



PORTO DO FORNO

Arraial do Cabo - RJ

ESTUDO DE ANÁLISE DE RISCOS

EAR


JULHO/2010



ISO 9001:2000
FS 537783

Revisão 2

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	1-1
2.	CARACTERÍSTICAS DAS INSTALAÇÕES E DA REGIÃO	2-1
	2.1. Introdução	2-1
	2.2. Descrição das Instalações	2-1
	2.3. Características da Região	2-4
	2.4. Características Meteorológicas da Região ..	2-8
3.	CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS PRODUTOS.....	3-1
	3.1. Introdução	3-1
	3.2. Critério para Classificação de Substâncias Inflamáveis	3-1
 4.	IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS.....	4-1
	4.1 Introdução	4-1
	4.2 Metodologia.....	4-1
	4.3 Hipóteses Acidentais	4-9
5.	ANÁLISE DE CONSEQÜÊNCIAS E VULNERABILIDADE	5-1
	5.1. Introdução	5-1
	5.2. Fenômeno Estudado.....	5-1
	5.3. Dados de Entrada nos Modelos	5-2
	5.4. Resultados das Simulações	5-6
	5.5. Análise de Vulnerabilidade.....	5-8
	5.6. Considerações Gerais.....	5-8
6.	ESTIMATIVA DAS FREQUÊNCIAS DE OCORRÊNCIA	6-1
	6.1. Introdução.....	6-1
	6.2. Metodologia.....	6-1
	6.3. Árvore de Eventos.....	6-4

7.	ESTIMATIVA E AVALIAÇÃO DE RISCOS	7-1
	7.1. Introdução	7-1
	7.2. Risco Social	7-1
	7.3. Risco Individual.....	7-15
	7.4. Avaliação dos Riscos	7-18
8.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	8-1
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	9-1
10.	EQUIPE TÉCNICA.....	10-1

ANEXOS



I – Foto Aérea;

II – Layout;

III – Fichas de Informação de Segurança sobre Produto Químico (FISPQ's);

IV – Planilhas da Análise Preliminar de Perigos - APP;

V – Pontos de Liberação - PL;

VI – Relatórios das Simulações de Conseqüências;

VII – Mapeamento das Áreas Vulneráveis;

VIII– Malha para os cálculos do Risco.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho contempla o Estudo de Análise de Riscos (EAR) das instalações do Porto do Forno, localizado em Arraial do Cabo - RJ.

O estudo tem por finalidade identificar, analisar e avaliar os eventuais riscos impostos ao meio ambiente e à comunidade circunvizinhos às instalações, decorrentes das atividades envolvendo substâncias químicas. As etapas do trabalho podem ser resumidas conforme segue:

- a. Caracterização da instalação e da região de interesse;
- b. Identificação dos perigos e definição das hipóteses e cenários acidentais que eventualmente possam vir a ocorrer nas instalações;
- c. Estimativa e avaliação das conseqüências e seus respectivos efeitos físicos, decorrentes de eventos anormais que possam resultar em incêndios, explosões ou episódios de poluição ambiental;
- d. Determinação das áreas vulneráveis decorrentes dos diferentes impactos originados pelos efeitos físicos de cada um dos cenários de acidentes;
- e. Estimativa dos riscos impostos às pessoas situadas fora dos limites da empresa, expressos em termos de Risco Social (curva f-N) e Risco Individual (curvas de iso-risco);
- f. Avaliação dos riscos e proposição de medidas mitigadoras e de gerenciamento.

O estudo apresentado neste relatório baseou-se na Norma P4.261/2003 – *Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos*, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), cuja seqüência de etapas pode ser observada no fluxograma apresentado na Figura 1.1.

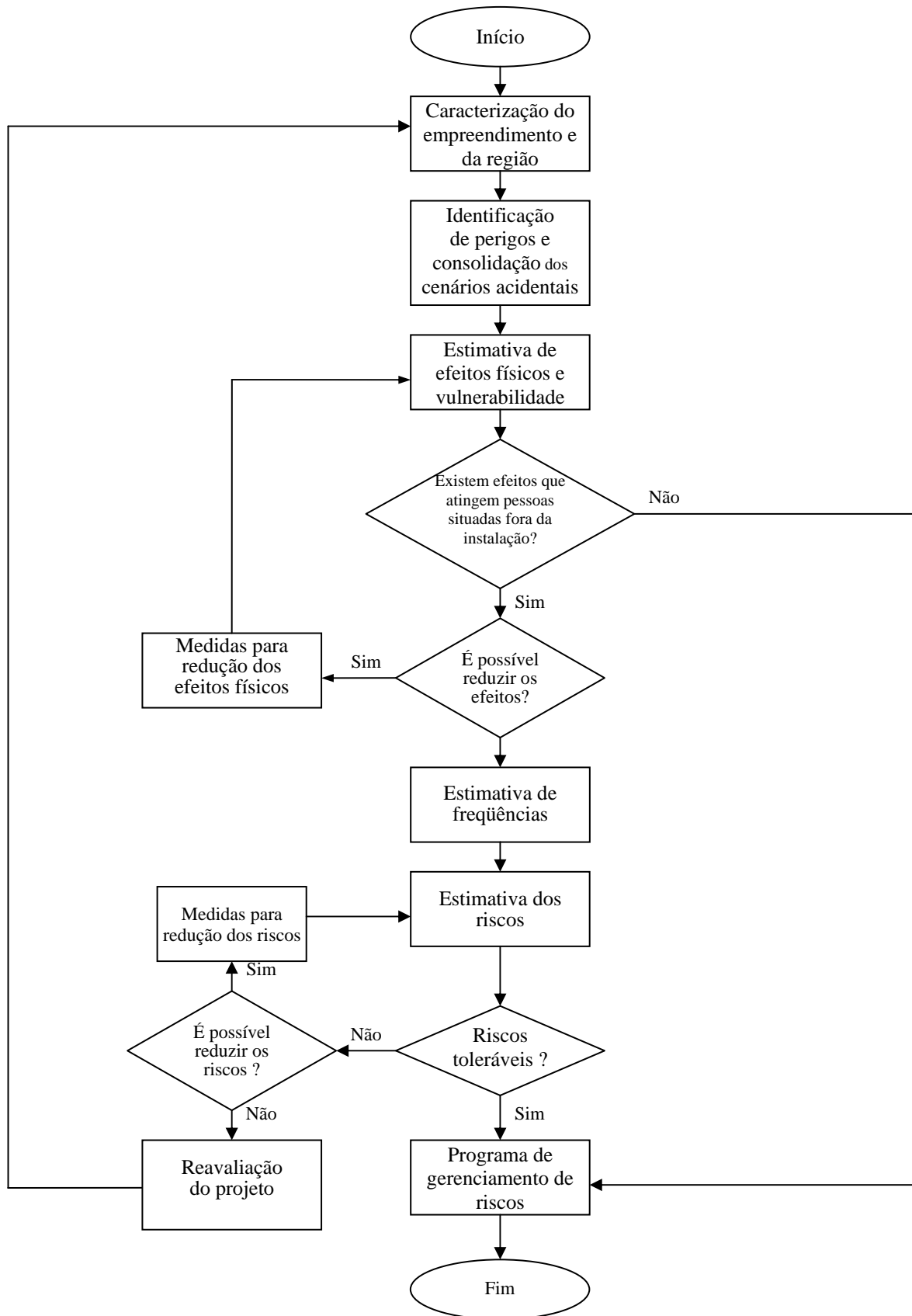


Figura 1.1 – Etapas do Estudo de Análise de Riscos

O Estudo de Análise de Riscos está estruturado em dez capítulos, conforme apresentado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Estrutura do Relatório

Capítulo	Descrição
1	Introdução
2	Características das Instalações e da Região
3	Características e Propriedades dos Produtos
4	Identificação de Perigos
5	Análise de Conseqüências e Vulnerabilidade
6	Estimativa de Frequências
7	Estimativa e Avaliação de Riscos
8	Conclusões e Recomendações
9	Referências Bibliográficas
10	Equipe Técnica

O relatório é complementado pelos seguintes Anexos:

- I – *Layout* das instalações da Porto do Forno;
- II – Foto Aérea com a Localização da Empresa;
- III – Parecer do Meteorologista;
- IV – Fichas de Informação de Segurança sobre Produto Químico (FISPQs);
- V – Planilhas da Análise Preliminar de Perigos - APP;
- VI – Pontos de Liberação - PL;
- VII – Relatórios das Simulações de Conseqüências;
- VIII – Mapeamento das Áreas Vulneráveis;
- IX– Malha para os cálculos do Risco.

2. CARACTERÍSTICAS DAS INSTALAÇÕES E DA REGIÃO


2.1. Introdução

O presente trabalho contempla o Estudo de Análise de Risco referente ao Porto do Forno, localizado na Rua Santa Cruz, 100 - Praia dos Anjos - Arraial do Cabo - RJ. O Porto movimentará óleo diesel para abastecimento de embarcações e máquinas e para operações diversas.

O Anexo I apresenta a Foto Aérea do Porto já o layout é apresentado no Anexo II.

2.2. Descrição das Instalações

O Porto do Forno está situado na Enseada dos Anjos, município de Arraial do Cabo, no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro. Sua entrada situa-se no alinhamento do último prédio da Rua Santa Cruz e do lado do Porto termina no enraizamento do molhe de proteção do cais. Os anexos I e II apresentam o Layout e a Foto aérea do Porto do Forno.



A aproximação das instalações portuárias na Enseada dos Anjos é orientada por sinal luminoso instalado em terra, na extremidade do molhe de proteção da área de acostagem, sinal este identificado neste **Memorial** como **Ponto T1** de coordenadas geográficas 22° 58' 25,44" S e 42° 00' 46,65" W.

O porto, apesar de ter pequenas dimensões, é de grande importância econômica à região por ele servida.

O porto é dividido em duas áreas operacionais: a Poligonal Marítima e a Poligonal Terrestre. A poligonal marítima define a área destinada à manobra e atracação das embarcações. A poligonal terrestre representa a área de acesso terrestre e é destinada à operação portuária.

2.2.1. Poligonal Marítima

A **Poligonal Marítima** do Porto Organizado do Forno parte do **Ponto T2**, de coordenadas 22° 58' 25,83" S e 42° 00' 46,74" W (extremidade Sul do molhe de proteção das instalações portuárias), acompanhando o contorno do molhe na direção Noroeste até o **Ponto T3**, de coordenadas 22°58'25,84"S e 42°00'47,41"W (ponto que marca a inflexão da extremidade do molhe com o segmento retilíneo de sua face Oeste), acompanhando a linha do molhe e o perfil da estrutura do cais sobre duques d'alba até o **Ponto T4**, de coordenadas 22°58'23,80"S e

42°00'48,19"W (dolphin Sul do cais), seguindo a linha do cais até o **Ponto T5**, de coordenadas 22°58'20,62"S e 42°00'48,48"W (dolphin Norte do cais), contornando o perfil do cais sobre duques d'alba e a linha do molhe até o **Ponto T6**, de coordenadas 22°58'17,75"S e 42°00'47,96"W (ponto de inflexão entre a linha do molhe e o início do enrocamento na linha do cais convencional), seguindo este enrocamento até a extremidade Leste da cais convencional até o **Ponto T7**, de coordenadas 22°58'17,77"S e 42°00'49,89"W (limite Leste do cais), deste ao longo do cais até o **Ponto T8**, de coordenadas 22°58'17,14"S e 42°00'56,88"W (extremidade Oeste do cais), seguindo o enrocamento em direção a Oeste até o **Ponto T9**, de coordenadas 22°58'16,63"S e 42°01'00,59"W (ponto inicial da face Leste do Cais dos Pescadores), tomando, no mar, a direção Sudeste até o **Ponto M1**, de coordenadas 22°58'28,55"S e 42°00'51,51"W (bóia de luz proposta, a sudoeste do sinal luminoso sobre o molhe, com a função de delimitar o acesso ao Porto e a área de manobra e acostagem de embarcações), seguindo a Nordeste até o **Ponto T2** antes referido, de fechamento da Poligonal de Contorno.

A Figura 2.1 apresenta a poligonal marítima descrita acima.



Figura 2.1 – Poligonal Marítima - Visão Geral

2.2.2. Poligonal Terrestre

A **Poligonal Terrestre** parte do já descrito **Ponto T2**, contornando a face leste do molhe de proteção da instalação portuária na Enseada dos Anjos até o **Ponto T13**, de coordenadas $22^{\circ}58'15,90''S$ e $42^{\circ}00'47,51''W$ (ponto de encontro do molhe com a linha de contorno do Morro da Fortaleza, na face Leste do molhe). Deste, acompanhando o contorno do Morro da Fortaleza, até o **Ponto T12**, de coordenadas $22^{\circ}58'09,53''S$ e $42^{\circ}01'07,48''W$ (limite Oeste do Porto, ponto de apoio ao portão de entrada junto a Rua Sidália de Alcântara Gago), acompanhando o portão de entrada do porto até o **Ponto T11**, de coordenadas $22^{\circ}58'10,32''S$ e $42^{\circ}01'07,17''W$ (ponto de fixação do portão na face Sudeste da Rua Santa Cruz). Deste, seguindo na direção Sudeste até o **Ponto T10**, de coordenadas $22^{\circ}58'14,04''S$ e $42^{\circ}01'02,43''W$ (junto à extremidade Oeste do Cais dos Pescadores), contornando este cais até o já descrito **Ponto T9**. Deste, seguindo o alinhamento do cais convencional, do molhe e dolphins, passando pelos já descritos **Pontos T8, T7, T6, T5, T4, T3**, até o também já descrito **Ponto T2**, de início, onde se fecha a Poligonal.



A Figura 2.2 apresenta a poligonal terrestre descrita acima.



Figura 2.2 – Poligonal Terrestre - Visão Geral

2.2.3. Carregamento de combustíveis nas embarcações

Uma das atividades que Porto do Forno realiza é o abastecimento de embarcações de apoio com suprimentos. Um dos suprimentos que o Porto carrega às embarcações que dão apoio

as plataformas e aos navios de grande porte que estão ancorados na costa brasileira é o óleo diesel.

A seguir será apresentada uma descrição sucinta do processo de carregamento de óleo diesel nas embarcações.

O caminhão-tanque ou barcaça se posiciona ao lado da embarcação que está atracada no porto, em seguida é conectada uma mangote flexível do caminhão ou barcaça até a embarcação e através de bomba o combustível é transferido.

Além do carregamento de embarcações, também será armazenado combustível para abastecer máquinas que operarão dentro do porto.

Esse processo é semelhante ao anterior, o caminhão-tanque posiciona-se próximo ao tanque de armazenamento aéreo e transfere o óleo diesel através de bomba.

O carregamento de máquinas será feito de forma semelhante ao que acontece em postos de combustíveis das cidades.

Todo o processo de carregamento é supervisionado por uma integrante da brigada de incêndio do Porto.



2.2.4. Descarregamento, armazenamento e transferência de grãos.

O Porto do Forno conta com uma estrutura para receber grãos (principalmente malte) armazenar e transferir para caminhões.

O malte sai das embarcações e é transferida para os silos de armazenagem através de correia transportadora. Para o carregamento dos caminhões são utilizadas correias transportadoras, elevadores de caneca e “bicas” de descarregamento.

Todos os silos possuem aterramento e para raios. Além disso, a correia transportadora principal (embarcação – silo) possui um sistema de enclausuramento.

2.3. Características da Região

Arraial do Cabo está localizado no norte do Estado do Rio de Janeiro a aproximadamente 160 km de distância da capital Rio de Janeiro. Possui área de 152,3 km², sendo um município com grande importância histórica.

O município tem como principais meios de Acesso a RJ-102, RJ-124 e o Porto do Forno, que não possui linha regular de transporte de pessoas. A Figura 2.3 mostra a localização do município e as principais rodovias que cruzam o estado do Rio de Janeiro.



Figura 2.3 – Localização do município de Arraial do Cabo

2.3.1. Características da População

De acordo com a contagem do IBGE/2009, o município de Arraial do Cabo tem população absoluta de aproximadamente 26.896 habitantes e densidade populacional de aproximadamente 165,7 hab/km².

No levantamento populacional foram identificados pontos com ocupação de população significativa, ou seja, empreendimentos industriais e escola. Desta forma, foi elaborada a Tabela 2.1, apresentada a seguir, que apresenta os estabelecimentos onde há concentração de pessoas no entorno da empresa em estudo.

Na Tabela 2.1, a coluna “N^o” refere-se à numeração do ponto notável apresentada no Anexo II – Foto Aérea, sendo assim possível localizar os pontos da tabela no referido anexo. Ressalta-se que na Tabela 2.1 serão apresentados apenas os empreendimentos localizados no entorno imediato da empresa.

Tabela 2.1 – Levantamento Populacional no Entorno do Empreendimento Estudado

Nº	Ponto Notável / Empresa	Observações
2	Marina e associação de Pescadores	Aproximadamente 200 dia e 30 noite freqüentam o local
4	Pequenos comércios e Residências	-
5	Casas de Veraneio e Pousadas	Pousada: 12 pessoas dia 40 pessoas hospedadas
6	Igreja Histórica	Horário das Missas Terça-feira – 19:00 h Quarta-feira – 19:00 h Domingo – 7:30 h Presença de pessoas na missa de aprox. 60 pessoas
7	Praia dos Anjos	-

A seguir serão apresentadas algumas fotos (Figura 2.4 a 2.6) da região:



Figura 2.4 – Vista parcial do Porto do Forno



Figura 2.5 – Vista da Marina e Associação de pescadores





Figura 2.6 – Vista parcial da Marina e associação de pescadores

2.4. Características Meteorológicas da Região

Os principais parâmetros climáticos para fins da análise de risco são a predominância e velocidade dos ventos, umidade relativa e temperatura.

Para o presente trabalho, foi realizado um levantamento dos dados meteorológicos/ climatológicos existentes ao longo da área de influência do traçado do empreendimento considerando os seguintes critérios:

- Localização da estação meteorológica;
- Tipos de parâmetros monitorados;
- Período de monitoramento de dados.

Desta forma, buscou-se identificar as estações com melhor disponibilidade de dados meteorológicos, os quais, normalmente são gerados por estações automáticas.

Os dados meteorológicos de temperatura, umidade relativa, pressão, direção e velocidade do vento foram obtidas junto à Estação Meteorológica de Arraial do Cabo/RJ - A606 do INMET.

2.4.1. Estação Meteorológica

Os dados valores apresentados na Tabela 2.1 correspondem às médias horárias para o período 01/01/2008 a 30/06/2010 - dados coletados de hora em hora.

Tabela 2.1 – Dados Meteorológicos Médios

Parâmetro	Valor	
	Período Diurno	Período Noturno
Temperatura Média do Ar (°C)	24,03	22,83
Umidade Média do Ar (%)	81,17	86,15
Velocidade Média do Vento (m/s)	3,84	3,69

Os dados apresentados na Tabela 2.2 a seguir são referentes à frequência de direção dos ventos.

Tabela 2.2 – Frequência Média da Direção dos Ventos

Direção	Frequência (%)	
	Período Diurno	Período Noturno
N	0,4	0,5
NNE	0,4	0,8
NE	4,0	6,4
ENE	10,3	13,3
E	11,3	6,3
ESE	6,3	3,9
SE	2,1	3,1
SSE	1,1	1,5
S	0,9	0,5
SSW	1,3	0,6
SW	0,8	0,8
WSW	1,7	2,0
W	5,6	5,4
WNW	2,7	3,2
NW	0,8	1,1
NNW	0,3	0,5

3. CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS PRODUTOS

3.1 Introdução

No Porto do Forno, em Arraial do Cabo, o produto manipulado é o Óleo Diesel. As características e propriedades deste produto estão descritas nas Tabelas 3.

No Anexo III encontram-se as Fichas de Informação de Produto Químico (FISPQ) dos referidos produtos.

Tabela 3.1 – Produto Envolvido no Porto

Produto	Classe de Risco	Ponto de Fulgor (°C)	Ponto de Ebulição (°C)	Substância de referência nas simulações
Óleo diesel	Líquido Inflamável	38	<100	n-octano
Óleo <i>Bunker</i>	Líquido Inflamável	60	<204,4	-
Malte	Sólido	-	-	-



3.2 Critério para Classificação de Substâncias Inflamáveis

Para classificação das substâncias inflamáveis, a Norma CETESB P4.261/2003 adota valores, segundo níveis de inflamabilidade, conforme apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Classificação de substâncias inflamáveis

Nível de inflamabilidade	Ponto de fulgor (PF) e/ou Ponto de ebulição (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

As substâncias classificadas no nível 4, líquidas ou gasosas, e no nível 3, somente líquidas, serão consideradas substâncias perigosas.

Segundo o critério exposto acima, nenhum dos óleos se enquadra como substância de interesse, porém devido a proximidade de seu ponto de fulgor com o limite estabelecido,

classificou-se o Óleo Diesel com nível 3, tornando-a como substância de interesse para todas as movimentações com óleo no Porto.



4. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

4.1 Introdução

Esse capítulo descreve a metodologia utilizada para a identificação dos perigos relativos às instalações do Porto do Forno, localizada em Arraial do Cabo - RJ.

A Seção 4.2 apresenta uma breve descrição da técnica APP e a metodologia utilizada para a identificação dos perigos, enquanto a seção 4.4 apresenta a consolidação das hipóteses acidentais a partir da aplicação da APP no Porto.

4.2 Metodologia

A Análise Preliminar de Perigos (APP), do inglês *Preliminary Hazard Analysis (PHA)*, é uma técnica desenvolvida pelo programa de segurança militar do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (MIL-STD-882B).

Trata-se de uma técnica estruturada que tem por objetivo identificar os perigos presentes numa instalação, ocasionados por eventos indesejáveis. Normalmente, a APP é utilizada na fase inicial de projeto, embora venha sendo também bastante aplicada em unidades em operação, permitindo uma análise crítica dos sistemas de segurança existentes e a identificação das possíveis hipóteses de acidentes.

A APP focaliza os eventos perigosos cujas falhas têm origem na instalação em análise, contemplando tanto as falhas intrínsecas de equipamentos, de instrumentos e de materiais, assim como erros humanos.

Na APP são identificados os perigos, suas causas, os efeitos (consequências) e suas respectivas categorias de severidade, sendo apontadas eventuais observações e recomendações pertinentes aos perigos identificados. Os resultados são apresentados em planilha padronizada, conforme apresentado na Figura 4.1.

APP – ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS								
Empresa:				Sistema:				Folha:
Referência:				Data:				Revisão:
Nº de Ordem	Perigo	Causas	Modos de Detecção	Conseqüências	Categorias			Observações (O) / Recomendações (R)
					Freq.	Sev.	Risco	
				Pessoal:				
				Instalações:				
				Meio Ambiente:				
				Imagem:				
				Pessoal:				
				Instalações:				
				Meio Ambiente:				
				Imagem:				

Figura 4.1 – Planilha da APP

- **Seção:** Etapa do Processo Analisada;
- **Número de Ordem:** número seqüencial do perigo identificado nas linhas;
- **Risco:** evento que define a hipótese acidental e está normalmente associado a uma ou mais condições com potencial de causar danos às pessoas, ao patrimônio ou ao meio ambiente;
- **Causas:** fatos geradores dos eventos acidentais descritos na coluna “Perigo”, que geralmente estão associados à ocorrência de falhas intrínsecas em equipamentos ou com a execução de procedimentos errados / inadequados (falhas operacionais / erros humanos);
- **Modos de Detecção:** Meio ou instrumentos de detecção de vazamentos ou das tipologias acidentais provindas dos vazamentos;
- **Conseqüências:** possíveis conseqüências associadas a um determinado perigo, sendo categorizada para Pessoal, Instalações, Imagem e Meio Ambiente;
- **Categoria de Frequência:** A quarta coluna corresponde à frequência de ocorrência das causas dos Riscos identificados. O Grupo de Trabalho adotou as categorias apresentadas na Tabela 4.1 a seguir;
- **Categoria de Severidade:** Graduação qualitativa do efeito associado ao cenário acidental, de acordo com a classificação apresentada na Tabela 4.2;
- **Categorização do Risco:** Relação estabelecida entre os níveis definidos de frequência e conseqüência de um determinado Risco, de acordo com a matriz de Risco apresentada na Tabela 4.3 a seguir;
- **Observações (O) / Recomendações (R):** observações pertinentes ao Risco e respectivos cenários acidentais, sistemas de segurança existentes ou recomendações para o gerenciamento dos riscos associados.



Tabela 4.1 – Categorias de Frequência

Categoria	Denominação	Descrição
A	Muito Improvável	Ocorrência não esperada durante a obra.
B	Improvável	Cenários associados à pelo menos uma falha de equipamento de grande porte.
C	Ocasional	Cenários cujas ocorrências dependem de uma única falha, independentemente do porte do equipamento, podendo também ser causada por erro humano.
D	Provável	Ocorrência esperada pelo menos uma vez durante a obra.
E	Frequente	Possibilidade de ocorrer a falha mais de uma vez durante a obra.



Tabela 4.2 – Categorias de Severidade

Categorias de Severidade		Descrição / Características			
		Segurança Pessoal	Patrimônio	Meio Ambiente	Imagem
I	Desprezível	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros, sem afastamento	Danos leves aos sistemas sem comprometimento da Continuidade operacional da instalação industrial	Sem danos ou com danos insignificantes	Sem impacto
II	Marginal	Lesões leves em empregados e terceiros. Ausência de lesões extramuros	Danos leves aos sistemas com comprometimento da continuidade operacional da instalação industrial	Danos leves	Impacto local
III	Crítica	Lesões de gravidade moderada em pessoas intramuros. Lesões leves em pessoas extramuros	Danos severos a sistemas da instalação industrial (reparação lenta)	Danos severos com efeito localizado	Impacto regional
IV	Catastrófica	Provoca morte ou lesões graves em 1 ou mais pessoas intra ou extramuros	Perda da instalação industrial	Danos severos em áreas sensíveis ou se estendendo para outros locais	Impacto Nacional e/ou Internacional

Tabela 4.3 – Matriz de Riscos

		A	B	C	D	E
S E V E R I D A D E	IV	2	3	4	5	5
	III	1	2	3	4	5
	II	1	1	2	3	4
	I	1	1	1	2	3

Severidade		Frequência	
I	Desprezível	A	Muito Improvável
II	Marginal	B	Improvável
III	Crítica	C	Remota
IV	Catastrófica	D	Provável
		E	Frequente

Risco	
1	Desprezível
2	Menor
3	Moderado
4	Sério
5	Crítico

Figura 4.2 - Matriz de Classificação de Risco

4.2.1 Perigos Identificados



As planilhas da APP preenchidas encontram-se no Anexo IV. Os eventos identificados na APP estão associados a diferentes tipos de liberação de produtos, ou seja, ocorrência de grande vazamento, relativo a rupturas catastróficas de componentes, e vazamentos médios e pequenos, decorrentes de rupturas parciais.

Na aplicação da APP foram identificadas 27 hipóteses acidentais envolvendo grandes (ruptura catastrófica), médias (furo correspondente a 20% do diâmetro) e pequenas (furo correspondente a 5% do diâmetro) liberações de produto no carregamento de embarcações e acidentes nas atividades desenvolvidas no Porto.

As Tabelas 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 mostram a distribuição dos perigos na matriz de risco considerando as categorias pessoas, instalação, ambiental e imagem para o Porto do Forno

Tabela 4.4 – Distribuição dos Eventos Identificados Quanto aos Riscos às Pessoas

		Severidade			
		I	II	III	IV
Frequência	E	2			
	D				
	C	1	6	4	
	B	2	2		7
	A	1	2		

Tabela 4.5 – Distribuição dos Eventos Identificados Quanto aos Riscos às Instalações

		Severidade			
		I	II	III	IV
Frequência	E	2			
	D				
	C	4	3	4	
	B	3	1		7
	A	2	1		

Tabela 4.6 – Distribuição dos Eventos Identificados Quanto aos Riscos à Imagem

		Severidade			
		I	II	III	IV
Frequência	E	2			
	D				
	C	3	4	4	
	B	2	2		7
	A	2	1		

Tabela 4.7 – Distribuição dos Eventos Identificados Quanto aos Riscos à Ambientais

		Severidade			
		I	II	III	IV
Frequência	E	2			
	D				
	C	3	4	4	
	B	2	2		7
	A	2	1		



O percentual relativo dos cenários acidentais apresenta-se distribuído em relação às classes de risco da seguinte forma:

- Risco Pessoal: 30 % do total foi classificado na classe de risco desprezível; 22% do total foram classificados com categoria de risco menor, 48% foram classificados na classe risco moderado, 0% do total foi classificado na classe de risco sério e 0% do total foi classificado na classe de risco crítico;
- Risco às Instalações: 41% do total foi classificado na classe de risco desprezível; 11% do total foram classificados com categoria de risco menor, 48% foram classificados na classe risco moderado, 0% do total foi classificado na classe de risco sério e 0% do total foi classificado na classe de risco crítico;
- Risco Imagem: 37% do total foi classificado na classe de risco desprezível; 15% do total foram classificados com categoria de risco menor, 48% foram classificados na classe risco moderado, 0% do total foi classificado na classe de risco sério e 0% do total foi classificado na classe de risco crítico;
- Risco à Ambientais: 37% do total foi classificado na classe de risco desprezível; 15% do total foram classificados com categoria de risco menor, 48% foram classificados na

classe risco moderado, 0% do total foi classificado na classe de risco sério e 0% do total foi classificado na classe de risco crítico.

4.3. Hipóteses Acidentais

Visto que a presente análise quantitativa de riscos tem por objetivo Risco ao Público Externo, foram selecionadas as hipóteses acidentais classificadas nas categorias de severidade III e IV (Crítica e Catastrófica, respectivamente) para efeitos em pessoas, as quais serão quantificadas.

Na APP dos perigos relativos a médias e pequenas liberações, a numeração foi subdividida em três letras identificadas como A e B, representando 20 % e 5% do diâmetro nominal, para as hipóteses relacionadas a equipamentos.

A Tabela 4.8 apresenta as hipóteses acidentais selecionadas para a Avaliação Quantitativa de Riscos.

Tabela 4.8 – Hipóteses Acidentais Selecionadas para a Avaliação Quantitativa dos Riscos do Porto do Forno

Nº Hipótese	Descrição
1	Grande liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o navio.
2A	Média liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o navio.
3	Grande liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o Tanque de Armazenamento.
4A	Média liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o Tanque de Armazenamento.
5	Grande liberação de óleo diesel, durante descarregamento da barçaça desde a barçaça até o navio.
6A	Média liberação de óleo diesel, durante descarregamento da barçaça desde a barçaça até o navio
7	Ruptura do Caminhão-Tanque
8	Ruptura do Navio Tanque
9	Ruptura do Tanque de Armazenamento
10	Ruptura da barçaça
11	Explosão do silo (poeira explosiva)

5. ANÁLISE DE CONSEQÜÊNCIAS E VULNERABILIDADE

5.1 Introdução

Esse Capítulo contempla a simulação das conseqüências (efeitos físicos) e a análise de vulnerabilidade.

As hipóteses selecionadas no Capítulo 4 geraram diferentes tipologias acidentais (cenários), de acordo com o produto envolvido e o porte do vazamento, contemplando, portanto, diferentes cálculos das taxas de vazamento, incêndio em poça, dispersão da nuvem de vapor, *flashfire*, explosão de nuvem de vapor (*UVCE – Unconfined Vapor Cloud Explosion*). Para esses cálculos foi utilizado o software *PHAST*, versão 6.54, desenvolvido pela DNV-Technica.

As hipóteses estudadas foram caracterizadas considerando os seguintes aspectos:

- Características da liberação, como área do furo e tipo de liberação;
- Quantidade e fluxo mássico da liberação;
- Duração da liberação;
- Altura da fonte de escape;
- Características meteorológicas, como velocidade do vento, pressão atmosférica, temperatura ambiente e umidade relativa do ar;
- Fator de rugosidade do terreno.

5.2 Fenômenos Estudados

O vazamento de um líquido inflamável faz com que, num primeiro momento, o produto se espalhe pelo solo formando uma poça, cujas dimensões dependerão da taxa de alimentação (vazão da liberação), das características da substância, do tipo de solo e da presença de obstáculos, como por exemplo, diques de contenção.

O fenômeno seguinte à formação da poça é a evaporação do produto, cuja taxa depende do tamanho da poça, da troca térmica com o ar e o solo, da velocidade do vento, do tipo de solo e das características da substância (volatilidade).

No caso de não ocorrer ignição imediata, pode-se estudar o comportamento da nuvem de vapor na atmosfera através do modelo de dispersão de gás pesado. Esse modelo possibilita obter a máxima distância atingida pela nuvem inflamável.



Uma vez formada a nuvem em condições inflamáveis, esta, ao encontrar uma fonte de ignição poderá gerar dois fenômenos: *flashfire* e *UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion)*.

O *flashfire* é a ignição retardada de uma nuvem de vapor sem efeitos de sobrepressão, porém com efeitos térmicos, e a *UVCE* é a ignição retardada de uma nuvem de vapor não confinada, onde ocorrem efeitos significativos de sobrepressão, gerando danos às pessoas, equipamentos e edificações.

No *flashfire* ocorre a ignição da massa de gás sem uma considerável emissão de radiação térmica ao longo da distância. Portanto, a menos que haja um indivíduo dentro da área ocupada pela mistura inflamável, este evento não traz maiores conseqüências à população circunvizinha.

Já a ocorrência de uma explosão de nuvem (*UVCE*) na atmosfera está diretamente relacionada com a massa de produto existente entre os limites de inflamabilidade na nuvem de vapor e ao seu grau de confinamento.

5.3 Dados de Entrada nos Modelos

As hipóteses acidentais selecionadas estão relacionadas com liberações e foram simuladas considerando-se a ruptura catastrófica e furo (20% do diâmetro) dos componentes envolvidos. Consideraram-se, também, as rupturas nas proximidades de cada trecho em análise, ou seja, a 1 metro. O Anexo V apresenta a localização dos pontos de liberação representados sobre o Layout do Porto do Forno bem como todas as hipóteses acidentais relacionadas a cada um desses pontos de liberação.

Em todas as hipóteses o tempo de vazamento considerado foi de até 10 minutos, independentemente dos sistemas de segurança existentes, ou seja, em muitos casos, certamente, esse tempo encontra-se acima do tempo de resposta do Porto, uma vez que se trata de hipóteses acidentais que, eventualmente, venham a ocorrer dentro do limite da empresa.

Como o *PHAST* não faz a simulação de pó em suspensão para a hipótese 11 - Explosão do silo (poeira explosiva) - foi considerada a mesma quantidade em massa, mas com a substância GLP.

A quantidade mínima de massa em suspensão de malte com condição de explodir é de 60g/m³ - *Understanding Explosions, AIChE - 2003*. Como o volume do silo é de 5700 m³ a massa de malte em suspensão é de 342 kg.

Com relação às condições atmosféricas, foram utilizados os dados mostrados na Tabela 5.1, os quais foram objeto da caracterização da região.

Tabela 5.1 – Resumo dos Dados Meteorológicos Médios da Região

Variável Ambiental	Valor
Temperatura Média do Ar – Período Diurno	24,03°C
Temperatura Média do Ar – Período Noturno	22,83°C
Umidade Relativa do Ar – Período Diurno	81,17%
Umidade Relativa do Ar – Período Noturno	86,15%
Velocidade Média do Vento – Período Diurno	3,84 m/s
Velocidade Média do Vento – Período Noturno	3,69 m/s

* Valores apresentados no Capítulo 2 deste estudo.

Em função da velocidade do vento e da temperatura ambiente, foram selecionadas as categorias de estabilidade atmosférica “C” (levemente instável) e “E” (levemente estável), baseando-se na Tabela 5.2

Tabela 5.2 – Categorias de Estabilidade de Pasquill

Velocidade do Vento a 10 m (V em m/s)	Período Diurno			Período Noturno	
	Insolação			Nebulosidade	
	Forte	Moderada	Fraca	Parcialmente Encoberto	Encoberto
$V \leq 2$	A	A – B	B	F	F
$2 < V \leq 3$	A – B	B	C	E	F
$3 < V \leq 5$	B	B – C	C	D	E
$5 < V \leq 6$	C	C – D	D	D	D
$V > 6$	C	D	D	D	D

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

FONTE: CETESB

Para fins deste estudo a região foi caracterizada como área industrial, ou seja, foi utilizado parâmetro de rugosidade igual a 0,17, conforme valores típicos apresentados no manual do PHAST.

A Tabela 5.3 a seguir apresenta os dados de entrada no PHAST de cada uma das hipóteses acidentais.



Tabela 5.3 – Dados de Entrada

Hipótese	Descrição	Diâm. da Linha (pol)	Diâm. do Furo (pol)	Pressão (kgf/cm ²)	Temp. (°C)	Vazão de Produto na Linha (kg/s) ou Inventário (kg)	Produto	Composição do produto Evento Estudado
1	Grande liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o navio.	3	3	atm	25	6,667	Óleo Diesel	n-Octano
2A	Média liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o navio.		0,6					
3	Grande liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o Tanque de Armazenamento.	3	3	atm	25	6,667		
4A	Média liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o Tanque de Armazenamento.		0,6					
5	Grande liberação de óleo diesel, durante descarregamento da barçaça desde a barçaça até o navio.	3	3	atm	25	6,667		
6A	Média liberação de óleo diesel, durante descarregamento da barçaça desde a barçaça até o navio		0,6					
7	Ruptura do Caminhão-Tanque	*	*	atm	25	24000		
8	Ruptura do Navio Tanque	*	*	atm	25	240000		
9	Ruptura do Tanque de Armazenamento	*	*	atm	25	34400	Óleo Diesel	n-Octano
10	Ruptura da barçaça	*	*	atm	25	24000		
11	Explosão do silo (poeira explosiva)	*	*	atm	25	342	Grão	GLP

5.4 Resultados das Simulações

A Tabela 5.4 apresenta os resultados obtidos nas simulações, enquanto os relatórios de saída do *PHAST* encontram-se no Anexo VI.

O mapeamento das áreas vulneráveis está apresentado no Anexo VII.



Tabela 5.4 – Resultado das Simulações

Hipótese	Flash	Flash	Jato de Fogo (kW/m ²)						Sobrepessão (bar)			
	Dia	Noite	Dia			Noite			Dia		Noite	
			71,2	36	18,3	71,2	36	18,3	0,3	0,1	0,3	0,1
H1	10,2	12,1	*	7,9	15,0	*	7,9	14,9	15,0	20,06	30,6	41,2
H2A	7,2	7,3	3,8	4,6	9,8	3,6	5,5	9,61	12,5	15,1	13,1	16,2
H3	10,2	12,1	*	7,9	15,0	*	7,9	14,9	15,0	20,06	30,6	41,2
H4A	7,2	7,3	3,8	4,6	9,8	3,6	5,5	9,61	12,5	15,1	13,1	16,2
H5	10,2	12,1	*	7,9	15,0	*	7,9	14,9	15,0	20,06	30,6	41,2
H6A	7,2	7,3	3,8	4,6	9,8	3,6	5,5	9,61	12,5	15,1	13,1	16,2
H7	23,6	20,4	*	*	44,66	*	*	44,62	*	*	*	*
H8	46,1	41,6	*	*	137,5	*	*	137,89	*	*	*	*
H9	25,29	22,5	*	*	53,23	*	*	53,2	*	*	*	*
H10	23,6	20,4	*	*	44,66	*	*	44,62	*	*	*	*
H11	-	-	-	-	-	-	-	-	36,7	73,64	36,7	73,64


* Distância Não Atingida

- Não se aplica.

5.5. Análise de Vulnerabilidade

A análise de vulnerabilidade é realizada segundo procedimentos que envolvem a estimativa dos danos gerados sobre a população exposta e ao meio ambiente, devido ao desencadeamento das seqüências acidentais identificadas no Estudo. O limite da área de interesse das conseqüências físicas é expresso sob a forma de mapas (mapeamento de áreas vulneráveis), que mostram o *layout* e a plotagem das distâncias máximas atingidas pelas intensidades de radiação térmica e sobrepressão decorrentes, respectivamente, de incêndio e explosão e ainda concentrações de interesse decorrentes de substâncias tóxicas, correspondente às probabilidades de fatalidade de 1% e 50%.

Os efeitos gerados, a partir de um acidente, dependem da capacidade de resistência dos materiais envolvidos e das conseqüências físicas. Assim, os Modelos de Vulnerabilidade apresentam uma estimativa dos danos em função das características das conseqüências físicas geradas.



A determinação das intensidades de radiação térmica e sobrepressão e concentrações tóxicas decorrentes dos eventos finais considerados, com suas respectivas áreas de influência para os níveis de exposição predeterminados, obtidas através da aplicação dos modelos matemáticos, item 5.4, conduziu à elaboração do mapeamento das áreas vulneráveis.

Os pontos de liberação de cada uma das hipóteses acidentais encontram-se no Anexo V, enquanto o mapeamento das áreas vulneráveis está apresentado no Anexo VII, contemplando as maiores distâncias obtidas nas simulações.

5.6 Considerações Gerais

Tomando por base os resultados das simulações realizadas, pode-se observar que, para a tipologia acidental *flashfire*, a maior distância alcançada (56,1 m), ocorreu na hipótese 08, período diurno.

Nos casos associados a incêndio em poça, o maior alcance (137,89 m) ocorreu na hipótese 08, no período noturno, para o nível de radiação térmica de 18,3 kW/m², que corresponde a 1% de fatalidade.

Com relação às distâncias atingidas por sobrepressões, observou-se que a maior distância atingida foi de 73,64 m, na hipótese 11, no período noturno e para o nível de 0,1 bar, que corresponde a 1% de probabilidade de fatalidade.

O Anexo VII apresenta o mapeamento das áreas vulneráveis, ressaltando que foram mapeadas apenas as hipóteses cujas distâncias extrapolaram os limites do empreendimento.



6. ESTIMATIVA DAS FREQUÊNCIAS DE OCORRÊNCIA

6.1. Introdução

As hipóteses acidentais identificadas na APP e selecionadas para serem avaliadas quantitativamente neste estudo foram apresentadas no Capítulo 4. Essas hipóteses estão relacionadas a vazamentos de óleo diesel que, eventualmente, venham a ocorrer durante a operação de descarregamento do Porto do Forno em Arraial do Cabo - RJ.

6.2. Metodologia

Para a obtenção da frequência de ocorrência de cada hipótese acidental foram somadas as frequências das falhas dos componentes existentes no trecho da instalação, passíveis de sofrerem falhas gerando liberação dos produtos. Esse procedimento é equivalente à construção de uma árvore de falhas, na qual, o evento topo é um portão “ou” e cujas entradas são as causas relacionadas com as falhas de linhas, válvulas ou outros componentes associados ao trecho em questão.

A Tabela 6.1 apresenta os dados de falhas dos componentes e as respectivas referências.

Tabela 6.1 – Frequências de Falhas dos Componentes

Componente	Ruptura Catastrófica (ano⁻¹)	Ruptura Parcial (ano⁻¹)	Referência
Válvula	1,0E-05	1,0E-04	J.R.Taylor – pág.13
Mangote	2,6E-03	5,0E-03	Lees – A 8/9 J.R.Taylor – pág.17
Tanque atmosférico	5,0E-06	-	TNO – pág 3.6

Segundo o TNO, as falhas em flanges estão inclusas na frequência de falha em tubulação, considerando o comprimento mínimo desta igual a 10 metros.

6.2.1. Fator de Utilização

A operações ocorrerem durante 1 hora, as frequências dos mangotes, braços de carregamento e a permanência dos caminhões no pátio da empresa foram corrigidos, em função do volume de produto movimentado por ano, pois estes equipamentos não permanecem com produto no momento em que a operação não ocorre, diferentemente das linhas, válvulas e demais equipamentos que permanecem 100% do tempo com produto.

O fator de utilização aplicado para os mangotes e permanência dos caminhões no pátio carregados está apresentado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Fator de Utilização dos equipamentos

Combustível	Quantidade Movimentada no Ano (m³)	Vazão da Bomba / Taxa de vazamento no descarregamento (m³/h)	Fator de utilização
Descarregamento Caminhão-Tanque			
Óleo Diesel	4200	30	0,016
Descarregamento Barcaça			
Óleo Diesel	1800	30	0,0068

A Tabela 6.3 apresenta as frequências de ocorrências para cada hipótese acidental e respectivos valores obtidos levando em consideração o fator de utilização anteriormente mencionado e os componentes (equipamentos) identificados.

Tabela 6.3 – Frequência das Hipóteses Acidentais

Número de Ordem	Operação	Componente	Nº elementos	Tipo de falha	Taxa unitaria	Fator de Utilização	Taxa de falha	Frequência Acumulada
1	Grande liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o navio.	Válvula	2	Ruptura total	1,00E-05	1	2,00E-05	6,16E-05
		Mangote	1		2,60E-03	0,016	4,16E-05	
2A	Média liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o navio.	Válvula	2	Ruptura parcial	1,00E-04	1	2,00E-04	2,42E-04
		Mangote	1		2,60E-03	0,016	4,16E-05	
3	Grande liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o Tanque de Armazenamento.	Válvula	2	Ruptura total	1,00E-05	1	2,00E-05	6,16E-05
		Mangote	1		2,60E-03	0,016	4,16E-05	
4A	Média liberação de óleo diesel, durante descarregamento do caminhão-tanque desde o caminhão até o Tanque de Armazenamento.	Válvula	2	Ruptura parcial	1,00E-04	1	2,00E-04	2,42E-04
		Mangote	1		2,60E-03	0,016	4,16E-05	
5	Grande liberação de óleo diesel, durante descarregamento da barcaça desde a barcaça até o navio.	Válvula	2	Ruptura total	1,00E-05	1	2,00E-05	3,77E-05
		Mangote	1		2,60E-03	0,0068	1,77E-05	
6A	Média liberação de óleo diesel, durante descarregamento da barcaça desde a barcaça até o navio	Válvula	2	Ruptura parcial	1,00E-04	1	2,00E-04	2,18E-04
		Mangote	1		2,60E-03	0,0068	1,77E-05	
7	Ruptura do Caminhão-Tanque	Tanque Atmosférico	1	Vazamento instantâneo	5,00E-06	0,016	8,00E-08	8,00E-08
8	Ruptura do Navio Tanque	Tanque Atmosférico	1	Vazamento instantâneo	5,00E-06	0,016	8,00E-08	8,00E-08
9	Ruptura do Tanque de Armazenamento	Tanque Atmosférico	1	Vazamento instantâneo	5,00E-06	1	5,00E-06	5,00E-06
10	Ruptura da barcaça	Tanque Atmosférico	1	Vazamento instantâneo	5,00E-06	0,068	3,40E-07	3,40E-07
11	Explosão do silo (poeira explosiva)	Silo	6	Explosão	5,00E-06	1	3,00E-05	3,00E-05

Observações:

O valor da frequência final da hipótese é obtido através da equação:

Frequência final da hipótese = \sum_n^1 Taxa de falha de todos os equiptos da hipótese. A taxa de falha dos equipamentos da hipótese é calculada considerando:

Quantidade/Comprimento (equipto n) * Freq. de falha do equipamento (equipto n) * Fator de utilização da hipótese = Freq. Falha da quantidade de equipamentos (equipto n).

6.3 **Árvore de Eventos**

As Árvores de Eventos descrevem as seqüências dos fatos que se desenvolvem para que um acidente ocorra, definindo quais são as possíveis conseqüências geradas pelo mesmo e estabelecendo, portanto, uma série de relações entre o evento inicial e os eventos subseqüentes os quais, combinados, resultam nas conseqüências do acidente. Estas relações são estabelecidas pelas interferências do homem (operador) com o sistema em estudo ou com os sistemas de segurança previstos, ou ainda, em situações que possam gerar diferentes tipos de danos, de acordo com a forma em que ocorra o evento.

Assim, as Árvores de Eventos do presente estudo tem a finalidade de analisar as conseqüências possíveis de vazamentos de Óleo Diesel.

Desta forma, as Árvores de Eventos são elaboradas para a seqüência acidental que poderá ser desenvolvida após um vazamento, conforme apresentado na Figura 6.1 a seguir.



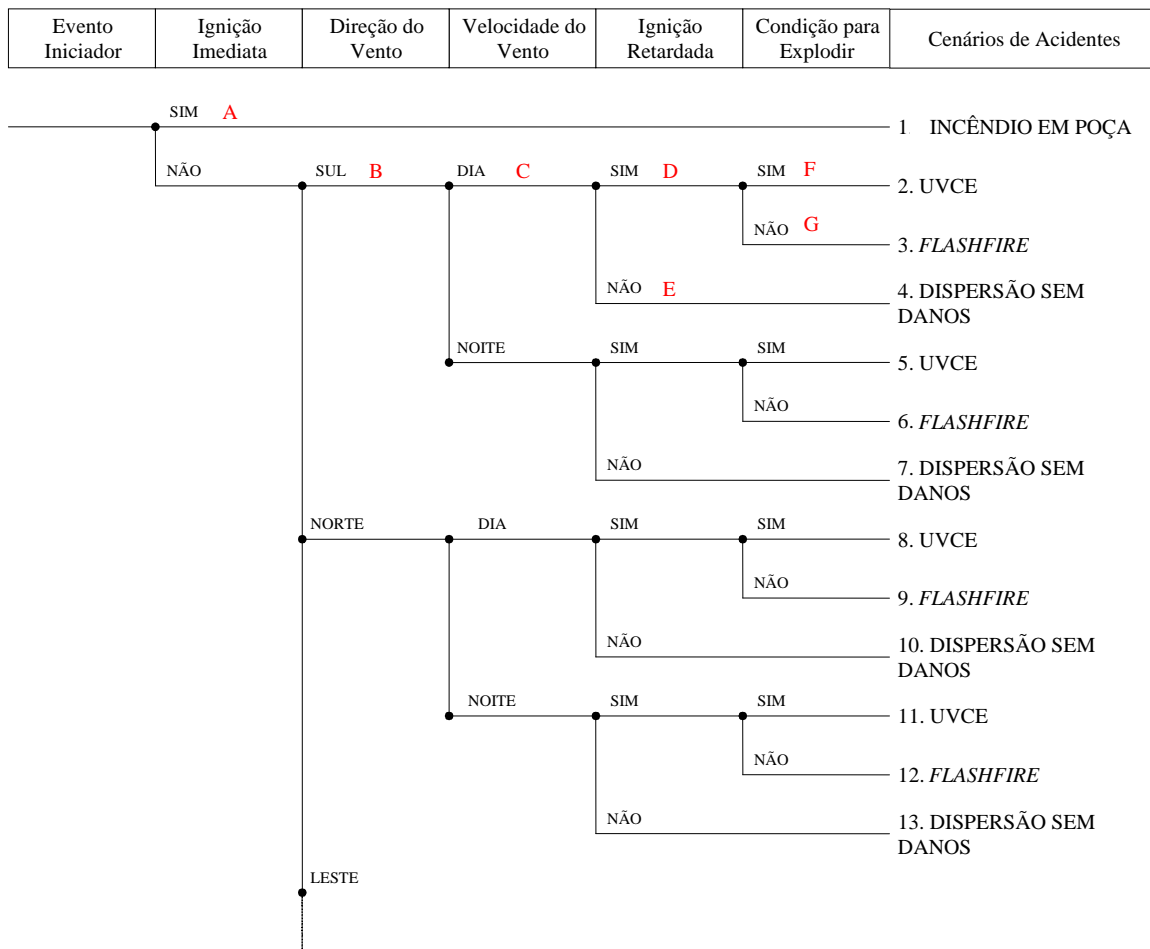


Figura 6.1 – Árvore de Eventos Quantitativa para Vazamento de Óleo Diesel

As explicações do método de cálculo das árvores de eventos estão descritas no item 6.3.1 a seguir.

6.3.1 Frequências dos Cenários Acidentais

Para cada uma das hipóteses acidentais, cuja frequência final foi calculada anteriormente, é construída uma Árvore de Evento (tal como apresentada na Figura 6.1) de acordo com o cenário gerado. Ou seja, para cada uma das hipóteses acidentais o programa QUANTOX, desenvolvido pela ITSEMAP Espanha e utilizado neste trabalho para a avaliação quantitativa dos riscos, constrói automaticamente uma árvore de eventos a fim de avaliar as frequências de cada um dos cenários de acidente.

A primeira “quebra” do cabeçalho das árvores de eventos apresentadas referem-se à ocorrência ou não de ignição imediata (no local). Se a resposta for afirmativa, pode ocorrer Incêndio em Poça. Não havendo ignição imediata (no local) do produto liberado, dá-se a formação de uma nuvem de vapor que é transportada pelo vento.

As “quebras” subseqüentes, não havendo ignição imediata, levam em consideração para o cálculo da frequência as condições meteorológicas (período, direção e velocidade do vento).

Nas colunas seguintes da AE questiona-se sobre a ocorrência de ignição retardada da nuvem nos pontos de ignição identificados na região de interesse, ou seja, dentro do limite inferior de inflamabilidade (LII) da hipótese, resultando em *flashfire* / explosão (UVCE). Caso não haja ignição retardada, a nuvem se dispersa sem causar qualquer dano.

A “quebra” referente à condição para explodir da AE estima a probabilidade de explosão de acordo com a massa da nuvem inflamável.

Sendo assim, as probabilidades da árvore de eventos, apresentadas nas figuras acima, são definidas a seguir:

A - Probabilidade de ignição imediata - extraída TNO *Purple Book* – página 4.13 e 4.14, depende da taxa de vazamento, massa liberada ou da reatividade do gás, como mostrado na Tabela 6.4 a seguir:

Tabela 6.4– Probabilidade de Ignição Imediata

Vazamento		Substância		
Contínuo	Instantâneo	Líquido	Gás de baixa reatividade	Gás de alta e média reatividade
< 10 kg/s	< 1.000 kg	0,065	0,02	0,2
10 – 100 kg/s	1.000 – 10.000 kg	0,065	0,04	0,5
> 100 kg/s	> 10.000 kg	0,065	0,09	0,7

Fonte: TNO - Purple Book.

B - Probabilidade de direção do vento - frequência de ocorrência do vento nas respectivas direções. O programa *QUANTOX* utilizado pelo ITSEMAP do Brasil considera 16 direções do vento, conforme apresentado no Capítulo 2;

C - Probabilidade de velocidade do vento – probabilidade do evento ocorrer nos períodos diurno e noturno. Considerou-se para o período diurno 50% e para o noturno 50%.

D - Probabilidade de ignição retardada – probabilidade calculada considerando todas as fontes de ignição que se encontram dentro da nuvem de vapor, delimitada pelo Limite Inferior de Inflamabilidade (LII), num determinado ponto de liberação. Para determinação da localização das fontes de ignição define-se qual o alcance do LII na foto aérea, plotando-se em cada ponto de liberação definido a maior distância de *flashfire* obtida das simulações. Com a área definida, inserem-se probabilidades de ignição em cada ponto da grade. Quando o *flashfire* atinge dois pontos com fontes de ignição, o cálculo realizado pelo *QUANTOX* é:

$$\text{Prob} = [(\text{ProbA}) + (\text{ProbB})] - [(\text{ProbA}) \cdot (\text{ProbB})]$$

Onde:

- ProbA = probabilidade associada a intensidade da fonte A (eficiência da fonte de ignição).

No presente estudo, foram utilizados os valores das probabilidades de ignição retardada adotados por Lees – Volume 3 – Pág. A7/32 e que estão mostrados na Tabela 6.5. A probabilidade especificamente adotada será apresentada no capítulo 7, referente a estimativa dos riscos.

Tabela 6.5 – Probabilidade de Ignição Retardada

Fontes de Ignição	Probabilidade
“Nenhuma”	0,1
Muito poucas	0,2
Poucas	0,5
Muitas	0,9

Estes valores foram adotados, considerando-se a efetividade das fontes de ignição igual a 100%, ou seja, a ignição ocorrerá apenas se ela estiver presente no local.

E - Probabilidade de não ignição retardada - probabilidade de não ocorrendo a ignição retardada ocorrer a dispersão da nuvem, ou seja:

$$\text{Prob não ignição (E)} = 1 - \text{Prob ignição (D)};$$

F - Probabilidade de explosão da nuvem - relacionada à massa de vapor inflamável, que poderá explodir, baseada em LEES – Volume 2, pág. 16/154 e 16/155, conforme valores apresentados na Tabela 6.6 a seguir:

Tabela 6.6 - Probabilidade de Explosão

Massa de vapor inflamável (kg)	Probabilidade de Explosão
< 1.000	0,01
> 100.000	1,0

Para massas menores que 100.000 kg e maiores que 1.000 kg, o programa faz uma interpolação logarítmica para obter a probabilidade de explosão correspondente a massa.



G - Probabilidade de não explosão – probabilidade de ocorrer apenas incêndio em nuvem (*flashfire*), em caso de ignição retardada não havendo explosão da nuvem, ou seja:

$$\text{Prob não explosão (G)} = 1 - \text{Prob explosão (F)}.$$

7. ESTIMATIVA E AVALIAÇÃO DE RISCOS

7.1 Introdução

Os resultados das estimativas dos riscos decorrentes das operações do Porto do Forno, localizada em Arraial do Cabo-RJ estão apresentados neste capítulo. Foram calculados os riscos social e individual, sendo o primeiro expresso por meio de curva f-N e o segundo sob a forma de curvas (contornos) de iso-risco.

A curva f-N caracteriza o risco para a comunidade exposta, fornecendo a frequência acumulada de ocorrência de acidentes com N ou mais vítimas (acidentes com múltiplas vítimas); por outro lado, os contornos de iso-risco individual fornecem uma visão da distribuição espacial dos níveis de risco nas regiões circunvizinhas a instalação analisada.

Os cálculos para a estimativa dos riscos foram realizados com o programa *QUANTOX*, desenvolvido pela ITSEMAP STM – Serviços Tecnológicos MAPFRE, integrando frequências e conseqüências para todos os cenários acidentais gerados a partir de cada uma das hipóteses acidentais identificadas no Capítulo 4, levando em consideração as distâncias atingidas pelos níveis de radiação e sobrepressão (áreas vulneráveis).

7.2. Risco Social

7.2.1. Conceito

O risco social representa o risco para um grupo de pessoas constituído pela comunidade exposta aos efeitos dos acidentes passíveis de ocorrer nas instalações em análise. Assim, o risco social diz respeito à população presente na zona de alcance dos efeitos físicos gerados pelos diferentes cenários de acidentes.


Normalmente, o risco social é expresso através das “curvas f-N”, as quais fornecem a frequência esperada de ocorrência de acidentes, em geral expressa em base anual, com um número de vítimas maior ou igual a um determinado valor. A vantagem dessas curvas é que elas mostram graficamente todo o espectro dos riscos associados às instalações de interesse, indicando o potencial associado a acidentes maiores.

No presente trabalho, a curva f-N do Porto do Forno foi calculada pelo Programa *QUANTOX*, compilando os dados relativos aos cenários de acidentes que levaram a um determinado número de vítimas fatais maior ou igual a um determinado valor, de acordo com o número de pessoas presentes na área definida pelos maiores alcances, a qual foi dividida em células formando uma “grade de pontos” para o cálculo dos riscos.

Para cada nível de fatalidade foram somadas as frequências que igualaram ou ultrapassaram aquele nível, obtendo-se então pares ordenados de $f \times N$ (f = frequência acumulada para N ou mais fatalidades), que deram origem à curva de risco social.

7.2.2 Identificação da População Vulnerável

Após a simulação das conseqüências e identificação das maiores distâncias de cada ponto de liberação (definidos no Capítulo 5) selecionado, foi elaborada uma “grade” de pontos sobre a área atingida (área vulnerável).



A “grade”, ou malha, permitirá um cálculo pontual sobre a população possivelmente afetada e possui espaçamento constante devendo ser de acordo com o entorno estudado e compatível com a maior distância calculada a ser definida. Para o Porto do Forno, utilizou-se malha com espaçamento de 25 x 25 m, como pode ser observado no Anexo VIII.

A população foi identificada em trabalhos de campo e através da foto aérea do local, com a população distribuída uniformemente sobre a malha de acordo com sua localização ou pontualmente.

A Tabela 7.1 apresentada a seguir mostra a distribuição da população na área vulnerável, ponto a ponto, e os resultados obtidos no Programa *QUANTOX*. Entretanto, no que diz respeito a população dia e população noite, adotaram-se as seguintes premissas:


- O programa *QUANTOX* considera que a presença da população varia com o tempo, uma vez que indivíduos não permanecem fixos em um determinado local em tempo integral e, portanto, deve-se atentar para o fato de que não serão atingidos em sua totalidade na ocorrência de um acidente. Por esta razão, devem-se considerar diferentes frações de permanência para a população durante o período em análise. Assim, os campos % Dia e % Noite da Tabela 7.1 foram preenchidos de acordo com os levantamentos de campo e representam a fração de permanência da população no ponto

da malha. O percentual dia equivale a 100% (6:00 às 18:00 hs → 12 horas), assim como o percentual noite, que também equivale a 100% (18:00 às 6:00 hs → 12 horas); porém não necessariamente as pessoas permanecem nos respectivos locais todo o tempo; ou seja, esse percentual poderá ser inferior a 100%.

- Foi considerado o tipo de construção em que as pessoas encontram-se no entorno da empresa, de forma que % exterior e % interior indicam a magnitude de exposição ao efeito físico, em função do fator de proteção que a construção proporciona.
- Para facilitar, o Anexo I apresenta a foto aérea de forma a serem visualizadas as áreas vulneráveis constantes da Tabela 7.1.

A Tabela 7.1 apresenta os diferentes pontos de interesse (presença de população) para o cálculo do risco social, situados na área afetada pelos cenários acidentais, apresentados nos capítulos anteriores.

Tabela 7.1 – Áreas Vulneráveis



Denominação	X	Y	Pop. Dia	Pop. Noite	% Exterior Dia	% Exterior Noite
Porto do Forno	0	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	0	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	25	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	0	0	0	30%	10%

Tabela 7.1 – Áreas Vulneráveis

Denominação	X	Y	Pop. Dia	Pop. Noite	% Exterior Dia	% Exterior Noite
Porto do Forno	50	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	50	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	75	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	100	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	125	300	0	0	30%	10%

Tabela 7.1 – Áreas Vulneráveis

Denominação	X	Y	Pop. Dia	Pop. Noite	% Exterior Dia	% Exterior Noite
Porto do Forno	150	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	150	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	175	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	200	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	225	275	0	0	30%	10%

Tabela 7.1 – Áreas Vulneráveis

Denominação	X	Y	Pop. Dia	Pop. Noite	% Exterior Dia	% Exterior Noite
Porto do Forno	225	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	250	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	275	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	300	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	250	0	0	30%	10%

Tabela 7.1 – Áreas Vulneráveis

Denominação	X	Y	Pop. Dia	Pop. Noite	% Exterior Dia	% Exterior Noite
Porto do Forno	325	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	325	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	350	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	375	300	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	0	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	25	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	50	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	75	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	100	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	125	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	150	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	175	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	200	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	225	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	250	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	275	0	0	30%	10%
Porto do Forno	400	300	0	0	30%	10%

- X e Y representam as coordenadas relativas do sistema de referência utilizado que delimitam as áreas vulneráveis;
- Pop. Dia corresponde ao número médio de pessoas expostas no período diurno nas respectivas áreas vulneráveis;
- Pop. Noite corresponde ao número médio de pessoas expostas no período noturno nas respectivas áreas vulneráveis;
- % Exterior Dia representa o percentual de exposição em função da localização das pessoas (fora de edificações) no período diurno – por diferença o Programa calcula a % interior dia;
- % Exterior Noite representa o percentual de exposição em função da localização das pessoas (fora de edificações) no período noturno – por diferença o Programa calcula a % interior noite.

7.2.3 Condições Meteorológicas

O *QUANTOX* permite inserir 16 direções de vento e são utilizadas duas condições meteorológicas, uma vez que são considerados dois períodos (diurno e noturno). Os dados meteorológicos utilizados nos cálculos são os apresentados no Capítulo 2 e foram obtidos junto à estação meteorológica da REDUC que está a aproximadamente 150 km do Porto do Forno.

7.2.4 Dados dos Acidentes

A Tabela 7.2 apresenta os dados dos acidentes, ou seja, os valores referentes às hipóteses acidentais utilizadas pelo Programa *QUANTOX*, com as respectivas probabilidades de ignição imediata adotadas no presente trabalho. A seguir estão descritas as informações presentes nesta tabela:

- **Hipótese:** identifica a hipótese acidental;
- **Ponto de liberação:** identifica o ponto de liberação da referida hipótese acidental;
- **X (PL) e Y (PL):** coordenadas de cada ponto de liberação;
- **Frequência da hipótese:** frequência de ocorrência da hipótese acidental, calculada no Capítulo 6;
- **Prob. Ignição Imediata:** probabilidade de ocorrer ignição imediata;
- **Prob. de não ignição imediata.:** representa a probabilidade complementar da ignição imediata.

Tabela 7.2 – Dados dos Acidentes

Ponto de Liberação	Hipótese	Produto	X (PL)	Y (PL)	Frequência da Hipótese (oc/ano ⁻¹)	Prob. Ignição imediata	Prob. não ig. imediata (disp)
PL2	H1	Óleo Diesel	140,00	161,38	6,84E-06	0,065	0,935
PL2	H2A	Óleo Diesel	140,00	161,38	2,68E-05	0,065	0,935
PL1	H3	Óleo Diesel	257,71	200,45	1,26E-05	0,065	0,935
PL1	H4A	Óleo Diesel	257,71	200,45	7,26E-05	0,065	0,935
PL2	H5	Óleo Diesel	140,00	161,38	8,89E-09	0,065	0,935
PL2	H6A	Óleo Diesel	140,00	161,38	8,89E-09	0,065	0,935
PL2	H7	Óleo Diesel	140,00	161,38	2,67E-08	0,065	0,935
PL2	H8	Óleo Diesel	140,00	161,38	2,67E-08	0,065	0,935
PL1	H9	Óleo Diesel	257,71	200,45	5,00E-06	0,065	0,935
PL2	H10	Óleo Diesel	140,00	161,38	3,78E-08	0,065	0,935

Tabela 7.2 – Dados dos Acidentes

Ponto de Liberação	Hipótese	Produto	X (PL)	Y (PL)	Frequência da Hipótese (oc/ano ⁻¹)	Prob. Ignição imediata	Prob. não ig. imediata (disp)
PL3	H1	Óleo Diesel	204,79	150,55	6,84E-06	0,065	0,935
PL3	H2A	Óleo Diesel	204,79	150,55	2,68E-05	0,065	0,935
PL3	H5	Óleo Diesel	204,79	150,55	4,19E-06	0,065	0,935
PL3	H6A	Óleo Diesel	204,79	150,55	2,42E-05	0,065	0,935
PL3	H7	Óleo Diesel	204,79	150,55	8,89E-09	0,065	0,935
PL3	H8	Óleo Diesel	204,79	150,55	8,89E-09	0,065	0,935
PL3	H10	Óleo Diesel	204,79	150,55	3,78E-08	0,065	0,935
PL4	H1	Óleo Diesel	266,02	140,00	6,84E-06	0,065	0,935
PL4	H2A	Óleo Diesel	266,02	140,00	2,68E-05	0,065	0,935
PL4	H5	Óleo Diesel	266,02	140,00	4,19E-06	0,065	0,935
PL4	H6A	Óleo Diesel	266,02	140,00	2,42E-05	0,065	0,935
PL4	H7	Óleo Diesel	266,02	140,00	8,89E-09	0,065	0,935
PL4	H8	Óleo Diesel	266,02	140,00	8,89E-09	0,065	0,935
PL4	H10	Óleo Diesel	266,02	140,00	3,78E-08	0,065	0,935
PL5	H11	Grãos	65,00	325,00	1,50E-05	0,065	0,935
PL6	H11	Grãos	60,00	300,00	1,50E-05	0,065	0,935

Observações:

- X e Y correspondem às coordenadas de localização dos pontos de liberação de acordo com o sistema de referência adotado.


7.2.5 Alcance das Conseqüências de Acidentes

Para o cálculo do risco insere-se ainda no programa *QUANTOX* os resultados das simulações das conseqüências apresentados no Capítulo 5.

7.2.6 Fontes de Ignição

Foram adotados valores de probabilidade de ignição pontuais de acordo com a Tabela 6.3. Vale ressaltar que estes valores foram utilizados considerando-se a efetividade das fontes de ignição igual a 100%, ou seja, a ignição ocorrerá apenas se a fonte estiver presente no local. A Tabela 7.3 apresenta os valores de probabilidade de ignição adotados ao longo dos pontos da malha.

Tabela 7.3 – Fontes de Ignição

Denominação do Ponto	X	Y	Intensidade
Porto do Forno	0	0	0,5
Porto do Forno	0	25	0,5
Porto do Forno	0	50	0,5
Porto do Forno	0	75	0,5
Porto do Forno	0	100	0,5
Porto do Forno	0	125	0,5

Tabela 7.3 – Fontes de Ignição

Denominação do Ponto	X	Y	Intensidade
Porto do Forno	0	150	0,5
Porto do Forno	0	175	0,5
Porto do Forno	0	200	0,5
Porto do Forno	0	225	0,5
Porto do Forno	0	250	0,5
Porto do Forno	0	275	0,5
Porto do Forno	0	300	0,5
Porto do Forno	25	0	0,5
Porto do Forno	25	25	0,5
Porto do Forno	25	50	0,5
Porto do Forno	25	75	0,5
Porto do Forno	25	100	0,5
Porto do Forno	25	125	0,5
Porto do Forno	25	150	0,5
Porto do Forno	25	175	0,5
Porto do Forno	25	200	0,5
Porto do Forno	25	225	0,5
Porto do Forno	25	250	0,5
Porto do Forno	25	275	0,5
Porto do Forno	25	300	0,5
Porto do Forno	50	0	0,5
Porto do Forno	50	25	0,5
Porto do Forno	50	50	0,5
Porto do Forno	50	75	0,5
Porto do Forno	50	100	0,5
Porto do Forno	50	125	0,5
Porto do Forno	50	150	0,5
Porto do Forno	50	175	0,5
Porto do Forno	50	200	0,5
Porto do Forno	50	225	0,5
Porto do Forno	50	250	0,5
Porto do Forno	50	275	0,5
Porto do Forno	50	300	0,5
Porto do Forno	75	0	0,5
Porto do Forno	75	25	0,5
Porto do Forno	75	50	0,5
Porto do Forno	75	75	0,5
Porto do Forno	75	100	0,5
Porto do Forno	75	125	0,5
Porto do Forno	75	150	0,5
Porto do Forno	75	175	0,5
Porto do Forno	75	200	0,5
Porto do Forno	75	225	0,5

Tabela 7.3 – Fontes de Ignição

Denominação do Ponto	X	Y	Intensidade
Porto do Forno	75	250	0,5
Porto do Forno	75	275	0,5
Porto do Forno	75	300	0,5
Porto do Forno	100	0	0,5
Porto do Forno	100	25	0,5
Porto do Forno	100	50	0,5
Porto do Forno	100	75	0,5
Porto do Forno	100	100	0,5
Porto do Forno	100	125	0,5
Porto do Forno	100	150	0,5
Porto do Forno	100	175	0,5
Porto do Forno	100	200	0,5
Porto do Forno	100	225	0,5
Porto do Forno	100	250	0,5
Porto do Forno	100	275	0,5
Porto do Forno	100	300	0,5
Porto do Forno	125	0	0,5
Porto do Forno	125	25	0,5
Porto do Forno	125	50	0,5
Porto do Forno	125	75	0,5
Porto do Forno	125	100	0,5
Porto do Forno	125	125	0,5
Porto do Forno	125	150	0,5
Porto do Forno	125	175	0,5
Porto do Forno	125	200	0,5
Porto do Forno	125	225	0,5
Porto do Forno	125	250	0,5
Porto do Forno	125	275	0,5
Porto do Forno	125	300	0,5
Porto do Forno	150	0	0,5
Porto do Forno	150	25	0,5
Porto do Forno	150	50	0,5
Porto do Forno	150	75	0,5
Porto do Forno	150	100	0,5
Porto do Forno	150	125	0,5
Porto do Forno	150	150	0,5
Porto do Forno	150	175	0,5
Porto do Forno	150	200	0,5
Porto do Forno	150	225	0,5
Porto do Forno	150	250	0,5
Porto do Forno	150	275	0,5
Porto do Forno	150	300	0,5
Porto do Forno	175	0	0,5



Tabela 7.3 – Fontes de Ignição

Denominação do Ponto	X	Y	Intensidade
Porto do Forno	175	25	0,5
Porto do Forno	175	50	0,5
Porto do Forno	175	75	0,5
Porto do Forno	175	100	0,5
Porto do Forno	175	125	0,5
Porto do Forno	175	150	0,5
Porto do Forno	175	175	0,5
Porto do Forno	175	200	0,5
Porto do Forno	175	225	0,5
Porto do Forno	175	250	0,5
Porto do Forno	175	275	0,5
Porto do Forno	175	300	0,5
Porto do Forno	200	0	0,5
Porto do Forno	200	25	0,5
Porto do Forno	200	50	0,5
Porto do Forno	200	75	0,5
Porto do Forno	200	100	0,5
Porto do Forno	200	125	0,5
Porto do Forno	200	150	0,5
Porto do Forno	200	175	0,5
Porto do Forno	200	200	0,5
Porto do Forno	200	225	0,5
Porto do Forno	200	250	0,5
Porto do Forno	200	275	0,5
Porto do Forno	200	300	0,5
Porto do Forno	225	0	0,5
Porto do Forno	225	25	0,5
Porto do Forno	225	50	0,5
Porto do Forno	225	75	0,5
Porto do Forno	225	100	0,5
Porto do Forno	225	125	0,5
Porto do Forno	225	150	0,5
Porto do Forno	225	175	0,5
Porto do Forno	225	200	0,5
Porto do Forno	225	225	0,5
Porto do Forno	225	250	0,5
Porto do Forno	225	275	0,5
Porto do Forno	225	300	0,5
Porto do Forno	250	0	0,5
Porto do Forno	250	25	0,5
Porto do Forno	250	50	0,5
Porto do Forno	250	75	0,5
Porto do Forno	250	100	0,5



Tabela 7.3 – Fontes de Ignição

Denominação do Ponto	X	Y	Intensidade
Porto do Forno	250	125	0,5
Porto do Forno	250	150	0,5
Porto do Forno	250	175	0,5
Porto do Forno	250	200	0,5
Porto do Forno	250	225	0,5
Porto do Forno	250	250	0,5
Porto do Forno	250	275	0,5
Porto do Forno	250	300	0,5
Porto do Forno	275	0	0,5
Porto do Forno	275	25	0,5
Porto do Forno	275	50	0,5
Porto do Forno	275	75	0,5
Porto do Forno	275	100	0,5
Porto do Forno	275	125	0,5
Porto do Forno	275	150	0,5
Porto do Forno	275	175	0,5
Porto do Forno	275	200	0,5
Porto do Forno	275	225	0,5
Porto do Forno	275	250	0,5
Porto do Forno	275	275	0,5
Porto do Forno	275	300	0,5
Porto do Forno	300	0	0,5
Porto do Forno	300	25	0,5
Porto do Forno	300	50	0,5
Porto do Forno	300	75	0,5
Porto do Forno	300	100	0,5
Porto do Forno	300	125	0,5
Porto do Forno	300	150	0,5
Porto do Forno	300	175	0,5
Porto do Forno	300	200	0,5
Porto do Forno	300	225	0,5
Porto do Forno	300	250	0,5
Porto do Forno	300	275	0,5
Porto do Forno	300	300	0,5
Porto do Forno	325	0	0,5
Porto do Forno	325	25	0,5
Porto do Forno	325	50	0,5
Porto do Forno	325	75	0,5
Porto do Forno	325	100	0,5
Porto do Forno	325	125	0,5
Porto do Forno	325	150	0,5
Porto do Forno	325	175	0,5
Porto do Forno	325	200	0,5



Tabela 7.3 – Fontes de Ignição

Denominação do Ponto	X	Y	Intensidade
Porto do Forno	325	225	0,5
Porto do Forno	325	250	0,5
Porto do Forno	325	275	0,5
Porto do Forno	325	300	0,5
Porto do Forno	350	0	0,5
Porto do Forno	350	25	0,5
Porto do Forno	350	50	0,5
Porto do Forno	350	75	0,5
Porto do Forno	350	100	0,5
Porto do Forno	350	125	0,5
Porto do Forno	350	150	0,5
Porto do Forno	350	175	0,5
Porto do Forno	350	200	0,5
Porto do Forno	350	225	0,5
Porto do Forno	350	250	0,5
Porto do Forno	350	275	0,5
Porto do Forno	350	300	0,5
Porto do Forno	375	0	0,5
Porto do Forno	375	25	0,5
Porto do Forno	375	50	0,5
Porto do Forno	375	75	0,5
Porto do Forno	375	100	0,5
Porto do Forno	375	125	0,5
Porto do Forno	375	150	0,5
Porto do Forno	375	175	0,5
Porto do Forno	375	200	0,5
Porto do Forno	375	225	0,5
Porto do Forno	375	250	0,5
Porto do Forno	375	275	0,5
Porto do Forno	375	300	0,5
Porto do Forno	400	0	0,5
Porto do Forno	400	25	0,5
Porto do Forno	400	50	0,5
Porto do Forno	400	75	0,5
Porto do Forno	400	100	0,5
Porto do Forno	400	125	0,5
Porto do Forno	400	150	0,5
Porto do Forno	400	175	0,5
Porto do Forno	400	200	0,5
Porto do Forno	400	225	0,5
Porto do Forno	400	250	0,5
Porto do Forno	400	275	0,5
Porto do Forno	400	300	0,5



7.2.7 Resultados do Risco Social

Para cada uma das hipóteses acidentais, o programa *QUANTOX* constrói automaticamente uma árvore de eventos, a fim de avaliar as frequências de cada um dos cenários de acidente, como mencionado no Capítulo 6. Além disso, o programa associa a cada hipótese suas respectivas conseqüências (simulações), avaliando a quantidade de vítimas que cada cenário pode gerar.

Os dados de entrada do gráfico da curva f-N são frequência acumulada e os respectivos números de vítimas associados, e foram calculados pelo Programa *QUANTOX*. Como o número de vítimas foi menor que 1 (um), a curva f-N não foi gerada.

7.3 Risco Individual



7.3.1 Conceito

O risco individual pode ser definido como sendo a frequência esperada, normalmente expressa em base anual, a que um indivíduo situado numa determinada posição em relação às instalações em análise, venha a sofrer certo dano, em geral fatalidade, em decorrência de acidentes que eventualmente venham a ocorrer nessas instalações.

Como mencionado anteriormente, o risco individual é, comumente, representado por meio dos contornos de iso-risco. Esses contornos ligam os pontos de mesmo nível de risco, fornecendo uma indicação gráfica dos níveis de risco nas circunvizinhanças das instalações em estudo.

No presente trabalho, os riscos individuais foram calculados pelo Programa *QUANTOX* para cada um dos possíveis cenários de acidentes passíveis de ocorrer nas diferentes hipóteses acidentais identificadas e detalhadas na AQR (Avaliação Quantitativa de Riscos), com base no seguinte procedimento:

- A área de interesse situada na circunvizinhança das instalações do Porto do Forno foi definida com base nos maiores alcances registrados nas simulações, dos cenários de acidentes, realizadas com o Programa *PHAST*;

- Nessa área de interesse foi definida uma “grade” de pontos para que o Programa *QUANTOX* calculasse o risco individual em cada um desses pontos – Anexo VIII (Malha para os cálculos do Risco);
- Dessa forma, o programa determinou a frequência esperada para cada uma das seqüências de acidentes (cenários), multiplicando a frequência de ocorrência da hipótese acidental pelas probabilidades associadas a uma determinada condição em que o acidente venha a ocorrer (condições meteorológicas, fatores de proteção, etc);
- O programa obteve então um valor de “f” (frequência esperada de ocorrência) para cada cenário acidental e um valor de “p” (probabilidade condicional de ocorrência de fatalidade) em cada célula da “grade”;
- O risco individual em cada célula foi calculado, pelo *QUANTOX*, por meio do produto “f x p”; como “f” é função da hipótese acidental e das condições fenomenológicas, e “p” é função do tipo de acidente e do local considerado (célula da “grade”), fazendo-se a somatória dos produtos “f x p” na célula, sobre todos cenários de acidentes para uma determinada hipótese acidental, obteve-se o risco individual, na célula, associado à hipótese em questão. Esse mesmo procedimento foi seguido automaticamente para todos os pontos da “grade” na área de interesse;
- Com esses valores do risco individual em cada célula, é feita uma interpolação bidimensional para a determinação dos pontos onde se encontram níveis de risco individual de interesse, normalmente de 10^{-8} /ano a 10^{-4} /ano; unindo-se esses pontos de mesmo nível de risco individual foram obtidos os contornos (curvas) de iso-risco.

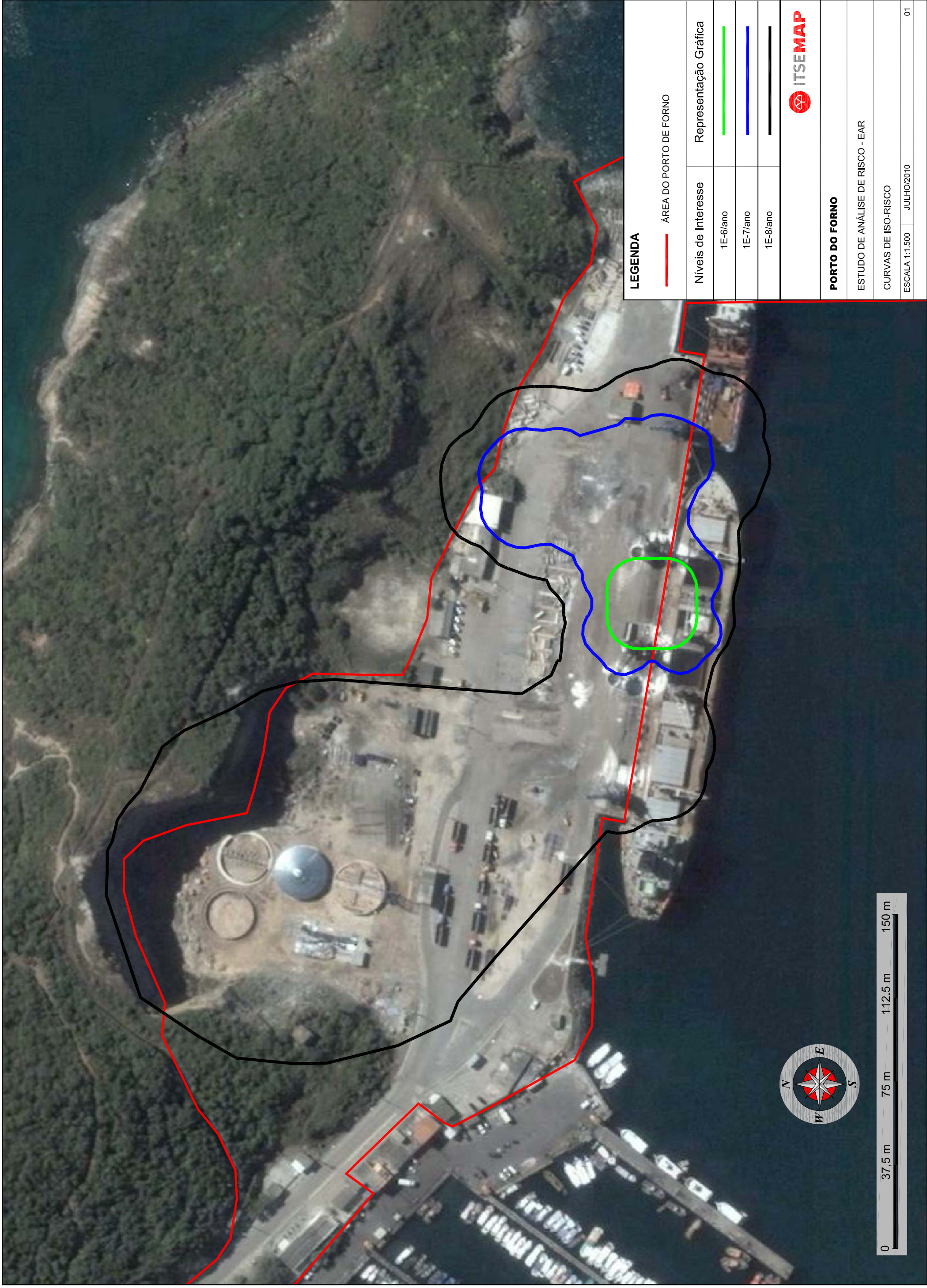


7.3.2. Resultados do Risco Individual

Os valores para os riscos individuais foram calculados em pontos definidos numa malha de 25 x 25 m ao redor da empresa.

O tamanho de cada célula da malha foi escolhido com base nas maiores distâncias atingidas e na configuração das empresas da região, a fim de se obter a maior precisão em cada ponto da malha, ou ainda, para que o número de pessoas fosse uniformemente distribuído.

A Figura 7.2 apresenta os contornos de risco individual ao redor do Porto do Forno.



LEGENDA

— ÁREA DO PORTO DE FORNO

Níveis de Interesse	Representação Gráfica
1E-6/ano	
1E-7/ano	
1E-8/ano	



PORTO DO FORNO

ESTUDO DE ANÁLISE DE RISCO - EAR

CURVAS DE ISO-RISCO

ESCALA 1:1.500 JULHO/2010



7.4. Avaliação dos Riscos

Tomando por base os resultados obtidos nas estimativas dos riscos decorrentes do Porto do Forno, pode-se concluir que:

- Com relação ao Risco Individual, o nível de risco correspondente a $1,0E-05$ /ano, considerado máximo tolerável, não foi gerado, sendo gerado a partir do nível $1,0E-06$ /ano.
- O Risco Social gerado pelos cenários acidentais não gerou curva f-N, por ter sido obtido um número de vítimas menor que 1 (um). Dessa forma, de acordo com a Norma CETESB P4.261261 e o Termo de Referência do IBAMA o risco social é tolerável.




Com base no anteriormente exposto e de acordo com a Norma CETESB P4.261 e o Termo de Referência do IBAMA, pode-se considerar que os riscos referentes as operações realizadas no Porto do Forno são toleráveis.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente Estudo de Análise de Riscos foi elaborado para as instalações do Porto do Forno localizada em Arraial do Cabo - RJ. O principal objetivo do estudo foi avaliar os riscos para a população externa presente no entorno da empresa.

O Porto movimenta Óleo Diesel para abastecimento dos navios e equipamentos. O produto foi classificado quanto a inflamabilidade de acordo com a metodologia da Norma P4.261/2003 da CETESB.

As hipóteses acidentais foram identificadas através da técnica APP – Análise Preliminar de Perigos. As mesmas foram conservativas, uma vez que os riscos impostos pelas instalações consideradas na Avaliação Quantitativa de Riscos – AQR contemplaram rupturas catastróficas e rupturas parciais de linhas.



Para as simulações das conseqüências utilizou-se o programa PHAST - *Process Hazard Analysis Software Tools*, versão 6.54, onde os valores de referência utilizados seguiram o preconizado no Termo de Referência do IBAMA

O cálculo de frequência das hipóteses acidentais foi realizado considerando as taxas de falhas dos equipamentos extraídas de referências bibliográficas internacionais.

No que diz respeito à avaliação dos riscos, utilizou-se o programa *QUANTOX*, desenvolvido pelo ITSEMAP Espanha. Os critérios de tolerabilidade para os riscos social e individual utilizados correspondem aos estabelecidos pela Norma P4.261/03 da CETESB E no Termo de Referência do IBAMA

O Risco Social gerado pelos cenários acidentais não gerou curva f-N, por ter sido obtido um número de vítimas inferior a 1 (um).

Com relação ao Risco Individual, o nível de risco correspondente a 1,0E-05 /ano, considerado máximo tolerável, não foi gerado, sendo gerado a partir do nível 1,0E-06 /ano.

O Risco Individual do empreendimento encontra-se disponível no capítulo 7 do presente relatório.

Com base no anteriormente exposto e de acordo com a Norma CETESB P4.261 e o Termo de Referência do IBAMA, pode-se considerar que os riscos referentes as operações realizadas no Porto do Forno são toleráveis.



9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS (AICHE). Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. 2. Ed. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). P.4.261 Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos. São Paulo, 2003.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Introdução à Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos. Vol. 2. São Paulo, 2001.

DNV – Technica Ltd. PHAST – Process Hazard Analysis Software Tools. Version 6.54. London, 1998.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). Plataforma de Coleta de Dados Meteorológicos de Presidente Prudente. São Paulo, 2005 a 2007.

ITSEMAP ESPANHA SERVIÇOS TECNOLÓGICOS MAPFRE. QUANTO X. Madrid, 2004.

LEES, FRANK P. Loss Prevention in the Process Industries: hazard identification, assesment and control. 2. Ed. London: Butterworths-Heinemann, 1996.

TNO. CPR 16 E: Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials. 1. Ed. Committee for Prevention of Disasters, 1992.

TNO. CPR 18 E: Guidelines for quantitative risk assessment: “Purple Book”. 1. Ed. Committee for Prevention of Disasters, 1999.

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS (AICHE). Understanding Explosions. New York, 2003.

10. EQUIPE TÉCNICA

Coordenação Geral

- **Químico Ricardo Rodrigues Serpa** CRQ 4244537
Diretor Executivo da ITSEMAP do Brasil STM Ltda

Coordenação Adjunta

- **Engº Marco Antonio Amendola** CREA: 5060604420-D
Engenheiro Civil, Gerente de Análise de Riscos e Prevenção de Perdas.
- **Engº Químico Tiago do Monte Correa Novo**
Engenheiro Químico. Coordenador de Análise de Riscos.



Elaboração

- Químico Elifas Morais Alves Junior CRQ: 4562252
- Engº Químico Tiago do Monte Correa Novo CREA: 5062115462/D
- Engº Químico Tiago Kowalski CREA: 5063034534/D