (m)
H-14	Jato de Fogo	1%	3,4
		50%	(1)
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	24,5
	UVCE	50%	12,2
H-15		1%	18,2
Jato de Fogo	50%	15,6	
	100%	(2)	
UVCE	1%	76,2	
	50%	38,1	
H-16	Jato de Fogo	1%	(1)
		50%	(1)
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	18,1
	UVCE	50%	9,0
H-17	Bola de Fogo	1%	123,1
		50%	80,3
H-18	Jato de Fogo	1%	(1)
		50%	(1)
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	157,3
	UVCE	50%	78,5
H-19	Jato de Fogo	1%	244,1
		50%	209,7
	Inc.em Nuvem	100%	226,0
		1%	395,5
	UVCE	50%	197,5
H-20	Jato de Fogo	1%	53,2
		50%	45,5
	Inc.em Nuvem	100%	24,5
		1%	134,2
	UVCE	50%	67,0

1 – Nível de fatalidade não alcançado

2 – O efeito físico não propicia as consequências esperadas na altura estudada

Continua

Continuação

Hipóteses Acidentais	Efeitos Físicos	Probabilidades de Fatalidade	Amplitude (m)	
H-21	Jato de Fogo	1%	134,4	
		50%	114,9	
	Inc.em Nuvem	100%	114,7	
		1%	269,8	
	UVCE	50%	134,7	
H-22		1%	30,5	
		50%	25,5	
Inc.em Nuvem	100%	(²)		
	1%	88,3		
UVCE	50%	44,1		
H-23	Jato de Fogo	1%	124,3	
		50%	106,0	
	Inc.em Nuvem	100%	103,9	
		1%	254,3	
	UVCE	50%	127,0	
H-24	Jato de Fogo	1%	21,8	
		50%	18,2	
	Inc.em Nuvem	100%	(²)	
		1%	68,8	
	UVCE	50%	34,4	
H-25	Jato de Fogo	1%	71,1	
		50%	61,0	
	Inc.em Nuvem	100%	47,3	
		1%	167,4	
	UVCE	50%	83,6	
H-26	Jato de Fogo	1%	15,6	
		50%	(¹)	
	Inc.em Nuvem	100%	(²)	
		1%	53,0	
	UVCE	50%	26,5	
H-27	Jato de Fogo	1%	71,9	
		50%	61,5	
	Inc.em Nuvem	100%	49,1	
		1%	168,2	
	UVCE	50%	84,0	

1 – Nível de fatalidade não alcançado

2 – O efeito físico não propicia as consequências esperadas na altura estudada

Continua

Continuação

Hipóteses Acidentais	Efeitos Físicos	Probabilidades de Fatalidade	Amplitude (m)
H-28	Jato de Fogo	1%	15,2
		50%	(1)
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	52,6
	UVCE	50%	26,3
H-29		1%	12,3
Jato de Fogo	50%	(1)	
	100%	(2)	
UVCE	1%	44,3	
	50%	22,1	
H-30	Jato de Fogo	1%	(1)
		50%	(1)
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	10,6
	UVCE	50%	5,3
H-31	Jato de Fogo	1%	71,9
		50%	61,5
	Inc.em Nuvem	100%	49,1
		1%	168,2
	UVCE	50%	84,0
H-32	Jato de Fogo	1%	15,2
		50%	(1)
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	52,6
	UVCE	50%	26,3
H-33	Bola de Fogo	1%	3,8
		50%	(1)
H-34	Bola de Fogo	1%	(1)
		50%	(1)
H-35	Bola de Fogo	1%	5,2
		50%	(1)
H-36	Bola de Fogo	1%	8,5
		50%	(1)
H-37	Bola de Fogo	1%	12,5
		50%	3,8

1 – Nível de fatalidade não alcançado

2 – O efeito físico não propicia as consequências esperadas na altura estudada

Continua

Continuação

Hipóteses Acidentais	Efeitos Físicos	Probabilidades de Fatalidade	Amplitude (m)
H-38	Jato de Fogo	1%	68,8
		50%	58,9
	<i>Inc.em Nuvem</i>	100%	45,9
		1%	46,6
	<i>UVCE</i>	50%	23,3
H-39		1%	14,6
<i>Inc.em Nuvem</i>	50%	(1)	
	100%	(2)	
<i>UVCE</i>	1%	46,5	
	50%	23,2	
H-40	Jato de Fogo	1%	52,9
		50%	45,3
	<i>Inc.em Nuvem</i>	100%	24,2
		1%	24,5
	<i>UVCE</i>	50%	12,2
H-41	Jato de Fogo	1%	10,5
		50%	(1)
	<i>Inc.em Nuvem</i>	100%	(2)
		1%	24,3
	<i>UVCE</i>	50%	12,2
H-42	Jato de Fogo	1%	68,8
		50%	58,9
	<i>Inc.em Nuvem</i>	100%	45,9
		1%	46,6
	<i>UVCE</i>	50%	23,3
H-43	Jato de Fogo	1%	14,6
		50%	(1)
	<i>Inc.em Nuvem</i>	100%	(2)
		1%	46,5
	<i>UVCE</i>	50%	23,2
H-44	Jato de Fogo	1%	37,9
		50%	32,7
	<i>Inc.em Nuvem</i>	100%	(2)
		1%	138,9
	<i>UVCE</i>	50%	69,3

1 – Nível de fatalidade não alcançado

2 – O efeito físico não propicia as consequências esperadas na altura estudada

Continua

Continuação

Hipóteses Accidentais	Efeitos Físicos	Probabilidades de Fatalidade	Amplitude (m)	
H-45	Jato de Fogo	1%	7,4	
		50%	5,9	
	Inc.em Nuvem	100%	(²)	
		1%	42,8	
	UVCE	50%	21,4	
H-46		1%	25,8	
		50%	22,3	
Inc.em Nuvem	100%	(²)		
	1%	104,0		
UVCE	50%	51,9		
H-47	Jato de Fogo	1%	3,4	
		50%	(¹)	
	Inc.em Nuvem	100%	(²)	
		1%	27,4	
	UVCE	50%	13,7	
H-48	Jato de Fogo	1%	25,8	
		50%	22,3	
	Inc.em Nuvem	100%	(²)	
		1%	104,0	
	UVCE	50%	51,9	
H-49	Jato de Fogo	1%	3,4	
		50%	(¹)	
	Inc.em Nuvem	100%	(²)	
		1%	27,4	
	UVCE	50%	13,7	
H-50	Bola de Fogo	1%	87,3	
		50%	55,6	
H-51	Jato de Fogo	1%	(¹)	
		50%	(¹)	
	Inc.em Nuvem	100%	(²)	
		1%	117,5	
	UVCE	50%	58,7	
H-52	Bola de Fogo	1%	263,9	
		50%	181,7	

1 – Nível de fatalidade não alcançado

2 – O efeito físico não propicia as consequências esperadas na altura estudada

Continua

Conclusão

Hipóteses Acidentais	Efeitos Físicos	Probabilidades de Fatalidade	Amplitude (m)
H-53	Jato de Fogo	1%	(1)
		50%	(1)
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	190,6
	UVCE	50%	95,2
H-54	Jato de Fogo	1%	71,9
		50%	61,5
	Inc.em Nuvem	100%	49,1
		1%	168,2
	UVCE	50%	84,0
H-55	Jato de Fogo	1%	71,9
		50%	61,5
	Inc.em Nuvem	100%	49,1
		1%	168,2
	UVCE	50%	84,0
H-56	Jato de Fogo	1%	15,2
		50%	(1)
	Inc.em Nuvem	100%	(2)
		1%	52,6
	UVCE	50%	26,3

1 – Nível de fatalidade não alcançado

2 – O efeito físico não propicia as consequências esperadas na altura estudada

ANEXO E – Freqüências de ocorrência dos eventos identificados na Análise Preliminar de Perigos.

Equipamento	Evento	Freqüência (ano ⁻¹)	Probabilidade (%)
Tubulação de 1½" em aço	Ruptura catastrófica	$1,57 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$	-
	Ruptura parcial	$3,03 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$	-
Tubulação de 2" em aço	Ruptura catastrófica	$1,30 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$	-
	Ruptura parcial	$2,61 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$	-
Tubulação de 3" em aço	Ruptura catastrófica	$8,96 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$	-
	Ruptura parcial	$1,92 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$	-
Tubulação de 4" em aço	Ruptura catastrófica	$6,16 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$	-
	Ruptura parcial	$1,42 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$	-
Tubulação de 6" em aço	Ruptura catastrófica	$2,92 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$	-
	Ruptura parcial	$7,72 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$	-
Tubulação de 8" em aço	Ruptura catastrófica	$1,38 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$	-
	Ruptura parcial	$4,20 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$	-
Válvulas em aço	Ruptura catastrófica	$8,60 \times 10^{-5}$	0,0000001374
	Ruptura parcial	$1,02 \times 10^{-4}$	0,000000163
Mecanismo pneumático	Falha ao fechar	-	0,0022
Mecanismo de excesso de fluxo	Falha ao fechar	-	0,0022
Mecanismo das válvulas de controle	Falha ao fechar	-	0,00283
Filtros	Ruptura catastrófica	$1,75 \times 10^{-3}$	-
	Ruptura parcial	$8,76 \times 10^{-3}$	-
Conectores flexíveis	Ruptura catastrófica	$2,60 \times 10^{-3}$	-
	Ruptura parcial	$2,60 \times 10^{-2}$	-
Vasos de Pressão	Ruptura catastrófica	$5,00 \times 10^{-7}$	-
Válvula de alívio de pressão	Abertura na pressão de operação	$1,00 \times 10^{-6}$	-
Erro humano	Operações de rotina	-	0,003
	Ações emergenciais simplificadas	-	0,003

ANEXO F – Freqüência de ocorrência das hipóteses acidentais para o período diurno

Hipóteses	Freqüências das Hipóteses Acidentais (ano ⁻¹)	Período	Fator de Período	Freqüências das Hipóteses Acidentais por período (ano ⁻¹)
1	3,60 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	1,80 x 10 ⁻⁸
2	4,36 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	2,18 x 10 ⁻⁸
3	3,67 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	1,84 x 10 ⁻⁸
4	4,49 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	2,25 x 10 ⁻⁸
5	9,30 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	4,65 x 10 ⁻⁹
6	1,14 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	5,70 x 10 ⁻⁹
7	4,10 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	2,05 x 10 ⁻⁹
8	4,96 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	2,48 x 10 ⁻⁹
9	7,34 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	3,67 x 10 ⁻⁸
10	6,93 x 10 ⁻⁷	Diurno	0,5	3,47 x 10 ⁻⁷
11	8,45 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	4,23 x 10 ⁻⁹
12	1,05 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	5,25 x 10 ⁻⁹
13	1,61 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	8,05 x 10 ⁻⁹
14	1,92 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	9,60 x 10 ⁻⁹
15	3,67 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	1,84 x 10 ⁻⁸
16	3,47 x 10 ⁻⁷	Diurno	0,5	1,74 x 10 ⁻⁷
17	1,00 x 10 ⁻⁶	Diurno	0,5	5,00 x 10 ⁻⁷
18	1,00 x 10 ⁻⁶	Diurno	0,5	5,00 x 10 ⁻⁷
19	1,06 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	5,30 x 10 ⁻¹⁰
20	1,38 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	6,90 x 10 ⁻¹⁰
21	9,26 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	4,63 x 10 ⁻⁹
22	1,13 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	5,65 x 10 ⁻⁹
23	7,30 x 10 ⁻¹⁰	Diurno	0,5	3,65 x 10 ⁻¹⁰
24	1,05 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	5,25 x 10 ⁻¹⁰
25	2,37 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	1,19 x 10 ⁻⁹
26	2,90 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	1,45 x 10 ⁻⁹
27	1,96 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	9,80 x 10 ⁻¹⁰
28	2,54 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	1,27 x 10 ⁻⁹
29	1,37 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	6,85 x 10 ⁻⁹
30	1,62 x 10 ⁻⁸	Diurno	0,5	8,10 x 10 ⁻⁹
31	5,64 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	2,82 x 10 ⁻⁹
32	7,11 x 10 ⁻⁹	Diurno	0,5	3,56 x 10 ⁻⁹
33	1,00 x 10 ⁻⁶	Diurno	0,5	5,00 x 10 ⁻⁷
34	1,00 x 10 ⁻⁶	Diurno	0,5	5,00 x 10 ⁻⁷
35	1,00 x 10 ⁻⁶	Diurno	0,5	5,00 x 10 ⁻⁷

Continua

Conclusão

Hipóteses	Freqüências das Hipóteses Acidentais (ano ⁻¹)	Período	Fator de Período	Freqüências das Hipóteses Acidentais por período (ano ⁻¹)
36	$1,00 \times 10^{-6}$	Diurno	0,5	$5,00 \times 10^{-7}$
37	$1,00 \times 10^{-6}$	Diurno	0,5	$5,00 \times 10^{-7}$
38	$1,45 \times 10^{-6}$	Diurno	0,5	$7,25 \times 10^{-7}$
39	$6,99 \times 10^{-6}$	Diurno	0,5	$3,50 \times 10^{-6}$
40	$6,83 \times 10^{-7}$	Diurno	0,5	$3,42 \times 10^{-7}$
41	$8,17 \times 10^{-7}$	Diurno	0,5	$4,09 \times 10^{-7}$
42	$1,89 \times 10^{-6}$	Diurno	0,5	$9,45 \times 10^{-7}$
43	$7,54 \times 10^{-6}$	Diurno	0,5	$3,77 \times 10^{-6}$
44	$3,61 \times 10^{-4}$	Diurno	0,5	$1,81 \times 10^{-4}$
45	$4,21 \times 10^{-4}$	Diurno	0,5	$2,11 \times 10^{-4}$
46	$2,19 \times 10^{-4}$	Diurno	0,5	$1,10 \times 10^{-4}$
47	$2,95 \times 10^{-4}$	Diurno	0,5	$1,48 \times 10^{-4}$
48	$1,80 \times 10^{-4}$	Diurno	0,5	$9,00 \times 10^{-5}$
49	$2,19 \times 10^{-4}$	Diurno	0,5	$1,10 \times 10^{-4}$
50	$5,00 \times 10^{-7}$	Diurno	0,5	$2,50 \times 10^{-7}$
51	$1,00 \times 10^{-6}$	Diurno	0,5	$5,00 \times 10^{-7}$
52	$4,00 \times 10^{-6}$	Diurno	0,5	$2,00 \times 10^{-6}$
53	$1,00 \times 10^{-6}$	Diurno	0,5	$5,00 \times 10^{-7}$
54	$1,27 \times 10^{-5}$	Diurno	0,5	$6,35 \times 10^{-6}$
55	$6,91 \times 10^{-4}$	Diurno	0,5	$3,46 \times 10^{-4}$
56	$8,20 \times 10^{-4}$	Diurno	0,5	$4,10 \times 10^{-4}$

ANEXO G – Freqüência de ocorrência dos efeitos físicos para o período diurno

Hipóteses Acidentais	Período	Freqüências por período (ano ⁻¹)	Efeitos Físicos	Probabilidade do Efeito Físico	Freqüências por Efeito Físico (ano ⁻¹)
H-1	Diurno	$1,80 \times 10^{-8}$	Jato de Fogo	0,1	$1,80 \times 10^{-9}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$4,05 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$4,05 \times 10^{-9}$
H-2	Diurno	$2,18 \times 10^{-8}$	Jato de Fogo	0,1	$2,18 \times 10^{-9}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$4,91 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$4,91 \times 10^{-9}$
H-3	Diurno	$1,84 \times 10^{-8}$	Jato de Fogo	0,1	$1,84 \times 10^{-9}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$4,13 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$4,13 \times 10^{-9}$
H-4	Diurno	$2,25 \times 10^{-8}$	Jato de Fogo	0,1	$2,25 \times 10^{-9}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$5,05 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$5,05 \times 10^{-9}$
H-5	Diurno	$4,65 \times 10^{-9}$	Jato de Fogo	0,1	$4,65 \times 10^{-10}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,05 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$1,05 \times 10^{-9}$
H-6	Diurno	$5,70 \times 10^{-9}$	Jato de Fogo	0,1	$5,70 \times 10^{-10}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,28 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$1,28 \times 10^{-9}$
H-7	Diurno	$2,05 \times 10^{-9}$	Jato de Fogo	0,1	$2,05 \times 10^{-10}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$4,61 \times 10^{-10}$
			UVCE	0,225	$4,61 \times 10^{-10}$
H-8	Diurno	$2,48 \times 10^{-9}$	Jato de Fogo	0,1	$2,48 \times 10^{-10}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$5,58 \times 10^{-10}$
			UVCE	0,225	$5,58 \times 10^{-10}$
H-9	Diurno	$3,67 \times 10^{-8}$	Jato de Fogo	0,1	$3,67 \times 10^{-9}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$8,26 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$8,26 \times 10^{-9}$
H-10	Diurno	$3,47 \times 10^{-7}$	Jato de Fogo	0,1	$3,47 \times 10^{-8}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$7,80 \times 10^{-8}$
			UVCE	0,225	$7,80 \times 10^{-8}$
H-11	Diurno	$4,23 \times 10^{-9}$	Jato de Fogo	0,1	$4,23 \times 10^{-10}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$9,51 \times 10^{-10}$
			UVCE	0,225	$9,51 \times 10^{-10}$

Continua

Continuação

Hipóteses Acidentais	Período	Freqüências por período (ano ⁻¹)	Efeitos Físicos	Probabilidade do Efeito Físico	Freqüências por Efeito Físico (ano ⁻¹)
H-12	Diurno	$5,25 \times 10^{-9}$	Jato de Fogo	0,1	$5,25 \times 10^{-10}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,18 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$1,18 \times 10^{-9}$
H-13	Diurno	$8,05 \times 10^{-9}$	Jato de Fogo	0,1	$8,05 \times 10^{-10}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,81 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$1,81 \times 10^{-9}$
H-14	Diurno	$9,60 \times 10^{-9}$	Jato de Fogo	0,1	$9,60 \times 10^{-10}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$2,16 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$2,16 \times 10^{-9}$
H-15	Diurno	$1,84 \times 10^{-8}$	Jato de Fogo	0,1	$1,84 \times 10^{-9}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$4,13 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$4,13 \times 10^{-9}$
H-16	Diurno	$1,74 \times 10^{-7}$	Jato de Fogo	0,1	$1,74 \times 10^{-8}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$3,90 \times 10^{-8}$
			UVCE	0,225	$3,90 \times 10^{-8}$
H-17	Diurno	$5,00 \times 10^{-7}$	Bola de Fogo	0,7	$3,50 \times 10^{-7}$
H-18	Diurno	$5,00 \times 10^{-7}$	Jato de Fogo	0,1	$5,00 \times 10^{-8}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,13 \times 10^{-7}$
			UVCE	0,225	$1,13 \times 10^{-7}$
H-19	Diurno	$5,30 \times 10^{-10}$	Jato de Fogo	0,1	$5,30 \times 10^{-11}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,19 \times 10^{-10}$
			UVCE	0,225	$1,19 \times 10^{-10}$
H-20	Diurno	$6,90 \times 10^{-10}$	Jato de Fogo	0,1	$6,90 \times 10^{-11}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,55 \times 10^{-10}$
			UVCE	0,225	$1,55 \times 10^{-10}$
H-21	Diurno	$4,63 \times 10^{-9}$	Jato de Fogo	0,1	$4,63 \times 10^{-10}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,04 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$1,04 \times 10^{-9}$
H-22	Diurno	$5,65 \times 10^{-9}$	Jato de Fogo	0,1	$5,65 \times 10^{-10}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,27 \times 10^{-9}$
			UVCE	0,225	$1,27 \times 10^{-9}$
H-23	Diurno	$3,65 \times 10^{-10}$	Jato de Fogo	0,1	$3,65 \times 10^{-11}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$8,21 \times 10^{-11}$
			UVCE	0,225	$8,21 \times 10^{-11}$

Continua

Continuação

Hipóteses Acidentais	Período	Freqüências por período (ano ⁻¹)	Efeitos Físicos	Probabilidade do Efeito Físico	Freqüências por Efeito Físico (ano ⁻¹)
H-24	Diurno	5,25 x 10 ⁻¹⁰	Jato de Fogo	0,1	5,25 x 10 ⁻¹¹
			Inc.em Nuvem	0,225	1,18 x 10 ⁻¹⁰
			UVCE	0,225	1,18 x 10 ⁻¹⁰
H-25	Diurno	1,19 x 10 ⁻⁹	Jato de Fogo	0,1	1,19 x 10 ⁻¹⁰
			Inc.em Nuvem	0,225	2,67 x 10 ⁻¹⁰
			UVCE	0,225	2,67 x 10 ⁻¹⁰
H-26	Diurno	1,45 x 10 ⁻⁹	Jato de Fogo	0,1	1,45 x 10 ⁻¹⁰
			Inc.em Nuvem	0,225	3,26 x 10 ⁻¹⁰
			UVCE	0,225	3,26 x 10 ⁻¹⁰
H-27	Diurno	9,80 x 10 ⁻¹⁰	Jato de Fogo	0,1	9,80 x 10 ⁻¹¹
			Inc.em Nuvem	0,225	2,21 x 10 ⁻¹⁰
			UVCE	0,225	2,21 x 10 ⁻¹⁰
H-28	Diurno	1,27 x 10 ⁻⁹	Jato de Fogo	0,1	1,27 x 10 ⁻¹⁰
			Inc.em Nuvem	0,225	2,86 x 10 ⁻¹⁰
			UVCE	0,225	2,86 x 10 ⁻¹⁰
H-29	Diurno	6,85 x 10 ⁻⁹	Jato de Fogo	0,1	6,85 x 10 ⁻¹⁰
			Inc.em Nuvem	0,225	1,54 x 10 ⁻⁹
			UVCE	0,225	1,54 x 10 ⁻⁹
H-30	Diurno	8,10 x 10 ⁻⁹	Jato de Fogo	0,1	8,10 x 10 ⁻¹⁰
			Inc.em Nuvem	0,225	1,82 x 10 ⁻⁹
			UVCE	0,225	1,82 x 10 ⁻⁹
H-31	Diurno	2,82 x 10 ⁻⁹	Jato de Fogo	0,1	2,82 x 10 ⁻¹⁰
			Inc.em Nuvem	0,225	6,35 x 10 ⁻¹⁰
			UVCE	0,225	6,35 x 10 ⁻¹⁰
H-32	Diurno	3,56 x 10 ⁻⁹	Jato de Fogo	0,1	3,56 x 10 ⁻¹⁰
			Inc.em Nuvem	0,225	8,00 x 10 ⁻¹⁰
			UVCE	0,225	8,00 x 10 ⁻¹⁰
H-33	Diurno	5,00 x 10 ⁻⁷	Bola de Fogo	0,7	3,50 x 10 ⁻⁷
H-34	Diurno	5,00 x 10 ⁻⁷	Bola de Fogo	0,7	3,50 x 10 ⁻⁷
H-35	Diurno	5,00 x 10 ⁻⁷	Bola de Fogo	0,7	3,50 x 10 ⁻⁷
H-36	Diurno	5,00 x 10 ⁻⁷	Bola de Fogo	0,7	3,50 x 10 ⁻⁷
H-37	Diurno	5,00 x 10 ⁻⁷	Bola de Fogo	0,7	3,50 x 10 ⁻⁷
H-38	Diurno	7,25 x 10 ⁻⁷	Jato de Fogo	0,1	7,25 x 10 ⁻⁸
			Inc.em Nuvem	0,225	1,63 x 10 ⁻⁷
			UVCE	0,225	1,63 x 10 ⁻⁷

Continua

Continuação

Hipóteses Acidentais	Período	Freqüências por período (ano ⁻¹)	Efeitos Físicos	Probabilidade do Efeito Físico	Freqüências por Efeito Físico (ano ⁻¹)
H-39	Diurno	$3,50 \times 10^{-6}$	Jato de Fogo	0,1	$3,50 \times 10^{-7}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$7,86 \times 10^{-7}$
			UVCE	0,225	$7,86 \times 10^{-7}$
H-40	Diurno	$3,42 \times 10^{-7}$	Jato de Fogo	0,1	$3,42 \times 10^{-8}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$7,68 \times 10^{-8}$
			UVCE	0,225	$7,68 \times 10^{-8}$
H-41	Diurno	$4,09 \times 10^{-7}$	Jato de Fogo	0,1	$4,09 \times 10^{-8}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$9,19 \times 10^{-8}$
			UVCE	0,225	$9,19 \times 10^{-8}$
H-42	Diurno	$9,45 \times 10^{-7}$	Jato de Fogo	0,1	$9,45 \times 10^{-8}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$2,13 \times 10^{-7}$
			UVCE	0,225	$2,13 \times 10^{-7}$
H-43	Diurno	$3,77 \times 10^{-6}$	Jato de Fogo	0,1	$3,77 \times 10^{-7}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$8,48 \times 10^{-7}$
			UVCE	0,225	$8,48 \times 10^{-7}$
H-44	Diurno	$1,81 \times 10^{-4}$	Jato de Fogo	0,1	$1,81 \times 10^{-5}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$4,06 \times 10^{-5}$
			UVCE	0,225	$4,06 \times 10^{-5}$
H-45	Diurno	$2,11 \times 10^{-4}$	Jato de Fogo	0,1	$2,11 \times 10^{-5}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$4,74 \times 10^{-5}$
			UVCE	0,225	$4,74 \times 10^{-5}$
H-46	Diurno	$1,10 \times 10^{-4}$	Jato de Fogo	0,1	$1,10 \times 10^{-5}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$2,46 \times 10^{-5}$
			UVCE	0,225	$2,46 \times 10^{-5}$
H-47	Diurno	$1,48 \times 10^{-4}$	Jato de Fogo	0,1	$1,48 \times 10^{-5}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$3,32 \times 10^{-5}$
			UVCE	0,225	$3,32 \times 10^{-5}$
H-48	Diurno	$9,00 \times 10^{-5}$	Jato de Fogo	0,1	$9,00 \times 10^{-6}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$2,03 \times 10^{-5}$
			UVCE	0,225	$2,03 \times 10^{-5}$
H-49	Diurno	$1,10 \times 10^{-4}$	Jato de Fogo	0,1	$1,10 \times 10^{-5}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$2,46 \times 10^{-5}$
			UVCE	0,225	$2,46 \times 10^{-5}$
H-50	Diurno	$2,50 \times 10^{-7}$	Bola de Fogo	0,7	$1,75 \times 10^{-7}$

Continua

Conclusão

Hipóteses Acidentais	Período	Freqüências por período (ano ⁻¹)	Efeitos Físicos	Probabilidade do Efeito Físico	Freqüências por Efeito Físico (ano ⁻¹)
H-51	Diurno	$5,00 \times 10^{-7}$	Jato de Fogo	0,1	$5,00 \times 10^{-8}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,13 \times 10^{-7}$
			UVCE	0,225	$1,13 \times 10^{-7}$
H-52	Diurno	$2,00 \times 10^{-6}$	Bola de Fogo	0,7	$1,40 \times 10^{-6}$
H-53	Diurno	$5,00 \times 10^{-7}$	Jato de Fogo	0,1	$5,00 \times 10^{-8}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,13 \times 10^{-7}$
			UVCE	0,225	$1,13 \times 10^{-7}$
H-54	Diurno	$6,35 \times 10^{-6}$	Jato de Fogo	0,1	$6,35 \times 10^{-7}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$1,43 \times 10^{-6}$
			UVCE	0,225	$1,43 \times 10^{-6}$
H-55	Diurno	$3,46 \times 10^{-4}$	Jato de Fogo	0,1	$3,46 \times 10^{-5}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$7,77 \times 10^{-5}$
			UVCE	0,225	$7,77 \times 10^{-5}$
H-56	Diurno	$4,10 \times 10^{-4}$	Jato de Fogo	0,1	$4,10 \times 10^{-5}$
			Inc.em Nuvem	0,225	$9,23 \times 10^{-5}$
			UVCE	0,225	$9,23 \times 10^{-5}$

ANEXO H – Layout da instalação com identificação dos pontos de liberação das hipóteses acidentais

APÊNDICE A – Dados de entrada para realização das modelagens matemáticas de conseqüências no software PHAST

Hipótese Acidental	Tipo de Vazamento	Fase Vazada	Inventário (kg)	Pressão (kgf/cm ²)	Temperatura (°C)	Tempo de Vazamento (s)	Dâmetro do Vazamento (polegadas)	H do Ponto de Vazamento (m)	H da Coluna de Líquido (m)	Direção do Vazamento	Singularidades
H-1	Rupt.Linha	Líquida	1.000.000	Saturação	25 (ambiente)	600	6	1,0	2,8	Horizontal	80 m de linha 1 válvula
H-2	Rupt.Linha	Líquida	1.000.000	Saturação	25 (ambiente)	600	1,2	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-1
H-3	Rupt.Linha	Líquida	1.000.000	Saturação	25 (ambiente)	600	4	1,0	2,8	Horizontal	100 m de linha 4 válvulas
H-4	Rupt.Linha	Líquida	1.000.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,8	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-3
H-5	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	4	1,0	2,8	Horizontal	2 válvulas
H-6	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,8	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-5
H-7	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	3	1,0	2,8	Horizontal	45 m de linha 3 válvulas
H-8	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,6	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-7
H-9	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	2	1,0	2,8	Horizontal	55 m de linha 8 válvulas
H-10	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,4	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-9
H-11	Rupt.Linha	Gasosa	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	3	1,0	-	Horizontal	2 válvulas
H-12	Rupt.Linha	Gasosa	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,6	1,0	-	Horizontal	Idem à H-13
H-13	Rupt.Linha	Gasosa	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	2	1,0	-	Horizontal	45 m de linha 3 válvulas
H-14	Rupt.Linha	Gasosa	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,4	1,0	-	Horizontal	Idem à H-15
H-15	Rupt.Linha	Gasosa	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	1½	1,0	-	Horizontal	55 m de linha 3 válvulas

Continua

Continuação

Hipótese Acidental	Tipo de Vazamento	Fase Vazada	Inventário (kg)	Pressão (kgf/cm ²)	Temperatura (°C)	Tempo de Vazamento (s)	Diametro do Vazamento (polegadas)	H do Ponto de Vazamento (m)	H da Coluna de Líquido (m)	Direção do Vazamento	Singularidades
H-16	Rupt.Linha	Gasosa	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,3	1,0	-	Horizontal	Idem à H-17
H-17	Ruptura catastrófica	Líquida	10.000	Saturação	25 (ambiente)	Instantâneo	Ruptura total do vaso	-	-	-	-
H-18	Válvula de alívio	Gasosa	10.000	17,50	Saturação	600	1 1/2	3,0	-	Vertical	1 válvula
H-19	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	8	1,0	2,8	Horizontal	5 m de linha 3 válvulas
H-20	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	1,6	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-21
H-21	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	4	1,0	2,8	Horizontal	2 válvulas
H-22	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,8	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-23
H-23	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	4	1,0	2,8	Horizontal	10 m de linha 2 válvulas
H-24	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,8	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-25
H-25	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	3	1,0	2,8	Horizontal	50 m de linha 2 válvulas
H-26	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,6	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-27
H-27	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	2	1,0	2,8	Horizontal	1 válvula
H-28	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,4	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-29
H-29	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	1/2	1,0	2,8	Horizontal	65 m de linha 3 válvulas

Continua

Continuação

Hipótese Acidental	Tipo de Vazamento	Fase Vazada	Inventário (kg)	Pressão (kgf/cm ²)	Temperatura (°C)	Tempo de Vazamento (s)	Diâmetro do Vazamento (polegadas)	H do Ponto de Vazamento (m)	H da Coluna de Líquido (m)	Direção do Vazamento	Singularidades
H-30	Rupt. Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,1	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-31
H-31	Rupt. Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	2	1,0	2,8	Horizontal	1 válvula
H-32	Rupt. Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,4	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-33
H-33	Ruptura catastrófica	Líquida	13	Saturação	25 (ambiente)	Instantâneo	Ruptura total do vaso	-	-	-	-
H-34	Ruptura catastrófica	Líquida	2	Saturação	25 (ambiente)	Instantâneo	Ruptura total do vaso	-	-	-	-
H-35	Ruptura catastrófica	Líquida	20	Saturação	25 (ambiente)	Instantâneo	Ruptura total do vaso	-	-	-	-
H-36	Ruptura catastrófica	Líquida	45	Saturação	25 (ambiente)	Instantâneo	Ruptura total do vaso	-	-	-	-
H-37	Ruptura catastrófica	Líquida	90	Saturação	25 (ambiente)	Instantâneo	Ruptura total do vaso	-	-	-	-
H-38	Rupt. Linha	Líquida	90	Saturação	25 (ambiente)	600	2	1,0	1,0	Horizontal	1 m de linha 2 válvulas
H-39	Rupt. Linha	Líquida	90	Saturação	25 (ambiente)	600	0,4	1,0	1,0	Horizontal	Idem à H-40
H-40	Rupt. Linha	Líquida	13	Saturação	25 (ambiente)	600	1½	1,0	1,0	Horizontal	1 válvula
H-41	Rupt. Linha	Líquida	13	Saturação	25 (ambiente)	600	0,3	1,0	1,0	Horizontal	Idem à H-42
H-42	Rupt. Linha	Líquida	90	Saturação	25 (ambiente)	600	2	1,0	1,0	Horizontal	1 válvula
H-43	Rupt. Linha	Líquida	90	Saturação	25 (ambiente)	600	0,4	1,0	1,0	Horizontal	Idem à H-44
H-44	Rupt. Linha	Gasosa	4.700	Saturação	25 (ambiente)	600	2	1,0	2,0	Horizontal	1 válvula

Continua

Conclusão

Hipótese Acidental	Tipo de Vazamento	Fase Vazada	Inventário (kg)	Pressão (kgf/cm ²)	Temperatura (°C)	Tempo de Vazamento (s)	Diâmetro do Vazamento (polegadas)	H do Ponto de Vazamento (m)	H da Coluna de Líquido (m)	Direção do Vazamento	Singularidades
H-45	Rupt.Linha	Gasosa	4.700	Saturação	25 (ambiente)	600	0,4	1,0	2,0	Horizontal	Idem à H-48
H-46	Rupt.Linha	Gasosa	4.700	Saturação	25 (ambiente)	600	1½	1,0	2,0	Horizontal	5 m de linha 1 válvula
H-47	Rupt.Linha	Gasosa	4.700	Saturação	25 (ambiente)	600	0,3	1,0	2,0	Horizontal	Idem à H-50
H-48	Rupt.Linha	Gasosa	4.700	Saturação	25 (ambiente)	600	1½	1,0	2,0	Horizontal	5 m de linha 1 válvula
H-49	Rupt.Linha	Gasosa	4.700	Saturação	25 (ambiente)	600	0,3	1,0	2,0	Horizontal	Idem à H-52
H-50	Ruptura catastrófica	Líquida	4.700	Saturação	25 (ambiente)	Instantâneo	Ruptura total do vaso	-	-	Horizontal	Idem à H-53
H-51	Válvula de alívio	Gasosa	4.700	17,50	Saturação	600	1	2,5	-	Vertical	1 válvula
H-52	Ruptura catastrófica	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	Instantâneo	Ruptura total do vaso	-	-	-	-
H-53	Válvula de alívio	Gasosa	55.000	17,50	Saturação	600	1	3,5	-	Vertical	1 válvula
H-54	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	2	1,0	2,8	Horizontal	1 m de linha 3 válvulas
H-55	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	2	1,0	2,8	Horizontal	1 válvula
H-56	Rupt.Linha	Líquida	55.000	Saturação	25 (ambiente)	600	0,4	1,0	2,8	Horizontal	Idem à H-59

APÊNDICE B – Exemplos de relatórios obtidos durante a modelagem matemática das consequências realizadas com o software PHAST

SUMMARY REPORT

Study Folder: USP - GLP

Unique Audit Number: 11,256



PHAST v6.1

USP - GLP

Monografia

H-1
Base Case

User-Defined Data

Material

Material Identifier	GLP
Material to Track	GLP
Type of Vessel	Saturated Liquid (Equilibrium vapor/liquid)
Pressure Specification	Pressure not used
Discharge Temperature	25 C
Inventory of material to discharge	1E6 kg

Scenario

Type of Event	Line leak
Phase	Liquid
Supply Pump Head	No
Tank Head	2.8 m
Number of Excess Flow Valves	0
Number of Non-Return Valves	0
Number of Shut-Off Valves	1

Pipe

Pipe Diameter	152.4 mm
Line length	80 m

Vessel/Tank

Building Wake Option	None
----------------------	------

Location

[Elevation	1 m]
Northern location of dispersion source	0 m
Eastern location of dispersion source	0 m
Status of Dike	No dike present
ERPG selection	ERPG is not set
IDLH selection	IDLH is not set
STEL selection	STEL is not set
User Defined Averaging	No user defined averaging time supplied

Indoor/Outdoor

Outdoor Release Direction	Horizontal
---------------------------	------------

Dispersion

Ignition Location	No ignition location
Inventory of material to Disperse	1E6 kg

CASE Name: Data

Discharge Data

User-Defined Quantities

Material	GLP
Temperature	25.00 C
Pressure	7.20 bar
Inventory	1,000,000.00 kg
Scenario	Line leak

Calculated Quantities

Weather: Global Weathers\Dia

SUMMARY REPORT

Study Folder: USP - GLP

Unique Audit Number: 11,256



PHAST v6.1

Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space Only) n/a kg/s

Average Values for Segment Number 1

Liquid Fraction	0.68 fraction
Final Temperature	-34.65 C
Final Velocity	169.16 m/s
Droplet Diameter	0.01 mm
Continuous Release Data:	
Mass Flowrate	3.42047E+001 kg/s
Release Duration	600.00 s
Orifice Velocity	45.11 m/s
Exit Pressure	3.34 bar
Exit Temperature	-1.81 C
Discharge Coefficient	0.60
Expanded Radius	0.09 m

Weather: Global Weathers\Noite

Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space Only) n/a kg/s

Average Values for Segment Number 1

Liquid Fraction	0.68 fraction
Final Temperature	-34.65 C
Final Velocity	169.16 m/s
Droplet Diameter	0.01 mm
Continuous Release Data:	
Mass Flowrate	3.42047E+001 kg/s
Release Duration	600.00 s
Orifice Velocity	45.11 m/s
Exit Pressure	3.34 bar
Exit Temperature	-1.81 C
Discharge Coefficient	0.60
Expanded Radius	0.09 m

Consequence Results

Distance to Concentration Results

Concentration(ppm)	Averaging Time		Dia	Distance (m)
UFL (97270.2)	20	s	No Hazard	Noite
LFL (17776.4)	20	s	124.411	150.357
LFL Frac (17776.4)	20	s	124.411	150.357

Jet Fire Hazard

Jet Fire Status	Dia	Noite
	Hazard	Hazard

Radiation Effects: Jet Fire Ellipse

		Dia	Distance (m)
Radiation Level	4	171.227	Noite
Radiation Level	12.5	142.838	181.247
Radiation Level	37.5	122.413	153.153

Flash Fire Envelope

Distance (m)

SUMMARY REPORT

Study Folder: USP - GLP

Unique Audit Number: 11,256



PHAST v6.1

			Dia	Noite
Furthest Extent	17776.4	ppm	124.411	150.357
Furthest Extent	17776.4	ppm	124.411	150.357

Explosion Effects: Early Explosion

Early Explosions are assumed to be centered at the release location
Explosion Model Used : TNT

Supplied Flammable Mass	kg	Dia	Noite
		20522.8	20522.8

			Distance (m) at Overpressure Levels	
			Dia	Noite
Overpressure	0.1	bar	283.306	283.306
Overpressure	0.3	bar	141.465	141.465
Overpressure	0.3	bar	141.465	141.465

			Used Mass (kg) at Overpressure Levels	
			Dia	Noite
Overpressure	0.1	bar	19556.1	19556.1
Overpressure	0.3	bar	19556.1	19556.1
Overpressure	0.3	bar	19556.1	19556.1

Weather Conditions

		Dia	Noite
Wind Speed	m/s	3	2
Pasquill Stability		C	E
Surface Roughness Parameter		0.17	0.17
Atmospheric Temperature	C	25	20
Surface Temperature	C	30	25
Relative Humidity	fraction	0.8	0.8

SUMMARY REPORT

Study Folder: USP - GLP

Unique Audit Number: 18,920



PHAST v6.1

USP - GLP

Monografia

H-50 - 50%
Base Case

User-Defined Data

Material	Material Identifier	GLP
Location	Northern location of dispersion source Eastern location of dispersion source Status of Dike	0 m 0 m No dike present
Bleve	BLEVE Flammable Mass Vapor Fraction Flame Shape Flame Emissive Power	4700 kg 1 fraction Use Correlation Use Correlation
Radiation Ellipse	Inclination Given Radiation Ellipse Option Radiation Ellipse: Lethality Level	No Lethality Level 50 percent

CASE Name: Data

Consequence Results

BLEVE/Fireball Hazard

BLEVE Flame Status	Dia	Noite
	Hazard	Hazard

Radiation Effects: BLEVE/Fireball Ellipse

Radiation Level	74.981	kW/m ²	Dia	Distance (m)
			55.5565	54.3043

Weather Conditions

Wind Speed	m/s	Dia	Noite
Pasquill Stability		C	E
Surface Roughness Parameter		0.17	0.17
Atmospheric Temperature	C	25	20
Surface Temperature	C	30	25
Relative Humidity	fraction	0.8	0.8

SUMMARY REPORT

Study Folder: USP - GLP

Unique Audit Number: 18,920



PHAST v6.1

USP - GLP

Monografia

H-50 - 1%
Base Case

User-Defined Data

Material	Material Identifier	GLP
Location	Northern location of dispersion source Eastern location of dispersion source Status of Dike	0 m 0 m No dike present
Bleve	BLEVE Flammable Mass Vapor Fraction Flame Shape Flame Emissive Power	4700 kg 1 fraction Use Correlation Use Correlation
Radiation Ellipse	Inclination Given Radiation Ellipse Option Radiation Ellipse: Lethality Level	No Lethality Level 1 percent
CASE Name:	Data	

Consequence Results

BLEVE/Fireball Hazard

BLEVE Flame Status	Dia	Noite
Hazard	Hazard	Hazard

Radiation Effects: BLEVE/Fireball Ellipse

Radiation Level	37.9285	kW/m ²	Dia	Distance (m)
			87.2834	86.4693

Weather Conditions

Wind Speed	m/s	Dia	Noite
Pasquill Stability		C	E
Surface Roughness Parameter		0.17	0.17
Atmospheric Temperature	C	25	20
Surface Temperature	C	30	25
Relative Humidity	fraction	0.8	0.8

APÊNDICE C – Levantamento das taxas de falhas e probabilidades de falhas para os equipamentos e modos de falha.

Tubulação em Aço

De acordo com Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) 1994, a ocorrência de rupturas catastróficas e parciais em tubulações de aço é apresentada como sendo função do diâmetro da tubulação ou da ruptura parcial estudada, conforme as eq.(B.1) e (B.2).

$$\text{Ruptura catastrófica: } \text{Log}_{10}\lambda = - ((0,0064 \times \varnothing_{\text{linha}}) + 5,56) \quad (\text{B.1})$$

$$\text{Ruptura parcial: } \text{Log}_{10}\lambda = - ((0,026 \times \varnothing_{\text{furo}}) + 5,32) \quad (\text{B.2})$$

Onde: λ é a taxa de falhas para cada metro de tubulação, por ano ($\text{m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)

$\varnothing_{\text{linha}}$ é o diâmetro da linha em mm

$\varnothing_{\text{furo}}$ é o diâmetro do furo em mm

Assim foram calculadas as freqüências de ocorrência de rupturas catastróficas e rupturas parciais com diâmetro equivalente a 20% da tubulação para os diâmetros de 1½", 2", 3", 4", 6" e 8", sendo obtidos os valores apresentados a seguir.

Tabela C.1 – Valores de Freqüência de Ocorrência para Tubulações

Diâmetro da Tubulação	Freqüências de Ocorrência	
	Ruptura Catastrófica	Ruptura Parcial (20%)
1½"	$1,57 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	$3,03 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$
2"	$1,30 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	$2,61 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$
3"	$8,96 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	$1,92 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$
4"	$6,16 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	$1,42 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$
6"	$2,92 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	$7,72 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$
8"	$1,38 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	$4,20 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$

Conectores Flexíveis

Para as freqüências de ocorrência de ruptura catastrófica dos conectores flexíveis foi adotado o valor de $2,6 \times 10^{-3} \text{ ano}^{-1}$. (LEES, 1996)

Segundo Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) 1994 a freqüência de ocorrência de rupturas parciais em conectores flexíveis é assumida como sendo 10 vezes maior que a de rupturas catastróficas, sendo assim adotada a freqüência de $2,6 \times 10^{-2} \text{ ano}^{-1}$.

Válvulas em Aço

Embora estejam presentes na instalação diferentes tipos de válvulas, Lees (1996) apresenta uma relação de taxas de falhas para diversos equipamentos, onde pode-se concluir que a taxa de ocorrência de acidentes de ruptura catastrófica não varia de acordo com o tipo de atuação da válvula, e sim em função do material de que a mesma é constituída.

Como neste caso estão presentes na instalação válvulas próprias para gás liquefeito de petróleo, onde são considerados os parâmetros de operação da substância para o projeto das mesmas, conclui-se que é aplicável um mesmo valor de freqüência de ocorrência de ruptura catastrófica para quaisquer que sejam as válvulas presentes, sendo este de $8,60 \times 10^{-5}$ ano⁻¹, para cada equipamento.

Nesta referência não foram encontrados valores para a ocorrência de rupturas parciais em válvulas, porém em um estudo realizado com base nos dados presentes em Offshore Reliability Data (OREDA) 1997, apresentado no Apêndice D deste trabalho, obteve-se o valor de $1,02 \times 10^{-4}$ ano⁻¹ para a ocorrência de médios vazamentos em válvulas manuais, podendo este tipo de vazamento ser empregado na ruptura parcial aqui estudada, uma vez que foram estudadas as classes de grandes vazamentos e médios vazamentos.

Cabe lembrar que os valores obtidos foram aplicados à ocorrência de ruptura catastrófica e ruptura parcial de válvulas manuais em aço, válvulas de retenção em aço, válvulas de excesso de fluxo em aço, válvulas de controle em aço, válvulas de engate rápido em aço, válvulas de enchimento em aço e válvulas *pull-away* em aço.

Os valores obtidos estão apresentados em ocorrências por ano, sendo que em algumas hipóteses acidentais, quando da utilização destes equipamentos como sistemas de segurança, é necessária a aplicação de probabilidades de falha por demanda (FDTc), sendo calculada através da indisponibilidade média para sistemas de segurança, dada pela eq.(B.3). (CETESB, 2001)

$$FDTc = \frac{1}{2} \times \lambda \times T \quad (B.3)$$

Onde: λ é a taxa de falhas por ano (ano⁻¹)

T é o intervalo entre testes com base anual

Como as válvulas do sistema de segurança da instalação são utilizadas também durante as operações, pode-se afirmar que a freqüência entre testes nestes equipamentos é de, minimamente, uma vez a cada jornada operacional da instalação, sendo esta de segunda-feira a sábado. Assim têm-se que são realizados 313 testes por ano.

Aplicando os valores obtidos para os eventos de ruptura catastrófica e ruptura parcial das válvulas e a periodicidade entre testes destes equipamentos, obteve-se, através da eq.(B.3) os valores de indisponibilidade média para este tipo de sistema de segurança.

$$\text{Ruptura catastrófica} \quad \text{FDTc} = \frac{1}{2} \times 8,60 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1} \times 0,003196 \text{ ano}$$

$$\text{FDTc} = 0,0000001374$$

$$\text{Ruptura parcial} \quad \text{FDTc} = \frac{1}{2} \times 1,02 \times 10^{-4} \text{ ano}^{-1} \times 0,003196 \text{ ano}$$

$$\text{FDTc} = 0,000000163$$

Falha ao Fechar em Válvulas de Controle

Para a ocorrência de falhas ao fechar em válvulas de controle foi adotado o valor apresentado para válvulas atuadas por sinal elétrico, sendo este de $2,83 \times 10^{-3}$, para a ocorrência de falha em mudar de posição na demanda. (AIChE, 1989)

Falha ao Fechar do Mecanismo Pneumático das Válvulas Pneumáticas com Dispositivo de Excesso de Fluxo

Para a ocorrência de falhas ao fechar do mecanismo citado foi adotado o valor apresentado para válvulas atuadas por ar, sendo este de $2,20 \times 10^{-3}$, para a ocorrência de falha em mudar de posição na demanda. (AIChE, 1989)

Falha ao Fechar do Mecanismo de Excesso de Fluxo das Válvulas Pneumáticas com Dispositivo de Excesso de Fluxo e de Válvulas de Excesso de Fluxo

Para a ocorrência de falhas ao fechar do mecanismo citado foi adotado o valor apresentado para válvulas atuadas automaticamente, uma vez que este dispositivo não necessita de atuação local ou remota por parte do operador, sendo este de $2,2 \times 10^{-3}$, para a ocorrência de falha em mudar de posição na demanda. (AIChE, 1989)

Filtros de GLP em Aço

Para a ocorrência de ruptura catastrófica em filtros de linha foi feita uma análise em cima do único valor encontrado nas referências consultadas, sendo este de $8,76 \times 10^{-3}$ ano $^{-1}$. (LEES, 1996)

Este valor é referente a ocorrência de vazamentos em filtros, sendo apresentando na mesma tabela um valor para entupimento de filtros, com a ordem de grandeza equivalente à este. Em consulta à referência Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) 1994, a qual discorre, mesmo que pouco, sobre a diferença entre a ordem de grandeza dos valores aplicados a grandes vazamentos e a pequenos vazamentos, encontrou-se as seguintes informações:

- a taxa de falha de ruptura parcial (um furo com diâmetro efetivo de 10 mm) é assumida como sendo 10 vezes maior que a taxa de falha de ruptura catastrófica;
- as freqüências de falha de ruptura parcial (com diâmetro efetivo a 10% do diâmetro da tubulação) são assumidas como sendo 5 vezes maior que a freqüência de falha de ruptura catastrófica;
- um furo é definido com uma freqüência de falha igual a 5 vezes a freqüência de falha de ruptura catastrófica;
- a freqüência de uma ruptura parcial é assumida como sendo 10 vezes a freqüência da ruptura catastrófica de conectores flexíveis e braços de carregamento.

Diante do conteúdo exposto, e pelo fato de não se ter dados aplicáveis a ocorrência de ruptura catastrófica em filtros, foi adotado, baseados nos valores apontados para os fatores de correção entre furos e rupturas, que a ocorrência de rupturas parciais em filtros, para este trabalho, é 5 vezes maior que a ocorrência de rupturas catastróficas nestes equipamentos, obtendo-se o valor de $1,75 \times 10^{-3}$ ano $^{-1}$.

Vasos de Pressão

Para a ocorrência de ruptura catastrófica de vasos de pressão não foram analisadas as causas separadamente, uma vez que foi encontrado um valor já definido para o evento em questão, sendo este de $5,00 \times 10^{-7}$ ano $^{-1}$, para cada equipamento. (TNO, 1994)

Válvula de Alívio de Pressão

Para a ocorrência de abertura da válvula de alívio de pressão foi identificado como evento básico a ocorrência de um incêndio na instalação, uma vez que a pressão de operação das bombas e equipamentos envolvidos nas operações são limitados à pressão de operação do gás liquefeito de petróleo no sistema, de maneira a eliminar a possibilidade da ocorrência de um aumento de pressão gerado durante uma transferência de substância.

Assim, a freqüência de ocorrência de grandes incêndios em instalações é dada como sendo $1,00 \times 10^{-6}$ ano⁻¹, sendo esta aplicada à ocorrência de abertura das válvulas de alívio de pressão na pressão de operação das mesmas. (RIJNMOND, 1982)

Erros Humanos

Tanto para a ocorrência de erros humanos nas condições operacionais de rotina, no caso de realização da operação de drenagem dos vasos de pressão de armazenamento, como também na realização de uma ação emergencial simplificada, representando o acionamento de uma botoeira de emergência durante a eventual ocorrência de um vazamento de GLP ou a comunicação, via rádio, do operador da Refinaria, foi adotada probabilidade de falha do operador em desencadear uma ação prevista em procedimento, apresentada como sendo 0,003. (RIJNMOND, 1982)

APÊNDICE D – Metodologia empregada para obtenção da taxa de ocorrência de médios vazamentos em válvulas

Para a obtenção da taxa de falha para a tipologia accidental de médio vazamento foram aplicados os valores obtidos nesta análise, em porcentagem, sob os valores de taxas de falha adotados para a ocorrência de grandes vazamentos, já apresentados anteriormente, obtendo-se assim a taxa de falha para o modo de falha de interesse, no caso a perda de contenção da substância, e posteriormente a tipologia accidental de médio vazamento buscada. Representando o exposto acima temos que:

$$\text{T.F. Perda de Contenção} = \text{T.F. G}^{\text{de}} \text{ Vaz.} + \text{T.F. Médio Vaz.}$$

Onde:

T.F. G^{de} Vaz. Taxa de Falha para Grandes Vazamentos

Prob. G^{de} Vaz. Probabilidade de Grande Vazamento

T.F. EXL Taxa de Falha para Vazamentos Externos para o Meio Ambiente

Cabe informar que para este tipo de análise foi eliminada a possibilidade de ocorrência de pequenos vazamentos, estando a probabilidade de ocorrência dos mesmos agregada a tipologia accidental de médios vazamentos, uma vez que nesta análise tal tipologia levará em conta todos os vazamentos através de lacres e juntas existentes nas válvulas, representados na bibliografia por selos.

Cabe ainda esclarecer que as taxas de falha adotadas para a tipologia accidental de grande vazamento foram retiradas de outras referências bibliográficas, relativas a instalações terrestres, pelo motivo de que estas representam melhor a realidade da instalação em questão, onde não há um ambiente com intempéries tão agressivas como é o caso de uma plataforma marítima, a qual é tratada por Offshore Reliability Data (OREDA) 1997.

Como o objeto desta análise são as tipologias accidentais relativas a perda de contenção da substância, sendo estas representadas por médios e grandes vazamentos, será adotado o modo de falha de vazamento externo para o meio ambiente como sendo o evento causador das tipologias accidentais. Desta maneira, será dividido o evento escolhido nas distintas tipologias accidentais de médio e grande vazamento, sendo que para isto adotou-se a manutenibilidade dos itens presentes no equipamento alvo do estudo, no caso as válvulas, para o modo de falha selecionado.

Para facilitar o entendimento da análise a referência bibliográfica traz o equipamento, objeto do estudo, dividido em 3 (três) sistemas. São estes: Sistema da Válvula e Atuador, Sistema de Controle e Monitoramento (aplicado somente para válvulas de operação motorizada) e Sistemas Variados. Em cada um destes sistemas estão presentes os itens responsáveis por gerar a necessidade de manutenção no equipamento, sendo estes:

Sistema da Válvula e Atuador

Corpo da válvula

Base da válvula

Selos

Atuadores

Subsistemas*

Sistema de Controle e Monitoramento (válvulas de operação motorizada)

Sensores

Transmissores de sinal

Unidades de Controle

Dispositivos de atuação

Display de monitoramento

Suprimento de energia

Subsistemas*

Sistemas Variados

Outros

Subsistemas*

Assim, para cada item listado acima é apresentada uma freqüência de manutenção gerada pela ocorrência de cada um dos modos de falha do equipamento. Neste estudo, no qual o interesse são os modos de falha que causem vazamentos para o meio, serão estudadas, conforme já citado anteriormente, as freqüências relativas aos itens onde tenha sido constatada a ocorrência de vazamento externo para o meio ambiente.

É necessário ainda se fazer uma distinção entre os itens presentes no equipamento que possam causar médios vazamentos e os itens que possam causar grandes vazamentos, para que sejam calculadas as porcentagens referentes a cada

* O item subsistema está presente em todas as categorias de sistemas.

uma das tipologias accidentais. Foi adotada como precursora da tipologia de médios vazamentos a ocorrência de vazamentos através dos selos presentes nas válvulas, e para grandes vazamentos a ocorrência de vazamentos nos demais itens presentes nos Sistemas da Válvula e Atuador, de Controle e Monitoramento e Variado.

Sendo assim, estão apresentadas para cada tipo de válvula presente na instalação, as freqüências de manutenibilidade em porcentagem, segundo cada item presente nos sistemas citados acima, os quais serão aplicados nos valores de taxas de falha para grandes vazamentos adotados para cada tipo de válvula.

Segundo Offshore Reliability Data (OREDA) 1997, os vazamentos externos para o meio ambiente (*External Leakage to environment*) correspondem a 9,26% do total dos modos de falha ocorridos neste tipo de válvula, sendo este valor proveniente de falhas nos seguintes componentes:

- Atuador: 1,85%;
 - Selos: 5,56%;
 - Subsistemas (geral): 1,85%
- Total : 9,26%

Devido ao fato de analisarmos somente este modo de falha, por este ser o único relativo a perda de contenção, é necessário adotar que o mesmo é responsável por 100% dos vazamentos em válvulas, passando desta maneira as seguintes porcentagens:

- Atuador: 19,98%;
 - Selos: 60,04%;
 - Subsistemas (geral): 19,98%
- Total : 100,0%

Para que fosse possível diferenciar os médios vazamentos dos grandes vazamentos foram adotados os seguintes pressupostos:

- Os médios vazamentos provêm de ocorrências nos selos;
- Os grandes vazamentos provêm de ocorrências nos demais componentes.

Assim, temos que dentro do universo de falhas em válvulas com consequente liberação de substância (perda de contenção) os médios vazamentos são responsáveis por 60,04% das ocorrências e os grandes vazamentos por 39,96% das ocorrências.

Para a tipologia accidental de grandes vazamentos em válvulas manuais para bloqueio, do tipo esfera, foi adotada a freqüência de ocorrência de ruptura catastrófica da válvula manual de $8,6 \times 10^{-5}$ ano⁻¹. (LEES, 1996)

Assim, para obtenção da freqüência de ocorrência do modo de falha de vazamentos externos para o meio ambiente temos que:

$$\text{T.F. G}^{\text{de}} \text{ Vaz.} = \text{Prob. G}^{\text{de}} \text{ Vaz.} \times \text{T.F. EXL}$$

Onde:

T.F. G^{de} Vaz. Taxa de Falha para Grandes Vazamentos

Prob. G^{de} Vaz. Probabilidade de Grande Vazamento

T.F. EXL Taxa de Falha para Vazamentos Externos para o Meio Ambiente

Assim obteve-se:

$$8,6 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1} = 39,96\% \times \text{T.F. EXL}$$

$$\text{T.F. EXL} = 2,152 \times 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$$

Aplicando a mesma regra para obtenção da taxa de falha para médios vazamentos temos:

$$\text{T.F. Médio Vaz.} = \text{Prob. Médio Vaz.} \times \text{T.F. EXL}$$

$$\text{T.F. Médio Vaz.} = 60,04\% \times 2,152 \times 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$$

$$\text{T.F. Médio Vaz.} = 1,292 \times 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$$

APÊNDICE E – Árvores de falhas elaboradas para as hipóteses acidentais H-1 e H-2

Hipótese Acidental H-1

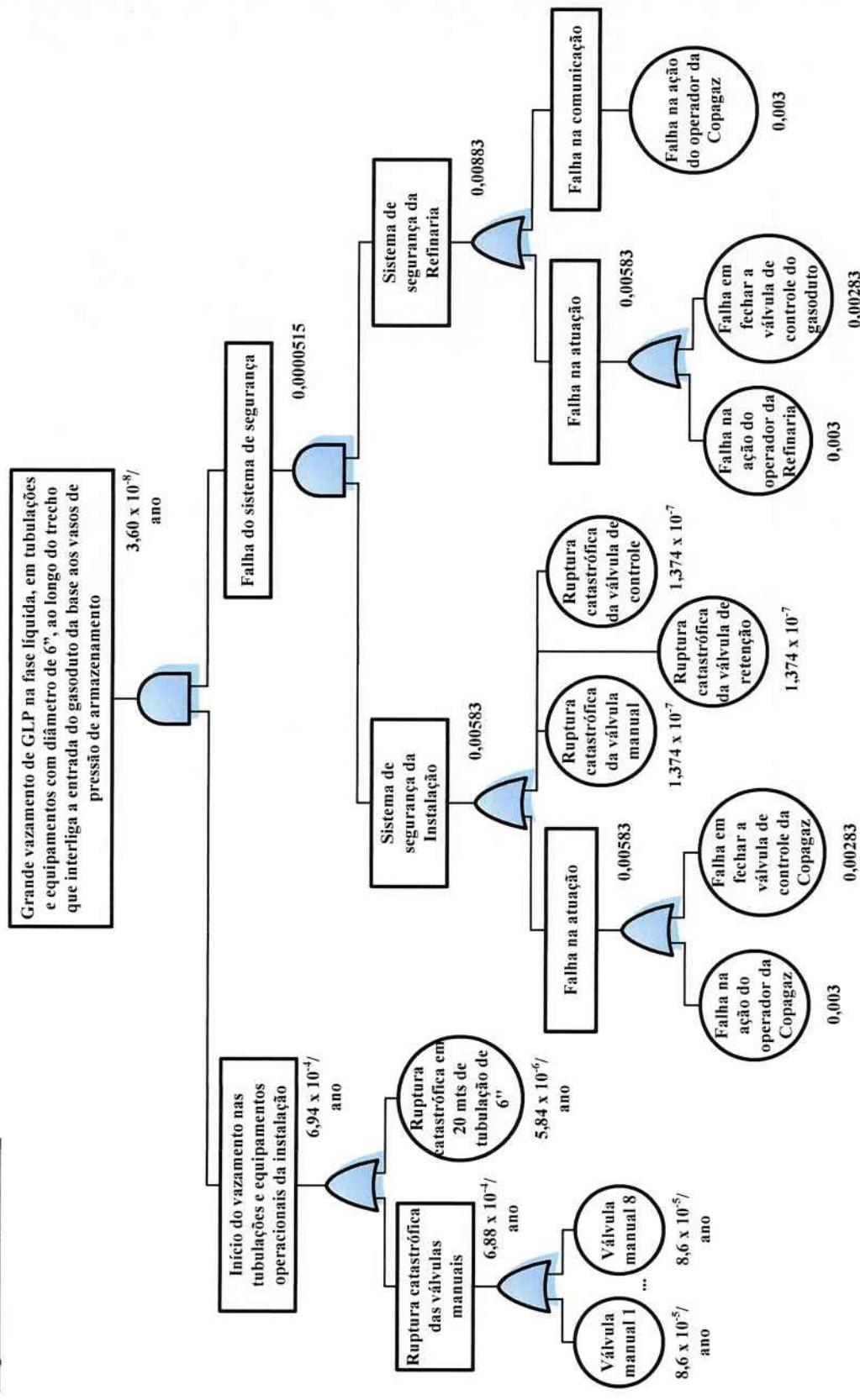


Fig.E.1 – Árvore de Falhas da Hipótese Acidental H-1

Hipótese Acidental H-2

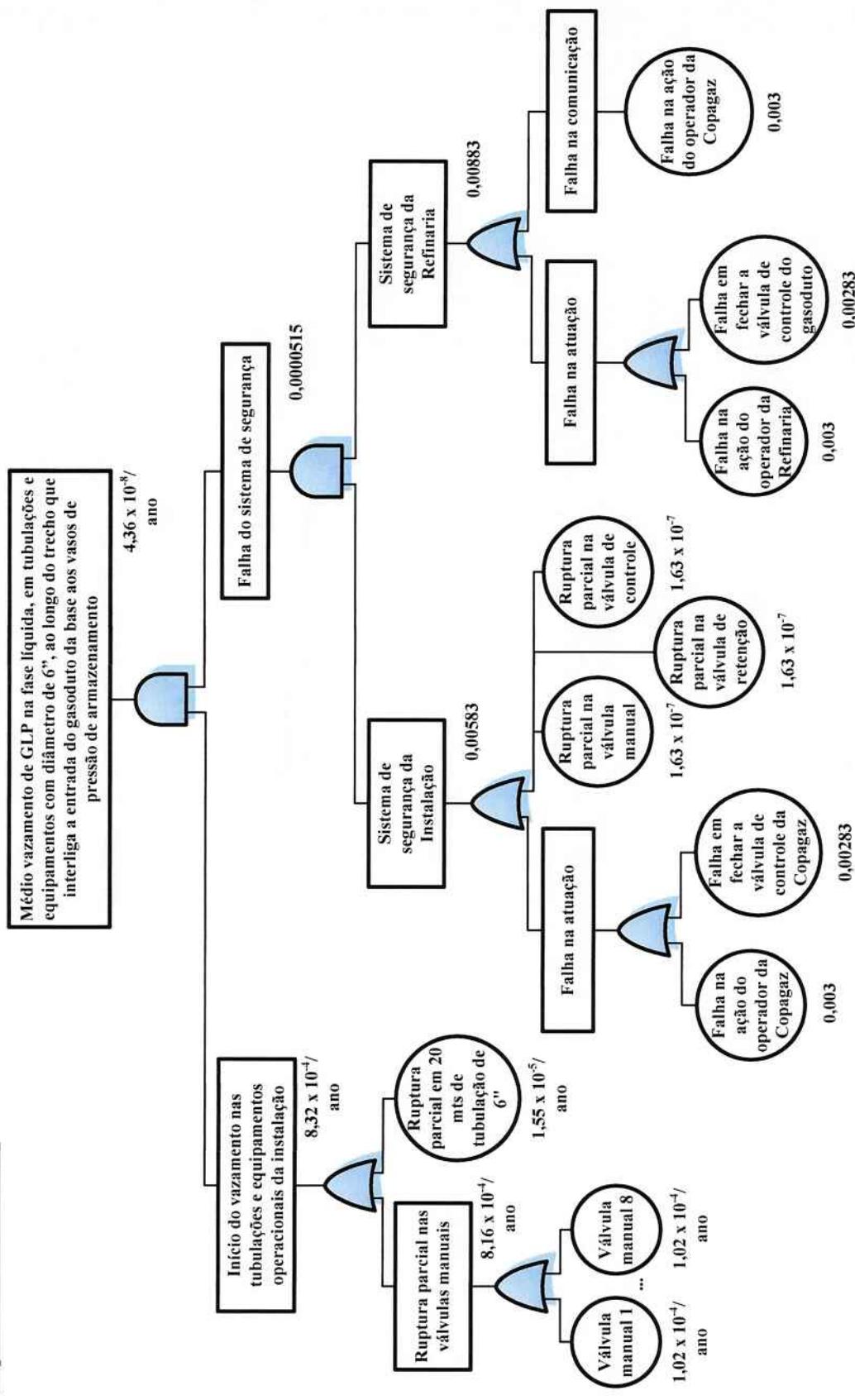


Fig.E.2 – Árvore de Falhas da Hipótese Acidental H-2

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, G. M. **Normas Regulamentadoras Comentadas – Legislação de Segurança e Saúde no Trabalho**. 4.ed. Rio de Janeiro: 2004. 2 Volumes.

Associação Brasileira da Indústria Química. São Paulo. Programa de Atuação Responsável. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/conteudo.asp?princ=atu&pag=prog>>. Acesso em: 17 dez. de 2006.

BRASIL. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental – CETESB. **Norma CETESB P4.261: Manual de Orientação para Elaboração de Estudos de Análise de Riscos**. 1.ed. São Paulo: 2003.

BRASIL. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental – CETESB. **Apostilas do Curso de Análise e Gerenciamento de Riscos**. São Paulo: 2001.

BRASIL. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE. **Material do Curso de Pós-Graduação em Análise e Gerenciamento de Riscos**. Rio de Janeiro: 2004.

Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental – CETESB. São Paulo. Apresentação da introdução da análise de riscos no Brasil. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/riscos/apresentacao/introducao.asp>> Acesso em: 10 jul. de 2006.

ESTADOS UNIDOS. American Institute of Chemical Engineers – AIChE. **Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis**. 2.ed. Nova York: Center for Chemical Process Safety, 2000.

ESTADOS UNIDOS. American Institute of Chemical Engineers – AIChE. **Process Equipment Reliability Data**. 1.ed. Nova York: Center for Chemical Process Safety, 1989.

ESTADOS UNIDOS. American Petroleum Institute – API. **Recommended Practice API 750 – Management of Process Hazards**. 1.ed. Washington: Production and Refining Departments, 1990.

FAERTES, D. **Sobre um Critério de Aceitabilidade de Riscos para Plataformas Marítimas de Petróleo**. 1994. 85p. Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1994.

HOLANDA. Netherlands Organization for Applied Scientific Research – TNO. **Guidelines for Quantitative Risk Assessment, CPR 18E**. 1.ed. Holanda: Committee for the Prevention of Disasters, 1999.

HOLANDA. Netherlands Organization for Applied Scientific Research – TNO. **Methods for the Calculation of Physical Effects, CPR 14E**. 1.ed. Holanda: Committee for the Prevention of Disasters, 2005.

HOLANDA. Netherlands Organization for Applied Scientific Research – TNO. **Methods for the Determination of Possible Damage, CPR 16E**. 1.ed. Holanda: Committee for the Prevention of Disasters, 1992.

INGLATERRA. Det Norske Veritas – DNV. **Offshore Reliability Data – OREDA**. 3.ed. Londres: 1997.

INGLATERRA. Det Norske Veritas – DNV. **Process Hazards Analysis System Tools – PHAST, Manual do Usuário**. Londres: 2001.

INGLATERRA. Health and Safety Executive – HSE. **Canvey: an investigation of potential hazards from operations in the Canvey Island/Thurrock area.** 1.ed. London: Her Majesty's Stationery Office, 1978.

INGLATERRA. Rijnmond Public Authority. **Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, A Pilot Study.** 1.ed. Londres: D. Reidel Publishing Co., 1982.

INGLATERRA. The Royal Society Study Group – RSSG. **Risk Assessment.** Londres: The Royal Society, 1983.

JONES, D. **Nomenclature for Hazard and Risk Assessment in the Process Industries.** 2.ed. Reino Unido: Institution of Chemical Engineers – AIChem, 1994.

LEES, F. P. **Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control.** 2.ed. Londres: Butterworths & Co Ltd., 1996.

METROPOLO, P. **Apostila da Disciplina de Análise de Consequências do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.** Campinas: Departamento de Processos Químicos, Universidade de Campinas – UNICAMP, 2003.

NARDOCCI, A C. **Risco como Instrumento de Gestão Ambiental.** 1999. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

Sistema de Informação do Congresso Nacional. Brasília. Mecanismo de Busca de Informações Relacionadas ao Congresso Nacional. Disponível em: <<http://www6.senado.gov.br/sicon/listareferencias.action?codigobase=2&codigodocumento=171371>>. Acesso em: 12 dez. de 2006.