

ÍNDICE

I.	Considerações Gerais	1/130
	I.1 - Objetivo.....	1/130
	I.2 - Metodologia	2/130
	I.3 - Premissas Assumidas	3/130
	I.4 - Resultados Obtidos	4/130
	I.4.1 - Risco Social	4/130
	I.4.2 - Risco Individual	5/130
	I.5 - Comparação dos Riscos e Conclusões	6/130
II.	Descrição do Empreendimento e da Região	7/130
	II.1 - Caracterização do Empreendimento	7/130
	II.1.1 - Características Gerais	7/130
	II.1.2 - Normas Adotadas	9/130
	II.1.3 - Material dos Tubos	9/130
	II.1.4 - Revestimento Externo	9/130
	II.1.5 - Proteção Mecânica	10/130
	II.1.6 - Proteção Catódica.....	10/130
	II.1.7 - Lançadores / Recebedores de Pig	11/130
	II.1.8 - Válvulas de Bloqueio Automático	11/130
	II.1.9 - Aspectos Construtivos	12/130
	II.1.9.1 - Métodos Construtivos	12/130
	II.1.9.2 - Cruzamentos e Travessias em Geral	14/130
	II.2 - Características da Fase de Operação.....	17/130
	II.2.1 - Principais Dutos na Faixa	17/130
	II.2.2 - Sinalização da Faixa	18/130
	II.3 - Caracterização da Região	19/130
	II.3.1 - Caracterização da Área do Entorno	19/130
	II.3.2 - Matriz de Ocupação Humana	19/130

II.3.3 -	Dados Climatológicos	22/130
III.	Propriedades Físico-Químicas e Toxicológicas Agudas dos Produtos	27/130
III.1 -	Identificação e Nomenclatura	27/130
III.2 -	Composição e Propriedades Gerais	28/130
III.3 -	Risco de Incêndio e Explosão	29/130
III.3.1 -	Meios de Extinção Apropriados.....	29/130
III.3.2 -	Formas de Atuação no Combate a Incêndio.....	30/130
III.4 -	Propriedades Toxicológicas	30/130
III.5 -	Considerações Finais	31/130
IV.	Análise Histórica de Acidentes.....	32/130
IV.1 -	Causas Iniciais	33/130
IV.2 -	Distribuição das Causas Iniciais e Taxa de Falhas	35/130
IV.2.1 -	7 th EGIG-Report	35/130
IV.2.2 -	Pipeline Product Loss Incidents Report -Base de Dados UKOPA.....	37/130
IV.2.3 -	Distribuição das Dimensões dos Furos.....	41/130
IV.2.4 -	Tipologia Acidental	43/130
IV.2.5 -	Taxa de Falha de Gasoduto a ser Utilizada no Estudo Quantitativo.....	44/130
V.	Identificação de Perigos.....	44/130
V.1 -	Análise Preliminar de Perigos - APP	44/130
V.2 -	Resultados	46/130
V.3 -	Recomendações.....	50/130
VI.	Estimativa das Frequências dos Cenários.....	51/130
VI.1 -	Frequências dos Eventos Iniciais	51/130
VI.2 -	Árvore de Eventos	55/130
VI.3 -	O PHAST RISK.....	56/130
VI.4 -	Frequências dos Cenários Acidentais	65/130
VII.	Cálculo das Consequências e de Vulnerabilidade	65/130
VII.1 -	Análise de Consequência	67/130

VII.1.1 -	Dinâmica de Fluidos Computacional - CFD	67/130
VII.1.2 -	Dinâmica Modelos Semi-Empíricos	68/130
VII.2 -	Análise de Vulnerabilidade.....	69/130
VII.2.1 -	Método PROBIT	69/130
VII.2.2 -	Vulnerabilidade Devido a Incêndios	74/130
VII.2.3 -	Vulnerabilidade devido a Explosões	75/130
VII.3 -	O Programa PHAST	75/130
VII.3.1 -	Dados de Entrada	77/130
VII.3.2 -	Modelos Empregados Pelo PHAST	79/130
VII.4 -	Níveis de Intensidade dos Efeitos Físicos Pesquisados	87/130
VII.5 -	Caracterização dos Cenários Acidentais	88/130
VII.6 -	Resumo dos Resultados	95/130
VII.6.1 -	Áreas Vulneráveis a Jato de Fogo.....	96/130
VII.6.2 -	Áreas Vulneráveis a Incêndio em Nuvem	96/130
VII.6.3 -	Áreas Vulneráveis a Explosão em Nuvem	96/130
VII.7 -	Discussão dos Resultados	98/130
VIII.	Estimativa e Avaliação dos Riscos.....	98/130
VIII.1 -	Risco Social	99/130
VIII.2 -	Risco individual	100/130
VIII.2.1 -	Metodologia	100/130
VIII.3 -	O Programa PHASTRISK	102/130
VIII.3.1 -	Introdução	102/130
VIII.3.2 -	Etapas Empregadas pelo PHASTRISK	103/130
VIII.3.3 -	Algoritmo Usado	105/130
VIII.4 -	Premissas para Cálculo dos Riscos	106/130
VIII.5 -	Resultados dos Riscos	107/130
VIII.5.1 -	Risco Social	107/130
VIII.5.2 -	Risco Individual	108/130

VIII.6 - Comparação dos Riscos e Conclusões	109/130
IX. Medidas Mitigadoras dos Riscos	110/130
IX.1 - Diretrizes para a Elaboração do PGR e PEI	110/130
IX.1.1 - Introdução	111/130
IX.1.2 - Descrição das Instalações	112/130
IX.1.3 - Informações de Segurança de Processo	114/130
IX.1.3.1 - Sistema de Supervisão e Controle	114/130
IX.1.3.1.1 - Sistema de Telecomunicações	114/130
IX.1.3.1.2 - Inspeção da Faixa de Duto	115/130
IX.1.3.1.3 - Sistemas de Segurança	116/130
IX.1.3.1.4 - Lançadores e Recebedores de <i>Pig</i>	116/130
IX.1.4 - Revisão dos Riscos de Processo	117/130
IX.1.5 - Gerenciamento de Modificações	118/130
IX.1.5.1 - Sistema de Permissão de Trabalho (PT)	119/130
IX.1.5.2 - Manutenção e Garantia da Integridade de Sistemas Críticos	119/130
IX.1.5.3 - Material dos Tubos	119/130
IX.1.5.4 - Revestimento Externo	120/130
IX.1.5.5 - Sistema de Proteção Catódica	120/130
IX.1.5.6 - Procedimentos Operacionais	121/130
IX.1.5.7 - Capacitação de Recursos Humanos	122/130
IX.1.5.8 - Treinamento	123/130
IX.1.5.9 - Registro de Treinamento	124/130
IX.1.6 - Investigação de Acidentes	124/130
IX.1.6.1 - Equipe de Investigação de Acidentes	125/130
IX.1.7 - Plano de Ação de Emergência	125/130
IX.1.7.1 - Estrutura do Plano de Ação de Emergência	125/130
IX.1.7.2 - Descrição da Estrutura do Plano de Ação de Emergência	127/130
IX.1.7.3 - Auditorias	130/130
X. Bibliografia Consultada	131/130

XI. Equipe Técnica 131/130

ANEXOS

ANEXO A - Termo de Referência para Estudo de Análise de Riscos em Gasodutos - Revisão 0, de 16 de agosto de 2007 - IBAMA

ANEXO B - Fichas de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ)

ANEXO C - Resultados das Simulações PHAST

ANEXO D - Resultados das Simulações PHASTRISK

Legendas

Quadro I-1 - Níveis de Efeitos Utilizados nas Simulações.....	3/130
Figura I-1 - Distribuição de Edificações Empregada no Cálculo dos Riscos	4/130
Figura I-2 - Risco Social para o Município de Dom Elizeu.....	5/130
Figura I-3 - Curvas de Isorisco no Município de Dom Elizeu	5/130
Quadro I-2 - Recomendações gerado na APP	6/130
Figura II-1 - Esquemático do Gasoduto do Pará	8/130
Figura II-2 - Sistema de Proteção com 3 camadas de Polipropileno (Three-layer) de alta resistência mecânica e proteção contra corrosão para uso em solos agressivos	10/130
Quadro II-1 - Localização das Válvulas de Bloqueio - SDVs.....	12/130
Figura II-3 - Furo Direcional para Travessia de rios	14/130
Quadro II-2 - Travessias ao longo do Gasoduto do Pará	14/130
Quadro II-3 - Cruzamento com Estradas e Rodovias.....	15/130
Quadro II-4 - Cruzamentos com Linha de Transmissão - LT.....	16/130
Quadro II-5 - Municípios atravessados pelo Gasoduto do Pará.....	18/130
Figura II-4 - Edificações na Linha Tronco	19/130
Figura II-5 - Edificações no Ramal 1	20/130
Figura II-6 - Edificações no Ramal 1A.....	20/130
Quadro II-6 - Matriz de Ocupação Humana do Gasoduto do Pará por Edificação na faixa de 30 m.....	21/130
Quadro II-7 - Localização da Estação Meteorológica	23/130
Quadro II-8 - Dados climatológicos médios	23/130
Quadro II-9 - Incidência percentual de vento nas diversas direções para período diurno.....	24/130

Figura II-7 - Incidência percentual de vento nas diversas direções (%) para período diurno	25/130
Quadro II-10 - Incidência percentual de vento nas diversas direções para período noturno.....	26/130
Figura II-8 - Incidência percentual de vento nas diversas direções (%) para período noturno.....	26/130
Quadro III-1 - Identificação e Nomenclatura	27/130
Quadro III-2 - Composição molar do gás natural	28/130
Quadro III-3 - Propriedades Gerais do Gás Natural	28/130
Figura IV-1 - Distribuição das Causas - Dutos Europeus de Transporte de Gás Natural - EGIG 1970 a 2007	35/130
Figura IV-2 - Frequência de ocorrência por Causa e tamanho do vazamento - Dutos europeus de transporte de gás natural - EGIG 1970 a 2007	36/130
Figura IV-3 - Frequência de ocorrência por Classe de Diâmetro - Dutos europeus de transporte de gás natural - EGIG 1970 a 2007.....	36/130
Quadro IV-1 - Comprimento de Duto por Produto Transportado	37/130
Figura IV-4 - Número Anual de Acidentes.....	38/130
Quadro IV-2 - Frequências dos Acidentes	38/130
Quadro IV-3 - Frequências dos Acidentes	39/130
Figura IV-5 - Histórico de Frequências de Falha	40/130
Figura IV-6 - Distribuição das Causas - Dutos Europeus de Transporte de Gás Natural - UKOPA 1962 a 2004	40/130
Figura IV-7 - Frequência dos Acidentes por Causa e Diâmetro Equivalente do Furo	41/130
Quadro IV-4 - Distribuição das dimensões dos furos.....	41/130
Quadro IV-5 - Distribuição dos tipos de vazamento - 4 th EGIG.....	42/130
Quadro IV-6 - Distribuição dos tipos de vazamento - 7 th EGIG.....	42/130
Quadro IV-7 - Distribuição dos tipos de vazamento - UKOPA	42/130

Quadro IV-8 - Tipologias Acidentais Identificadas	43/130
Quadro IV-9 - Distribuição das Tipologias Acidentais	43/130
Quadro V-1 - Categorias de severidade para danos ao público externo ou ao meio ambiente	45/130
Quadro V-2 - Distribuição das Severidades Relativas	46/130
Quadro V-3 - Gasoduto do Pará - Trecho: Açailândia → Barcarena	48/130
Quadro V-4 - Gasoduto do Pará - Trecho: Município de Acará → Belém.....	49/130
Quadro V-5 - Recomendações obtidas pela APP	50/130
Quadro VI-1 - Frequências de incidentes em dutos, distribuídas por causas.....	52/130
Figura VI-1 - Distribuição de incidentes por comprimento por tamanho do vazamento e classe de diâmetro	53/130
Quadro VI-2 - Taxas de Falha /(km.ano) em Gasodutos de Diferentes Dimensões.....	54/130
Quadro VI-3 - Frequência dos eventos iniciadores	54/130
Quadro VI-4 - Probabilidade de ignição por tipo de vazamento.....	55/130
Figura VI-2 - Árvore de Decisão 1: Liberações sem conteúdo líquido	57/130
Figura VI-3 - Árvore de Decisão 2: Liberações contínuas com conteúdo líquido.....	58/130
Figura VI-4 - Árvore de Decisão 3: Liberações instantâneas ou essencialmente instantâneas com conteúdo líquido.....	58/130
Figura VI-5 - Árvore de Eventos: Tipo A (Contínua, jato livre).Aplicável para as rotas de números: 1a, 3a.....	59/130
Figura VI-6 - Árvore de Eventos: Tipo B (Contínua, sem jato livre, sem rainout).Aplicável para as rotas de números: 1b, 2, 3b, 4, 16	60/130
Figura VI-7 - Árvore de Eventos: Tipo C (instantânea, sem rainout)Aplicável para as rotas de números: 10,11	60/130

Figura VI-8 - Árvore de Eventos: Tipo D (instantânea, sem rainout). Aplica-se a Numero de rotas 5, 6, 7, 8, 9, 17, 18, 19, 20	61/130
Figura VI-9 - Árvore de Eventos: Tipo E (instantânea, com rainout, sem vaporização de poça deixada pra trás). Aplicável para as rotas de números: 12,13	62/130
Figura VI-10 - Árvore de Eventos: Tipo F (instantânea, com rainout, com vaporização de poça deixada pra trás). Aplicável para as rotas de números: 14,15	63/130
Gráfico VII-1- Percentual de Indivíduos afetados para uma dada resposta	70/130
Gráfico VII-2 - Curva Dose-Resposta	71/130
Gráfico VII-3 - Curva Normal de Dose - Resposta e a Respectiva Linearização	72/130
Quadro VII-1 - Correlações de Probit Para Vários Tipos de Exposição	73/130
Quadro VII-2 - Transformação de Percentuais em Probits.....	73/130
Quadro VII-3 - Níveis de Fluxo de Radiação Térmica e Efeitos Esperados	74/130
Figura VII-1 - Diagrama lógico para análise de consequência e vulnerabilidade de acidentes com produtos perigosos (PHAST).....	76/130
Figura VII-2 - Modelo de ruptura catastrófica	80/130
Figura VII-3 - Modelo de vazamento	80/130
Figura VII-4 - Modelo de ruptura de linha.....	81/130
Figura VII-5 - Modelo de ruptura de linha para dutos longos	81/130
Quadro VII-4 - Níveis de efeitos utilizados nas simulações.....	87/130
Quadro VII-5 - Diâmetros equivalentes de liberação adotados para cada evento iniciador.....	89/130
Quadro VII-6 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 1.....	90/130
Quadro VII-7 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 2.....	90/130
Quadro VII-8 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 3.....	91/130
Quadro VII-9 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 4.....	91/130

Quadro VII-10 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 5	92/130
Quadro VII-11 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 6	92/130
Quadro VII-12 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 7	93/130
Quadro VII-13 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 8	93/130
Quadro VII-14 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 9	94/130
Quadro VII-15 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 10.....	94/130
Quadro VII-16 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 11.....	95/130
Quadro VII-17 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 12.....	95/130
Quadro VII-18 - Distância Alcançada Pelos Níveis dos Efeitos Físicos para cada Cenário Acidental	97/130
Figura VIII-1 - Curva F-N de tolerabilidade para risco social.....	100/130
Figura VIII-2 - Curvas de Iso-Risco típicas para instalação industrial fixa.....	101/130
Gráfico VIII-1 - Risk Transect	102/130
Figura VIII-3 - Distribuição de Edificações Empregada no Cálculo dos Riscos	107/130
Gráfico VIII-2 - Risco Social- Município de Dom Elizeu.....	108/130
Gráfico VIII-3 - Curvas de Isorisco no município de Dom Eliseu	108/130
Quadro VIII-1 - Recomendações obtidas pela APP.....	109/130
Figura IX-1 - Traçado do Gasoduto do Pará.....	113/130
Figura IX-2 - Configuração típica de um Lançador de "Pigs"	117/130
Quadro IX-1 - Distribuição das Severidades dos Cenários Acidentais	118/130

I. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este relatório, preparado pela RISCO AMBIENTAL ENGENHARIA e ECOLOGY BRASIL, refere-se à Análise Quantitativa de Riscos das Instalações do Gasoduto do Pará, que fará as operações de transferência de gás natural oriundo do Gasoduto Meio Norte, a partir do município de Açailândia, para os municípios de Marabá, Barcarena e Marituba, na região metropolitana de Belém.

As diretrizes deste estudo seguem o Termo de Referência do IBAMA (TR IBAMA)¹ Suas etapas se encontram resumidas a seguir:

- Descrição das Instalações e da região;
- Descrição das Propriedades Físicas, Químicas e Toxicológicas Agudas do Produto Envolvido;
- Identificação de Perigos;
- Estimativa de Frequências;
- Determinação das Consequências e das áreas de Vulnerabilidade;
- Estimativa e Avaliação dos Riscos;
- Bibliografia.

I.1 - OBJETIVO

O principal objetivo desta Análise de Riscos é avaliar o nível de risco que será introduzido pelas operações do Gasoduto do Pará para populações externas às instalações, representado pela estimativa dos riscos individuais e sociais, baseado nas diretrizes definidas no **Anexo A**. Para esta estimativa foram selecionados os cenários acidentais da APP que pertencem categorias de severidade crítica ou catastrófica, cujos efeitos danosos possam ocasionar fatalidades.

¹¹ "Termo de Referência para Estudo de Análise de Riscos em Gasodutos - Revisão 0, de 16 de agosto de 2007."

1.2 - METODOLOGIA

A equipe de analistas de riscos da RISCO AMBIENTAL ENGENHARIA e ECOLOGY BRASIL realizaram os seguintes passos para conduzir o trabalho:

- Levantamento de informações técnicas da Instalação em análise e das demais informações pertinentes como dados populacionais e meteorológicos;
- Análise Preliminar de Perigos (APP), juntamente com profissionais das áreas de meio ambiente e segurança de processos.
- Seleção de cenários acidentais da APP, avaliação de consequências e vulnerabilidade e análise de frequência de ocorrência para esses cenários;
- Avaliação dos riscos infligidos pela Instalação em análise e de sua aceitabilidade;
- Recomendação de medidas mitigadoras específicas para considerações pela Transportadora de Gás do Pará;
- Documentação do estudo de análise de riscos.

A avaliação das frequências de ocorrência dos cenários acidentais baseou-se em bancos de dados de falhas de gasodutos e de probabilidade de ignição e no programa PhastRisk para a construção das árvores de eventos.

Os níveis da intensidade dos efeitos físicos utilizados na modelagem das consequências e vulnerabilidade são os definidos no Termo de Referência (**Anexo A**) para análise de risco e estão apresentados no **Quadro I-1**.

Quadro I-1 - Níveis de Efeitos Utilizados nas Simulações

Tipologia acidental	Nível	Dano
Incêndio em Nuvem	Concentração de vapor correspondente ao Limite Inferior de Inflamabilidade (LII)	100% de fatalidade.
Bola de Fogo	Intensidade da radiação térmica em kW/m ²	1% de fatalidade
Jato de Fogo	Radiação térmica de 3 kW/m ²	Limiar de dor
	<i>Probit</i> correspondente a 1% de fatalidade	1% de fatalidade
	<i>Probit</i> correspondente a 50% de fatalidades	50% de fatalidades
	<i>Probit</i> correspondente a 99% de fatalidades	99% de fatalidades
Explosão	Sobrepresão de 0,05 bar	95% de quebra de vidro
	<i>Probit</i> correspondente a 1% de fatalidade	1% de fatalidade
	<i>Probit</i> correspondente a 50% de fatalidades	50% de fatalidades
	<i>Probit</i> correspondente a 99% de fatalidades	99% de fatalidades

No que diz respeito à avaliação dos riscos, utilizou-se o programa PHASTRISK, v.6.54 e os critérios de tolerabilidade para os riscos social e individual conforme estabelecidos no Item VI.

I.3 - PREMISSAS ASSUMIDAS

De acordo com o Termo de Referência (Anexo A) e levando-se em consideração que o PHASTRISK utiliza informações de caracterização específica de cada cenário, como meteorologia da região de interesse, população e fontes de ignição associadas para predizer o risco, serão consideradas as seguintes premissas específicas no cálculo dos riscos:

- Os riscos social e individual foram calculados para o município de Dom Elizeu por apresentar maior densidade populacional na faixa correspondente à classe de locação. Os valores do risco individual obtidos aí foram estendidos para toda a extensão do duto.
- A distribuição populacional empregada no cálculo do risco social considera 4 indivíduos durante a noite e dois indivíduos durante o dia, no interior das edificações distribuídas ao longo do traçado no Trecho de Dom Elizeu, na Localidade de Ligação do Pará conforme Figura I-1. Na figura, os círculos amarelos representam as edificações no interior da Classe de Locação, marcada em cinza.



Figura I-1 - Distribuição de Edificações Empregada no Cálculo dos Riscos

I.4 - RESULTADOS OBTIDOS

I.4.1 - Risco Social

A Figura I-2 apresenta a curva F x N associada à operação do Gasoduto do Pará no trecho Dom Elizeu e considerando-se aí uma extensão de 1800 metros. A curva em questão está superpostas ao critério de tolerabilidade da CETESB.

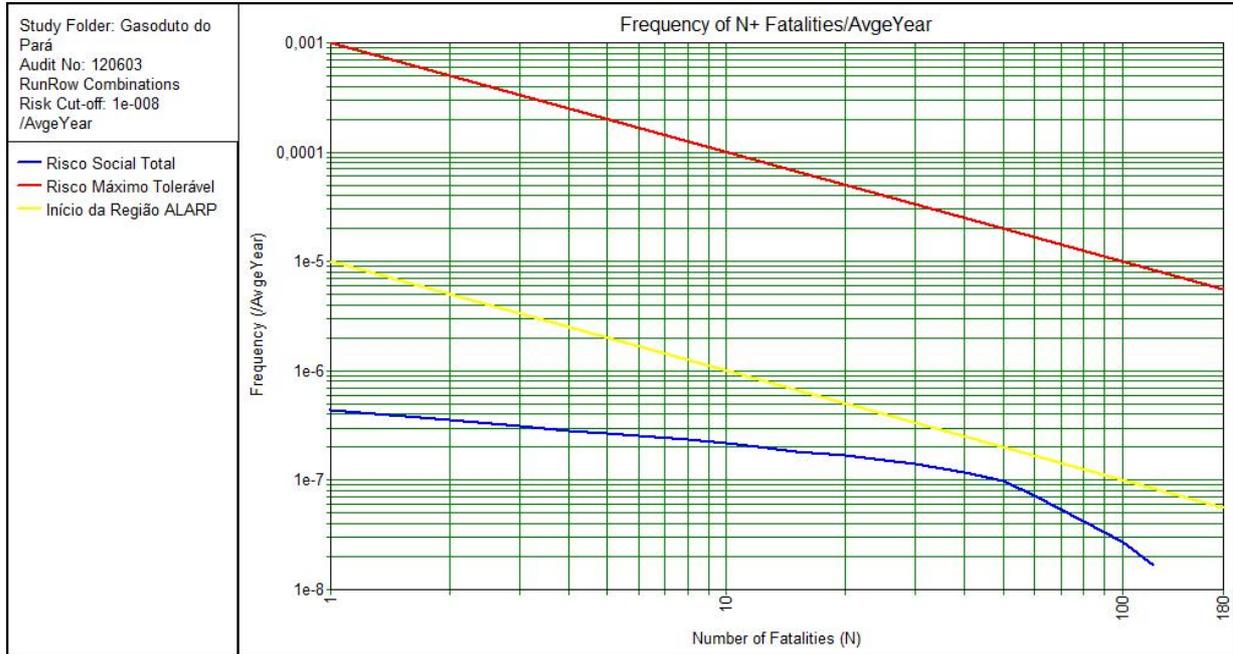


Figura I-2 - Risco Social para o Município de Dom Elizeu

I.4.2 - Risco Individual

As curvas de isorisco estão apresentadas na Figura I-3 para o Gasoduto do Pará.

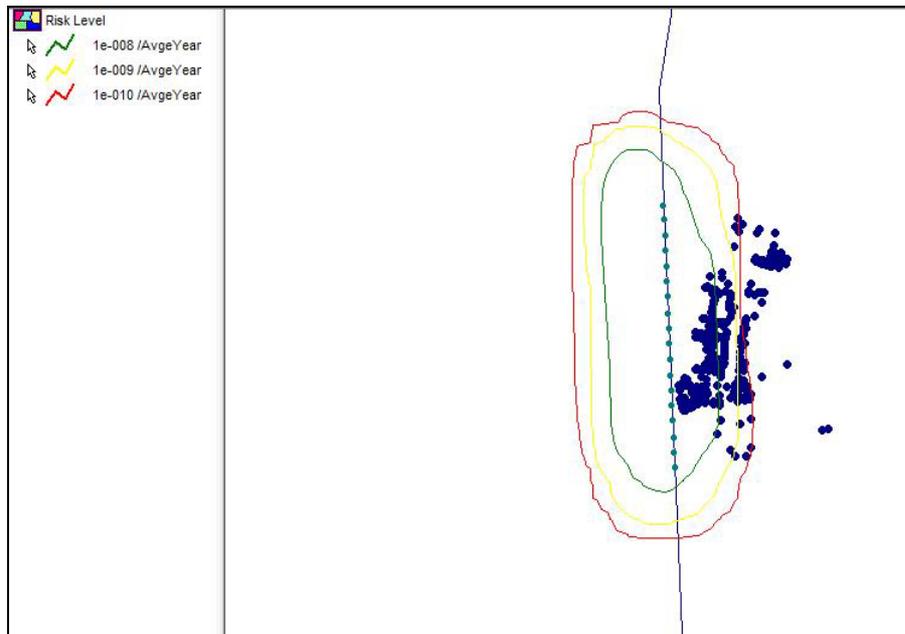


Figura I-3 - Curvas de Isorisco no Município de Dom Elizeu

1.5 - COMPARAÇÃO DOS RISCOS E CONCLUSÕES

Quanto aos resultados do risco individual, o Gasoduto do Pará avaliado neste Estudo apresenta um nível de risco máximo da ordem de $1,00 \times 10^{-8}$ /ano, que é inferior ao limite para riscos toleráveis de 10^{-4} /ano conforme apresentado no Item VIII, para a avaliação de riscos individuais de morte envolvendo dutos.

Quanto ao risco social, seu valor médio é de $1,20 \times 10^{-5}$ fatalidades / ano e sua maior contribuição vem do evento iniciador "ruptura na direção 45° ", a partir da direção horizontal, ocorrendo na posição do duto correspondente as coordenadas: 216.855,98 (E) e 9.544.499,01 (N). Sua contribuição ao risco total é de $1,71 \times 10^{-6}$ fatalidades / ano e sua contribuição percentual é de 14,18%.

O risco social avaliado pela curva F x N associada à região de maior densidade populacional na Faixa do Gasoduto do Pará encontra-se completamente na região denominada "Negligenciável".

Cabe ressaltar que quanto à tolerabilidade dos riscos, como preconizado, a tomada de decisão no âmbito do presente TR se baseará exclusivamente nos critérios de risco individual nele mencionados.

Observa-se ainda que embora os riscos tenham sido considerados toleráveis, segundo o critério empregado, foram proposta as seguintes medidas mitigadoras, advindas da Análise Preliminar de Perigos, que devem reduzir ainda mais os riscos gerados pelo Gasoduto do Pará:

Quadro I-2 - Recomendações gerado na APP

Recomendação	Descrição
R1	Seguir todas as normas técnicas recomendadas para projeto, construção e montagem de tubulações de gás natural.
R2	Garantir a integridade do gasoduto após operação.
R3	Divulgar os telefones de emergência entre as comunidades.
R4	O projeto de detalhamento deverá prever proteção mecânica do duto quando identificados pontos críticos de cruzamento com estradas.
R5	Colocar placas e marcos de sinalização indicadores da passagem de tubulação de gás, tanto nos trechos enterrados quanto nos trechos aéreos.
R6	Instalar proteção catódica de acordo com as normas técnicas aplicáveis
R7	Efetuar manutenção e medições periódicas nos sistemas de proteção anticorrosiva.
R8	Manter suspiros nos tubos-camisa e caixas de válvula, quando requerido em norma técnica
R9	Realizar controle por ensaios não destrutivos das juntas soldadas.
R10	Efetuar ensaios de resistência nos tubos e exigir certificado de qualidade dos fabricantes de tubos, equipamentos e acessórios.
R11	Realizar teste hidrostático na tubulação

Recomendação	Descrição
R12	Colocar placas ao longo do traçado, contendo o número de telefone da 0800, para comunicação de acidentes e alertando com relação a periculosidade da substância.
R13	Elaborar Plano de Ação de Emergência

Portanto, com base nas informações anteriores, considera-se que os riscos procedentes do Gasoduto do Pará às populações circunvizinhas são plenamente toleráveis, quando comparados com os limites estabelecidos no Termo de Referência (Anexo A).

II. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DA REGIÃO

II.1 - CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

II.1.1 - Características Gerais

O objetivo da implantação e operação do Gasoduto do Pará consiste em transportar e fornecer Gás Natural, oriundo do Gasoduto Meio Norte, a partir do município de Açailândia, para os municípios de Marabá e Barcarena.

Seu tramo principal derivará de uma estação situada no município de Açailândia (MA) e seguirá o rumo oeste atravessando a divisa do Estado do Pará, chegando ao município de Marabá (PA). A partir desse município seu rumo é alterado e segue a direção norte até próximo a fronteira com o Estado do Amazonas.

Além da linha tronco, acima descrita, o projeto é composto ainda por quatro ramais conforme esquemático apresentado na Figura II-1.

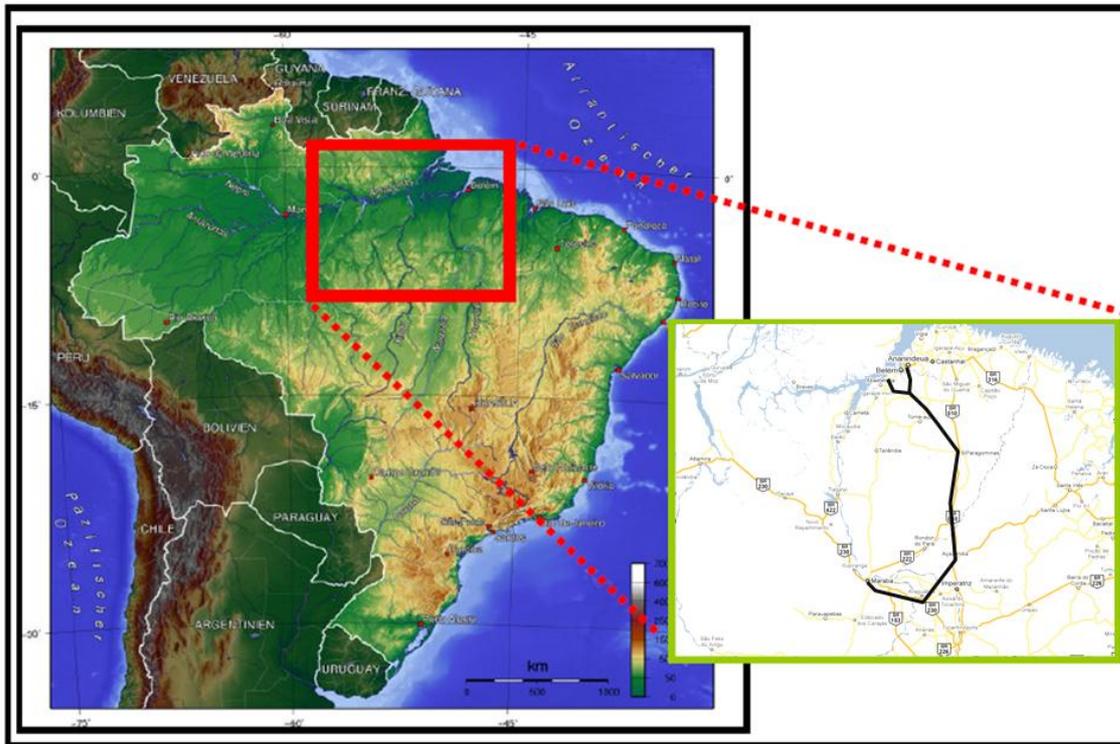


Figura II-1 - Esquemático do Gasoduto do Pará

- Ramal 1: tem origem no município de Açailândia (MA) segue até Belém (PA), com uma derivação alimentando o município de Barcarena (PA);
- Ramal 2: de Novo Repartimento (PA) até o município de Tucuruí (PA);
- Ramal 3: tem sua origem no município de Marabá (PA) até Serra dos Carajás;
- Ramal 4: deriva da linha tronco na altura do município de Altamira (PA) no sentido de Faro (PA) e termina no município de Santarém.

O presente estudo refere-se ao Ramal 1 onde a extensão de Marabá a Barcarena apresenta aproximadamente 675,16 km e o trecho até Belém, 41,21 km, perfazendo em um total de 737,4 km.

As características técnicas principais do Gasoduto do Pará são as seguintes:

- Produto transportado: gás natural;
- Extensão do gasoduto: 737,4 km;
- Temperatura de operação: 15 °C;

- Pressão de operação: 100,0 bar;
- Vazão nominal: 1×10^6 m³/dia, @ 1 atm e 20 °C;
- Diâmetro do duto: 20" na linha tronco e 14" nos ramais;
- Material: Aço Carbono API 5L-X70;
- Espessura mínima da parede do duto: 7,3 mm
- Os dutos serão enterrados em toda a sua extensão com uma cobertura mínima de 1,0 m e a 1,50 m nos cruzamentos e travessias, exceto em trechos rochosos, onde teremos uma cobertura de 60 cm. A faixa de servidão terá 50 m de largura em toda sua extensão.

O traçado do Gasoduto do Pará encontra-se apresentado no Caderno de Desenhos do EAR - Desenho 2330-00-EAR-DE-1001-00.

II.1.2 - Normas Adotadas

O Gasoduto será construído de acordo com o ASME B 31.8 e ABNT NBR 12712 e demais especificações do projeto básico.

II.1.3 - Material dos Tubos

Na montagem do gasoduto serão utilizados tubos API 5L-X70, fabricados com requisitos adicionais estabelecidos em especificações técnicas adequadas. Os tubos do Gasoduto serão revestidos internamente com material anticorrosivo à base de epóxi, o que garante uma superfície lisa, reduzindo a perda de carga ao longo do duto. Para a definição da espessura de parede dos tubos do Gasoduto também foi considerada a condição de valor mínimo requerido para garantir a resistência mecânica para os vários estágios considerados desde a sua construção, montagem e operação.

II.1.4 - Revestimento Externo

A corrosão provocada pelo solo na superfície externa do Gasoduto será evitada através da adoção de um revestimento anticorrosivo, utilizando-se o Polietileno Extrudado em Tripla Camada ("*PE Three-Layer*" - PE3L), conforme ilustrado na **Figura II-2**.

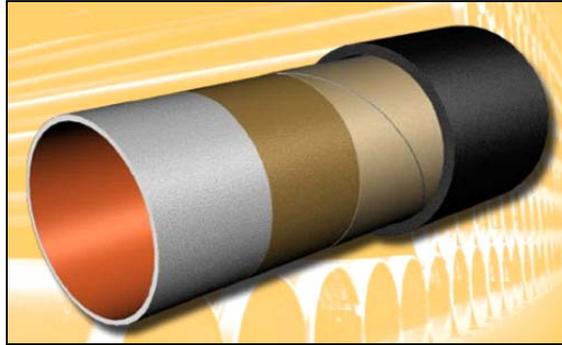


Figura II-2 - Sistema de Proteção com 3 camadas de Polipropileno (Three-layer) de alta resistência mecânica e proteção contra corrosão para uso em solos agressivos

II.1.5 - Proteção Mecânica

Em zonas residenciais, que contenham serviços públicos ou instalações enterradas, como rede elétrica, de telefonia e de água, será executada proteção mecânica, além da sinalização subterrânea.

II.1.6 - Proteção Catódica

O Gasoduto do Pará será dotado de um Sistema de Proteção Catódica para todos os seus trechos enterrados, cujo objetivo é complementar a proteção contra a corrosão pelo solo proporcionada por seu revestimento externo, bem como o de controlar as interferências a que os dutos estarão sujeitos, devido às correntes de fuga originárias de sistemas ferroviários, elétricos e/ou metroviários. O Sistema de Proteção Catódica deverá ser constituído, basicamente, pelos seguintes componentes:

- Leitões de anodos (localizados nas áreas de baixa resistividade do solo) revestidos com óxidos de metais nobres ou equivalentes;
- Juntas de isolamento elétrico do tipo monobloco, instaladas nos afloramentos do Gasoduto junto ao lançador e receptor de *pig*, destinadas a limitar o fluxo de corrente de proteção catódica aos trechos enterrados. Eventualmente, com o objetivo de separar trechos com e sem as interferências de sistemas ferroviários, tais juntas poderão ser também utilizadas;
- Pontos de teste destinados à medição dos potenciais eletroquímicos ao longo do Gasoduto, com espaçamento médio de 2 km entre si, locados, principalmente, nas travessias de grandes rios e lagos e nos cruzamentos com ferrovias e dutos de terceiros
- Equipamentos e dispositivos de drenagem elétrica para o controle das interferências.

II.1.7 - Lançadores / Recebedores de Pig

O duto terá um sistema de lançamento e recebimento de *pigs*, para sua limpeza e inspeção interna. Os *pigs* são introduzidos no duto, impulsionados pelo próprio fluxo de gás natural.

Conforme a finalidade podem ser: calibradores, para detectar eventuais reduções no diâmetro interno do duto; de limpeza interna do duto ou instrumentado, sendo este último destinado à inspeção interna do tubo e à detecção da perda de material da parede por corrosão ou por trincas, além de outros defeitos e não-conformidades do duto.

Os lançadores / recebedores de *pigs* estão instalados a cada 90 km, aproximadamente, ou a cada 3 válvulas de bloqueio.

As áreas do lançador e do recebedor deverão ser providas de bacia de contenção em concreto/alvenaria, dotadas de tubulação de drenagem para líquidos ou águas pluviais com válvula de bloqueio e caixa de coleta.

Os tampões do lançador e do recebedor deverão ser providos de dispositivos de segurança que impeçam a sua abertura enquanto estiverem sendo pressurizados, sendo equipados com sistema de fecho bipartido. Internamente, o lançador e o recebedor deverão ser providos de camisas perfuradas, de forma a possibilitar a utilização de *pigs* do tipo espuma na linha.

II.1.8 - Válvulas de Bloqueio Automático

Ao longo do Gasoduto serão instaladas válvulas de bloqueio automático (SDV - *Shut Down Valve*) para restringir o inventário de perda de gás em caso de vazamento ou rompimento, aumentando a segurança do Empreendimento.

As válvulas serão dotadas com atuador que permite o fechamento automático em caso de baixa pressão ou alta velocidade com queda de pressão no Gasoduto.

As válvulas serão dotadas de "by-pass", dimensionado com, aproximadamente, metade do diâmetro nominal da linha, para possibilitar a manutenção das válvulas de bloqueio.

Ao longo do Gasoduto do Pará serão instaladas 22 válvulas de bloqueio automático nas quilometragens apresentadas no Quadro II-1.

Quadro II-1 - Localização das Válvulas de Bloqueio - SDVs

Ponto	E	N	M.C.	Localidade
Linha Tronco				
SDV 01	222.108	9.449.172	-45°	Açailândia
SDV 02	194.850	9.450.714	-45°	Cidelândia
SDV 03	168.421	9.437.177	-45°	Vila Nova dos Martírios
SDV 04	801.824	9.418.920	-51°	São Sebastião do Tocantins
SDV 05	775.749	9.406.856	-51°	Esperantina
SDV 06	747.083	9.393.707	-51°	São Domingos do Araguaia
SDV 07	714.316	9.397.895	-51°	Marabá
Ramal 1				
SDV 02A	222.758	9.483.523	-45°	Itinga do Maranhão
SDV 03A	219.286	9.516.153	-45°	Dom Eliseu
SDV 04A	217.236	9.552.796	-45°	Ulianópolis
SDV 05A	220.079	9.585.000	-45°	Ulianópolis
SDV 06A	226.402	9.619.137	-45°	Paragominas
SDV 07A	222.684	9.651.711	-45°	Paragominas
SDV 08A	207.689	9.671.633	-45°	Paragominas
SDV 09A	177.433	9.679.682	-45°	Ipixuna do Pará
SDV 10A	826.261	9.705.273	-51°	Tomé-Açu
SDV 11A	822.140	9.731.845	-51°	Tomé-Açu
SDV 12A	804.369	9.757.161	-51°	Acará
SDV 13A	798.993	9.783.299	-51°	Acará
SDV 14A	785.776	9.811.517	-51°	Acará
SDV 15A	752.847	9.824.199	-51°	Barcarena
Ramal 1				
SDV 02B	796.845	9.844.565	-51°	Belém

II.1.9 - Aspectos Construtivos

II.1.9.1 - Métodos Construtivos

Métodos de Construção Convencionais

O método construtivo convencional deverá ser utilizado, basicamente, em quase todo o percurso do Gasoduto do Pará, exceto nos cruzamentos com rodovias e travessias de rios e de áreas alagadas, indicadas como pontos e áreas sensíveis. A construção convencional comporta as ações itemizadas a seguir:

- Abertura, Limpeza e Nivelamento da Faixa;
- Escavação da Vala;
- Movimentação e Estocagem de Materiais/Desfile da Tubulação;

- Soldagem da Tubulação;
- Inspeção após Soldagem;
- Abaixamento da Tubulação e Cobertura da Vala;
- Teste Hidrostático;
- Proteção Catódica;
- Limpeza da faixa de Domínio;
- Restauração e Revegetação;
- Sinalização e proteção dos Dutos e Válvulas de Bloqueio.

Métodos Construtivos Especiais

Cruzamentos e Travessias - Geral

Para os cruzamentos e travessias com metodologias especiais de execução, serão elaborados projetos individuais, atendendo às normas, padrões e recomendações do órgão responsável.

Para a execução dos cruzamentos, deverá ser adotado um dos seguintes métodos:

- **não-destrutivo:** perfuração horizontal para instalação de tubo-camisa ou túnel;
- **destrutivo:** abertura de vala a céu aberto, através da rodovia ou rua; neste caso, deverão ser adotadas as medidas necessárias e seguras para não interromper o tráfego.

Alguns exemplos de metodologias especiais estão relacionados a seguir:

Tubos-Camisa - *Boring Machine* (Perfuração Horizontal): O *Boring Machine* é um equipamento de perfuração utilizado abaixo de ferrovias e rodovias de porte (com alta densidade de tráfego). Esse método será usado em áreas críticas, onde as vias não podem ser atravessadas a partir de métodos de corte aberto convencional. Após a perfuração, será introduzido um tubo-camisa, por onde passará a tubulação, sob o cruzamento, sem a necessidade de se abrir a vala.

Lançamento Subfluvial - Travessia com Cavalote: Esse método construtivo é recomendado para travessias de cursos d'água de médio e grande porte e consiste em instalar o duto dentro de uma vala aberta no leito do corpo d'água que, posteriormente, é fechada; o lançamento do duto é feito por flutuação, arraste submerso ou balsa de lançamento. Essa atividade construtiva é

rápida, gerando impacto na alteração da qualidade da água só durante a abertura e fechamento da vala, principalmente pela suspensão de sólidos e aumento na turbidez.

Lançamento Subfluvial - Travessia com Cavalote: Esse método consiste na perfuração de um furo-guia, num caminho previamente projetado. A seguir, o furo-guia é ampliado, para que seja inserido o segmento de duto a ser instalado (Figura II-3). Esse método será utilizado nas travessias.



Figura II-3 - Furo Direcional para Travessia de rios

II.1.9.2 - Cruzamentos e Travessias em Geral

Travessias ao longo do Gasoduto do Pará

O Quadro II-2 apresenta as travessias identificadas ao longo do traçado do Gasoduto do Pará:

Quadro II-2 - Travessias ao longo do Gasoduto do Pará

Nome	Largura no Ponto de Travessia (m)	Travessia do Duto (m)	Coordenadas UTM	
			E	N
Rio Araguaia	700	1110	769.079	9.400.136
Rio Tocantins	930	1450	807.285	9.421.050
Rio Capim (Ramal 1)	105	230	189.959	9.672.616
Rio Acará-Mirim	73	190	815.641	9.742.912
Rio Acará	95	210	801.964	9.772.418
Rio Moju	700	1000	784.519	9.811.753
Rio Acará (Ramal 1A)	450	650	787.955	9.813.845

Estradas e Rodovias

Foram identificados os seguintes cruzamentos ao longo do traçado do Gasoduto.

Quadro II-3 - Cruzamento com Estradas e Rodovias

Trecho	Km do Duto	NOME	TIPO	LONG	LAT
Linha Tronco	133,46	E. F. C.	estrada de ferro	-48,129429	-5,163042
	129,35		pavimentada	-48,163701	-5,175075
	52,08	BR-153	pavimentada	-48,735536	-5,479101
	99,89	TO-201	pavimentada	-48,381086	-5,285629
	100,15	TO-201	pavimentada	-48,378832	-5,286453
	96,43	TO-201	pavimentada	-48,411857	-5,288844
	44,92	BR-230	pavimentada	-48,796294	-5,473694
	43,49	BR-230	pavimentada	-48,808413	-5,473772
	43,32	BR-230	pavimentada	-48,809921	-5,473987
	41,69	BR-230	pavimentada	-48,824451	-5,476187
	41,16	BR-230	pavimentada	-48,829132	-5,476813
	41,00	BR-230	pavimentada	-48,830546	-5,477002
	47,70	BR-230	pavimentada	-48,771949	-5,479055
	38,49	BR-230	pavimentada	-48,853053	-5,479985
	49,52	BR-230	pavimentada	-48,758419	-5,482130
	212,73	BR-010	pavimentada	-47,516403	-4,973971
409,61	PA-252	pavimentada	-48,317227	-1,952162	
Ramal 1	466,14	PA-151	pavimentada	-48,632928	-1,674481
	354,00	PA-451	pavimentada	-48,129225	-2,369132
	280,08	PA-256	pavimentada	-47,866162	-2,937969
	270,39	PA-256	pavimentada	-47,788867	-2,954884
	40,04	BR-010	pavimentada	-47,494417	-4,636121
	32,15	BR-010	pavimentada	-47,495890	-4,706099
	31,87	BR-010	pavimentada	-47,496218	-4,708589
	30,80	BR-010	pavimentada	-47,497638	-4,718177
	29,53	BR-010	pavimentada	-47,496806	-4,729458
	205,12	Estrada da Mineração	sem pavimentada	-47,472599	-3,260067
	203,22	Estrada da Mineração	sem pavimentada	-47,469190	-3,276834
	17,27	BR-010	pavimentada	-47,512217	-4,833113
	17,07	BR-010	pavimentada	-47,512597	-4,834816
	11,87	BR-010	pavimentada	-47,515335	-4,879457
	11,78	BR-010	pavimentada	-47,515028	-4,880190
	1,29	BR-010	pavimentada	-47,514178	-4,970559
	92,19	BR-010	pavimentada	-47,547435	-4,224540
107,67	BR-010	pavimentada	-47,546378	-4,090288	
107,11	BR-010	pavimentada	-47,546624	-4,095314	
161,27	BR-010	pavimentada	-47,487833	-3,645579	

Trecho	Km do Duto	NOME	TIPO	LONG	LAT
Ramal 1	165,15	BR-010	pavimentada	-47,489054	-3,610494
	179,05	BR-010	pavimentada	-47,474669	-3,487656
	179,80	BR-010	pavimentada	-47,472662	-3,481139
	195,86	BR-010	pavimentada	-47,455486	-3,341975
	191,84	BR-010	pavimentada	-47,447369	-3,377321
	189,93	BR-010	pavimentada	-47,444293	-3,394148
	198,41	BR-010	pavimentada	-47,460462	-3,319456
	198,08	BR-010	pavimentada	-47,459845	-3,322328
	197,50	BR-010	pavimentada	-47,458709	-3,327509
	243,62	PA-256	pavimentada	-47,550089	-2,976773
	239,12	PA-256	pavimentada	-47,509725	-2,980202
	236,41	PA-256	pavimentada	-47,485544	-2,982336
	167,47	Estrada do Bradesco	sem pavimentada	-47,490016	-3,589600
	147,34	PA-125	pavimentada	-47,521884	-3,758032
Ramal 1A	6,07		pavimentada	-48,394488	-1,66333
	3,78		pavimentada	-48,411539	-1,67479
	2,35		pavimentada	-48,416814	-1,68629
	1,72		pavimentada	-48,419366	-1,69135
	1,22		pavimentada	-48,422845	-1,69419
	0,57		pavimentada	-48,426556	-1,69871
	41,73		pavimentada	-48,330918	-1,41280
	41,23		pavimentada	-48,330546	-1,41728
	40,76		pavimentada	-48,329442	-1,42137
	40,06		pavimentada	-48,327605	-1,42740
	31,57		pavimentada	-48,298438	-1,48311
	29,53		pavimentada	-48,300684	-1,50120
	18,41		pavimentada	-48,319400	-1,58790
	17,31		pavimentada	-48,325754	-1,59510
	13,83		pavimentada	-48,346682	-1,61836
12,71		pavimentada	-48,353457	-1,62575	

Linhas de Transmissão

No Quadro II-4 apresentamos os cruzamentos com linhas de transmissão identificados:

Quadro II-4 - Cruzamentos com Linha de Transmissão - LT

Aproximação e Cruzamento	Coordenadas (UTM)	
	E	N
LT 500 kV - Marabá - Açailândia	823.127	9.430.469

II.2 - CARACTERÍSTICAS DA FASE DE OPERAÇÃO

Os procedimentos operacionais adotados no empreendimento são padronizados e levam em consideração os aspectos oriundos desde a fase do projeto, especificações dos equipamentos, variáveis do processo, procedimentos operacionais, além das características dos produtos transportados, sendo também estabelecida a organização para controle de emergências. Todo serviço a ser executado no duto seguirá uma norma onde contemple além dos itens específicos, as recomendações legais, de segurança e meio ambiente.

A inspeção da faixa de domínio compreenderá a observação (ao longo de toda a sua extensão) da existência de irregularidades, que possam ocasionar esforços mecânicos nas tubulações ou colocar em risco as instalações existentes como: erosão, movimentação de terra, desmoronamento, tráfego de veículos e/ou equipamentos pesados sobre a faixa, crescimento de vegetação, deficiência do sistema de drenagem da faixa, queimadas, invasão da faixa por terceiros, realização de obras nas proximidades ou que interfiram com a faixa, deficiência na demarcação e sinalização de advertência, afloramento do duto, ou com processos erosivos que possam gerar problemas para ele.

Deverão também ser verificadas as condições de tráfego das estradas de acesso às áreas das válvulas de bloqueio. A inspeção da tubulação terá a finalidade de determinar as condições do duto quanto à corrosão interna, externa, danos mecânicos e do estado do revestimento.

Serão realizadas manutenções preventivas periódicas nos equipamentos do sistema de proteção catódica, válvulas de bloqueio e no seu sistema de acionamento, manômetros, termômetros, medidores de vazão, sinalizadores de passagem de pig e demais acessórios do Gasoduto, a fim de manter o sistema em boas condições operacionais e de segurança durante toda a sua vida útil. Durante todo o tempo de execução de um trabalho, a equipe responsável deverá ficar em contato permanente com os órgãos operacionais envolvidos.

II.2.1 - Principais Dutos na Faixa

No trecho entre Paragominas e Barcarena (Ramal 1) o gasoduto compartilhará a faixa de servidão como mineroduto da Vale, o que dispensará a abertura de novos acessos para logística de obra e reduzirá as necessidades de intervenções na faixa, tais como, desapropriação ou supressão de vegetação.

Em seu traçado, o Gasoduto do Pará atravessará 05 (cinco) municípios no Estado do Maranhão, 03 (três) municípios no estado do Tocantins e 12 (doze) no Estado do Pará. O Quadro II 5 apresenta a listagem dos municípios e a extensão do duto.

Quadro II-5 - Municípios atravessados pelo Gasoduto do Pará

Estado	Município	Extensão
Linha Tronco		
Maranhão	Açailândia	27,5
	Cidelândia	27,3
	Vila Nova dos Martírios	34,4
	São Pedro da Água Branca	1,9
Tocantins	São Sebastião do Tocantins	14,1
	Araguatins	6,8
	Esperantina	23,2
Pará	São João do Araguaia	33,0
	São Domingos do Araguaia	11,9
	Marabá	23,5
Ramal 1		
Maranhão	Açailândia	32,6
	Itinga do Maranhão	34,2
Pará	Dom Eliseu	35,9
	Ulianópolis	64,0
	Paragominas	97,8
	Ipixuna do Pará	43,0
	Tomé Açu	63,5
	Acará	64,4
	Moju	9,9
	Barcarena	26,2
Ramal 1ª		
Pará	Acará	32,2
	Marituba	9,0
TOTAL		737,4

II.2.2 - Sinalização da Faixa

A faixa de domínio será sinalizada, com o objetivo de proteger as novas instalações, impedindo a escavação ou o tráfego de veículos. As placas e marcos utilizados na sinalização serão padronizados.

A sinalização subterrânea será executada pela aplicação de fitas coloridas de aviso, resistentes ao solo e à água, enterradas junto com o Gasoduto, de maneira a serem alcançadas antes dos dispositivos mecânicos de proteção, quando da realização de escavações na faixa atravessada pela linha, de maneira inadvertida por terceiros. Deverão ser ainda introduzidas sinalizações educativas de proteção à fauna e à flora e proibição da caça e da pesca predatória, nas proximidades das áreas de interesse ecológico.

II.3 - CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

II.3.1 - Caracterização da Área do Entorno

A área ao entorno do empreendimento caracteriza-se pela diversidade das formas de ocupação. Em seu trajeto, o Gasoduto do Pará passará por áreas rurais com baixa densidade de ocupação em fazendas, sítios e chácaras, nas quais encontrará, sobretudo, áreas de pastagens. Nas zonas rurais, o Gasoduto cruzará também pequenos povoados com média ou baixa densidade de ocupação. Nas zonas urbanas, existem trechos caracterizados como bairros e distritos municipais onde há intensa ocupação humana no entorno e nas proximidades do empreendimento, conforme descrito adiante.

II.3.2 - Matriz de Ocupação Humana

Foram identificados dois núcleos populacionais (rurais ou urbanos) ao longo do traçado do gasoduto localizados a distâncias inferiores à 500 metros, são eles Itinga do Pará e Ligação do Pará, ambos localizados no município de Dom Eliseu, no Estado do Pará.

Como forma de analisar a densidade de ocupação ao longo do traçado, foi realizado mapeamento das edificações localizadas ao longo do traçado, identificando espacialmente cada unidade na faixa de 500m do gasoduto. O resultado do mapeamento é apresentado nos desenhos 2330-00-EAR-DES-1002 - Mapa das Curvas de Isorrisco. As figuras a seguir ilustram graficamente as concentrações populacionais por trechos.

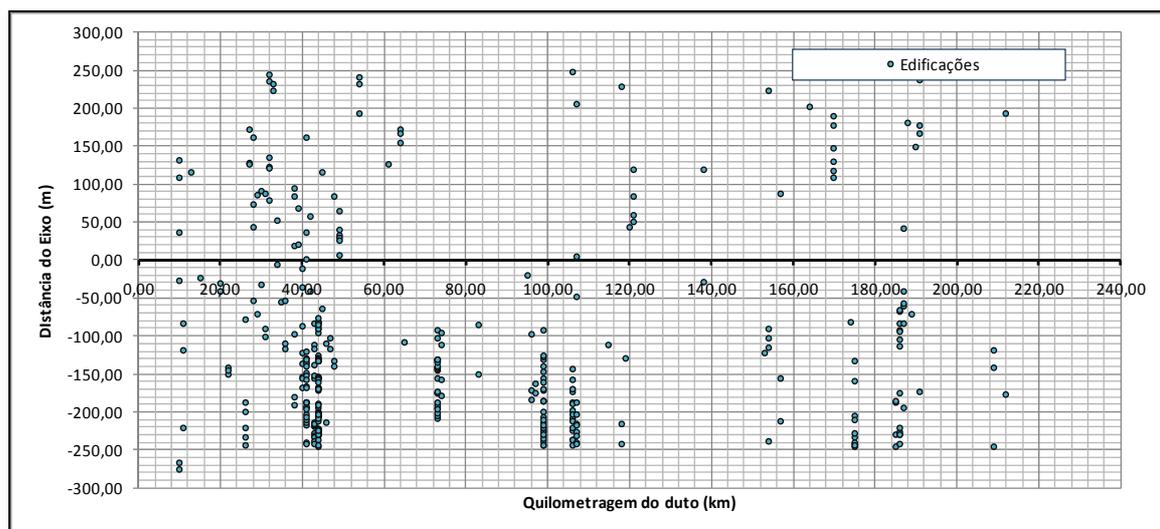


Figura II-4 - Edificações na Linha Tronco

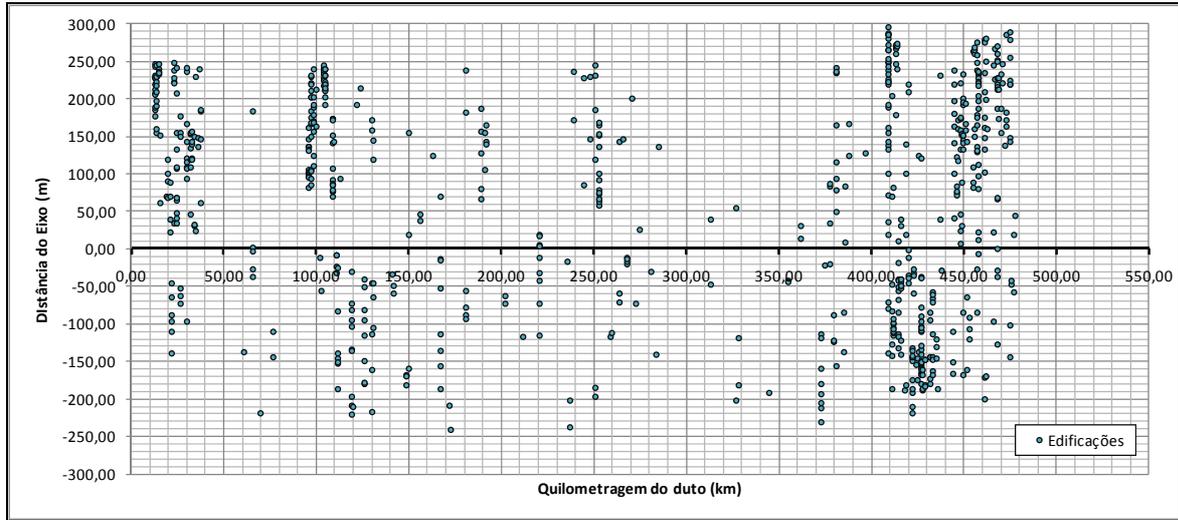


Figura II-5 - Edificações no Ramal 1

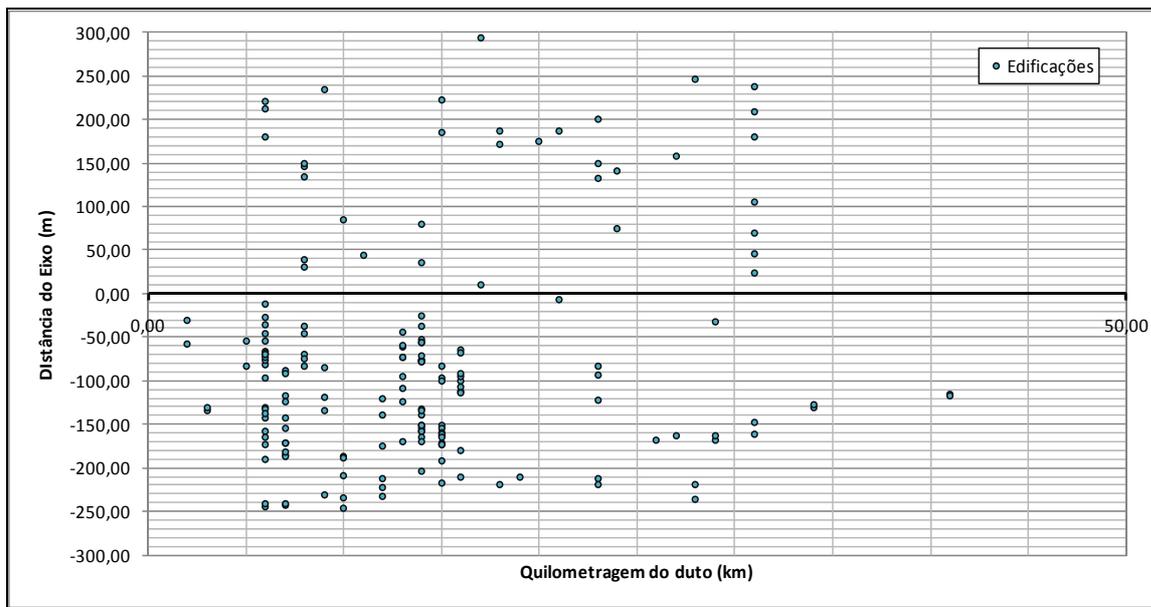


Figura II-6 - Edificações no Ramal 1A

O agrupamento dessas informações, selecionadas para uma faixa de cerca de 60 m (30 m para cada lado do eixo do gasoduto) pode ser observado no Quadro II-6, que apresenta a localização das edificações existentes nas proximidades da instalação.

Quadro II-6 - Matriz de Ocupação Humana do Gasoduto do Pará por Edificação na faixa de 30 m

Posição (km)	Distância (m)	Lado	Localidade	Município	UF
Linha Tronco					
10,44	26,85	Esquerda	Faz. Revemar	Marabá	PA
15,36	23,97	Esquerda		Marabá	PA
34,88	6,20	Esquerda	Faz. dos Cancela	São João do Araguaia	PA
38,88	18,91	Direita	Km 35	São João do Araguaia	PA
40,00	20,49	Direita	Km 35	São João do Araguaia	PA
40,73	12,28	Esquerda	Km 35	São João do Araguaia	PA
41,84	1,04	Direita	Km 35	São João do Araguaia	PA
49,42	28,19	Direita	Faz. Paloma	São João do Araguaia	PA
49,46	25,52	Direita	Faz. Paloma	São João do Araguaia	PA
49,47	6,26	Direita	Faz. Paloma	São João do Araguaia	PA
95,08	21,20	Esquerda	Faz. Pingo D'água	Esperantina	TO
107,07	4,73	Direita		São Sebastião do Tocantins	TO
138,19	29,90	Esquerda		Vila Nova dos Martírios	MA

Posição (km)	Distância(m)	Lado	Localidade	Município	UF
Ramal 1					
21,26	21,59	Direita	Faz. Terra do Sol	Açailândia	MA
35,38	24,35	Direita	Faz. Bela Vista	Açailândia	MA
35,42	24,12	Direita	Faz. Bela Vista	Açailândia	MA
66,90	2,27	Direita	Faz. Arambepe	Itinga do Maranhão	MA
66,90	26,47	Esquerda	Faz. Arambepe	Itinga do Maranhão	MA
66,91	4,31	Esquerda	Faz. Arambepe	Itinga do Maranhão	MA
102,53	12,83	Esquerda	Ligação do Pará	Dom Eliseu	PA
111,59	8,51	Esquerda	Faz. São Paulo	Ulianópolis	PA
111,61	24,73	Esquerda	Faz. São Paulo	Ulianópolis	PA
111,65	7,94	Esquerda	Faz. São Paulo	Ulianópolis	PA
112,80	25,23	Esquerda	Faz. São Paulo	Ulianópolis	PA
150,25	19,08	Direita	Sede de Ulianópolis	Ulianópolis	PA
167,57	13,94	Esquerda	Faz. Imaza	Ulianópolis	PA
167,65	15,54	Esquerda	Faz. Imaza	Ulianópolis	PA
221,83	5,26	Direita		Paragominas	PA
221,84	18,74	Direita		Paragominas	
221,86	17,71	Direita		Paragominas	
221,87	3,68	Direita		Paragominas	
221,81	11,27	Esquerda		Paragominas	
236,42	16,88	Esquerda		Paragominas	PA
268,26	12,79	Esquerda		Paragominas	PA
268,28	19,83	Esquerda		Paragominas	PA
268,38	17,57	Esquerda		Paragominas	PA
268,40	13,29	Esquerda		Paragominas	PA
275,31	25,99	Direita	Jurupari	Ipixuna do Pará	PA
362,32	29,79	Direita		Tomé-Açú	PA
362,35	14,27	Direita		Tomé-Açú	PA

Posição (km)	Distância(m)	Lado	Localidade	Município	UF
375,27	22,76	Esquerda		Tomé-Açu	PA
378,41	19,79	Esquerda		Acará	PA
386,74	8,14	Direita		Acará	PA
409,67	18,11	Direita	Quilômetro Quinze	Acará	PA
415,47	10,19	Direita	Faz. Bom Recreio	Acará	PA
415,21	18,82	Esquerda		Acará	PA
419,73	17,85	Direita		Acará	PA
420,09	12,70	Esquerda		Acará	PA
420,10	2,47	Esquerda		Acará	PA
423,11	27,98	Esquerda		Acará	PA
438,07	28,93	Esquerda		Acará	PA
448,04	22,94	Direita	Estirão do mamão	Moju	PA
448,88	6,79	Direita	Estirão do mamão	Moju	PA
457,65	27,38	Esquerda	Guajaraúna	Barcarena	PA
458,27	12,24	Direita	Guajaraúna	Barcarena	PA
458,29	21,18	Direita	Guajaraúna	Barcarena	PA
458,46	6,41	Esquerda	Guajaraúna	Barcarena	PA
466,20	22,05	Direita	Esc. Sagrado Coração de Jesus	Barcarena	PA
468,60	0,78	Esquerda	Arienga	Barcarena	PA
468,61	29,43	Esquerda	Arienga	Barcarena	PA
477,17	18,75	Direita		Barcarena	PA

Posição (km)	Distância(m)	Lado	Localidade	Municípios	UF
Ramal 1A					
6,16	11,53	Esquerda	Domingos	Acará	UF
6,24	27,82	Esquerda	Domingos	Acará	UF
14,28	25,56	Esquerda	Jutiqui	Acará	UF
17,26	10,19	Direita		Acará	UF
21,92	6,88	Esquerda	Jacarequara	Acará	UF
31,60	24,01	Direita	Ponte Rio Guamá	Acará	UF

II.3.3 - Dados Climatológicos

Os ventos locais, a temperatura média e a umidade do ar são os dados meteorológicos mais relevantes para o cálculo das consequências.

Para caracterização das condições meteorológicas da região, foram utilizadas informações coletadas na Plataforma de Coleta de Dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE da Estação Meteorológica de Açailândia. Neste estudo foram utilizados dados coletados entre o período de janeiro de 2008 a março de 2010.

O Quadro II-7 apresenta a localização da Estação de Açailândia.

Quadro II-7 - Localização da Estação Meteorológica

Unidades	Altitude	Latitude	Longitude
Estação de Açailândia	392 metros	-5°03'	-47°55'

As variáveis coletadas foram: intensidade da velocidade e direção do vento (à 10 m de altura), umidade relativa e temperatura.

Temperatura, Intensidade da Velocidade do Vento e Umidade do Ar

O Quadro II-8 apresenta os valores médios de temperatura, intensidade da velocidade do vento e umidade do ar.

Quadro II-8 - Dados climatológicos médios

Parâmetros	Período Diurno	Período Noturno
Vento (m/s)	4,3	2,1
Umidade Relativa do Ar (%)	64,6	72,8
Temperatura Ambiente (°C)	26,5	23,5

Direções Predominantes do Vento

Os Quadro II-9 e

Quadro II-10 as Figura II-7 e Figura II-8 apresentam a incidência percentual de vento nas diversas direções, para o período de janeiro de 2008 a março de 2010.

Quadro II-9 - Incidência percentual de vento nas diversas direções para período diurno

Direção De → Para	Frequência (%)
N→S	4,7%
NNE→SSW	5,0%
NE→SW	4,1%
ENE→WSW	5,4%
E→W	20,6%
ESE→WNW	14,6%
SE→NW	10,9%
SSE→NNW	8,8%
S→N	9,9%
SSW→NNE	2,8%
SW→NE	2,3%
WSW→ENE	2,4%
W→E	2,6%
WNW→ESE	1,9%
NW→SE	2,0%
NNW→SSE	2,0%
TOTAL	100

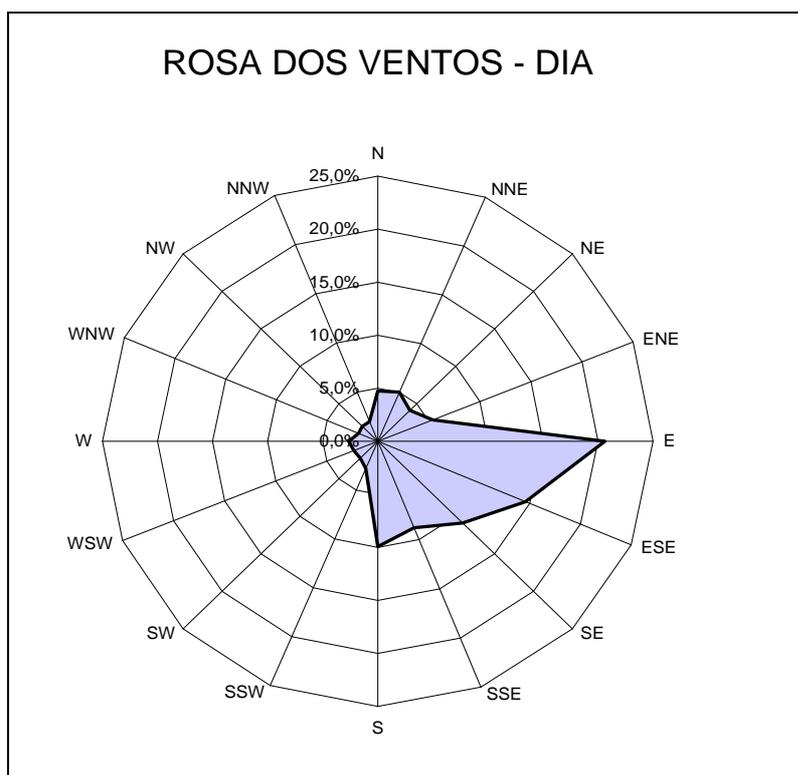


Figura II-7 - Incidência percentual de vento nas diversas direções (%) para período diurno

Quadro II-10 - Incidência percentual de vento nas diversas direções para período noturno

Direção De → Para	Frequência (%)
N→S	11,0%
NNE→SSW	7,0%
NE→SW	6,4%
ENE→WSW	6,3%
E→W	15,3%
ESE→WNW	7,3%
SE→NW	9,2%
SSE→NNW	7,8%
S→N	7,7%
SSW→NNE	2,9%
SW→NE	3,0%
WSW→ENE	2,7%
W→E	3,8%
WNW→ESE	2,6%
NW→SE	2,9%
NNW→SSE	4,2%
TOTAL	100

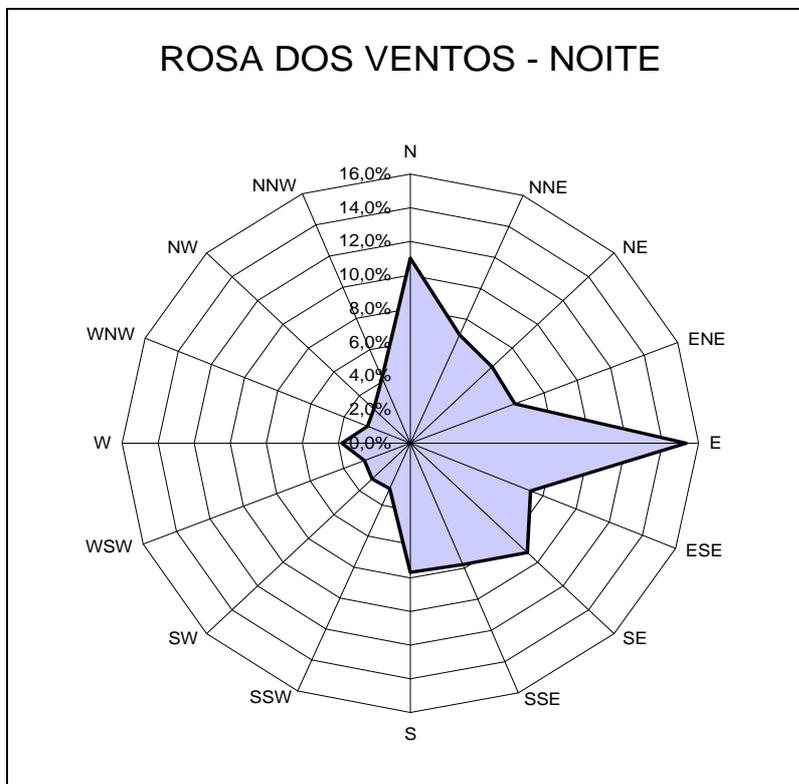


Figura II-8 - Incidência percentual de vento nas diversas direções (%) para período noturno

Analisando as informações anteriores é possível concluir que:

Os ventos dominantes são os oriundos da direção E, para o período diurno e para o período noturno, correspondendo a cerca de 20,6% do total para o dia e 15,3% para a noite;

Temperatura do ar

A amostra relativa dos dados coletados no período de 2008 a 2010 apresenta valor médio de 26,5 °C para o período diurno e 23,5 °C para o período noturno.

Umidade Relativa do ar

A amostra relativa dos dados coletados no período de 2008 a 2010 apresenta valor médio de 64,6% para o período diurno e 72,8% para o período noturno.

Velocidade dos Ventos

A amostra relativa dos dados coletados no período de 2008 a 2010 apresenta valor médio de 4,3 m/s para o período diurno e 2,1 m/s para o período noturno

III. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TOXICOLÓGICAS AGÚDAS DOS PRODUTOS

O único produto a ser transportado pelo Gasoduto do Pará é o gás natural oriundo do Gasoduto Meio Norte, a partir do município de Açailândia, para os municípios de Marabá, Barcarena e Marituba, na região metropolitana de Belém.

III.1 - IDENTIFICAÇÃO E NOMENCLATURA

O Quadro III-1 apresenta as informações de identificação e nomenclatura do gás natural.

Quadro III-1 - Identificação e Nomenclatura

Nome Comercial	Gás Natural
Família química:	Mistura de hidrocarbonetos
Sinônimos:	Gás Natural Veicular (GNV), Gás Combustível, Gás Natural, Gás do Pântano
Número CAS:	8006-14-2
Número ONU:	1971

III.2 - COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES GERAIS

A Composição do gás do gás natural, transportado pelo Gasoduto Meio Norte até Açailândia e que será transportado pelo Gasoduto do Pará, será uma composição derivada de várias fontes diferentes (Bacia do Atlântico Nordeste Ocidental e da Bacia do Araguaia-Tocantins). Assim, a depender dos volumes que serão movimentados em toda a malha, o gás não possuirá uma composição constante, mas de acordo com as normas vigentes deverá atender às especificações da ANP. O Quadro III-2a seguir apresenta uma composição média (% molar) do gás e o Quadro III-3 apresenta suas propriedades gerais.

Quadro III-2 - Composição molar do gás natural

Gás	% molar
Metano	92,54
Etano	4,85
Propano	0,38
Nitrogênio	1,42
CO2	0,81
Enxofre	0,00

Quadro III-3 - Propriedades Gerais do Gás Natural

Propriedades Físico-Químicas	
Estado físico	Gás
Aparência	Incolor
Odor	Inodoro ou artificial
Ponto de ebulição	-161,4 °C (a 760 mmHg) (para o Metano puro)
Ponto de fusão	-182,6 °C (para o Metano puro)
Ponto de orvalho	-39 °C
Temperatura crítica	-82,5 °C
Pressão crítica	45,44 atm
Densidade de vapor	0,60 - 0,81 (a 20 °C)
Densidade do vapor	0,55 a 1,0
Pressão de vapor	-161,5 °C (a 760 mmHg)
Calor latente de vaporização	121,9 cal/g
Calor de combustão	-11.954,0 cal/g
Solubilidade na água	Solúvel 0,4 - 2g/100g
Solubilidade em solventes orgânicos	Solúvel
Perda por volatilização	100%

Propriedades Físico-Químicas	
Reatividade	
Reatividade química com água	Não reage
Reatividade com materiais comuns	Não reage
Polimerização	Não ocorre
Estabilidade	
Condições específicas	Estável sob condições normais de uso
Substâncias ou materiais incompatíveis	Cloro, dióxido de cloro e oxigênio líquido
Inflamabilidade	
Limite inferior de explosividade	6,5% (v/v)
Limites superior explosividade	17,0% (v/v)
Ponto de fulgor	Gás Inflamável
Temperatura de auto-ignição	482 - 632 C
Taxa de queima	12,5 mm/min
Produtos perigosos da reação de combustão	Nenhum
Toxicidade	
Limites padrão	
LPO	200ppm
PP	Não disponível
Brasil	Asfixiante simples (Valor médio 48 horas)
Valor teto	Asfixiante simples
EUA (EUA-TWA)	Não pertinente
EUA - STEL	Não pertinente
Toxicidade ao Homem e Animais Superiores (Vertebrados)	
MDT	Dado não disponível em literatura
MCT	Dado não disponível em literatura
Espécie	> LD rato
Via oral	400ppm
Toxicidade aos Organismos Aquáticos	
Taxa de toxicidade aos organismos aquáticos	tim (96 h) acima de 1.000 ppm

III.3 - RISCO DE INCÊNDIO E EXPLOSÃO

III.3.1 - Meios de Extinção Apropriados

Neblina d'água, pó químico e dióxido de carbono.

III.3.2 - Formas de Atuação no Combate a Incêndio

Ações a serem tomadas quando o produto entra em combustão:

- Extintores recomendados: neblina d'água, CO₂, pó químico;
- Se possível, combater o incêndio a favor do vento e extinguir com bloqueio do fluxo de gás;
- Remover os recipientes da área de fogo, se isso puder ser feito sem risco;
- Em caso de fogo intenso em áreas de carga, usar mangueiras com suporte manejadas a distância ou canhão monitor. Se isso não for possível, abandonar a área e deixar queimar.
- Resfriar com neblina d'água os recipientes que estiverem expostos ao fogo, utilizando manejo à distância, mesmo após a extinção do fogo.
- Proteção dos bombeiros em ambientes fechados, usar equipamento de resgate com suprimento de ar.

III.4 - PROPRIEDADES TOXICOLÓGICAS

Efeitos Tóxicos

- Informações sobre intoxicação humana
- Tipo de contato com o gás

Principais Sintomas

- Inalação: pode provocar irritação das vias aéreas superiores, tosse espasmódica, dor de cabeça, náusea, tonteira e confusão mental. Em altas concentrações, pode levar a depressão respiratória, podendo evoluir até a morte
- Contato com a pele: é levemente irritante
- Contato com os olhos: Irritação com congestão das conjuntivas

Toxicidade Crônica

Por inalação não apresenta efeito acumulativo residual. Porém, pela presença de compostos de enxofre, pode produzir irritação crônica de traquéia e brônquios. Em altas concentrações, atua como asfixiante simples por reduzir a concentração do oxigênio.

Ecotoxicidade

O gás natural não é considerado passível de causar danos à vida aquática nem ao solo ou sobre seus organismos.

III.5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O gás oriundo do Gasoduto Meio Norte é constituído, na sua maioria, por metano, e este é considerado representativo para algumas propriedades físico-químicas do gás natural.

O gás natural é mais “leve” que o ar, o que permite sua rápida dispersão em caso de vazamento.

Por apresentar uma estreita faixa de limite de inflamabilidade, a probabilidade de formação de mistura inflamável é menor em comparação com outros hidrocarbonetos.

Os principais perigos, relativos à segurança das pessoas, estão associados basicamente à inflamabilidade do produto, podendo ocasionar cenários acidentais envolvendo incêndios e explosões.

Com relação a toxicidade do produto transferido observa-se que o mesmo não apresentaria efeitos agudos devido a sua exposição, não sendo portanto foco desta Análise de Riscos. Seus potenciais efeitos poderiam estar relacionados a exposições crônicas, baixas exposições contínuas por tempo prolongado das populações circunvizinhas e de funcionários ou terceiros, caracterizando perigos tradicionalmente associados à saúde e segurança ocupacional.

O Anexo B apresenta a ficha FISPQ do gás natural a ser transportado.

IV. ANÁLISE HISTÓRICA DE ACIDENTES

A realização de uma Análise Histórica para dutos tem por finalidade a identificação de eventos ocorridos em instalações similares que, se no passado não geraram acidentes, degradaram o estado de segurança. Assim, um melhor entendimento das causas e características dos acidentes, já ocorridos, nos permite um aperfeiçoamento das normas de inspeção e das atividades de manutenção para as instalações já existentes e subsídios na seleção dos critérios de projeto.

Levando-se em conta o grande número de dutos em operação e o número de acidentes registrados em Bancos de Dados e artigos especializados, pode ser elaborada uma pesquisa histórica que traz informações fundamentais para o desenvolvimento de políticas idôneas de segurança, através da identificação das causas dos acidentes, a avaliação das possíveis consequências e da determinação da frequência de falhas de dutos. Nesta pesquisa os seguintes termos são constantemente utilizados:

- Falha no Duto: Um acidente no duto ou mau funcionamento que necessitou de reparos e/ou parada do mesmo;
- Taxa de Falhas: A frequência de falhas do duto por unidade de comprimento e ano (falhas/(km*ano)).

A maneira tradicional de se avaliar a taxa de falhas de sistemas de dutos é dividir o número de falhas ocorridas em determinado período (anos) pelo comprimento total do duto em operação (km). Um modo usual de se expressar a Taxa de Falhas é como o número de falhas por ano por 1000 km de duto (falhas / (1000 km*ano)).

Os principais tópicos abordados nesta pesquisa foram:

- Causas Iniciadoras;
- Distribuição das Causas Iniciadoras e Taxa de Falhas;
- Distribuição das Dimensões dos Furos;
- Tipologia Acidental.

IV.1 - CAUSAS INICIADORAS

Quanto as causas dos vazamentos nos dutos, estas estão divididas em cinco principais categorias descrições estão apresentadas a seguir.

Atividade de Terceiros - Forças Externas

Nesta categoria de causas foram considerados os danos provocados por movimentação de terra por escavação ou por equipamento de perfuração sobre ou próximo à faixa do duto, danos resultantes de operação não autorizada em alguma válvula instalada no duto ou mesmo danos acidentais como a utilização de explosivos próxima ao duto sem autorização, impacto por colisão devido ao tráfego rodoviário, ferroviário ou marítimo. Os danos por atividade de terceiros ocorrem com maior frequência em dutos de menor diâmetro, pois estes possuem menor espessura de parede, sendo, portanto mais vulneráveis.

Falha Mecânica

Entende-se por falha mecânica, tanto falhas de projeto e construção, como falha do material.

Os vazamentos atribuídos a falhas de projeto e construção são relativamente raros e ocorrem nos casos de descuido no preenchimento da camada de proteção do duto, má preparação da superfície do solo para instalação dos dutos ou aplicação inadequada do revestimento, provocando a corrosão do material do duto. O excesso de tensão em flanges ou o emprego de material impróprio nas gaxetas resultaram em vazamentos, normalmente de pequeno volume vazado. Um forte impacto no duto durante a construção também pode resultar em corrosão por stress e eventual falha.

As falhas de material são decorrentes de contaminação na liga durante o processo de laminação e ou falhas no próprio processo;

Corrosão

Estatisticamente, foi observado que a corrosão tem sido o maior contribuinte para os acidentes de vazamentos. Em termos de volume vazado foi observado que a quantidade vazada resultante da corrosão foi comparativamente menor que para outras causas e o impacto ambiental decorrente foi negligenciável. Foram considerados nesta categoria corrosão externa e interna.

A corrosão externa é um processo gradual que, quando não detectado e combatido, resultará em uma eventual perfuração do duto. Grande parte deste tipo de corrosão ocorreu na zona de

transição do duto enterrado para aéreo ou em cruzamentos com rodovias e ferrovias. Este problema é reduzido aplicando-se revestimento no duto, complementado com proteção catódica.

A corrosão interna também está considerada nesta categoria, porém no caso de gasodutos esta causa não é tão importante quanto nos oleodutos que transportam petróleo ou alguns derivados não processados, que podem conter ainda certo teor de água ou no caso de linhas que sejam mantidas pressurizadas com água.

Erro Operacional

Foram considerados como erro operacional, a falha no sistema de alívio de pressão no caso de sobrepressão no duto e erros humanos como esquecimento do fechamento de válvulas de dreno após retirada de equipamento, sobrepressão em estações de bombeamento ou compressão por operação incorretas de válvulas manuais, etc.

Causas Naturais

As causas naturais são aquelas em que são provocadas por problemas geológicos, como desmoronamento, desabamento e abalos sísmicos. Este tipo de causa não tem ocorrido em intensidade que venha a provocar danos ao duto ou vazamento de seu conteúdo.

Problemas hidrológicos (inundação) podem ser considerados como causas naturais de acidentes, porém poucos acidentes causaram danos físicos suficientes para provocar vazamentos em dutos. Uma exceção registrada resultou de uma inundação intensa provocada pelo transbordamento de um rio. Este fator foi suficiente para provocar a queda das margens do rio e danificar a travessia do duto.

IV.2 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAUSAS INICIADORAS E TAXA DE FALHAS

IV.2.1 - 7th EGIG-Report

Considerando o relatório *Gas Pipeline Incidents* relativo aos dutos de gás natural das companhias que compõem o *European Gas Pipeline Incident Data Group - EGIG (British Gas PLC, Gaz de France, N. V. Nederlandse Gasunie, SNAM S.P.A. etc)* as causas iniciadoras de acidentes podem ser distribuídas da seguinte forma:

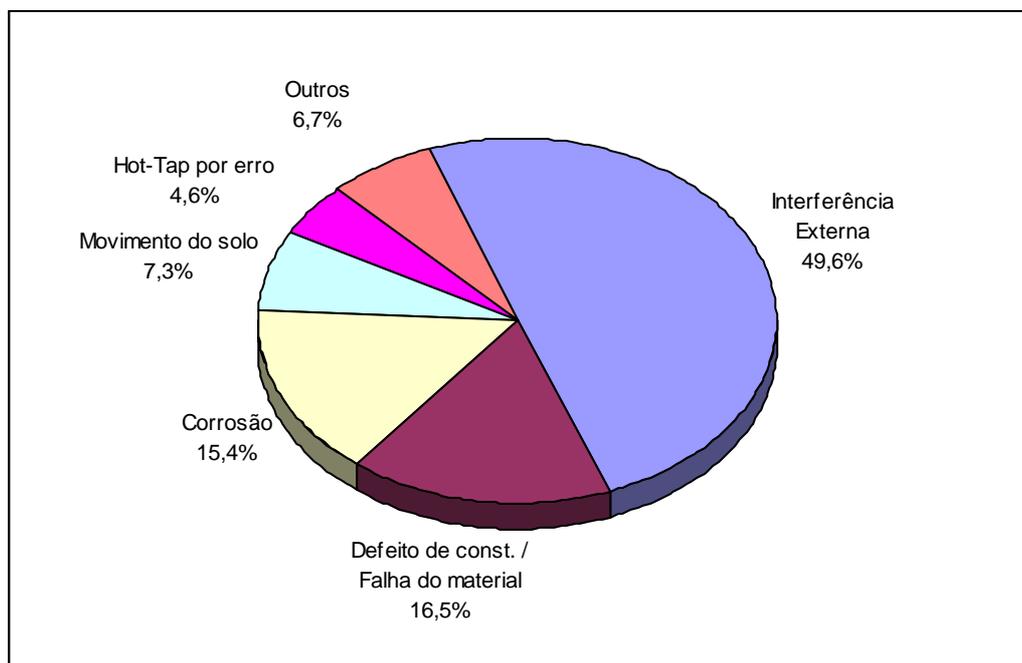


Figura IV-1 - Distribuição das Causas - Dutos Europeus de Transporte de Gás Natural - EGIG 1970 a 2007²

A Figura IV-2 apresenta a variação da frequência de ocorrência de incidentes por causa e tamanho do vazamento e a Figura IV-3 apresenta a distribuição das frequências de ocorrência pela classe de diâmetro do duto e pelo tipo de dano.

² "Hot - Tap por erro" significa que uma trepanação foi feita equivocadamente em um duto de transmissão de gás.

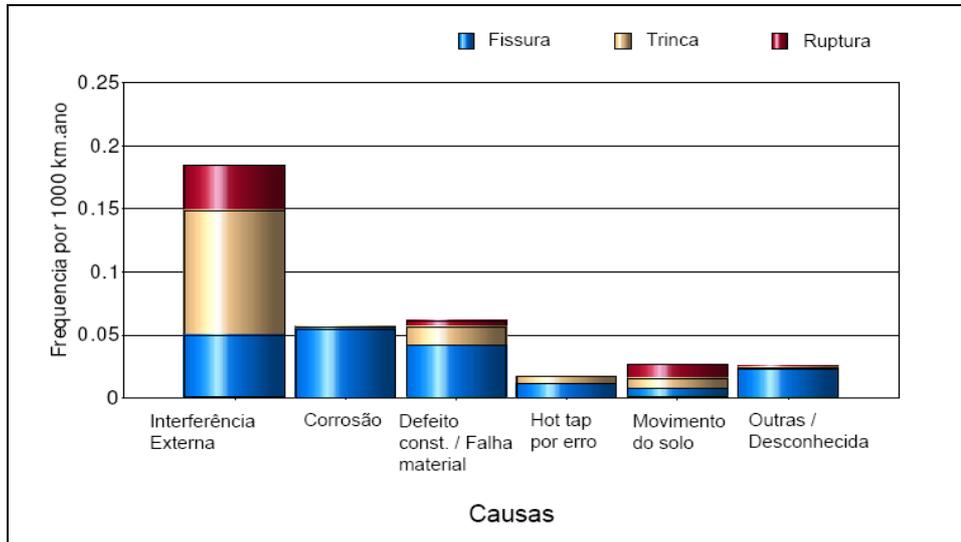


Figura IV-2 - Frequência de ocorrência por Causa e tamanho do vazamento - Dutos europeus de transporte de gás natural - EGIG 1970 a 2007

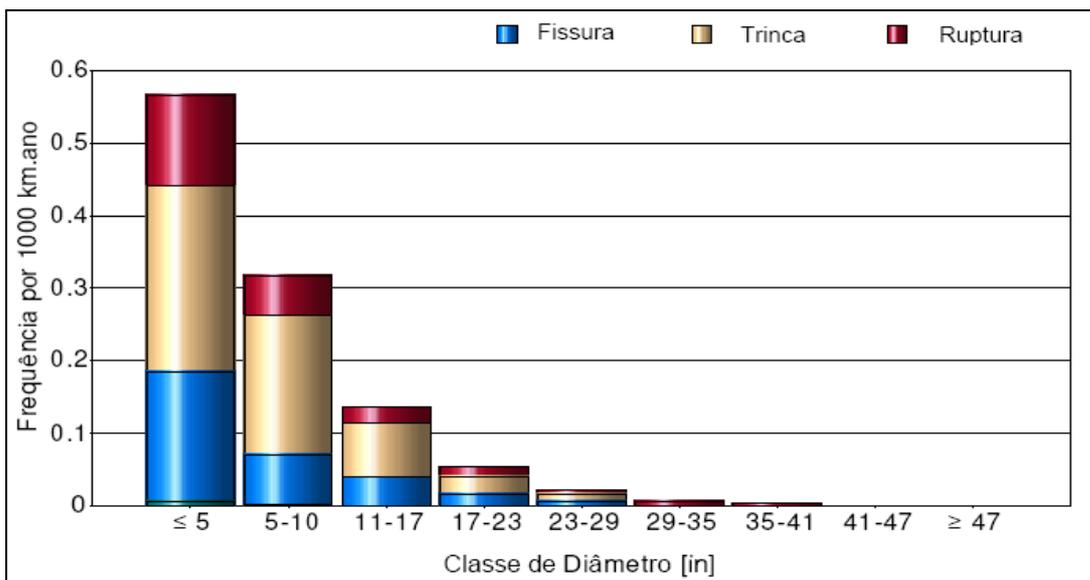


Figura IV-3 - Frequência de ocorrência por Classe de Diâmetro - Dutos europeus de transporte de gás natural - EGIG 1970 a 2007

IV.2.2 - Pipeline Product Loss Incidents Report -Base de Dados UKOPA

O relatório *Pipeline Product Loss Incidents (4th Report of the UKOPA Fault Database Management Group)* apresenta tratamento estatístico e sumarização de dados referentes a uma experiência operacional de aproximadamente 21,727 km - ano (cobrindo um período de 1962 a 2004) de dutos transportando diversos produtos, sendo 20.001 km-ano (92%) relativos ao transporte de gás natural das seguintes empresas participantes: *Transco, BP, Huntsman, Shell UK e E-ON UK*.

Produtos Transportados

Os comprimentos das linhas em operação até o final de 2004, por produto transportado, são apresentados no Quadro IV-1:

Quadro IV-1 - Comprimento de Duto por Produto Transportado

Produto	Comprimento (km)
Butano	19,5
CO*	0
Condensado	24,0
Óleo Cru	212,6
Etano	38,1
Etileno	1.141
GLP	9,6
Gás Natural	20.001
Gás Natural Líquido	225,8
Propano	19,5
Propileno	36,3
TOTAL	21.727

* Note que o Banco de Dados inclui 36,3 km de linha descomissionada, usada para transporte de CO.

Acidentes

Os acidentes abordados no Banco de Dados, contemplam:

- Perdas não intencionais dos produtos transportados nos dutos;
- Acidentes que caíram no domínio público e ocorreram em áreas externas às instalações industriais;
- Acidentes que não envolvem equipamentos associados aos dutos (válvulas, compressores, etc) ou partes dos dutos em si.

Um total de 172 acidentes com essas características foram relatados no período de 1962 a 2004. Não se obteve relato de acidentes anteriores a 1962. A Figura IV-4 apresenta a quantidade de acidentes ano a ano.

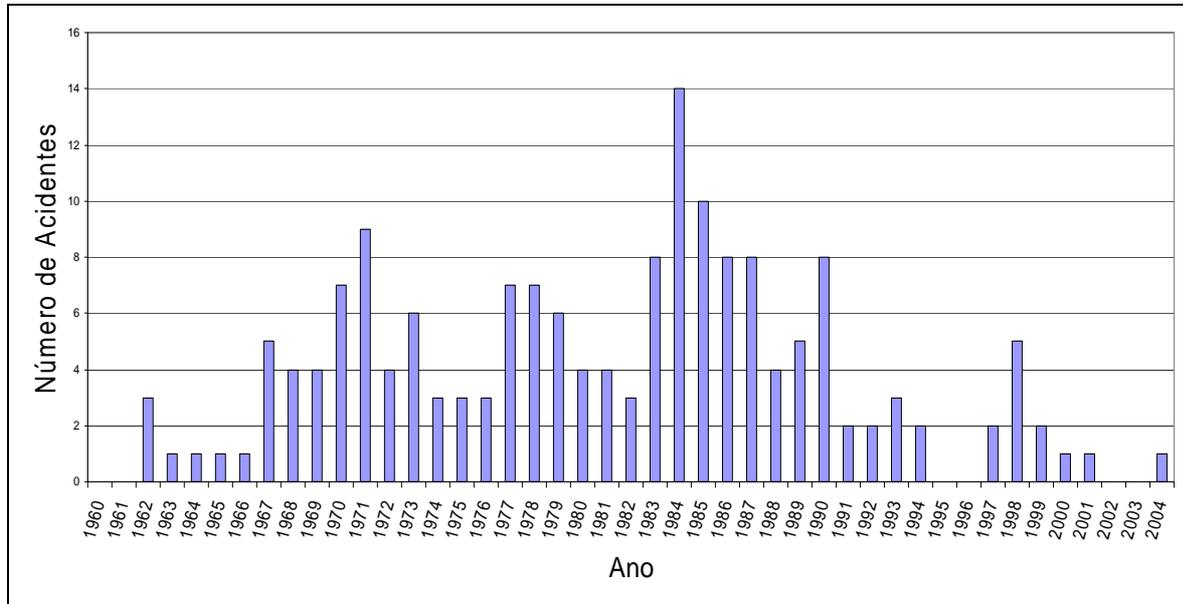


Figura IV-4 - Número Anual de Acidentes

Frequência de Ocorrência de Acidentes

A frequência de ocorrência de acidentes para períodos consecutivos de 5 anos até 2004 é apresentada no Quadro IV-2:

Quadro IV-2 - Frequências dos Acidentes

Período	Número de acidentes	Comprimento dos Dutos (km.ano)	Frequência (acidentes por 1000 km.ano)
1965 – 1969	15	26,639	0,563
1970 – 1974	29	59,598	0,487
1975 – 1979	26	74,486	0,349
1980 – 1984	33	85,534	0,386
1985 – 1989	35	92,406	0,379
1990 – 1994	17	97,839	0,174
1995 – 1999	9	102,527	0,088
2000 – 2004	3	106,799	0,028

A frequência acidental por tamanho de furo no período de 1962 - 2004 é apresentada no Quadro IV-3:

Quadro IV-3 - Frequências dos Acidentes

Tamanho do Furo	Número de Acidentes	%	Frequência (acidentes por 1000 km.ano)
Diâmetro Total	7	4,12	0,011
110 mm - Diâmetro Total	3	1,76	0,005
40 mm - 110 mm	7	4,12	0,011
20 mm - 40 mm	20	11,76	0,031
6 mm - 20 mm	27	15,88	0,041
0 - 6 mm	106	62,36	0,162
Total	170	100,00	-

No **Quadro IV-3** não aparecem dois acidentes, pois estes não tiveram o diâmetro do furo determinado (diâmetro desconhecido).

A frequência de falha para os para os últimos 5 anos considerados (2000 - 2004) é de 0,028 acidentes por 1000 km.ano enquanto a frequência de falha para todo o período estudado (1962 - 2004) é de 0,263 acidentes por 1000 km.ano.

Frequência dos Acidentes por Causa

A **Figura IV-5** mostra a frequência dos acidentes por causa para o período 1962 - 2004 comparando com a frequência nos últimos 5 anos considerados (2000 - 2004):

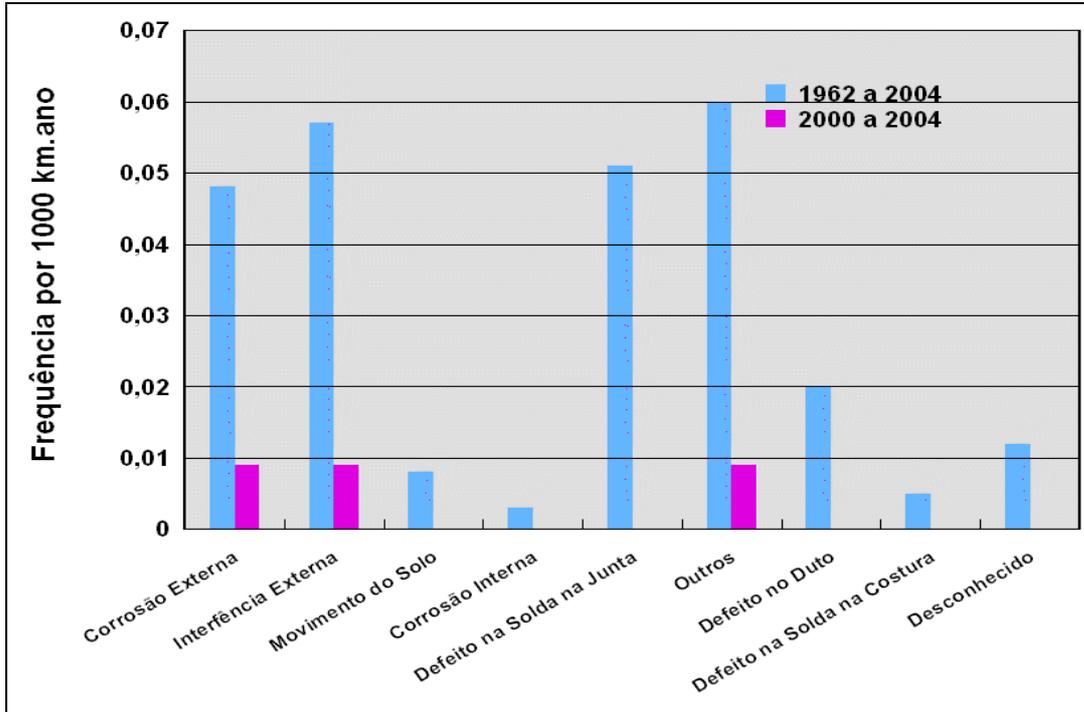


Figura IV-5 - Histórico de Frequências de Falha

A distribuição dos incidentes envolvendo dutos segundo o apresentado no relatório da UKOPA teve a seguinte distribuição por causa iniciadora.

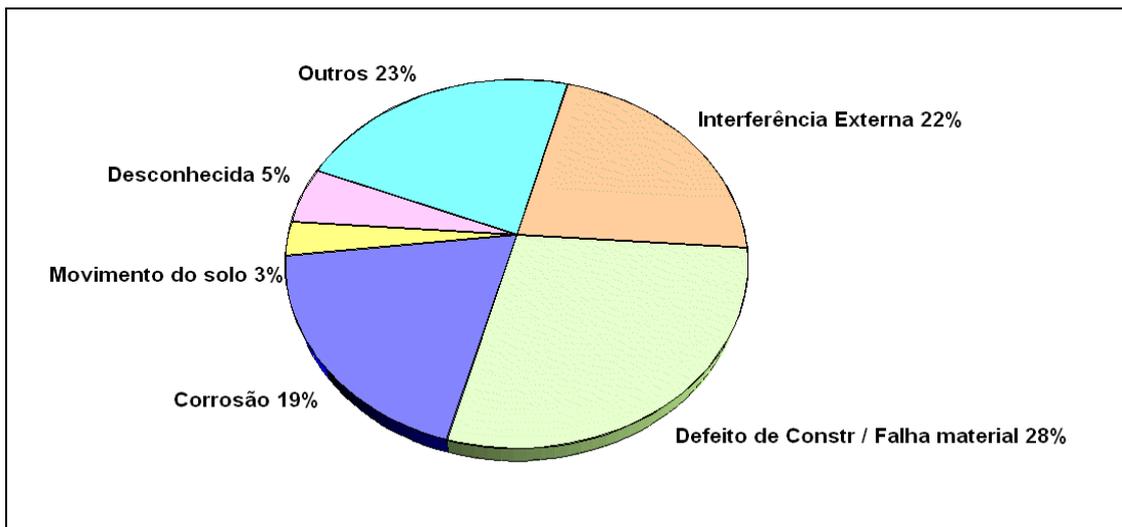
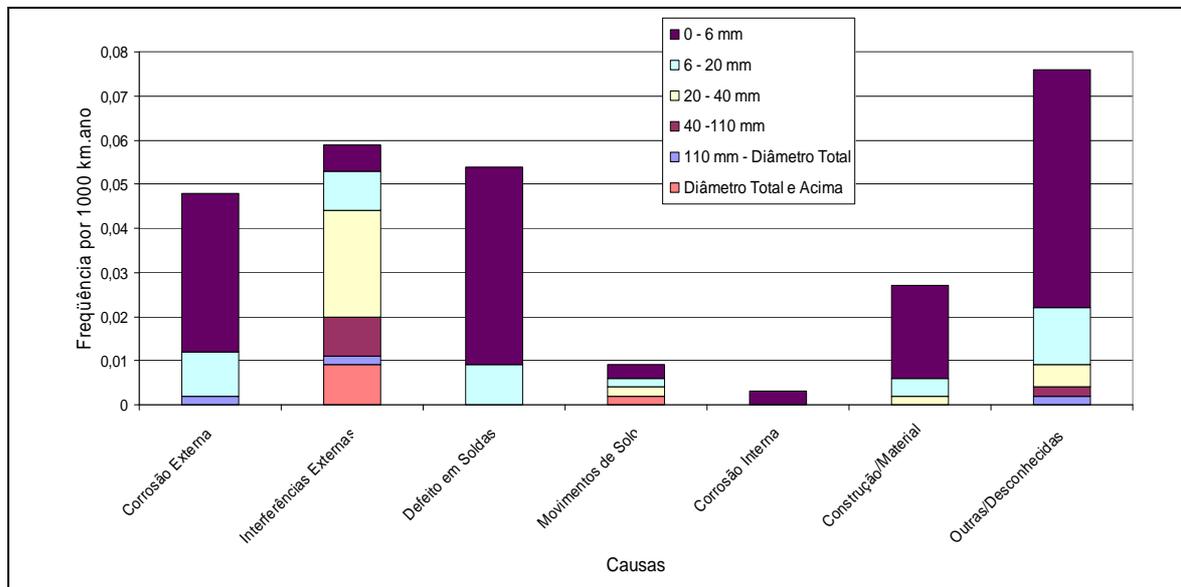


Figura IV-6 - Distribuição das Causas - Dutos Europeus de Transporte de Gás Natural - UKOPA 1962 a 2004

Já a Figura IV-7 mostra uma análise da frequência de ocorrência dos acidentes com a causa e tamanho do furo para no período de 1962 - 2004:



Onde Construção/Material = Defeito na Solda da Linha + Defeito na Linha + Defeito na Confeção da Linha + Danos causados Durante a Construção.

Figura IV-7 - Frequência dos Acidentes por Causa e Diâmetro Equivalente do Furo

Obtendo uma taxa de falha de 0,028 falhas / 1000 km*ano para os últimos cinco anos, substancialmente menor que o valor de 0,263 falhas / 1000 km*ano, obtida para o período de 1962 a 2004.

IV.2.3 - Distribuição das Dimensões dos Furos

O Órgão Ambiental Inglês, Health and Safety Executive - HSE, após análise de vários acidentes com gasodutos da British Gaz, obteve o importante resultado relativo à distribuição das dimensões dos orifícios resultantes dos acidentes, apresentados no Quadro IV-4.

Quadro IV-4 - Distribuição das dimensões dos furos

Diâmetro Equivalente (mm)	Porcentagem (%)
< 20	75,0
20 - 80	18,0
> 80	7,0

De acordo com os dados do 4th e 7th EGIG Report apresentados nos Quadro IV-5 e Quadro IV-6 as distribuições por tamanho do vazamento são:

Quadro IV-5 - Distribuição dos tipos de vazamento - 4th EGIG

Tipos de Vazamento	Percentagem (%)
Vazamentos	48,0
Furos	39,0
Rupturas	13,0

Quadro IV-6 - Distribuição dos tipos de vazamento - 7th EGIG

Tipos de Vazamento	Percentagem (%)
Vazamentos	44,0
Furos	36,0
Rupturas	20,0

Os dados do UKOPA, apresentados no Quadro IV-7, apresentam uma distribuição semelhante:

Quadro IV-7 - Distribuição dos tipos de vazamento - UKOPA

Tipos de Vazamento	Percentagem (%)
Vazamentos	62,4
Furos	31,7
Rupturas	5,9

IV.2.4 - Tipologia Acidental

Analisando os dados do Banco de Dados de Acidentes denominado Major Hazard Incident Data Service - MHIDAS, desenvolvido para o Órgão Ambiental Inglês - HSE, foram identificadas as seguintes tipologias acidentais decorrentes de acidentes com gasodutos transportando gás natural, que se encontram apresentadas no **Quadro IV-8**.

Quadro IV-8 - Tipologias Acidentais Identificadas

Tipologia Acidental	Descrição
Explosão	Processo de combustão de misturas explosivas, considerado como deflagração, quando a velocidade da chama é subsônica e como detonação quando a velocidade da chama ultrapassa a 400 m/s, provocando violenta liberação de calor e aumento de pressão.
Fireball	Combustão instantânea superficial do volume esférico de mistura inflamável, de vapor e de líquido em pequenas partículas, que é disperso explosivamente pela ruptura repentina do recipiente que o contém. A massa inteira, liberada pela ruptura repentina, se eleva por efeito de redução de densidade provocada pelo superaquecimento e emite intensa radiação sobre uma área considerável.
Incêndio	Incêndio genérico, sem especificação exata do tipo de incêndio.
Perda de produto	Vazamento de produto sem entrar em ignição.

Foram identificados 353 acidentes ocorridos em gasodutos transportando gás natural, abrangendo o período de 1984 a 2004. O **Quadro IV-9a** seguir apresenta a distribuição destes acidentes por tipologia acidental resultante:

Quadro IV-9 - Distribuição das Tipologias Acidentais

Tipologia Acidental	% ³
<i>Perda de produto</i>	30
<i>Explosão</i>	50 ⁴
<i>Fireball</i>	4
Incêndio	35

³ A soma é maior que 100%, pois um acidente pode gerar mais de uma tipologia acidental.

⁴ Aproximadamente 50% das explosões foram causadas por sabotagem sendo os principais países: Rússia, Chechênia, Argélia, Colômbia, Cisjordânia, Afeganistão, Paquistão

IV.2.5 - Taxa de Falha de Gasoduto a ser Utilizada no Estudo Quantitativo

Neste estudo utilizaremos a Taxa de Falhas com valor de 3,7 E-04 falhas/km*ano apresentada no 7th EGIG Report, por ter sido obtida a partir de uma experiência operacional muito superior (620.000 km-ano) a da apresentada no 4th Report of the UKOPA Fault Database Management Group (21.727 km - ano)

V. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

A identificação de perigos tem por objetivo definir as hipóteses acidentais, ao longo do traçado do Gasoduto do Pará. A identificação de perigos foi realizada por meio da aplicação da técnica "APP - Análise Preliminar de Perigos" conforme indicado no Termo de Referência.

V.1 - ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS - APP

A APP - Análise Preliminar de Perigos (*PHA - Preliminary Hazard Analysis*) é uma técnica que teve origem no programa de segurança militar do Departamento de Defesa dos EUA. Trata-se de uma técnica estruturada que tem como objetivo identificar os perigos presentes numa instalação, que podem ser ocasionar eventos indesejáveis.

A APP deve focalizar todos os eventos perigosos cujas falhas tenham origem na instalação em análise, contemplando tanto as falhas intrínsecas de equipamentos, de instrumentos e de materiais, bem como erros humanos. Na APP devem ser identificados os perigos, as causas e os efeitos (consequências) e as categorias de severidade correspondentes, bem como as observações e recomendações pertinentes aos perigos identificados, devendo os resultados ser apresentados em planilha padronizada.

Para a APP do Gasoduto do Pará foi utilizada a Norma Técnica CETESB P4.261 - Maio/2003 como referência do escopo da planilha da APP e da categorização da severidade dos efeitos. A descrição das colunas da planilha está apresentada a seguir.

1ª coluna: Perigos

Perigos identificados para o subsistema/trecho de análise em estudo. Perigo é o potencial para causar danos que possui uma substância, uma operação, um sistema, um procedimento. Os danos, por sua vez, podem ser às instalações, aos operadores, ao público geral ou ao meio ambiente.

2ª coluna: Causas

As causas podem envolver tanto falhas intrínsecas dos equipamentos, fatores externos, bem como erros humanos durante testes, operação e manutenção.

3ª coluna: Consequências

Principais efeitos das consequências acidentais envolvendo substâncias tóxicas ou inflamáveis, tais como incêndios, explosões, poluição ambiental, etc.

4ª coluna: Categoria de Severidade

É a indicação qualitativa do grau de severidade das consequências de cada cenário acidental identificado. As categorias de severidade utilizadas neste trabalho encontram-se apresentadas na **Quadro V-1**.

Quadro V-1 - Categorias de severidade para danos ao público externo ou ao meio ambiente

Categorias de Severidade dos Cenários Acidentais		
Categoria	Denominação	Características
I	Desprezível	Nenhum dano ou dano não mensurável.
II	Marginal	Danos irrelevantes ao meio ambiente e à comunidade externa.
III	Crítica	Possíveis danos ao meio ambiente devido a liberações de substâncias químicas tóxicas ou inflamáveis, alcançando áreas externas à instalação. Pode provocar lesões de gravidade moderada na população externa ou impactos ambientais com reduzido tempo de recuperação.
IV	Catastrófica	Impactos ambientais devido a liberações de substâncias químicas, tóxicas ou inflamáveis, atingindo áreas externas às instalações. Provoca mortes ou lesões graves na população externa ou impactos ao meio ambiente com tempo de recuperação elevado.

5ª coluna: Recomendações

Recomendações de medidas preventivas e/ou mitigadoras que devem ser tomadas para diminuir a frequência de ocorrência e/ou a severidade do cenário acidental.

Para a elaboração das planilhas da APP, o Gasoduto do Pará foi dividido em dois trechos, sendo o primeiro a linha tronco, o segundo trecho o ramal 1.

- Trecho 1 - O gasoduto sai de Açailândia e vai até Barcarena no estado do Pará (aproximadamente 675,16 km).
- Trecho 2 - O gasoduto se bifurca na linha troco no município de Acará e vai até Belém no Estado do Pará (41,21 km).

A APP foi realizada através de reuniões com a participação dos profissionais da Ecology e Risco Ambiental Engenharia. Durante essas reuniões, foram identificados os perigos, as suas possíveis causas, as consequências, as salvaguardas e foram também sugeridas recomendações para mitigação das causas e consequências. Além disso, cada um dos cenários foi classificado em termos de severidade das consequências com base no **Quadro V-1**. Os resultados da análise são apresentados a seguir.

V.2 - RESULTADOS

As planilhas a seguir apresentam o resultado da Análise Preliminar de Perigos realizada para o Gasoduto do Pará.

A APP levou à identificação de 2 Eventos Iniciadores principais presentes em cada um dos trechos analisados, que compõem o Gasoduto do Pará.

1. Grande liberação de gás natural causada por ruptura catastrófica, furo ou fissura da tubulação⁵;
2. Pequena liberação de gás natural causada por furo ou fissura na tubulação.

Os eventos iniciadores têm como possíveis consequências a formação de jato de fogo ou de nuvem de gás inflamável e, em princípio, podem apresentar desdobramentos tais como incêndio em nuvem ou explosão em nuvem.

O **Quadro V-2** apresenta a distribuição dos cenários em categorias de severidade, indicando a quantidade de cenários em cada uma delas.

Quadro V-2 - Distribuição das Severidades Relativas

Severidade	Categorias	Total	Total%
	I	6	50
II	4	33	
III	-	0	
IV	2	17	
	Total	12	100

⁵ O que define uma pequena ou grande liberação não é somente o tamanho do diâmetro da liberação, mas também o tempo de liberação.

De um total de 12 cenários associados ao Gasoduto do Pará verifica-se que aproximadamente 50% apresentam severidade Desprezível (categoria I), aproximadamente 33% severidade Marginal (categoria II), 0% severidade Crítica (categoria III) e 17% severidade catastrófica (categoria IV).

Quadro V-3 - Gasoduto do Pará - Trecho: Açailândia → Barcarena

Item	Perigos	Causas	Efeitos	Categorias de Severidade	Recomendações
1.1	Pequena liberação de gás natural	Falhas de fabricação nos tubos Falha ou manutenção/inspeção indevida de equipamentos e acessórios (válvulas, flanges, etc.) Falhas na solda Sobrepessão na linha Corrosão (interna e externa) Ação de terceiros Falha humana (operação indevida)	Possibilidade de: incêndio em nuvem;	I	R1) Seguir todas as normas técnicas recomendadas para projeto, construção e montagem de tubulações de gás natural. R 2) Garantir a integridade do gasoduto após operação. R3) Divulgar os telefones de emergência entre as comunidades. R4) O projeto de detalhamento deverá prever proteção mecânica do duto quando identificados pontos críticos de cruzamento com estradas. R5) Colocar placas e marcos de sinalização indicadores da passagem de tubulação de gás, tanto nos trechos enterrados quanto nos trechos aéreos. R6) Instalar proteção catódica de acordo com as normas técnicas aplicáveis. R7) Efetuar manutenção e medições periódicas nos sistemas de proteção anticorrosiva. R8) Manter suspiros nos tubos-camisa e caixas de válvula, quando requerido em norma técnica R9) Realizar controle por ensaios não destrutivos das juntas soldadas. R10) Efetuar ensaios de resistência nos tubos e exigir certificado de qualidade dos fabricantes de tubos, equipamentos e acessórios. R11) Realizar teste hidrostático na tubulação. R12) Colocar placas ao longo do traçado, contendo o número de telefone da 0800, para comunicação de acidentes e alertando com relação a periculosidade da substância. R13) Elaborar Plano de Ação de Emergência
			Contaminação ambiental devido a emissões	I	
			Possibilidade de dano ao patrimônio público e privado	I	
1.2	Grande liberação de gás natural	Falhas de fabricação nos tubos Falha ou manutenção/inspeção indevida de equipamentos e acessórios (válvulas, flanges, etc.) Falhas na solda Sobrepessão na linha Corrosão (interna e externa) Ação de terceiros Falha humana (operação indevida)	Possibilidade de: jato de fogo; incêndio em poça; incêndio em nuvem; explosão em nuvem	IV ⁶	
			Contaminação ambiental devido a emissões	II	
			Possibilidade de dano ao patrimônio público e privado (Mineroduto da Vale)	IV	

⁶ Severidade alta, pois neste trecho o gasoduto passa muito próximo de aglomerados urbanos em Açailândia e Dom Elizeu

Quadro V-4 - Gasoduto do Pará - Trecho: Município de Acará → Belém

Equipe Técnica: Edson de Pinho (analista de risco), Eliana Camacho e Arlei Mazurec

Item	Perigos	Causas	Efeitos	Categorias de Severidade	Recomendações
1.3	Pequena liberação de gás natural	Falhas de fabricação nos tubos Falha ou manutenção/inspeção indevida de equipamentos e acessórios (válvulas, flanges, etc.) Falhas na solda Sobreprensão na linha Escavações	Possibilidade de: jato de fogo; incêndio em poça; incêndio em nuvem; explosão em nuvem	I	R1) Seguir todas as normas técnicas recomendadas para projeto, construção e montagem de tubulações de gás natural. R 2) Garantir a integridade do gasoduto após operação. R3) Divulgar os telefones de emergência entre as comunidades. R4) O projeto de detalhamento deverá prever proteção mecânica do duto quando identificados pontos críticos de cruzamento com estradas. R5) Colocar placas e marcos de sinalização indicadores da passagem de tubulação de gás, tanto nos trechos enterrados quanto nos trechos aéreos. R6) Instalar proteção catódica de acordo com as normas técnicas aplicáveis. R7) Efetuar manutenção e medições periódicas nos sistemas de proteção anticorrosiva. R8) Manter suspiros nos tubos-camisa e caixas de válvula, quando requerido em norma técnica R9) Realizar controle por ensaios não destrutivos das juntas soldadas. R10) Efetuar ensaios de resistência nos tubos e exigir certificado de qualidade dos fabricantes de tubos, equipamentos e acessórios. R11) Realizar teste hidrostático na tubulação. R12) Colocar placas ao longo do traçado, contendo o número de telefone da 0800, para comunicação de acidentes e alertando com relação a periculosidade da substância. R13) Elaborar Plano de Ação de Emergência
		Corrosão (interna e externa) Ação de terceiros Possibilidade de movimentação do solo Falha humana (operação indevida)	Contaminação ambiental devido a emissões	I	
			Possibilidade de dano ao patrimônio público e privado	I	
1.4	Grande liberação de gás natural	Falhas de fabricação nos tubos Falha ou manutenção/inspeção indevida de equipamentos e acessórios (válvulas, flanges, etc.) Falhas na solda Sobreprensão na linha Escavações	Possibilidade de: jato de fogo; incêndio em poça; incêndio em nuvem; explosão em nuvem	II	
		Corrosão (interna e externa) Ação de terceiros Possibilidade de movimentação do solo Falha humana (operação indevida)	Contaminação ambiental devido a emissões	II	
			Possibilidade de dano ao patrimônio público e privado	II	

Coordenador:

Técnico:

V.3 - RECOMENDAÇÕES

A Análise Preliminar de Perigos do Gasoduto do Pará originou 13 recomendações para mitigação das causas e consequências avaliados nos cenários acidentais analisados. Estas recomendações estão indicadas no Quadro V-5e são comuns para os dois trechos analisados.

Quadro V-5 - Recomendações obtidas pela APP

Recomendação	Descrição
R1	Seguir todas as normas técnicas recomendadas para projeto, construção e montagem de tubulações de gás natural.
R2	Garantir a integridade do gasoduto após operação.
R3	Divulgar os telefones de emergência entre as comunidades.
R4	O projeto de detalhamento deverá prever proteção mecânica do duto quando identificados pontos críticos de cruzamento com estradas.
R5	Colocar placas e marcos de sinalização indicadores da passagem de tubulação de gás, tanto nos trechos enterrados quanto nos trechos aéreos.
R6	Instalar proteção catódica de acordo com as normas técnicas aplicáveis
R7	Efetuar manutenção e medições periódicas nos sistemas de proteção anticorrosiva.
R8	Manter suspiros nos tubos-camisa e caixas de válvula, quando requerido em norma técnica
R9	Realizar controle por ensaios não destrutivos das juntas soldadas.
R10	Efetuar ensaios de resistência nos tubos e exigir certificado de qualidade dos fabricantes de tubos, equipamentos e acessórios.
R11	Realizar teste hidrostático na tubulação
R12	Colocar placas ao longo do traçado, contendo o número de telefone da 0800, para comunicação de acidentes e alertando com relação a periculosidade da substância.
R13	Elaborar Plano de Ação de Emergência

Para a análise das consequências, foi selecionado um evento iniciador no trecho 1, que possui cenários acidentais com categoria de severidade catastrófica.

Grande liberação de Gás natural causada por fissura (5% do diâmetro), furo (20% do diâmetro) ou ruptura (100% do diâmetro) do gasoduto.

VI. ESTIMATIVA DAS FREQUÊNCIAS DOS CENÁRIOS

No Capítulo V foram identificados os perigos e consolidados os eventos iniciadores relacionadas à operação transferência de gás natural do Gasoduto do Pará a ser implantado. Agora, as frequências de ocorrência dos cenários acidentais devem ser determinadas de acordo com o escopo da metodologia da Análise Quantitativa de Riscos indicada no Termo de Referência.

A avaliação da frequência de ocorrência dos cenários é realizada aqui com base na Análise Histórica apresentada no Capítulo IV, e na técnica de Árvore de Eventos. A Árvore de Eventos é uma técnica tanto qualitativa, usada para identificar cenários acidentais, quanto também quantitativa, pois possibilita a avaliação de suas frequências.

As Árvores de Eventos são elaboradas automaticamente pelo Programa PHASTRISK v.6.54, desenvolvido pela DNV e utilizado em todas as etapas desta Análise Quantitativa de Riscos.

Neste capítulo estão apresentadas as frequências de ocorrência de todos os cenários acidentais relevantes à avaliação dos riscos inerentes ao sistema avaliado e a metodologia empregada pelo PHASTRISK para a determinação e avaliação da Árvore de Eventos. As frequências obtidas se referem a uma base de tempo, normalmente tomada como um ano.

VI.1 - FREQUÊNCIAS DOS EVENTOS INICIADORES

Um duto pode falhar virtualmente em qualquer ponto seu. Para fins deste Estudo nós vamos assumir que ao longo de sua circunferência as direções de interesse são: a vertical para cima e angular 45°. Em relação à direção da sua geratriz, nós vamos nos preocupar com aqueles pontos do duto (de fato regiões) que estão diante de núcleos populacionais. Estes pontos (de fato regiões, isto é, intervalos lineares, mas considerados aqui por abuso de linguagem como pontos) são designados por nós de focos de liberação. Estes focos estão distribuídos ao longo do Gasoduto do Pará e cada um deles possui uma extensão específica.

Ao longo do Gasoduto foram determinados 18 focos de liberação no Trecho 1 chamado de Tronco, distribuídos ao longo do município de Dom Elizeu, que é o trecho considerado mais populoso de todo o traçado, isto é, onde passa mais próximo de aglomerados urbanos.

Os eventos iniciadores considerados neste Estudo são: grandes liberações acidentais de gás inflamável causado por falha do gasoduto nestes focos. Assume-se que estas falhas possíveis possuem diâmetros efetivos que correspondem genericamente à ruptura, furo e fissura. Desta

forma, o evento iniciador 1, EI01, por exemplo, corresponde a "Grande liberação de gás natural causada por ruptura do gasoduto na direção vertical no foco 1".

Uma metodologia utilizada para estabelecer a taxa de falha e que particularmente costuma ser empregada em análises de riscos de gasodutos, está baseada na avaliação histórica de desempenho em conjuntos de gasodutos - malhas com extensão total conhecida, monitoradas por agências governamentais ou entidades mantidas por grupos de operadores - envolvendo o registro de falhas que acarretaram acidentes de vulto que impactaram populações, meio ambiente e instalações industriais. Para uma melhor estimativa, deve ser procurada a melhor analogia entre a instalação em análise e a fonte dos dados referenciados, como por exemplo, em função do tipo de produto movimentado.

Neste Estudo adotou-se como base de dados para estimativa de ocorrência de acidentes, aquela coletada pelo *European Gas Pipeline Incident Data Group* (EGIG), uma organização europeia mantida hoje por quinze empresas que compreendem os maiores operadores de sistemas de transporte de gás, na Europa Ocidental. Com base nestes dados, o EGIG tem publicado relatórios detalhados sobre o desempenho da malha monitorada.

Nesta análise foram utilizados os dados disponíveis no sexto e último relatório extensivo publicado⁷, que apresenta as estatísticas do período de 1970 a 2007, utilizadas como referencial para a determinação da taxa média global de falha, por quilômetro, aplicável aos dutos de transporte de gás natural. A frequência global de incidentes neste período é de 0,37 incidentes por ano (por trechos de 1.000 km). O Quadro VI-1 em seguida reproduz as frequências totais registradas pelo EGIG, divididas pelas causas de incidente, no período em questão.

Quadro VI-1 - Frequências de incidentes em dutos, distribuídas por causas

Causa	Frequência de Vazamento (/1.000 km ano ⁻¹)	% de Contribuição
Interferência Externa	0,184	49,6
Falha na Construção/ Falha de Material	0,061	16,5
Corrosão	0,057	15,4
Movimentação de Solo	0,027	7,3
Perfuração Acidental por Erro	0,017	4,6
Outros	0,025	6,7
TOTAL	0,371	

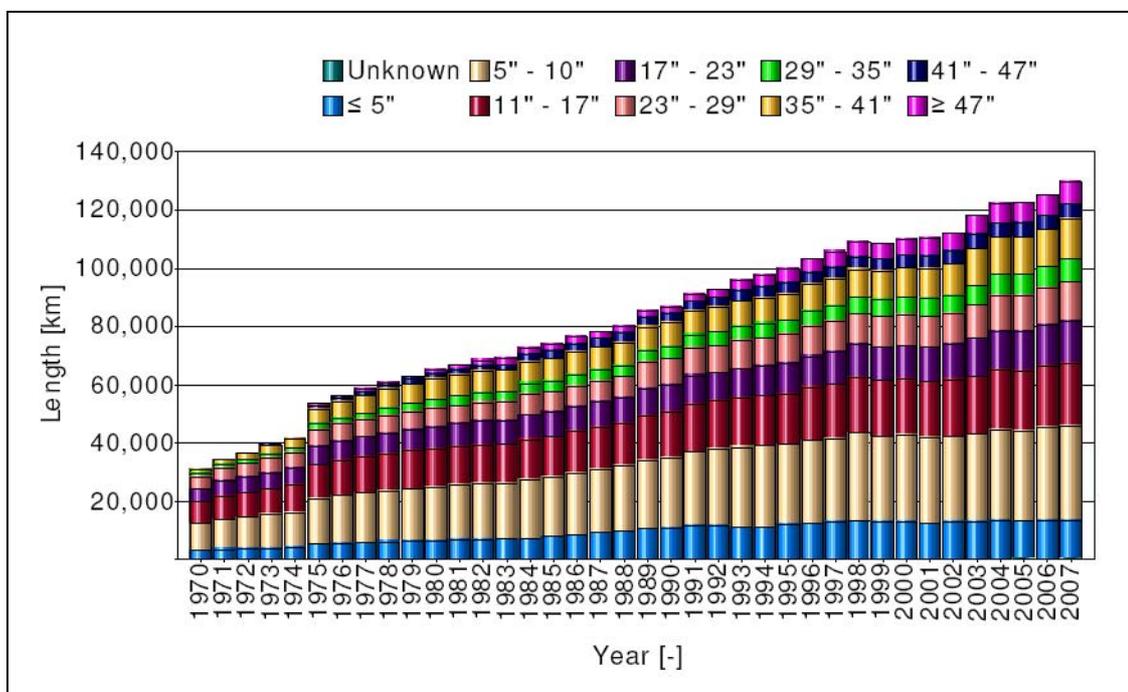
Fonte: EGIG 2007

⁷ EGIG, "7th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group - EGIG 02.R.0058", 2005.

As estatísticas presentes no sétimo Relatório do EGIG (período 1970-2007) apresentam ainda uma distribuição da frequência de incidentes por dimensão do furo ou fissura envolvido que inclui os seguintes percentuais:

- Rupturas: 20%
- Furos intermediários: 44%
- Furos pequenos: 36%

A Figura VI-1 apresenta a variação da frequência ao longo dos anos considerando tamanho do vazamento e classe de diâmetro para o período de 1970 a 2007.



Fonte: EGIG 2007

Figura VI-1 - Distribuição de incidentes por comprimento por tamanho do vazamento e classe de diâmetro

De acordo com as Figura IV-1 e Figura IV-2 apresentadas na análise histórica pode-se observar que a interferência externa é a principal causa de danos em gasodutos. Entretanto, levando-se em consideração outras causas de liberação acidental, além da interferência externa, como a falha do material e a movimentação de terreno, pode-se determinar as frequências totais de falhas, a partir da Figura VI-1, distribuídas segundo as diferentes faixas de diâmetro, conforme se vê no Quadro VI-2.

Quadro VI-2 - Taxas de Falha /(km.ano) em Gasodutos de Diferentes Dimensões

Dimensão do furo ou trinca	Classe de Diâmetro (em polegadas)	
	11 - 17	17 - 23
Ruptura	9,06E-09	6,23E-09
Furo	1,97E-08	1,35E-08
Fissura	1,62E-08	1,11E-08

É com base nos valores apresentados no **Quadro VI-2** que determinamos a frequência de ocorrência dos eventos iniciadores. Observa-se que as taxas de falha do **Quadro VI-3** devem ser multiplicadas pelo tamanho da tubulação⁸ e pela probabilidade de ocorrer a liberação numa direção particular. Considerando-se a direção vertical (900) e as angulares (450 e 1350) tem-se $p_{vert} = 1/3$ para a direção vertical (900) e $p_{ang} = 2/3$ para as direções angulares. Os resultados destas frequências encontram-se no **Quadro VI-3**.

Quadro VI-3 - Frequência dos eventos iniciadores

EI	Descritivo	Frequência do EI (ano) ⁻¹
1	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por ruptura catastrófica da tubulação de 20"	4,15E-07
2	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por ruptura catastrófica da tubulação de 20"	2,08E-07
3	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por furo na tubulação de 20"	9,03E-07
4	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por furo na tubulação de 20"	4,52E-07
5	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por fissura na tubulação de 20"	7,41E-07
6	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por fissura na tubulação de 20"	3,71E-07
7	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por ruptura catastrófica da tubulação de 14"	6,04E-07
8	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por ruptura catastrófica da tubulação de 14"	3,02E-07
9	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por furo na tubulação de 14"	1,31E-06
10	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por furo na tubulação de 14"	6,57E-07
11	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por fissura na tubulação de 14"	1,08E-06
12	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por fissura na tubulação de 14"	5,39E-07

O EGIG⁹ apresenta ainda importantes estatísticas sobre a ignição de liberações acidentais de gás natural em dutos. No período de 1970 - 2007, apenas 4,4% das liberações registradas nesta base de dados resultou em ignição. O **Quadro VI-4** apresenta a probabilidade de ignição por tipo de liberação, isto é, por dimensão do orifício.

⁸ No modelo de cálculo empregado foram considerados 18 focos de liberação, separados entre si de 100 metros. Portanto, a frequência correspondente a cada trecho é a taxa de falha unitária (isto é, por metro) multiplicada por 100 metros.

⁹ 7th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group

Quadro VI-4 - Probabilidade de ignição por tipo de vazamento

Tipo de Vazamento	Probabilidade de Ignição
Fissura	0,04
Furo	0,02
Ruptura	0,13

Fonte: EGIG 2007

VI.2 - ÁRVORE DE EVENTOS

A Análise por Árvores de Eventos consiste na aplicação de uma ferramenta sistemática, probabilística, representada graficamente na forma de um diagrama, capaz de descrever a sequência dos fatos que podem se desenvolver a partir do evento iniciador de acidente. As análises por árvores de eventos são realizadas de forma indutiva, ou seja, parte-se de um evento iniciador, desenvolvendo em seguida as sequências dos eventos cronologicamente posteriores, caracterizados tipicamente como "barreiras" ou funções de segurança, ou ainda prováveis condições meteorológicas na ocorrência do evento iniciador. Estas sequências são determinantes da evolução dos possíveis acidentes, definindo diferentes tipologias e magnitudes das consequências associáveis a estes.

A construção das sequências levando a potenciais acidentes inicia-se do lado esquerdo da árvore, através do evento iniciador (único), progredindo para a direita na forma de "ramificações". Convenciona-se, por exemplo, o ramo superior como sendo aquele referente a falha de cada evento condicionante, evento este indicado no topo de cada divisão vertical (formada pelos nós) e o ramo inferior como sucesso deste mesmo evento. Nos casos em que a sequência não é alterada pela condição estabelecida pelo evento intermediário, a sequência simplesmente não ramifica naquele ponto. O processo prossegue até que nas ramificações das árvores possam ser claramente definidos os cenários acidentais possivelmente resultantes.

Uma vez definido o cabeçalho da árvore de eventos efetua-se a atribuição de probabilidades aos eventos intermediários (condicionantes) de forma que a multiplicação destas probabilidades pela frequência do evento iniciador permitirá a estimativa das frequências resultantes para cada um dos cenários acidentais.

VI.3 - O PHAST RISK

A estimativa das frequências de ocorrência das tipologias acidentais (flashfire, jato de fogo, etc), bem como de cada um dos cenários acidentais é realizada por meio da aplicação da técnica Análise por Árvores de Eventos, onde são considerados os diferentes tipos de liberações e direções dos jatos de saída dos vazamentos.

Esta análise é realizada internamente pelo programa PHAST RISK, que possui um núcleo básico chamado MPACT, que consiste num sistema que integra todas as informações necessárias ao cálculo dos riscos. O MPACT é o “coração” do PHAST RISK.

O MPACT é um modelo matemático que calcula vários resultados relacionados à população potencialmente afetada pelos vários eventos iniciadores, quer sejam de natureza tóxica quer de natureza inflamável ou ambas. Estes eventos iniciadores são entendidos pelo MPACT como parâmetros de entrada a serem definidos pelo usuário. O MPACT é capaz de modelar os seguintes cenários:

- Bola de fogo/BLEVE
- Jato de fogo horizontal
- Jato de fogo vertical
- Incêndio em nuvem imediato para liberações instantâneas ou contínuas de curta duração
- Explosão imediata para liberações instantâneas ou contínuas de curta duração
- Incêndio em poça imediato
- Incêndio em nuvem retardada (o instante e a localização dependem das fontes de ignição)
- Incêndio em poça retardado associado com incêndio em nuvem retardado. Isto ocorre se a poça ainda está em contato com a nuvem no momento da ignição, e produz uma zona de efeito combinado
- Explosão retardada (o instante e a localização dependem das fontes de ignição)
- Incêndio em poça residual. Este cenário é modelado se houver uma poça remanescente após a nuvem ter terminado sua dispersão (uma poça residual)

Cada cenário terá seus resultados específicos de fatalidades e suas próprias probabilidades condicionais (e frequências).

Em geral, a evolução de uma nuvem de vapor de material perigoso segue diferentes possibilidades dependendo do tipo de liberação (se instantânea ou contínua), do instante considerado, da localização espacial e do tipo de ignição, e também do comportamento de qualquer fração líquida da liberação que possa haver (isto é, rainout e vaporização).

Há ao todo 22 possibilidades diferentes de evolução da nuvem e que são designadas pelo MPACT como rotas. Então, baseado nos resultados da modelagem de consequências o MPACT seleciona uma única rota para o evento iniciador e a rota selecionada tem uma árvore de evento associada.

O MPACT utiliza uma estrutura de Árvore de Decisão para definir qual árvore de evento é aplicável a uma liberação particular. Existem apenas três Árvore de Decisão, e elas são mostradas nas Figura VI-2 a Figura VI-4.

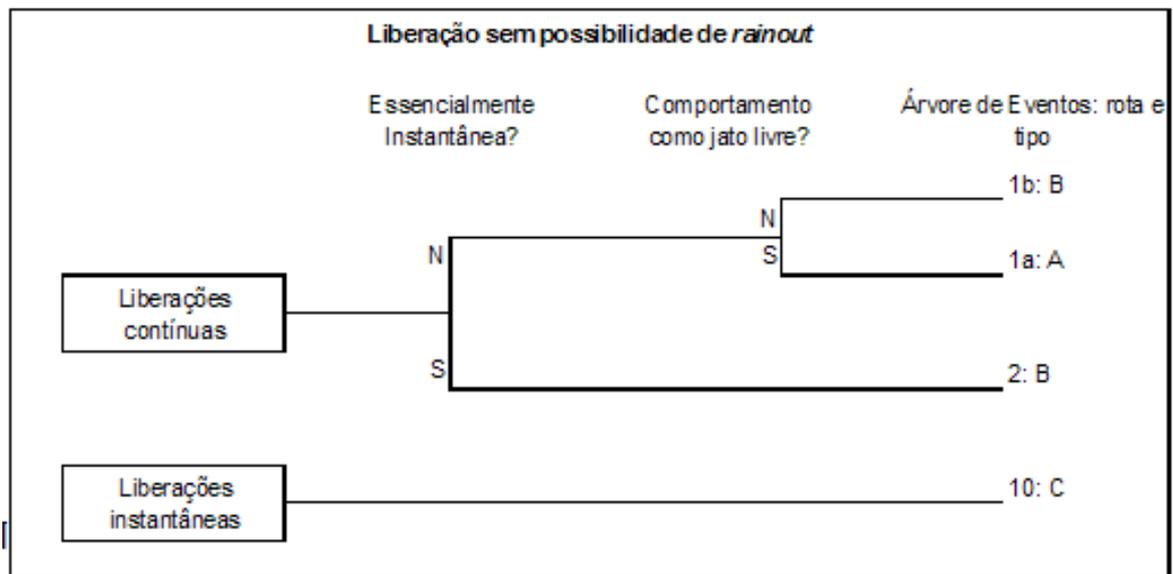


Figura VI-2 - Árvore de Decisão 1: Liberações sem conteúdo líquido

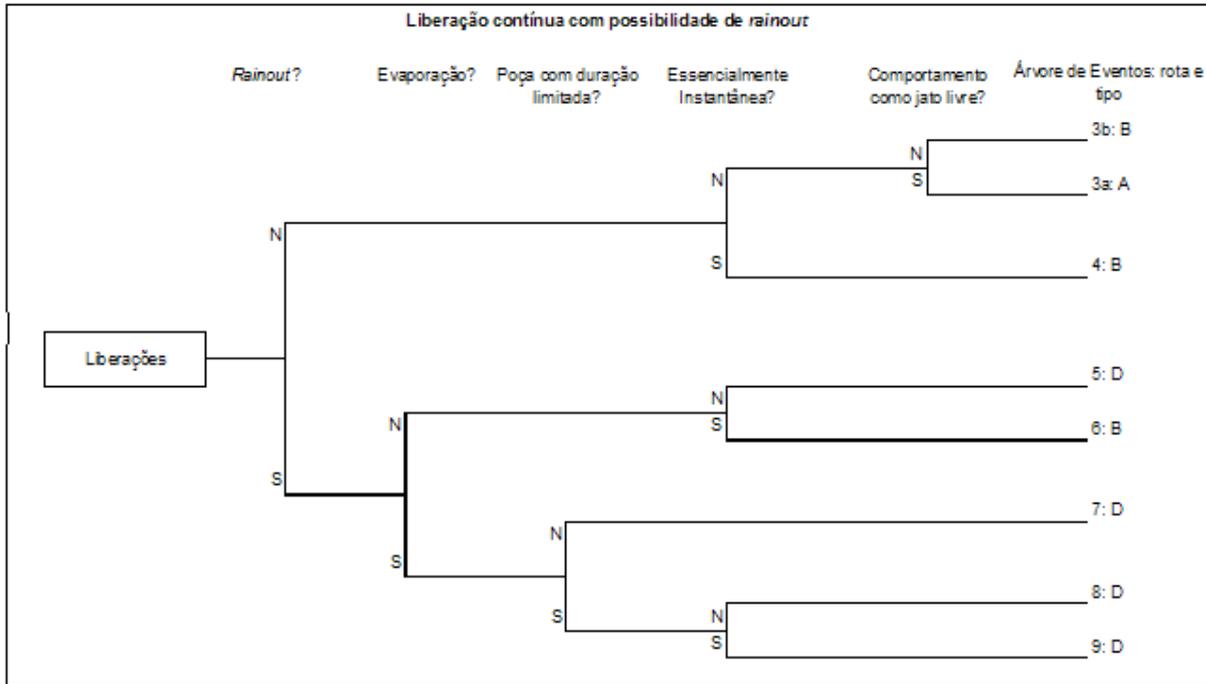


Figura VI-3 - Árvore de Decisão 2: Liberações contínuas com conteúdo líquido

A Árvore na Figura VI-2 se aplica as liberações que permanecem contínuas enquanto houver líquido na nuvem, isto é, que não se tornaram “essencialmente instantâneas” antes do rainout.

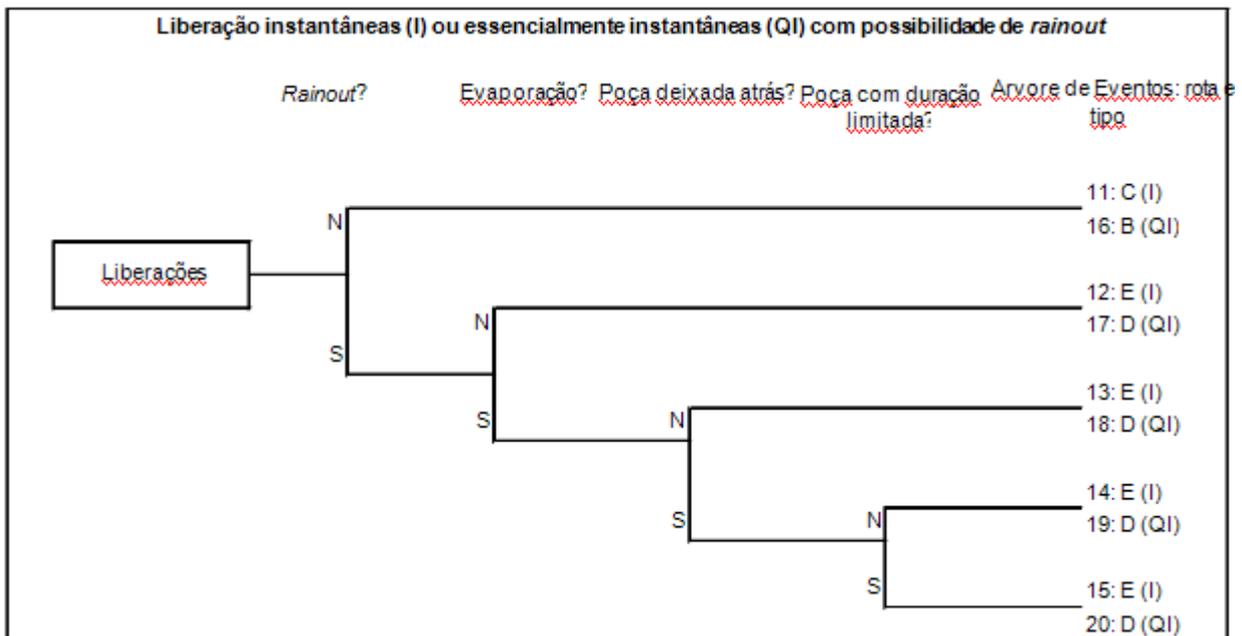


Figura VI-4 - Árvore de Decisão 3: Liberações instantâneas ou essencialmente instantâneas com conteúdo líquido

A Árvore na Figura VI-3 se aplica a liberações que são definidas como instantâneas, e para liberações que são “Essencialmente Instantâneas” enquanto houver líquido na nuvem.

A partir das Árvores de Decisão acima, pode-se mostrar que existem 22 possibilidades Árvores de Eventos e que estas estão divididas em seis tipos diferentes. As estruturas das árvores, para os vários tipos de liberação, estão apresentadas e ordenadas de A a F como descrito as seguir.

- a) Contínua, jato livre
- b) Contínua, jato não livre, sem rainout
- c) Instantânea, sem rainout
- d) Contínua, com rainout
- e) Instantânea com rainout, a nuvem instantânea está ligada a poça
- f) Instantânea com rainout, a nuvem instantânea não está mais ligada a poça

Estas estruturas de árvores são gerais e contêm todas as possíveis alternativas de evolução para um dado tipo de liberação. Em alguns casos, uma evolução particular não se aplica e assim, a Árvores de Eventos específica não conterá os ramos pertinentes a esta evolução dos acontecimentos.

As Figura VI-5 a Figura VI-10 apresentam as Árvores de Eventos genéricas consideradas pelo PHAST RISK.

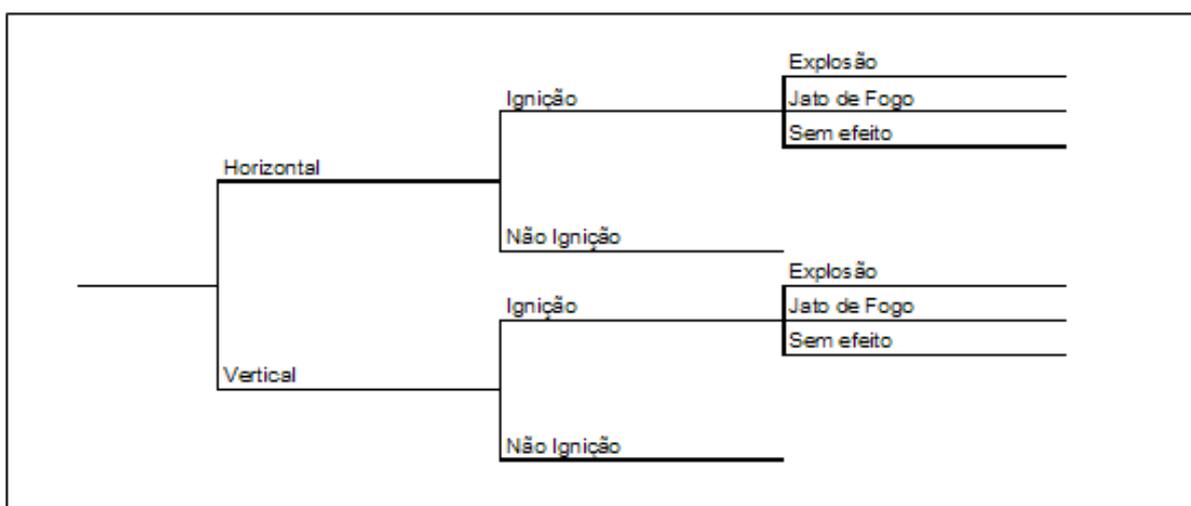


Figura VI-5 - Árvore de Eventos: Tipo A (Contínua, jato livre).Aplicável para as rotas de números: 1a, 3a

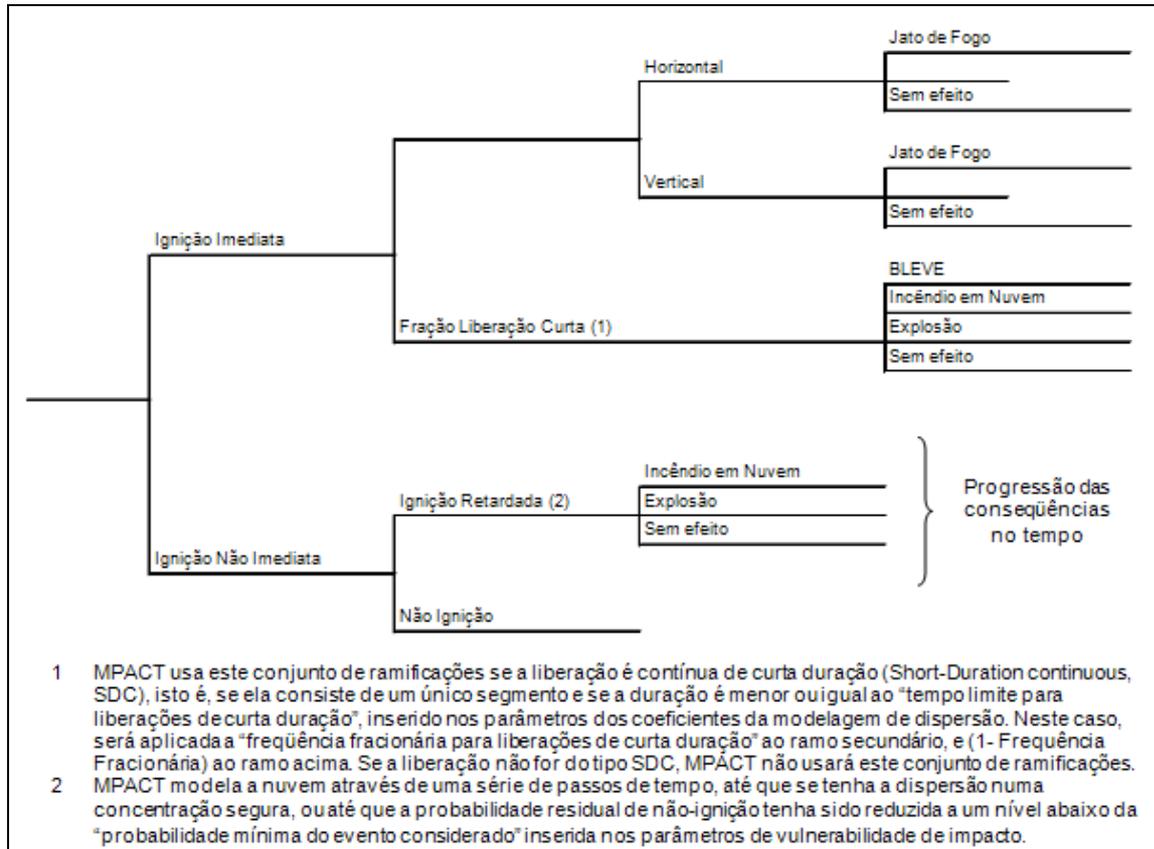


Figura VI-6 - Árvore de Eventos: Tipo B (Contínua, sem jato livre, sem rainout). Aplicável para as rotas de números: 1b, 2, 3b, 4, 16

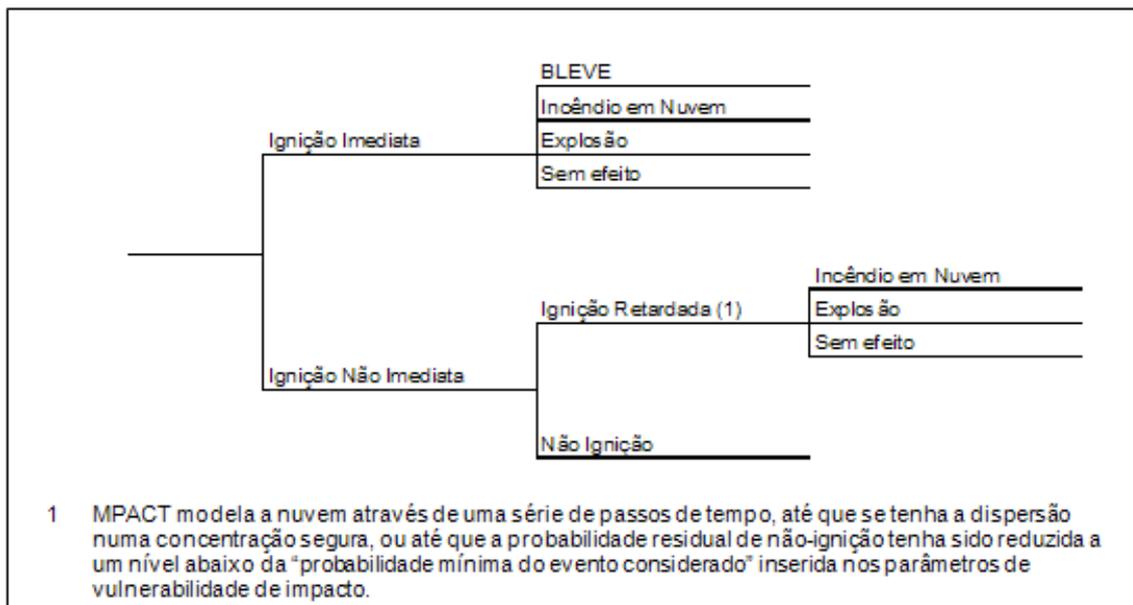


Figura VI-7 - Árvore de Eventos: Tipo C (instantânea, sem rainout) Aplicável para as rotas de números: 10, 11

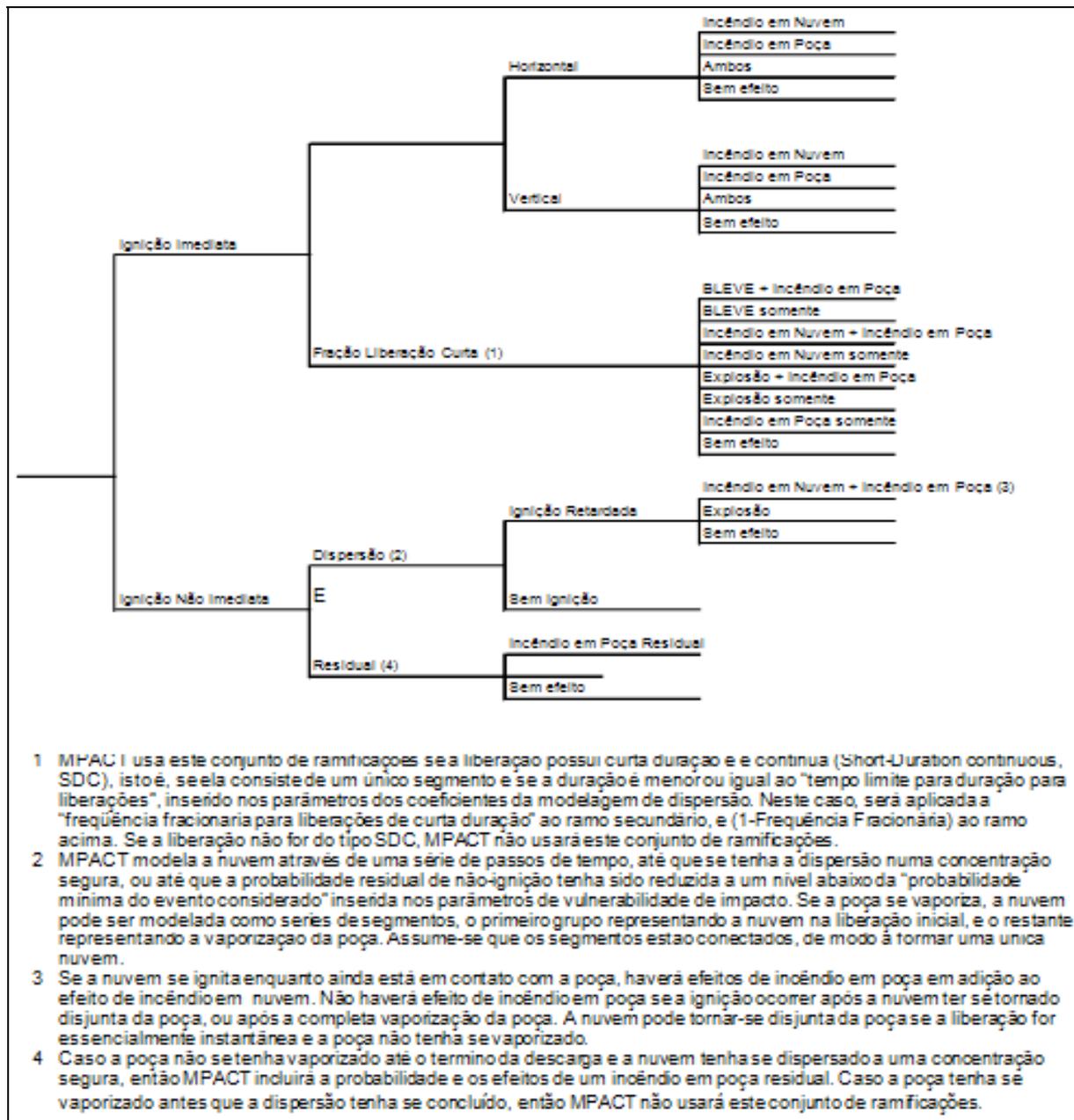


Figura VI-8 - Árvore de Eventos: Tipo D (instantânea, sem rainout). Aplica-se a Numero de rotas 5, 6, 7, 8, 9, 17, 18, 19, 20

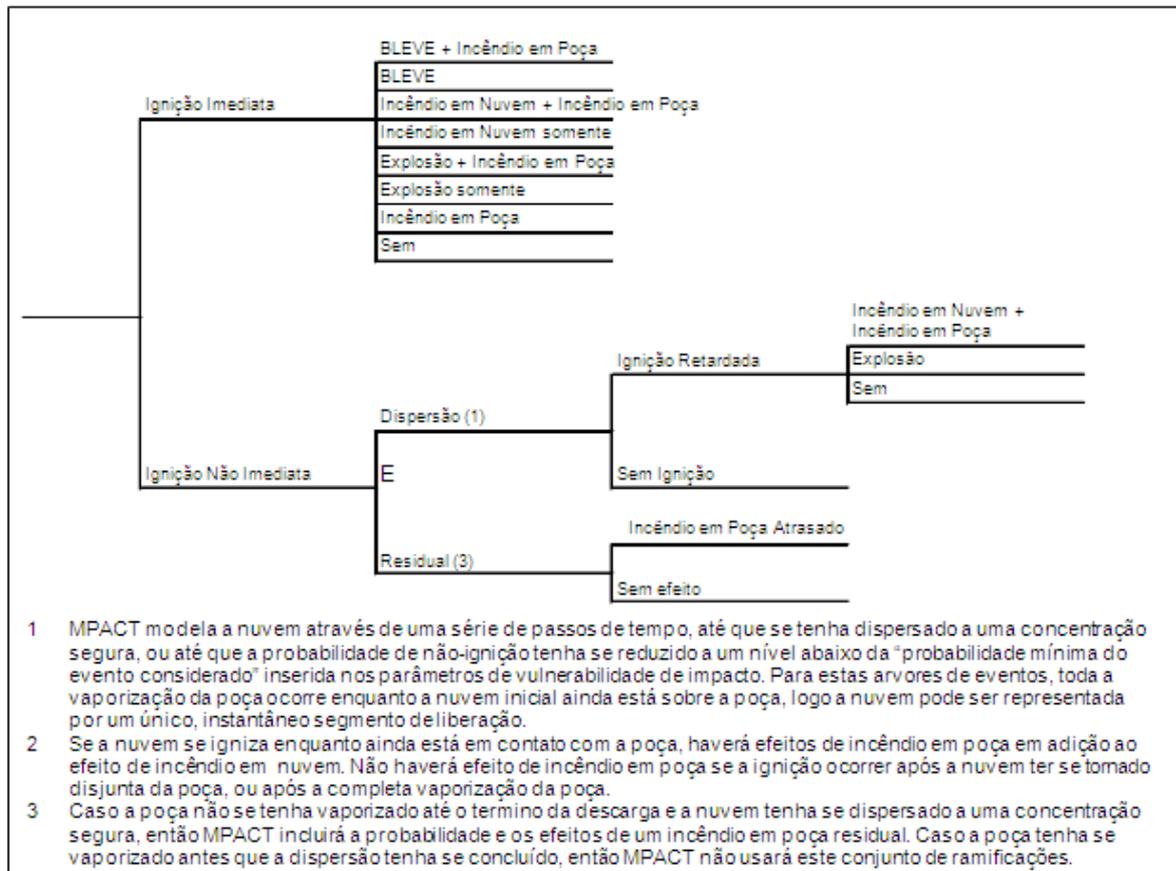


Figura VI-9 - Árvore de Eventos: Tipo E (instantânea, com rainout, sem vaporização de poça deixada pra trás). Aplicável para as rotas de números: 12,13

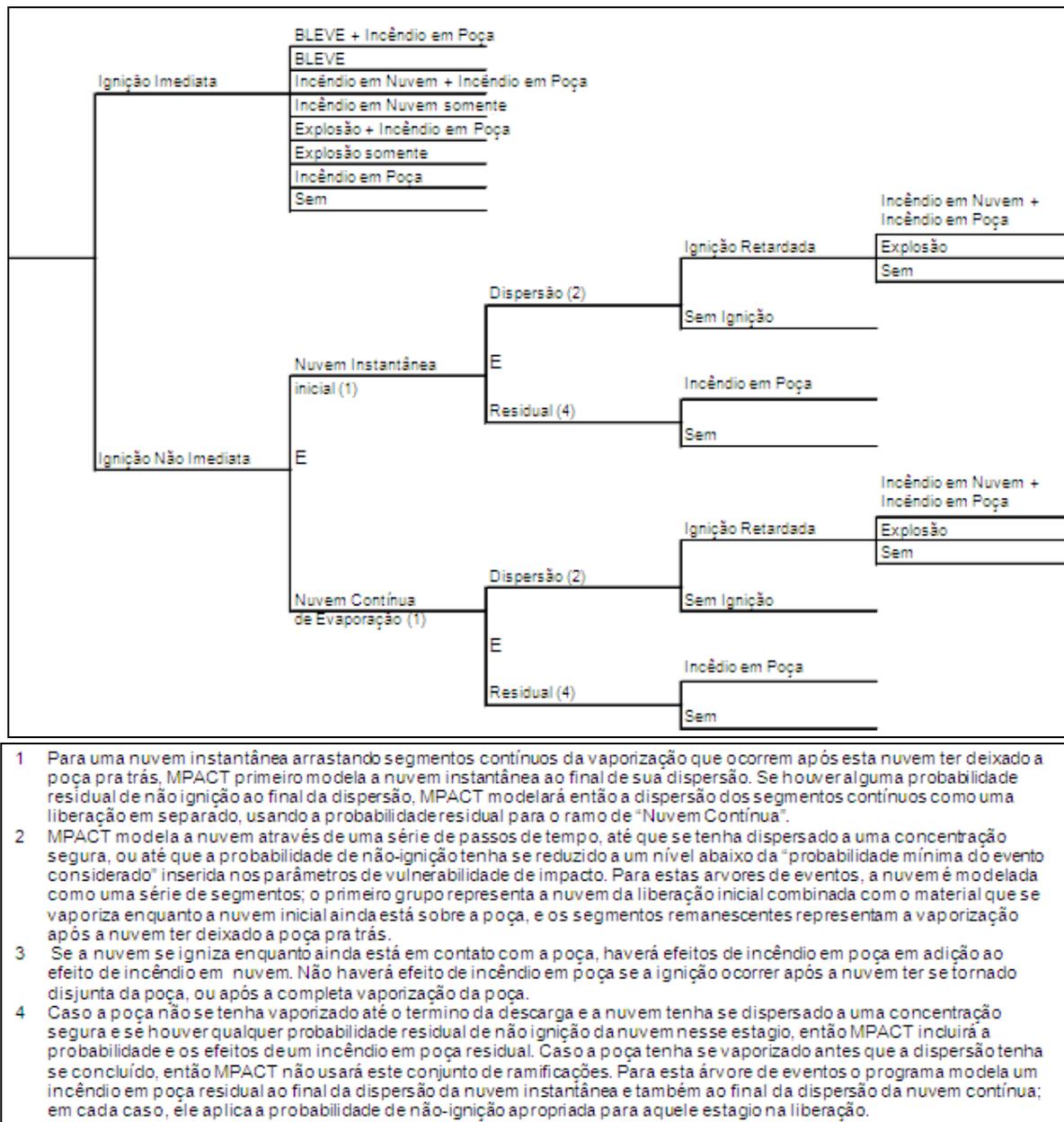


Figura VI-10 - Árvore de Eventos: Tipo F (instantânea, com rainout, com vaporização de poça deixada pra trás). Aplicável para as rotas de números: 14, 15

Cada ramo da Árvore de Eventos tem associado a ele uma probabilidade. O MPACT requer um conjunto de probabilidades para cada Árvore de Eventos, categorizadas segundo o número da rota. Estas probabilidades são usadas para calcular a frequência de cada cenário para posterior utilização no cálculo do risco.

O programa PHAST RISK faz uma importante distinção na Árvore de Eventos entre cenários de ignição imediata e ignição retardada. O MPACT assume que os cenários de ignição imediatos têm suas probabilidades intermediárias definidas pelo usuário. Assim, considerando-se, por exemplo, uma Árvore de Eventos do Tipo C, se a frequência do evento iniciador é de 0,001 por ano, se a probabilidade de ignição imediata é de 0,3, se a probabilidade de incêndio em nuvem é de 0,6, então, a frequência do cenário: "Incêndio em nuvem que se segue a ignição imediata da nuvem de vapor associada ao do evento iniciador" é: $0,001(\text{por ano}) \times 0,3 \times 0,6 = 0,00018$ (por ano).

Por outro lado, os cenários de ignição retardada ocorrem com uma frequência calculada pelo Modelo de Ignição do MPACT. No caso da ignição retardada há uma sucessão de cenários correspondentes aos diferentes instantes em que pode ocorrer a ignição. A probabilidade de cada um destes cenários é calculada pelo modelo de ignição retardada presente no MPACT e de acordo com os dados da nuvem de vapor (por exemplo, localização e concentração) em cada instante de tempo.

Cabe observar que o grande número de possibilidades de evolução do comportamento da nuvem de vapor inflamável é função do tempo e da localização da ignição. Deve ser considerado também que há, inclusive, a possibilidade de não haver ignição da nuvem.

O modelo de ignição que é usado para calcular a frequência dos cenários associados à ignição retardada considera diferentes tipos de fontes de ignição. As fontes de ignição são definidas pelo usuário do programa como pontos, linhas retas, poli linhas (linha contínua unindo um certo número de pontos (x,y) usando segmentos retilíneos), áreas retangulares e áreas poligonais.

A forma geral do modelo é definida pela equação:

$$P_{x,y,t} = f_{x,y} \left(1 - e^{-\omega_{x,y}t} \right)$$

Onde:

$$P_{x,y,t}$$

é a probabilidade de ignição na célula (x,y) no intervalo de tempo t;

$$f_{x,y}$$

é o fator de presença na célula, isto é a fração do tempo que a fonte está presente e ativa;

$$\omega_{x,y}$$

é o fator de efetividade associado a célula e t é o intervalo de tempo em questão

O MPACT modela a evolução da nuvem ao longo da direção do vento e, na medida em que ela avança, ele integra as fontes de ignição no interior da zona inflamável fornecendo a probabilidade de ignição com o tempo.

Para cada passo de tempo, existem dois ramos na Árvore de Eventos - ignição e não ignição. O ramo não ignição avança ao próximo passo de tempo e novamente se bifurca. Evidentemente há a possibilidade da nuvem não ignitar em momento nenhum, ainda que ela esteja em condição para tal.

Esta possibilidade dá origem a uma probabilidade residual de não ignição. Esta situação é de particular interesse para substâncias que são, simultaneamente, tóxicas e inflamáveis.

VI.4 - FREQUÊNCIAS DOS CENÁRIOS ACIDENTAIS

A frequência dos cenários acidentais está relacionada às probabilidades de ocorrência de determinados eventos que influenciam a evolução do acidente a partir do evento iniciador.

O PHAST RISK (MPACT) integra todas as informações necessárias ao cálculo da frequência do cenário nas Árvores de Eventos descritas acima e disponibiliza internamente este resultado à sub-rotina (isto é, no interior da rotina) que calcula os riscos. Entretanto, estes resultados não estão disponíveis ao usuário.

VII. CÁLCULO DAS CONSEQUÊNCIAS E DE VULNERABILIDADE

A metodologia de análise de riscos foi desenvolvida originalmente para abordar os principais perigos de acidentes que se relacionam à liberação de substâncias tóxicas, inflamáveis e/ou explosivas. Tais perigos, que com suas liberações descontroladas, geram efeitos físicos tais como ondas de choque, fluxos térmicos e formação de nuvens de gases tóxicos capazes de causar danos ao homem, ao meio ambiente e à propriedade, na área atingida pelos efeitos.

Uma análise de consequências é uma investigação quantitativa dos efeitos físicos associados a cada cenário acidental. Assim, por exemplo, quando por perda de contenção uma dada substância é lançada na atmosfera, devemos ser capazes de descrever sua dispersão e prever a região sujeita a uma concentração prejudicial em cada instante de tempo. Especificamente, devemos ser capazes de descrever o campo de concentrações, isto é, $C(x,y,z,t)$.

Além da determinação do campo de concentração de uma nuvem de material tóxico e/ou inflamável, são objetos de interesse os fluxos de radiação térmica devido a incêndios e sobrepressões decorrentes de explosões. Para a determinação de cada um dos efeitos físicos são

empregados “Modelos de Consequência” como aqueles que estão discutidos no Item VII.1 - **Análise de Consequência**.

Por outro lado, uma análise de vulnerabilidade consiste na determinação da quantidade dos recursos (pessoas, estruturas, meio ambiente em geral) que estará vulnerável a certa intensidade dos efeitos físicos. Em linhas gerais trata-se da determinação de uma espécie de resposta dos recursos aos efeitos físicos submetidos.

Em princípio, os recursos podem ser materiais, como as instalações de um empreendimento; econômicos, como volume de negócios; naturais, como ecossistemas terrestres ou aquáticos; ou mesmo humanos. Cada efeito físico pode gerar, em cada recurso, um tipo particular de dano. Assim por exemplo, o desligamento num equipamento crítico de uma dada unidade, gerado por um curto circuito devido a incêndio na unidade, pode ocasionar a perda do próprio equipamento. Por outro lado, um incêndio de pequenas proporções pode provocar queimaduras nas pessoas, sem que haja fatalidades.

Devemos ser capazes, então, de determinar a quantidade do recurso comprometido com um efeito físico particular. Esta determinação emprega os chamados “Modelos de Vulnerabilidade” como aqueles que são discutidos no Item VII.1 - **Análise de Consequência**.

Esta análise de consequências e vulnerabilidade tem por objetivo delimitar os danos potencialmente originados na operação do gasoduto a ser instalado. Este gasoduto vai transportar gás natural, oriundo do Gasoduto Meio Norte, a partir do município de Açailândia, para os municípios de Marabá, Barcarena e Marituba, na região metropolitana de Belém. A Análise é realizada em consonância com as diretrizes que definem o **Termo de Referência para Estudo de Análise de Riscos em Gasodutos - Revisão 0, de 16 de agosto de 2007**.

VII.1 - ANÁLISE DE CONSEQUÊNCIA

VII.1.1 - Dinâmica de Fluidos Computacional - CFD¹⁰

A etapa central numa análise de consequências consiste na determinação da concentração da nuvem de vapor da substância perigosa lançada na atmosfera, no espaço e no tempo.

Mesmo no caso de uma substância apenas tóxica, isto é, que não apresenta características inflamáveis, este problema apresenta extraordinária complexidade.

Tal complexidade, que é inerente aos problemas de dinâmica de fluidos, tem sua origem nas próprias equações que descrevem esta dinâmica e, por outro lado, na geometria subjacente aos problemas.

Ainda mais complexo, é a determinação dos efeitos térmicos e mecânicos (como sobrepressões) provenientes da ignição de fluidos inflamáveis lançados na atmosfera, pois que, às equações da dinâmica de fluidos deve-se adicionar aquelas que descrevem a cinética das reações de combustão.

Ao todo, tem-se um conjunto de quatro equações diferenciais parciais não lineares e acopladas que, essencialmente, expressam as leis de conservação, na forma de equações de balanço para: a massa total (equação da continuidade), o momentum (equação de Navier-Stokes), a energia e as espécies químicas presentes. De forma explícita, as equações são as seguintes¹¹:

a) Equação de balanço para a massa total

$$\partial_t \rho + (\rho v)_{,j} = 0$$

Equação de balanço para as espécies químicas

$$\partial_t \rho + [\rho_\gamma \Delta_{ij} + \rho_\gamma v_{j,j}] = \sum_\alpha v_{\alpha\gamma} M_\gamma \varpi_\alpha$$

Equação de balanço para o momentum total

$$\partial_t (\rho v_i) = \rho F_i - [P_{ij} + \rho v_i v_{j,j}]$$

¹⁰ Computational Techniques for Fluid Dynamics, Fletcher, C. A. J. - Springer Series in Computational Physics, 4th Ed, 2000.

¹¹ Mecânica de Fluidos, Curso de Física Teórica, vol.6, Landau, L. D., Lifshitz, E. M. - Editorial Reverté S. A., 1986.

Equação de balanço para a energia total

$$\partial_t \left[\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho e + \sum_{\gamma} \rho_{\gamma} \bar{w}_{\gamma} \right] + \left[W_j + P_{ij} v_i + \left(\frac{1}{2} v^2 + e \right) \rho v_j + \sum_{\gamma} \rho_{\gamma} v_{j\gamma} \bar{w}_{\gamma} \right]_{,j} = 0$$

Não há método geral para obter solução analítica deste conjunto de equações. Contudo, hoje em dia, a associação de poderosos processadores e eficientes algoritmos tem tornado possível abordagens numéricas diretas deste conjunto de equações. Este procedimento é genericamente chamado de dinâmica de fluidos computacional (ou simplesmente CFD) e é encontrado em algumas ferramentas computacionais comerciais como é o caso do ANSYS, do PHOENIX e do COMSOL MULTIPHYSICS. Entretanto, tal procedimento demanda um grande esforço computacional, o que torna de aplicação muito específica.

Uma abordagem simplificada, porém suficientemente eficiente, para se analisar as consequências físicas provenientes da dinâmica de fluidos perigosos e suas eventuais combustões, é dada através dos chamados modelos semi-empíricos apresentados a seguir.

VII.1.2 - Dinâmica Modelos Semi-Empíricos¹²

De uso corriqueiro encontram-se, para o cálculo do alcance dos efeitos físicos de dispersão de nuvem, incêndios e explosões, os chamados modelos semi-empíricos. Estes modelos se utilizam de simplificações nas equações da dinâmica de fluidos e a partir destas simplificações, descrevem a dispersão de fluidos na atmosfera. Eles também se utilizam de simplificações na abordagem da combustão empregando relações fenomenológicas que descrevem efeitos térmicos (fluxos térmicos, por exemplo) e efeitos mecânicos (sobrepressão, por exemplo) provenientes de chamas e explosões químicas de hidrocarbonetos.

No caso da avaliação dos efeitos físicos dos cenários de incêndio em jato (também denominado de jato de fogo) ou incêndio em poça, as equações empíricas permitem descrever a forma da chama, bem como os fluxos térmicos provenientes dela. Contudo, devido à simplicidade da abordagem em questão, tal procedimento não fornece informações detalhadas da chama em si. Existem basicamente dois tipos de modelos:

1. Modelo de fonte pontual, que assume que a fonte de radiação térmica é um único ponto e, portanto, não fornece informação sobre a forma da chama.

¹² Methods for the Calculation of Physical Effects, Editors: van den Bosch, C. J. H. and Weterings, R. I. P. M. - Committee for Prevention of Disasters, CPR 14E, 3rd Ed. 1997.

2. Modelos de superfície emissora, que assumem que a chama tem a forma de um objeto sólido – tipicamente um cilindro ou um cone, que pode estar inclinado pela ação do vento. Nestes modelos assume-se que o calor é irradiado pela superfície do sólido.

Alguns dos programas comerciais tradicionais e representativos deste grupo são: PHAST, HEGADAS, CHARM, TRACE, SLAB, WHAZAN, ALOHA, ARCHIE.

A RISCO AMBIENTAL ENGENHARIA faz uso do PHAST, como ferramenta computacional para Análise de Consequências, e seu funcionamento é descrito no Item VII.3.

VII.2 - ANÁLISE DE VULNERABILIDADE

Os modelos matemáticos utilizados nas estimativas das áreas potencialmente sujeitas aos efeitos físicos dos eventos acidentais são chamados de modelos de vulnerabilidade. Para o cálculo da vulnerabilidade do público exposto e dos danos prováveis às instalações, utiliza-se o Modelo de Vulnerabilidade de Eisenberg, desenvolvido pela Guarda Costeira dos Estados Unidos, que faz uso de funções probabilísticas do tipo PROBIT¹³. Seu uso visa relacionar a intensidade de fenômenos (como calor de radiação de incêndios, sobrepressão de explosões e concentração de produtos tóxicos em dispersões de nuvens tóxicas) com suas consequências.

Cabe ressaltar que, conservativamente, a área vulnerável corresponde a toda área passível de ser atingida. Em caso da ocorrência do cenário acidental, a área predominantemente atingida será influenciada pela condição climática e geográfica local no instante da liberação, tal como interferências e a direção e velocidade do vento, sendo, portanto uma fração da área vulnerável.

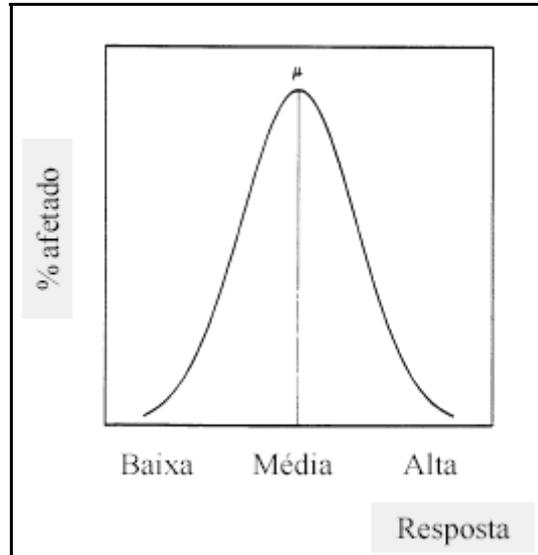
VII.2.1 - Método PROBIT

Numa análise de vulnerabilidade é necessário relacionar a intensidade dos fenômenos físicos (como intensidade de radiação térmica, sobrepressão e concentração de nuvem tóxica) com a quantidade de recurso comprometido. Os recursos podem ser materiais, como as instalações de um empreendimento; econômicos, como volume de negócios; naturais, como ecossistemas terrestres ou aquáticos; ou humanos. Devemos ser capazes, então, de determinar a quantidade do recurso comprometido com um efeito físico particular.

Quando ensaios toxicológicos são realizados num grande número de indivíduos, todos expostos a mesma dose (integral da concentração no tempo, durante o tempo de exposição), o gráfico

¹³ AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS (AIChE), 2000

indicando a fração ou percentual de indivíduos que experimentam uma resposta específica é tipicamente uma gaussiana¹⁴. O Gráfico VII-1 ilustra este fato.



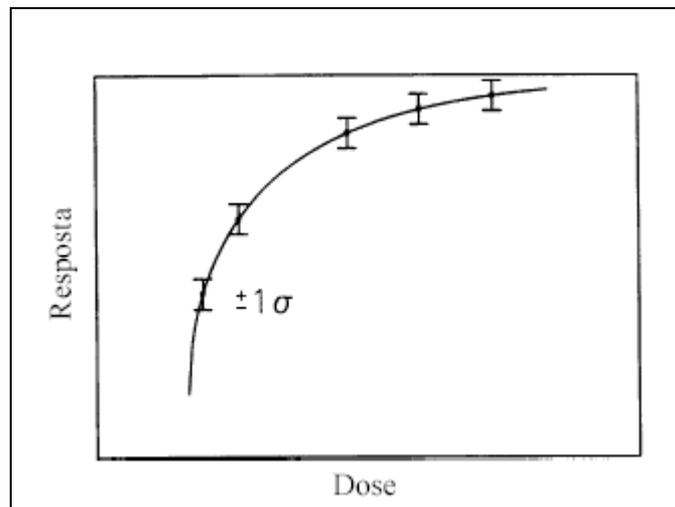
Fonte: Crow-Louvar, 1990 (Ref.¹⁵)

Gráfico VII-1- Percentual de Indivíduos afetados para uma dada resposta

Se a experiência toxicológica for repetida sucessivamente para vários valores diferentes da dose, cada um dos resultados é um gráfico semelhante quanto à forma, mas com altura máxima e larguras diferentes. Ao se representar graficamente a resposta cumulativa média para cada dose, em função desta, o resultado típico tem a forma apresentada na Gráfico VII-2.

¹⁴ Crow-Louvar, 1990, Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications, 1 ed - Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Series, New Jersey

¹⁵ Crow-Louvar, 1990, Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications, 1 ed - Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Series, New Jersey



Fonte: Crow-Louvar, 1990

Gráfico VII-2 - Curva Dose-Resposta

Curvas que expressam o comportamento da resposta em função da dose existem para uma grande variedade de exposições tais como, por exemplo: calor, pressão, impacto, e som.

Para fins de cálculo, é mais conveniente trabalhar com uma expressão analítica que represente a curva e existem vários métodos para representá-la¹⁶. Para exposições de uma única natureza, o método probit (unidade de probabilidade)¹⁷ é particularmente conveniente, pois fornece uma representação retilínea que é equivalente a curva de dose-resposta.

A variável probit é uma variável aleatória de média 5 (cinco) e variância 1 (um). A probabilidade (intervalo de 0 - 1) é geralmente substituída em resultado probit pela percentagem (intervalo 0 - 100). O probit é um número relacionado à probabilidade de danos, lesões ou fatalidades, expresso através da percentagem da população ou instalações físicas afetadas.

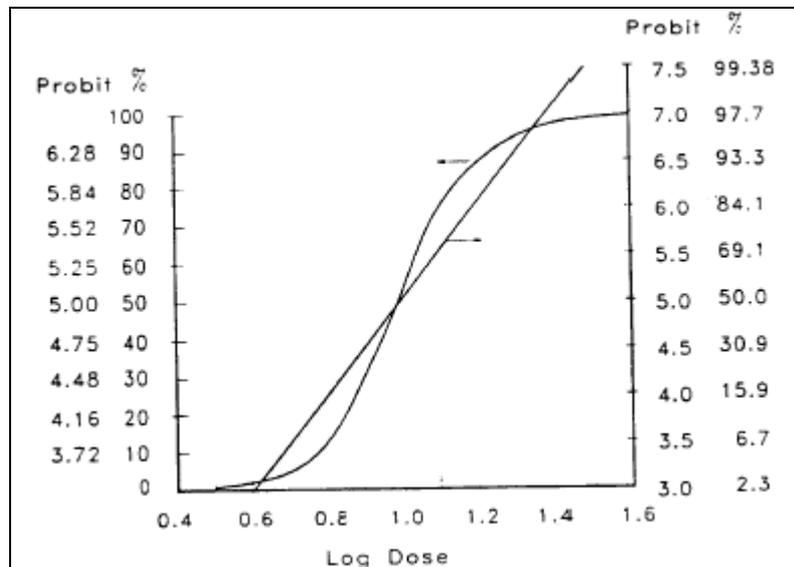
A variável probit (Y) está relacionada com a probabilidade segundo a equação:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp(-u^2 / 2) du$$

¹⁶ Williams, P. L. e Burson, J. L., Eds. 1985, Industrial Toxicology, Safety and Health Applications in Workplace, New York - van NostrandReinhold Company

¹⁷ Finney, D. J., 1971, Probit Analysis, Cambridge - Cambridge University Press

A relação acima entre a variável probit e a probabilidade transforma a forma sigmóide da curva normal de dose-resposta em linha reta quando ela é plotada usando-se uma escala linear para o probit. Este resultado é apresentado na Gráfico VII-3.



Fonte: Crow-Louvar, 1990

Gráfico VII-3 - Curva Normal de Dose - Resposta e a Respectiva Linearização

A variável Y é calculada a partir da equação:

$$Y = k_1 = k_2 \ln(V)$$

Onde a variável causativa V representa a magnitude da exposição e os parâmetros k1 e k2 e que são específicos de cada tipo de dano e/ou substância.

O Quadro VI-1 apresenta uma variedade de correlações de probit para diferentes tipos de exposições. O fator causativo representa a dose, V.

Tipo de Ferimento ou Dano	Variável Causal	Parâmetro Probit	
		k ₁	k ₂
INCÊNDIO:			
Mortes por queimaduras devido a incêndio instantâneo (<i>flash fire</i>)	$t_e^{4/3} / 10^4$	-14,9	2,56
Mortes por queimadura devido a incêndio em piscina	$t^{4/3} / 10^4$	-14,9	2,56
EXPLOSÕES:			
Morte por hemorragia pulmonar	p^o	-77,1	6,91
Ruptura de tímpanos	p^o	-15,6	1,93
Morte por impacto	J	-46,1	4,82
Ferimentos por impacto	J	-39,1	4,45
Ferimentos por objetos voadores	J	-27,1	4,26
Danos estruturais	p^o	-23,8	2,92
Vidros quebrados	p^o	-18,1	2,79
LIBERAÇÕES TÓXICAS			
Mortes por exposição a cloro	$\Sigma C^{2,75} T$	-17,1	1,69
Ferimentos por exposição a cloro	C	-2,40	2,90
Mortes por exposição à amônia	$\Sigma C^{2,75} T$	-30,57	1,385

Fonte: Frutuoso, P. F., 2001, Análise de Confiabilidade e Análise Quantitativa de Risco - Curso de Avaliação e Gerenciamento de Riscos, Instituto Politécnico da UFRJ, Eds Frutuoso, P. F e Faertes, D.

Quadro VII-1 - Correlações de Probit Para Vários Tipos de Exposição

Na prática, a relação entre percentagens e probits (valor de entrada) é dada através do Quadro VI-1. O probit é o número de três dígitos. As percentagens são lidas na vertical e na horizontal do quadro supracitada. A coluna vertical corresponde a dezena, e a horizontal a unidade. As duas últimas linhas da tabela demonstram um ajuste mais fino para altos valores de percentagem, de 99 a 99,9%.

Quadro VII-2 - Transformação de Percentuais em Probits¹⁸

%	00	11	22	33	44	55	66	77	88	99
00	-	22,67	22,95	33,12	33,25	33,36	33,45	33,52	33,59	33,66
110	33,72	33,77	33,82	33,87	33,92	33,96	44,01	44,05	44,08	44,12
220	44,16	44,19	44,23	44,26	44,29	44,33	44,36	44,39	44,42	44,45
330	44,48	44,50	44,53	44,56	44,59	44,61	44,64	44,67	44,69	44,72
440	44,77	44,75	44,80	44,82	44,85	44,87	44,90	44,92	44,95	44,97
550	45,00	55,03	55,05	55,08	55,10	55,13	55,15	55,18	55,20	55,23
660	55,25	55,28	55,31	55,33	55,36	55,39	55,41	55,44	55,47	55,50
770	55,52	55,55	55,58	55,61	55,64	55,67	55,71	55,74	55,77	55,81
880	55,84	55,88	55,92	55,95	55,99	66,04	66,08	66,13	66,18	66,23
990	66,28	66,34	66,41	66,48	66,55	66,64	66,75	66,88	77,05	77,33
%	00,0	00,1	00,2	00,3	00,4	00,5	00,6	00,7	00,8	00,9
999	77,33	77,37	77,41	77,46	77,51	77,58	77,65	77,75	77,88	88,09

¹⁸ Finney, D. J., 1971, Probit Analysis, Cambridge - Cambridge University Press

VII.2.2 - Vulnerabilidade Devido a Incêndios

Um grande incêndio pode dar origem a efeitos no homem, em construções e em equipamentos. Embora todos os modos de transferência de calor estejam envolvidos, o mais importante, considerando ambiente aberto, é a radiação térmica.

Os níveis de danos causados pelo incêndio é função da duração efetiva do mesmo, como também da intensidade de radiação, sendo expressa através da equação probit dada pela equação abaixo. Esta equação representa o probit para morte por queimadura decorrente tanto de incêndio em poça (pool fire), jato de fogo (jet fire) ou para bola de fogo (Fireball).

$$Y = -14,9 + 2,56 \ln(t \cdot Q^{4/3} \cdot 10^{-4}) = -38,48 + 2,56 \ln(t \cdot Q^{4/3})$$

Onde t é o tempo de exposição à radiação térmica (s) e Q é a intensidade de radiação térmica efetiva (W/m²)

O valor probit é transformado em percentagem pelo **Quadro V-2**.

Os danos referentes a incêndios esperados sobre pessoas, edificações e equipamentos são medidos em função do tempo e da exposição. Os dois parâmetros significativos compreendem: nível de radiação térmica e duração da radiação térmica. Considerando um tempo de exposição de um minuto ao fluxo de calor proveniente de incêndio, têm-se níveis de fluxo de radiação térmica e efeitos esperados de um incêndio conforme **Quadro VII-3**. Observa-se também, no **Quadro VII-3**, que a maior probabilidade de fatalidade ocorre entre os níveis de radiação de 8,0 kW/m² e 37,5 kW/m². Os níveis mais baixos de fluxo de radiação térmica são mais significativos do ponto de vista de dor do que de letalidade.

Quadro VII-3 - Níveis de Fluxo de Radiação Térmica e Efeitos Esperados

Fluxo de Calor Proveniente do Incêndio (kW/m ²)	Descrição	Probit	Percentual de Morte (%)
1,75	Limite de dor após exposição de 60 segundos	-	0,0
4,0	Limite de dor após exposição de 30 segundos	-	0,0
8,0	1% de letalidade em 60 segundos de exposição	2,68	1,0
12,5	Queimaduras de 2o. grau em 60 segundos de exposição	4,20	21,0
37,5	Queimaduras letais em 60 segundos de exposição	8,93	100,0

Para incêndio do tipo "incêndio em nuvem" (flash fire), considera-se a concentração de interesse para a limitação da distância na qual o evento fatalidade pode ocorrer, igual ao limite inferior de inflamabilidade.

VII.2.3 - Vulnerabilidade devido a Explosões

A vulnerabilidade de indivíduos e estruturas a explosões pode ser obtida pelas equações de probit a seguir.

Para morte por hemorragia no pulmão:

$$Y = -77 + 6,91 \ln(P_p)$$

Onde: P_p é o pico de sobrepressão em (P_a).

Para ruptura de tímpano:

$$Y = -15,6 + 1,93 \ln(P_p)$$

Para quebra de vidros:

$$Y = -18,1 + 2,79 \ln(P_p)$$

Existem outras correlações que também podem ser utilizadas, normalmente associadas a impulsos, ou pulsos de pressão, com fatalidades indiretas através, por exemplo, de colapso de estruturas.

VII.3 - O PROGRAMA PHAST

O software PHAST - *Process Hazard Analysis Software Tool* foi desenvolvido pela DNV para a realização da Análise de Consequências e Vulnerabilidade. Este software acopla todos os resultados obtidos nas etapas que compõem a simulação (Figura VII-1) e apresenta os resultados finais para os efeitos tóxicos e/ou inflamáveis considerados para cada substância.

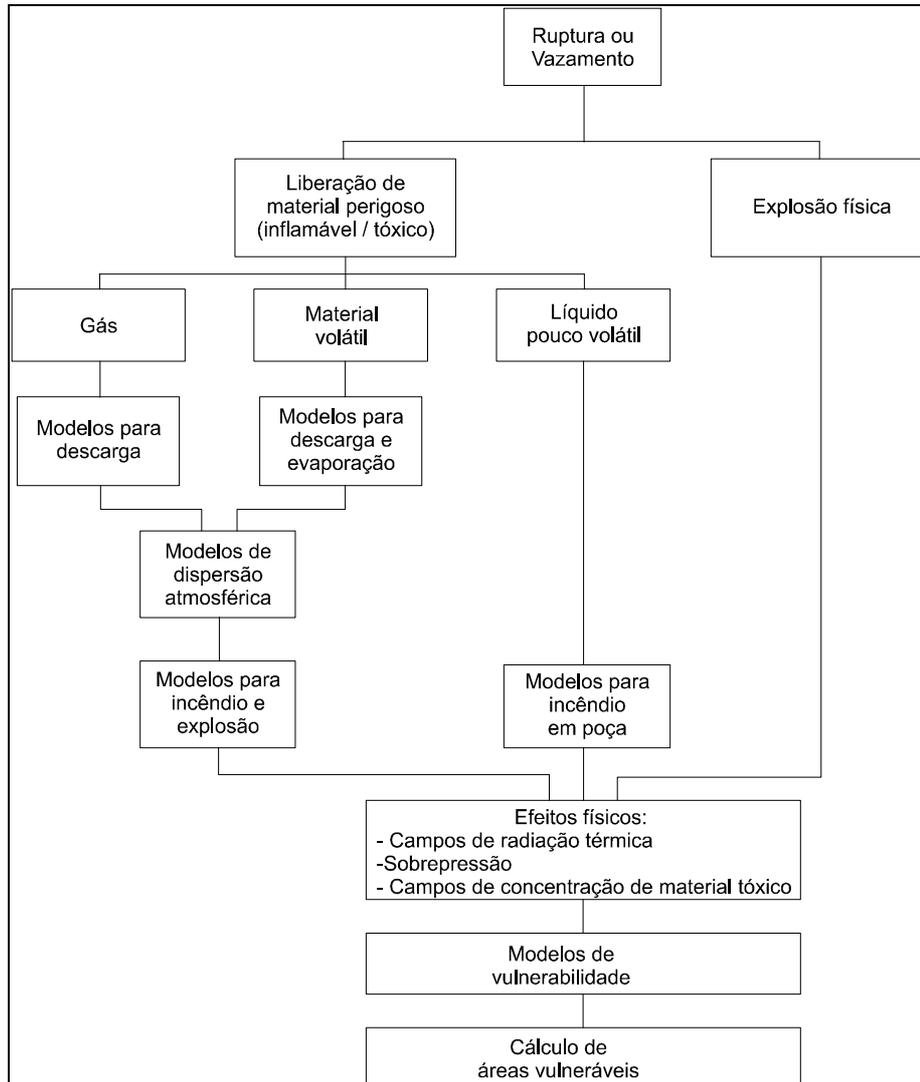


Figura VII-1 - Diagrama lógico para análise de consequência e vulnerabilidade de acidentes com produtos perigosos (PHAST)

A seguir descreve-se o funcionamento do programa e seus modelos matemáticos intrínsecos.

VII.3.1 - Dados de Entrada

Em termos gerais, os dados necessários à simulação empregados pelo Phast são de duas naturezas: a) dados que servem a caracterização do cenário acidental e b) dados que servem a caracterização do local do acidente.

a) Caracterização do Cenário de Acidente

Determinação da substância a ser liberada:

- **Substância pura:** a mesma é selecionada diretamente no software
- **Mistura:** de acordo com a composição da corrente envolvida na análise, utilizando as substâncias puras e as frações mássicas ou molares.

Determinação do inventário:

Consiste na massa total disponível para liberação. Neste caso estão incluídos:

- Inventário existente em todos os reservatórios (vaso, tanque, coluna, esfera) interligados ao ponto onde será considerada a liberação. No caso de linhas e dutos considera-se o inventário existente entre válvulas de bloqueio automático.
- Massa alimentada ao sistema até que ocorra acionamento de bloqueios, interrupção de bombes ou qualquer outro meio que limite a alimentação contínua de material ao ponto de vazamento.

Determinação das condições termodinâmicas da substância a ser liberada:

- Temperatura e pressão em que o material a ser liberado encontra-se no reservatório (vaso, tanque, coluna, esfera) e/ou na linha ou duto onde está localizado o ponto de liberação são fornecidos e utilizando as equações de estado da substância, é definido o estado do material:
 - ▶ Gás pressurizado: caso a temperatura escolhida seja acima da temperatura de saturação para a pressão especificada.
 - ▶ Líquido a pressão de vapor: a substância encontra-se em condições de saturação; neste caso, poderá ser feita liberação tanto na fase líquida como na fase vapor.
 - ▶ Líquido sobrepresurizado: quando a substância está líquida, mas a uma pressão superior à sua pressão de vapor.

- ▶ Líquido a temperatura ambiente.

Determinação do tipo de liberação:

De acordo com o cenário de acidente a ser simulado, é estabelecido o modelo de liberação mais adequado à condição.

b) Caracterização do Local do Acidente

Localização do ponto de vazamento

Altura de Liberação: é considerada aqui, a altura do local onde ocorre a liberação de produto, seja ela em uma linha de processo, em um duto, no topo ou fundo de um reservatório. É sempre considerada a altura com relação ao nível do solo.

Definição da presença de dique

No caso da liberação ocorrer em um local onde haja algum tipo de contenção que limite o espalhamento do líquido liberado na descarga. Caso não haja limite, o espalhamento do produto será calculado até a poça atingir uma espessura mínima que é definida para cada tipo de solo. No caso de presença de dique, a informação a ser utilizada no cálculo é a sua área útil.

Tipo de solo

Descreve o tipo de superfície na qual o material liberado irá se espalhar. Cada tipo de solo apresenta diferentes características para o espalhamento e evaporação, como por exemplo: espessura mínima da poça, condutividade e difusividade térmica. As escolhas para tipo de solo são: concreto, solo seco, solo úmido e superfície aquosa (água rasa ou água profunda).

Direção do Vazamento

Considera-se a direção inicial do vazamento, sendo possível que esta ocorra nas direções: horizontal, vertical, angular, para baixo (colidindo com o solo) ou horizontal colidindo com obstáculo. Nos dois últimos casos considera-se que o momento inicial do jato é reduzido, levando a diluição mais lenta do material liberado e como consequência uma dispersão também mais lenta.

VII.3.2 - Modelos Empregados Pelo PHAST

Modelos de Descarga

O cálculo das descargas devido a liberações acidentais de produtos perigosos é realizado de acordo com os modelos de consequência clássicos encontrados na literatura. O procedimento de cálculo da descarga varia conforme o estado em que o produto é liberado do sistema:

- **Líquido:** o sistema contém líquido e vapor no seu interior com o vazamento ocorrendo abaixo do nível de líquido;
- **Vapor:** o sistema contém líquido e vapor no seu interior com o vazamento ocorrendo acima do nível de líquido;
- **Bifásico:** na liberação de gás liquefeito por pressurização ou líquido superaquecido, a depressurização permite uma evaporação súbita fazendo com que o material seja liberado na forma de uma mistura de líquido e vapor;
- **Gás:** o produto no interior do sistema está todo no estado gasoso.

Os principais modelos utilizados, entre aqueles existentes no software, são¹⁹:

- Ruptura Catastrófica

Esse modelo considera a liberação instantânea de todo o inventário calculado no sistema, conforme apresentado na **Figura VII-2**. Esse modelo foi desenvolvido para modelagem de cenários onde se considera que o reservatório foi destruído por um impacto ou outro tipo de falha que leva a um desenvolvimento muito rápido do acidente. A premissa adotada é que o inventário liberado forma uma massa homogênea, expandindo-se rapidamente como uma nuvem semiesférica.

¹⁹ PHAST Professional 6.53.1, 2007, User Manual, Det Norske Veritas.

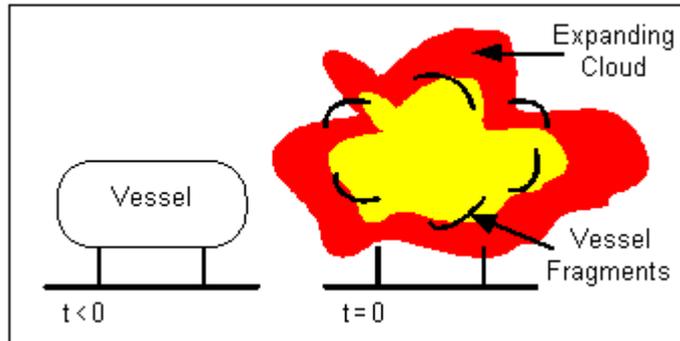


Figura VII-2 - Modelo de ruptura catastrófica

- Vazamento

Este modelo é empregado no caso de um furo em um reservatório (vaso, tanque, coluna, esfera) ou um pequeno vazamento em uma tubulação de maior diâmetro (por exemplo, um furo de 1" em uma linha de 8" de diâmetro). Este modelo faz o cálculo da descarga através de um orifício perfeito, para o qual assume que não há perda de carga por fricção enquanto o fluido passa pelo furo. A Figura VII-3 indica a situação mais genérica em termos de cenário de acidente: um vaso de processo, onde é possível a ocorrência de um vazamento na fase líquida ou na fase vapor.

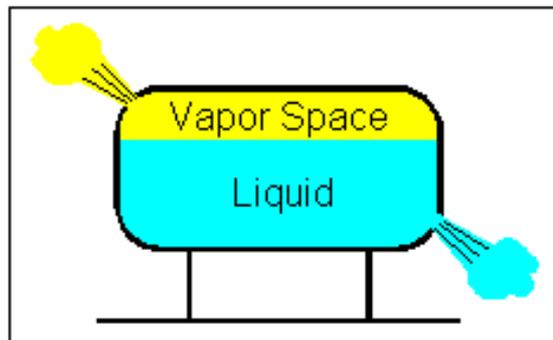


Figura VII-3 - Modelo de vazamento

- Ruptura de Linha

Neste modelo é considerada a ruptura total da linha conectada a um reservatório com pressão (vaso, tanque, coluna, esfera), com o diâmetro do furo igual ao diâmetro da tubulação. O modelo de descarga calcula a queda de pressão ao longo da linha, baseando-se nos acidentes existentes (válvulas, flanges, conexões) e no comprimento da linha. A Figura VII-4 indica a situação mais genérica em termos de cenário de acidente: um vaso de processo, onde há

tubulações conectadas no topo e no fundo do mesmo, com a possibilidade de ocorrência de um vazamento na fase líquida ou na fase vapor.

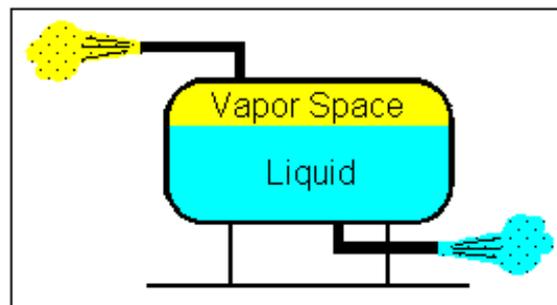


Figura VII-4 - Modelo de ruptura de linha

- Dutos Longos

Neste modelo é considerada a liberação dependente do tempo de um duto longo e o modelo inclui efeitos de shutdown através da modelagem do fechamento de válvulas no duto. O modelo trata tanto liberação de vapor como bifásica, dependendo das condições no duto. Contudo, este modelo deve ser usado para dutos cujo comprimento é maior do que trezentas vezes o seu diâmetro, ou então para casos onde se deseja modelar um furo de dimensões significativamente menores do que uma ruptura de área equivalente a da sua seção transversal. Este modelo não se aplica para líquidos não-voláteis, isto é, para líquidos cuja pressão de vapor saturado a temperatura ambiente seja menor do que a pressão atmosférica, $P_{vsat}(T_a) < P_a$, bem como não se aplica também a líquidos voláteis multicomponentes.

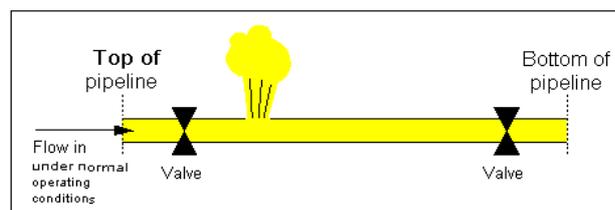


Figura VII-5 - Modelo de ruptura de linha para dutos longos

Modelos de Evaporação

- Evaporação Súbita

No caso de vazamento de um fluido pressurizado com ponto de ebulição abaixo da temperatura de operação de um vaso, a pressão de equilíbrio cai rapidamente à pressão atmosférica. Devido a esta expansão, ocorre evaporação de parte do líquido. Este tipo de evaporação é conhecido como evaporação inicial de "flash" ou vazamento do líquido para vapores condensados. O método para calcular a evaporação "flash" é baseado na expansão adiabática.

Após a expansão do fluido pressurizado que vazou, a temperatura do líquido é igual a temperatura de ebulição na pressão atmosférica. Deste momento em diante, o líquido pode ser considerado com um gás resfriado.

- **Espalhamento de Poça**

O líquido derramado irá formar uma poça de produto no local do acidente. As dimensões reais e a forma desta poça são praticamente impossíveis de serem calculadas com exatidão, devido à complexidade do fenômeno.

Os principais fatores de influência são: a topografia da região do vazamento, o tipo de solo, momentum do líquido no vazamento e as condições atmosféricas. Todos esses dados podem variar consideravelmente em cada acidente. Assim sendo, os aspectos acima tornam o problema muito difícil de ser abordado de maneira simples.

Existem, porém, algumas premissas que permitem estimativas conservadoras do tamanho da poça. Basicamente, são feitas as seguintes considerações:

A formação da poça se dá em um local plano, sem obstáculos e seu espalhamento é igual em todas direções. Todas as poças simuladas são circulares.

São desconsideradas absorções do material pelo solo.

É considerada uma espessura mínima de poça, de acordo com cada tipo de solo existente.

- **Evaporação de Poça**

São considerados basicamente dois tipos de líquidos a serem evaporados:

- ▶ **Líquido Não-Criogênico:** produto que é líquido a temperatura ambiente, com sua temperatura de ebulição superior à temperatura ambiente.

- ▶ **Líquido Criogênico:** substância que é gás à temperatura ambiente e cuja temperatura de ebulição é inferior à temperatura ambiente.

Para aqueles produtos não-criogênicos, a evaporação é provocada pela diferença na pressão de vapor na superfície do líquido e nos arredores. O método de cálculo é baseado no transporte da massa causado pela difusão e pelo efeito de arraste (provocado pelo vento).

No caso de vazamento de produtos criogênicos, como por exemplo, gases liquefeitos sob pressão, pode haver formação de poça onde se observa o contato de um líquido com temperatura muito baixa com o solo que está normalmente com temperatura ligeiramente acima da temperatura ambiente. Esta diferença de temperatura faz com que haja uma intensa transferência de calor promovendo a evaporação do gás liquefeito e quanto maior for esta diferença, maior será a taxa de evaporação observada.

▪ Modelos de Dispersão

O Modelo Unificado de Dispersão - *Unified Dispersion Model (UDM)*²⁰ utilizado no PHAST foi desenvolvido pela equipe da DNV e a sua modelagem considera as diversas forças que atuam na dispersão da nuvem e as diferentes fases que podem ser observadas durante esta etapa. Os pontos de destaque deste modelo são:

- ▶ É válido para qualquer tipo de gás: pesados, neutros e leves, não sendo necessária nenhuma adaptação no modelo.
- ▶ O jato de gás inicial é considerado como de elevado momentum, com o produto saindo com alta velocidade.
- ▶ Modela as alterações na densidade da nuvem ao longo da dispersão, considerando que o material liberado pode variar de gás pesado a gás leve ou neutro, conforme ocorre a entrada de ar na nuvem.
- ▶ Considera a altura real onde ocorre a liberação. Esta elevação irá facilitar a dispersão, já que menores valores de concentração de gás serão alcançados ao nível do solo e maiores concentrações ocorrerão em pontos distantes da fonte.

▪ Modelos para Cálculo dos Efeitos Físicos

²⁰ Cook, J. and Woodward, J.L., A new unified model for jet, dense, passive and buoyant dispersion including droplet evaporation and pool modelling, International Conference and Exhibition on Safety, Health and Loss Prevention in the Oil, Chemical and Process Industries, Singapore, February 15-19 (1993)

Para cada tipo de cenário acidental são especificados os níveis de efeitos a serem utilizados para determinação da área vulnerável.

Os principais modelos utilizados para o cálculo dos efeitos físicos relativos à Explosão, Incêndio em Poça, Jato de Fogo e Bleve/Bola de Fogo são descritos a seguir.

- Modelos para Cálculo dos Efeitos de Explosão

O Modelo utilizado para o cálculo das sobrepressões geradas como efeito das explosões é o Método de Multi-Energia (MME), desenvolvido pelo TNO²¹. Pesquisas experimentais realizadas durante a última década mostraram claramente que, na combustão de nuvens de vapor inflamável, somente são geradas ondas de choque fora da zona de combustão naquelas partes da nuvem de gás que estão suficientemente obstruídas ou parcialmente confinadas. Em inglês, estas ondas que se propagam são denominadas "blast" e para o que, não há uma tradução adequada em português.

A constatação prática que somente as áreas parcialmente confinadas ou obstruídas oferecem condições apropriadas para a ocorrência de explosões de nuvem de gás, é atualmente de grande aceitação. Além dessas áreas, verificou-se, adicionalmente, que outras partes da nuvem, como aquelas que já se apresentam em movimento turbulento no momento em que ocorre a ignição, podem também levar à geração de "blast". As partes restantes da mistura ar-gás inflamável na nuvem, que não estão em áreas obstruídas e nem apresentam movimento turbulento, queimam, comparativamente, devagar, sem uma contribuição significativa para a geração de "blast".

Desta constatação derivou a idéia do Conceito Multi-Energia, transformado no Método de Multi-Energia (MME) para a avaliação quantitativa dos efeitos físicos decorrentes de explosões de nuvem de gás, o qual poderia também ter sido denominado de Método das Fontes Múltiplas.

Ao contrário do método de modelagem convencional, no qual a explosão da nuvem de vapor é considerada como ocorrendo a partir de uma única fonte formada por toda a massa da nuvem, no Conceito Multi-Energia a explosão da nuvem de vapor ocorre apenas na parte da nuvem situada em uma área confinada (ou mais de uma, se existirem várias áreas confinadas). Portanto, o "blast", ou seja, a onda de choque que se propaga fora da zona de combustão

²¹ TNO "Yellow Book", 1997, Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases), Eds: van den Bosch, C. J. H. and Weterings, R. A. P. M. (1997), "Chapter 5: Vapor Cloud Explosions", Mercx, W. P. M. and van den Berg, A. C.

tem origem apenas nas áreas confinadas, consideradas como fontes de "blast". Os efeitos obtidos, a partir da explosão, são fortemente influenciados pela área na qual ocorre o acidente, em função do grau de confinamento ou da quantidade de obstáculos presentes no interior de cada área confinada da nuvem. Trata-se de um fenômeno muito difícil de ser analisado sem uma simulação numérica detalhada.

No MME, os níveis de efeitos físicos estão representados em função da distância ao centro do "blast", para uma semi-esfera de mistura inflamável de raio (r_0) na superfície da terra. Os dados estão reproduzidos em uma representação adimensional, de forma que se podem obter estes parâmetros em qualquer sistema de unidades consistente.

A força inicial da explosão é indicada através de uma classe que relaciona o grau de confinamento da região onde ocorre a explosão, variando desde 1 (áreas totalmente abertas) a 10 (confinamento total). As classes representam os 10 níveis de intensidade da fonte utilizadas no MME. A partir da escolha da classe (força inicial da explosão), para cada distância ao centro da explosão, obtêm-se os valores dos diversos parâmetros para cada classe.

Antes de aplicar o Modelo de Multi-Energia, o volume e o local de vazamento da nuvem de gás devem ser conhecidos. Para isso, modelos de dispersão e determinação do termo fonte podem ser aplicados. Além disso, o "lay-out", ou pelo menos, uma pequena descrição da área em torno do acidente, é necessário para se determinar o número e o volume das regiões de obstáculos envolvidas pela nuvem. Com estes dados, pode-se então aplicar o modelo de multi-energia para cada uma destas áreas de obstáculos, de forma a se obter os valores para o pico de sobrepressão, o pico de sobrepressão dinâmica e o impulso, em cada distância desejada ao centro das áreas confinadas.

Para a representação dos efeitos decorrentes de explosões envolvendo confinamento total ou decorrentes de decomposição de materiais quando expostos ao ar (como o óxido de etileno) tem-se o Método de TNT Equivalente. A energia que pode ser liberada na explosão de uma mistura gasosa pode ser estimada pela quantidade de gás inflamável presente na mistura capaz de participar da explosão.

Este método baseia-se na conversão da massa de gás inflamável envolvido na explosão em massa de TNT - trinitrotolueno, utilizando-se a relação entre os calores de combustão do gás liberado e do TNT como parâmetros para esta conversão.

- Modelos para Cálculo dos Efeitos de Incêndio em Poça

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

Para determinação da intensidade de radiação térmica para o meio ambiente a partir de um incêndio em poça, a superfície irradiante (da chama) é tomada como sendo um cilindro vertical reto, com diâmetro e altura definidos.

Calcula-se então a partir desta forma da chama, que é determinada em função do diâmetro da poça de líquido e da taxa de evaporação de produto, o fluxo térmico gerado a cada distância a partir do centro do incêndio.

- Modelos para Cálculo dos Efeitos de Jato de Fogo

O modelo utilizado neste projeto para avaliação dos efeitos relativos a jato de fogo foi desenvolvido pela SHELL²². O jato de fogo é modelado como um cone para o qual se considera a existência de uma zona inicial, onde pelo fato do jato estar com uma concentração muito alta do produto inflamável, não há chama. São calculados para cada um dos fluxos térmicos, a distância máxima alcançada pelos mesmos.

- Modelos para Cálculo dos Efeitos de Bola de Fogo/Bleve

Quando a ruptura catastrófica de um vaso de pressão, em forma de BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion), envolve uma substância inflamável, a liberação forma uma bola de fogo. Esta é constituída dos vapores inflamáveis que formam um núcleo rico em gases que queima na medida em que há incorporação de ar. A queima ocorre da parte externa para a parte interna da bola de fogo e se caracteriza por emitir fluxos térmicos muito intensos. Trata-se de um processo de combustão em regime altamente turbulento, diferentemente do que ocorre num cenário típico de incêndio em nuvem.

Com o aquecimento da mistura que constitui a bola de fogo, há uma elevação da mesma acima do nível do solo. As características mais importantes da bola de fogo (como diâmetro, altura máxima atingida e tempo de duração) são estimadas com base em modelos que

²² Chamberlain, G. A., 1987, Developments in design methods for predicting thermal radiation from flares, Chem. Eng. Res. Des. v65 (1987) pp299-309.

derivam de observações empíricas e são todas funções da massa inflamável liberada no BLEVE²³.

VII.4 - NÍVEIS DE INTENSIDADE DOS EFEITOS FÍSICOS PESQUISADOS

Os níveis da intensidade dos efeitos físicos utilizados na modelagem das consequências e vulnerabilidade são os definidos no Termo de Referência para Estudo de Análise de Riscos em Gasodutos - Revisão 0, de 16 de agosto de 2007, para análise de risco e estão apresentados na Quadro VII-4.

Quadro VII-4 - Níveis de efeitos utilizados nas simulações

Tipologia acidental	Nível	Dano
Incêndio em Nuvem	Concentração de vapor correspondente ao Limite Inferior de Inflamabilidade (LII)	100% de fatalidade.
Bola de Fogo	Intensidade da radiação térmica em kW/m ²	1% de fatalidade
Jato de Fogo	Radiação térmica de 3 kW/m ²	Limiar de dor
	<i>Probit</i> correspondente a 1% de fatalidade	1% de fatalidade
	<i>Probit</i> correspondente a 50% de fatalidades	50% de fatalidades
	<i>Probit</i> correspondente a 99% de fatalidades	99% de fatalidades
Explosão	Sobrepessão de 0,05 bar	95% de quebra de vidro
	<i>Probit</i> correspondente a 1% de fatalidade	1% de fatalidade
	<i>Probit</i> correspondente a 50% de fatalidades	50% de fatalidades
	<i>Probit</i> correspondente a 99% de fatalidades	99% de fatalidades

²³ Crossthaite, P. J., Fitzpatrick, R. D., Hurst, N. W., 1982, Risk assessment for the siting of developments near liquefied petroleum gas installations, IChemE Symp, 110:373-400; Zel'dovich, Ya. B., Raizer, Yu. P., 2002, Physics of Shock Waves and High-Temperature Hydrodynamic Phenomena, Dover, 0-486-42002-7

VII.5 - CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS ACIDENTAIS

A caracterização dos cenários acidentais consiste na apresentação das condições físicas e hipóteses necessárias para a determinação dos efeitos físicos do acidente, tais como características da liberação, substância envolvida e suas condições termodinâmicas no momento da liberação.

Um aspecto importante a ser ressaltado nesta caracterização é o fato da tubulação estar enterrada. Desta forma, para composição dos cenários acidentais, foi considerada a hipótese de perda de contenção a partir da calota superior da tubulação e as direções de liberação do gás, vertical e angular formando um ângulo de 45° com o plano.

Outro aspecto a considerar consiste na avaliação da pertinência de alguns cenários acidentais para a análise em questão.

A nuvem inflamável que pode ser formada num cenário de liberação acidental contínua (não instantânea) vertical ou a 45° da horizontal em dutos pressurizados contendo metano, se estenderá desde o ponto de liberação até uma altura muito acima do solo, na região onde o jato de gás já perdeu praticamente todo o seu momentum. Dessa forma, se ocorrer ignição do gás liberado nessas condições, uma combustão lenta ocorrerá na nuvem queimando-a completamente e, ao final, a combustão será alimentada pelo jato de gás liberado continuamente produzindo um jato de fogo

Por outro lado, dados experimentais indicam que não ocorre detonação (explosão) de nuvem de ar-metano não confinada²⁴. Também, bolas de fogo são fenômenos característicos de grandes liberações instantâneas de inflamáveis²⁵.

Assim sendo, para liberações acidentais contínuas (não instantâneas) verticais ou a 45° da horizontal em dutos pressurizados contendo metano, o cenário mais importante é jato de fogo e seu efeito físico considerado nesta análise é o fluxo de radiação térmica.

Os diâmetros equivalentes adotados para cada evento iniciador estão apresentados no **Quadro VII-5**. Estes valores foram obtidos considerando-se os seguintes critérios:

²⁴ "Evaluation of Consequence Models for Gas Explosions and Blast Propagation", van der Berg, A. C. - Course given at 8th International Symposium "Lost Prevention and Safety Promotion in the Process Industries", Antwerp - Belgium, June 6 - 9, 1995, 2000.

²⁵ "Guidelines for Evaluation of the Characteristics of Vapour Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVES", Center for Chemical Process Safety, AIChE, 1994.

- Ruptura da tubulação, onde a seção de vazamento equivale a 100% da área da seção transversal do duto;
- Furo da tubulação, onde a seção de vazamento equivale a 4% da área da seção transversal do duto;
- Fissura da tubulação, onde a seção de vazamento equivale a 0,25% da área da seção transversal do duto;

Quadro VII-5 - Diâmetros equivalentes de liberação adotados para cada evento iniciador

Evento iniciador	Diâmetro da seção efetiva de vazamento (polegadas)	
Ruptura catastrófica	14	20
Furo	2,8	4
Fissura	0,7	1

Foram consideradas as seguintes condições meteorológicas, referentes a estação meteorológica Açailândia - MA (3972) Long: -47,55°; Lat: -5,03° Alt: 392, na modelagem dos cenários acidentais:

- Período diurno
 - ▶ Temperatura do ar: 25 °C
 - ▶ Pressão atmosférica: 1 atm
 - ▶ Umidade relativa do ar: 80%
 - ▶ Velocidade do vento: 2,8 m/s
 - ▶ Classe de estabilidade atmosférica: C
- Período noturno
 - ▶ Temperatura do ar: 24 °C
 - ▶ Pressão atmosférica: 1 atm
 - ▶ Umidade relativa do ar: 80%
 - ▶ Velocidade do vento: 1,9 m/s
 - ▶ Classe de estabilidade atmosférica: C

Do Quadro VII-6 ao Quadro VII-17 é apresentada a caracterização de cada cenário acidental e as consequências associadas.

Quadro VII-6 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 1

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por ruptura catastrófica da tubulação na direção angular (Tronco)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 20" Pressão: 100 Bar Densidade 0,68 kg/m ³ Vazão: 3,49E+03 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Angular (45° com o plano horizontal)
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações: O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

Quadro VII-7 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 2

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por ruptura catastrófica da tubulação na direção vertical (Tronco)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 20" Pressão: 100 Bar Densidade 0,68 kg/m ³ Vazão: 3,49E+03 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Vertical
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações: O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

Quadro VII-8 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 3

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por furo da tubulação na direção angular (Tronco)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 4" Pressão: 100 Bar Densidade 0, 68 kg/m ³ Vazão: 1,40E+02 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Angular (45° com o plano horizontal)
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações: O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

Quadro VII-9 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 4

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por furo da tubulação na direção vertical (Tronco)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 4" Pressão: 100 Bar Densidade 0, 68 kg/m ³ Vazão: 1,40E+02 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Vertical
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações: O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

Quadro VII-10 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 5

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por fissura da tubulação na direção angular (Tronco)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 1" Pressão: 100 Bar Densidade 0, 68 kg/m ³ Vazão: 8,73 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Angular (45° com o plano horizontal)
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações? O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

Quadro VII-11 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 6

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por fissura da tubulação na direção vertical (Tronco)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 1" Pressão: 100 Bar Densidade 0, 68 kg/m ³ Vazão: 8,73 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Vertical
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações: O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

Quadro VII-12 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 7

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por ruptura catastrófica da tubulação na direção angular (Ramal1)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 14" Pressão: 100 Bar Densidade 0, 68 kg/m ³ Vazão: 1,71E+03 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Angular (45° com o plano horizontal)
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações: O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

Quadro VII-13 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 8

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por ruptura catastrófica da tubulação na direção vertical (Ramal1)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 14" Pressão: 100 Bar Densidade 0, 68 kg/m ³ Vazão: 1,71E+03 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Vertical
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações: O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

Quadro VII-14 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 9

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por furo da tubulação na direção angular (Ramal1)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 2,8" Pressão: 100 Bar Densidade 0, 68 kg/m ³ Vazão: 6,84E+01 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Angular (45° com o plano horizontal)
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações: O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

Quadro VII-15 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 10

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por furo da tubulação na direção vertical (Ramal1)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 2,8" Pressão: 100 Bar Densidade 0, 68 kg/m ³ Vazão: 6,84E+01 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Vertical
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações: O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

Quadro VII-16 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 11

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por fissura da tubulação na direção angular (Ramal1)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 0,7" Pressão: 100 Bar Densidade 0, 68 kg/m ³ Vazão: 4,28 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Angular (45° com o plano horizontal)
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações: O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

Quadro VII-17 - Caracterização do Cenário Acidental Pertinente ao Evento Iniciador 12

Substância	Gás natural
Descrição	Grande liberação acidental de gás natural causada por fissura da tubulação na direção vertical (Ramal1)
Substância representativa	Metano
Estado físico da substância	Gás
Condições de liberação	Diâmetro equivalente: 0,7" Pressão: 100 Bar Densidade 0, 68 kg/m ³ Vazão: 4,28 kg/s Altura da liberação 1 m Temperatura diurna: 25 °C Temperatura noturna: 24 °C
Tipo de dispersão	Vertical
Consequência	Jato de fogo, Incêndio em nuvem e explosão em nuvem
Considerações: O inventário passível de liberação considerado foi o máximo permitido pelo <i>Phast</i> , isto é, 1E08 kg. Não foram consideradas válvulas de bloqueio.	

VII.6 - RESUMO DOS RESULTADOS

A seguir encontram-se apresentados e comentados os resultados obtidos pela modelagem dos cenários acidentais postulados. As saídas numéricas das modelagens são apresentadas no Anexo C. Todas as distâncias relatadas são definidas no plano correspondente ao nível do solo.

VII.6.1 - Áreas Vulneráveis a Jato de Fogo

Para estimativa das áreas vulneráveis a jato de fogo, devido à possível ignição imediata do gás liberado, foi determinada a distância alcançada por quatro níveis de radiação térmica. O primeiro nível, de 3 kW/m², corresponde ao limiar de dor para curta exposição. O segundo, terceiro e quarto níveis correspondem a uma letalidade de 1%, 50% e 99%. A equação de probit empregada para a verificação desses níveis é: $Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3})$. Essa equação se encontra na base de dados do Phast e PhastRisk.

O **Quadro VII-18** apresenta as distâncias alcançadas por estes níveis de radiação térmica para cada um dos cenários postulados. Observa-se que não foram alcançadas distâncias correspondentes a 99% de fatalidades, para esta tipologia accidental.

VII.6.2 - Áreas Vulneráveis a Incêndio em Nuvem

Para estimativa das áreas vulneráveis a incêndio em nuvem, foi considerada a distância alcançada pela concentração correspondente ao limite inferior de inflamabilidade (LII) do gás natural delimitando uma área onde é assumida a probabilidade de 100% de fatalidade da população exposta. O **Quadro VII-18** apresenta as distâncias alcançadas por este nível.

VII.6.3 - Áreas Vulneráveis a Explosão em Nuvem

Para estimativa das áreas vulneráveis a explosão em nuvem de vapor, foi pesquisada a distância alcançada por três níveis de sobrepressão. O primeiro nível, de 0,05 bar corresponde a 95% de quebra de vidro, o segundo, terceiro e quarto níveis correspondem a uma letalidade de 1%, 50% e 99%. Observa-se que não foram alcançadas distâncias correspondentes a esta tipologia accidental.

O **Quadro VII-18** apresenta as distâncias alcançadas para os níveis de radiação térmica correspondentes a 3 kW/m², 1% e 50% de fatalidades e para o LII, correspondendo a 100% de fatalidade. Ressalta-se que estas foram as únicas tipologias accidentais e respectivos níveis de intensidade de efeitos encontrados no presente estudo.

O **Mapa das Curvas de Isorrisco (Desenho 2330-00-EAR-DE-1003-00)** apresentado no Caderno de Mapas do EA traz os contornos que indicam as distâncias alcançadas pelos níveis dos efeitos físicos para cada tipologia accidental.

Quadro VII-18 - Distância Alcançada Pelos Níveis dos Efeitos Físicos para cada Cenário Acidental

EI	Descritivo	Tipologias Acidentais	Alcance dos Efeitos Físicos (m)							
			Nível de radiação correspondente a						LII	
			3 kW/m ²		1% de fatalidade		50% de fatalidade			
			dia	noite	dia	noite	dia	noite	dia	noite
1	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por ruptura catastrófica da tubulação de 20"	Jato de Fogo	771	785	490	460	290	220		
		Incêndio em Nuvem							243	262
2	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por ruptura catastrófica da tubulação de 20"	Jato de Fogo	592	572	490	420	-	-		
		Incêndio em Nuvem							33	28
3	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por furo na tubulação de 20"	Jato de Fogo	177	179	101	94	-	-		
		Incêndio em Nuvem							56	58
4	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por furo na tubulação de 20"	Jato de Fogo	132	125	83	56	-	-		
		Incêndio em Nuvem							9	6
5	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por fissura na tubulação de 20"	Jato de Fogo	49	49	25	19	-	-		
		Incêndio em Nuvem							14	15
6	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por fissura na tubulação de 20"	Jato de Fogo	35	32	7	-	-	-		
		Incêndio em Nuvem							2	1
7	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por ruptura catastrófica da tubulação de 14"	Jato de Fogo	558	568	340	320	-	-		
		Incêndio em Nuvem							174	183
8	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por ruptura catastrófica da tubulação de 14"	Jato de Fogo	423	411	340	290	-	-		
		Incêndio em Nuvem							24	19
9	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por furo na tubulação de 14"	Jato de Fogo	127	128	72	65	-	-		
		Incêndio em Nuvem							38	45
10	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por furo na tubulação de 14"	Jato de Fogo	94	89	52	20	-	-		
		Incêndio em Nuvem							4	5
11	Grande liberação de gás natural na direção 45° da horizontal causada por fissura na tubulação de 14"	Jato de Fogo	35	35	16	10	-	-		
		Incêndio em Nuvem							10	12
12	Grande liberação de gás natural na direção 90° da horizontal causada por fissura na tubulação de 14"	Jato de Fogo	24	22	-	-	-	-		
		Incêndio em Nuvem							1	1

VII.7 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como podemos observar no **Quadro VII-18**, o efeito físico associado à consequência “jato de fogo” para o evento iniciador EI 01 foi o que apresentou o maior alcance para os níveis de radiação térmica correspondente a 3 kW/m², que significa limiar de dor, e 12,5 kW/m², que é capaz de causar uma letalidade de 1% da população exposta, não sendo atingido o nível de 37,5 kW/m², capaz de causar letalidade de 50% da população exposta. Os maiores alcances para esse efeito pesquisado foram de 785 metros para uma radiação 3 kW/m² no período noturno e de 490 metros para uma radiação 12,5 kW/m² no período diurno, que corresponde a 1% de fatalidade, ambos referentes a ruptura catastrófica da tubulação de 20" na direção 45° da horizontal.

Quanto a consequência física “incêndio em nuvem”, o maior alcance foi de 262 metros para o período noturno, referente a ruptura catastrófica da tubulação de 20" na direção 45° da horizontal.

VIII. ESTIMATIVA E AVALIAÇÃO DOS RISCOS

Este Capítulo trata da avaliação dos riscos para as populações presentes nas imediações do **Gasoduto do Pará**, de transferência de gás natural desde os municípios de Açailândia até Marabá (214 km), Barcarena (481 km) e sua bifurcação no município de Acará indo até Marituba no Estado do Pará (43 km).

Os riscos calculados neste trabalho são expressos como riscos sociais e riscos individuais de fatalidade. Os riscos individuais são apresentados na forma de curvas de isorrisco apresentado no Caderno de Mapas do EAR (2330-00-EAR-DE-1002-00 - **Mapa de Vulnerabilidade**), possibilitando a visualização da distribuição geográfica do risco e o risco social sob a forma de curvas F-N. Em cumprimento ao Termo de Referência do IBAMA (**Anexo A**), o risco social será calculado exclusivamente com a finalidade de se agregar conhecimento específico a esse respeito e o cálculo será realizado para o trecho com maior densidade populacional, considerando-se sua respectiva extensão. A tomada de decisão se baseará exclusivamente nos critérios de risco individual mencionados no documento.

Os cálculos dos Riscos foram processados com o uso do software PHASTRISK, v.6.54, desenvolvido pela DNV.

VIII.1 - RISCO SOCIAL

O risco social é uma medida de risco referente a toda comunidade exposta. Embora possa ser expresso através do risco social médio - obtido através do somatório dos produtos "frequência x magnitude de consequências" para cada cenário acidental analisado, atualmente é mais freqüentemente expresso através de curvas F-N, obtidas por meio da plotagem dos dados de frequência acumulada do evento final versus seus respectivos efeitos, quantificados na forma de número igual ou superior de vítimas fatais em cada cenário.

Os critérios e resultados do cálculo do Risco Social Médio e das curvas F-N são apresentados a seguir:

Risco Social Médio: calculam-se inicialmente os riscos individuais em cada ponto multiplicando-o pela população exposta, fornecendo o risco social em cada ponto. Somando os riscos sociais em todos os pontos, obtém-se o Risco Social Médio (R).

$$R = f [f(i), C(i,j)]$$

$$R = \sum_{i=1}^n f_i \cdot c_i$$

Onde:

R = Risco (mortes/ano);

f_i = Frequência de ocorrência do evento acidental i (ano⁻¹);

c_i = Consequência(s) gerada(s) pelo evento (mortes).

Curvas F-N: calcula-se níveis de fatalidade, por exemplo 1, 10, 100 mortes e em seguida compila-se os cenários que levam a um número maior ou igual de mortes. Para cada nível de fatalidade somam-se as frequências dos cenários, obtendo-se os pares ordenados FxN. Estes pares plotados em um gráfico compõem a curva F-N da instalação.

O cálculo do risco social para dutos e sua comparação com curvas F-N estabelecidas em critérios de tolerabilidade usuais é assunto controverso, visto que estes critérios/ curvas F-N foram estabelecidos para avaliação de uma indústria fixa, não sendo trivialmente aplicáveis a grupos de empresas e, particularmente, a fontes lineares de riscos como os dutos.

A **Figura VIII-1** apresenta a curva FN adotada como critério para a avaliação do risco social neste estudo, também preconizada na Norma da CETESB.

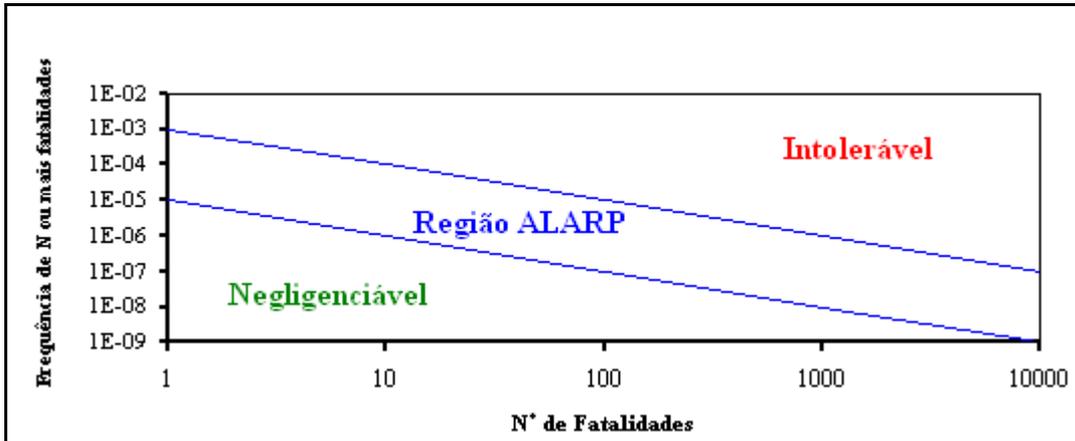


Figura VIII-1 - Curva F-N de tolerabilidade para risco social

VIII.2 - RISCO INDIVIDUAL

VIII.2.1 - Metodologia

O Risco Individual pode ser definido como o risco de danos a um indivíduo na vizinhança de um perigo, o que engloba a natureza do dano ao indivíduo, a probabilidade de ocorrência do dano e o período de tempo no qual o dano pode ocorrer.

Embora danos a indivíduos sejam foco de grande preocupação, não existem muitas referências disponíveis sobre estes níveis de danos. Portanto, de forma geral, é estimado o risco de fatalidades ou danos irreversíveis ao indivíduo exposto devido ao maior número de dados estatísticos disponíveis, para fins de comparação.

O Risco Individual estimado neste Estudo pode ser então definido como a probabilidade de letalidade para um indivíduo localizado em pontos transversais ao longo do eixo do duto.

O cálculo do risco individual em uma localização geográfica próxima a uma instalação assume que as contribuições de todos os cenários acidentais são aditivas. Desta forma, o risco individual total em cada ponto é igual a soma dos riscos individuais, naquele ponto, conforme apresentado a seguir²⁶:

²⁶ AICHE, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", USA, 2000.

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n (IR_{x,y})_i$$

Onde

$IR_{x,y}$ = risco individual total de fatalidade na localização geográfica x,y
(chances de fatalidade por ano)

$(IR_{x,y})_i$ = risco individual total de fatalidade na localização geográfica x,y a partir de um cenário acidental i (chances de fatalidade por ano)

n = número total de cenários acidentais considerados na análise

Caso o Risco Individual seja calculado para vários pontos ao redor da instalação em estudo, então os pontos que apresentam os mesmos valores de riscos individuais podem ser interligados para criar um mapa de contornos de risco (Risk Contours), ou Curvas de Iso-Risco, apresentando a distribuição geográfica do risco individual de morte, por ano. A Figura VIII-2 ilustra um mapa de Iso-Risco²⁷ típico para uma instalação industrial fixa.

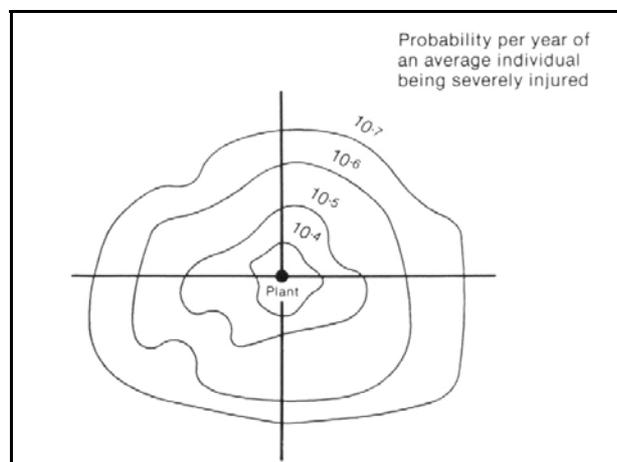


Figura VIII-2 - Curvas de Iso-Risco típicas para instalação industrial fixa

O Risco Individual para dutos é, de forma geral, apresentado sob a forma de um gráfico denominado Seção Transversal de Risco. Para a plotagem do gráfico são calculados níveis de Risco Individual para vários pontos transversais ao eixo do duto em estudo, então os pares de pontos Distância Transversal (D) x Nível de Risco Individual, por ano, são plotados gerando o

²⁷ Chemical Manufactures Association - CMA, "Evaluating Process Safety in the Chemical Industry, A Manager's Guide to Quantitative Risk Assessment", 1989.

gráfico da Seção Transversal de Risco. O Gráfico VIII-1 ilustra um gráfico de Seção Transversal de Riscos típico.

Tanto os contornos de risco das curvas de Iso-Risco quanto os níveis de risco do gráfico de Seção Transversal de Risco, representam a frequência esperada de ocorrência de fatalidade de um indivíduo em uma determinada localização, sem levar em consideração que há ou não alguém presente naquele ponto. Desta forma, o risco individual de morte assume que alguém estaria presente naquela localização e, portanto submetido àquele nível de risco, durante 100% do tempo.

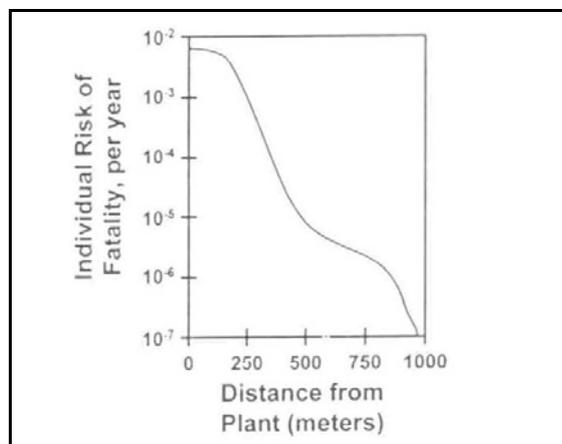


Gráfico VIII-1 - Risk Transect

VIII.3 - O PROGRAMA PHASTRISK

VIII.3.1 - Introdução

O PHASTRISK, v.6.54, é um programa de computador desenvolvido para o cálculo do risco e que usa uma palavra de 32 bits. O PHASTRISK combina as consequências (Quão Grande?) e frequências (Quão Freqüente?) dos cenários acidentais para se determinar o risco.

O PHASTRISK utiliza informações dos produtos químicos que constam da Base de Dados DIPPR e que estão no seu interior e dados de parâmetros que caracterizam os cenários, a meteorologia da região de interesse, sua população e fontes de ignição associadas (esses últimos fornecidos pelo usuário) para predizer o risco proveniente de:

- Liberações atmosféricas planejadas
- Liberações atmosféricas acidentais de materiais perigosos

Os resultados são apresentados em forma de tabelas e gráficos e o PHASTRISK é capaz de superar resultados gráficos em mapas, fotos e imagens de satélite.

O núcleo do PHASTRISK, a rotina MPACT, calcula o impacto das liberações de produtos químicos tóxicos e / ou inflamáveis sobre as populações potencialmente atingidas. O modelo importa os resultados de dispersão, avaliados na rotina UDM do PHAST, e juntamente com informações sobre distribuição populacional, direções de vento, fontes de ignição e localização e frequência do Evento Iniciador, calcula o risco no entorno do empreendimento.

Os resultados podem ser apresentados numa variedade de formas onde destacam-se as seguintes:

Risco Individual

- Contornos de iso-risco
- Tabela de classificação do risco individual

Risco Social

- Curvas F x N
- Tabela de classificação do risco social

VIII.3.2 - Etapas Empregadas pelo PHASTRISK

A seguir apresentam-se as etapas utilizadas pelo PHASTRISK para o cálculo do risco.

Descarga

O modelo de descarga prediz a taxa de fluxo e o estado do material na medida em que é liberado na atmosfera. Ele considera uma ampla variedade de cenários incluindo:

- Fluxos de gases, líquidos ou bi-fásicos
- Materiais multi-componentes ou de um único componente
- Comportamento transiente ou estado estacionário
- Liberações no interior de edificações

Dispersão

Os resultados do cálculo da descarga são então usados pelo PHASTRISK, juntamente com informações meteorológicas, no modelo de dispersão. Esses modelos incluem:

- Formação de aerossol
- Rainout
- Formação de poça
- Vaporização de poça
- Entrada de ar, diluição e espalhamento da nuvem
- Touchdown
- Liftoff
- Nuvens densas
- Nuvens passivas e gaussianas

Chamas

Os seguintes cenários envolvendo chamas são modelados pelo PHASTRISK:

- BLEVE's e bolas de fogo
- Jatos de fogo
- Incêndios em poça
- Incêndios em nuvem
- Explosões em nuvem de vapor

Os resultados desses modelos são apresentados na forma de:

- Níveis de radiação
- Zonas de incêndio em nuvem
- Níveis de sobrepressão

Além disso, resultados de massa da nuvem inflamável estão disponíveis ao longo da dispersão da nuvem.

Toxicidade

- Concentração como função da distância na direção do vento
- Concentração como função do tempo (em qualquer lugar da nuvem)
- *Footprints* da nuvem e da dose
- Comportamento da concentração dentro das edificações
- Valores de probit ou carga tóxica na nuvem.

Risco

Após terem sido calculadas as consequências tóxicas e inflamáveis, elas são combinadas com a frequência do cenário para resultarem em:

- Contornos de risco individual
- Classificação do risco individual
- Curvas F x N de risco social
- Classificação do risco social

VIII.3.3 - Algoritmo Usado

São as seguintes as etapas que definem o algoritmo utilizado pelo PHASTRISK para o cálculo do risco:

- Gera as malhas de população e distribui as áreas de população em uma malha de tamanho proporcional a um nível resolução estabelecido para os cálculos.
- Executa o cálculo para cada evento iniciador.
- Em um evento iniciador, cria um acidente para cada direção do vento e cada situação de população.
- Para cada acidente, verifica no ponto médio de cada célula da malha, a probabilidade de fatalidade associada ao efeito físico (Probit).

- A probabilidade calculada para cada célula é aplicada à população ali contida, para estimativa do número de fatalidades.
- Os pontos calculados em todas as células são interligados para a representação das curvas de iso-risco individual.
- O risco social médio e a curva F-N são processados, para cada evento de forma isolada, a partir da determinação do número de fatalidades associado.

VIII.4 - PREMISSAS PARA CÁLCULO DOS RISCOS

De acordo com o Termo de Referência e levando-se em consideração que o PHASTRISK utiliza informações de caracterização específica de cada cenário, como meteorologia da região de interesse, população e fontes de ignição associadas para predizer o risco proveniente, serão consideradas as seguintes premissas específicas no cálculo dos riscos:

- Os riscos social e individual foram calculados para a localidade de Ligação do Pará, no município de Dom Elizeu, por apresentar maior densidade populacional na faixa correspondente a classe de locação. Os valores do risco individual obtidos aí foram estendidos para toda a extensão do duto.
- A distribuição populacional empregada no cálculo do risco social considera 4 indivíduos à noite e dois de dia, localizados nas edificações distribuídas ao longo do traçado no Trecho de Dom Elizeu conforme **Figura VIII-3**. Na figura, os círculos amarelos representam as edificações no interior da Classe de Locação, marcada em cinza.



Figura VIII-3 - Distribuição de Edificações Empregada no Cálculo dos Riscos

Os resultados detalhados do Programa PHASTRISK encontram-se apresentada no Anexo D.

VIII.5 - RESULTADOS DOS RISCOS

VIII.5.1 - Risco Social

A Gráfico VIII-2 apresenta a curva F x N associada a operação do Gasoduto do Pará no trecho Dom Elizeu e considerando-se sua respectiva extensão de 1800 metros. A curva em questão está superpostas ao critério de tolerabilidade da CETESB.

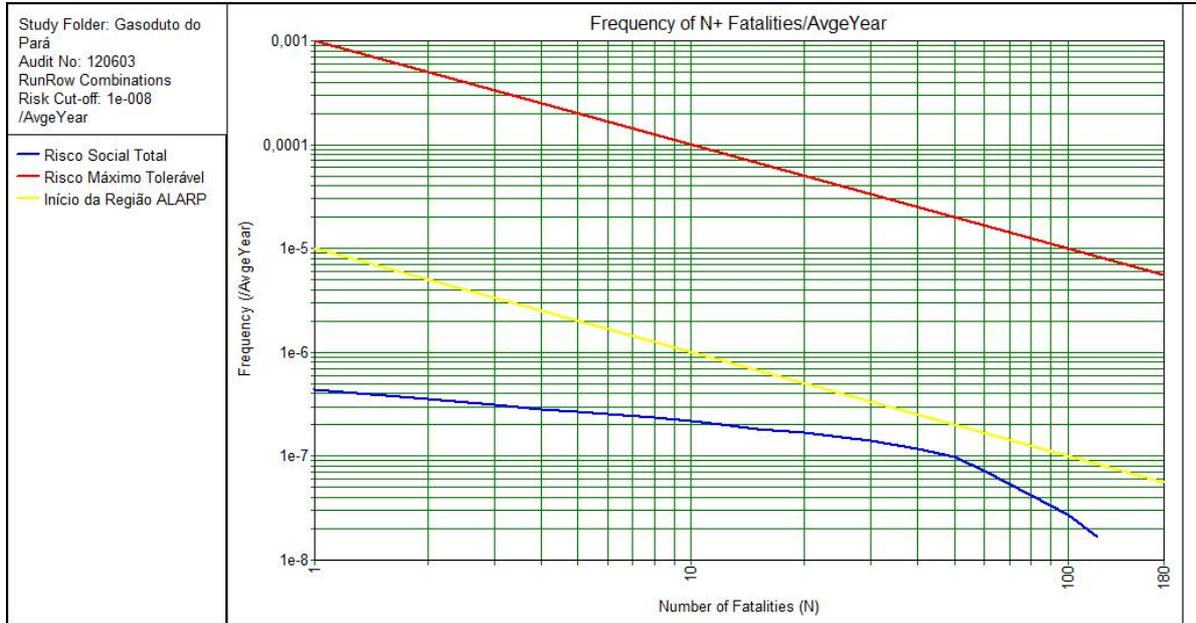


Gráfico VIII-2 - Risco Social- Município de Dom Eliseu

VIII.5.2 - Risco Individual

As curvas de isorisco no município de Dom Eliseu, estão apresentadas no Gráfico VIII-3.

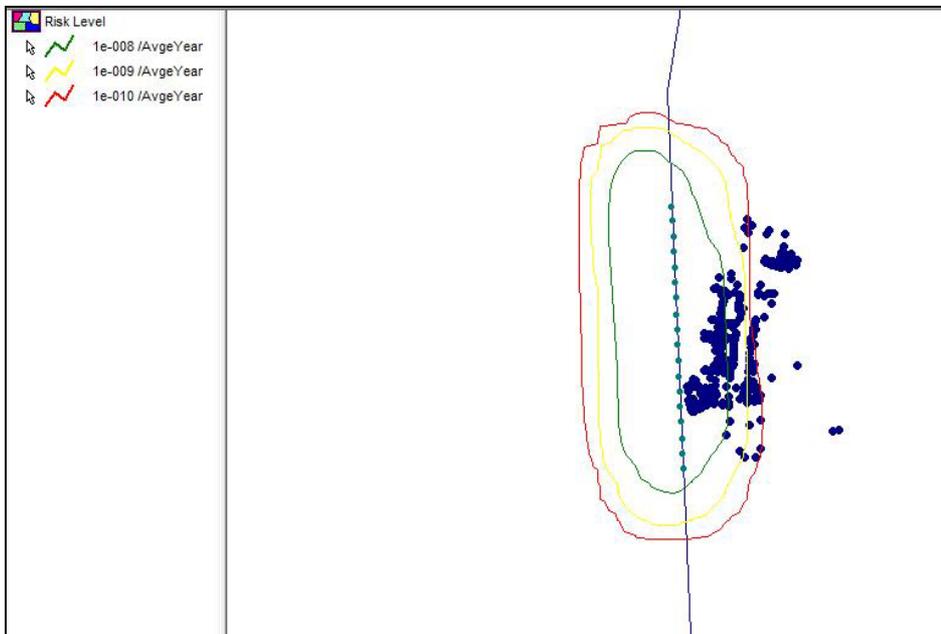


Gráfico VIII-3 - Curvas de Isorisco no município de Dom Eliseu

VIII.6 - COMPARAÇÃO DOS RISCOS E CONCLUSÕES

Quanto aos resultados dos riscos individuais, o **Gasoduto do Pará** avaliado neste estudo apresenta um nível de risco máximo da ordem de $1,00 \times 10^{-8}$ /ano, que é inferior ao limite para riscos toleráveis de 10^{-4} /ano adotado pela CETESB, para a avaliação de riscos individuais de morte envolvendo dutos.

Quanto ao risco social, seu valor médio é de $1,20 \times 10^{-5}$ fatalidades / ano e sua maior contribuição vem do evento iniciador “ruptura na direção 45° ”, a partir da direção horizontal, ocorrendo na posição do duto correspondente as coordenadas: 216.855,98 (E) e 9.544.499,01 (N). Sua contribuição ao risco total é de $1,71 \times 10^{-6}$ fatalidades / ano e sua contribuição percentual é de 14,18%.

O risco social avaliado pela curva F x N associada à região de maior densidade populacional ao longo do **Gasoduto do Pará** encontra-se completamente na região denominada “Negligenciável”.

Cabe ressaltar que quanto à tolerabilidade dos riscos, como preconizado no Termo de Referência do IBAMA, a tomada de decisão no âmbito do presente TR se baseará exclusivamente nos critérios de risco individual nele mencionados.

Observa-se ainda que embora os riscos tenham sido considerados toleráveis, segundo o critério empregado, foram proposta as seguintes medidas mitigadoras, advindas da Análise Preliminar de Perigos, que devem reduzir ainda mais os riscos gerados pelo **Gasoduto do Pará**.

Quadro VIII-1 - Recomendações obtidas pela APP

Recomendação	Descrição
R1	Seguir todas as normas técnicas recomendadas para projeto, construção e montagem de tubulações de gás natural.
R2	Garantir a integridade do gasoduto após operação.
R3	Divulgar os telefones de emergência entre as comunidades.
R4	O projeto de detalhamento deverá prever proteção mecânica do duto quando identificados pontos críticos de cruzamento com estradas.
R5	Colocar placas e marcos de sinalização indicadores da passagem de tubulação de gás, tanto nos trechos enterrados quanto nos trechos aéreos.
R6	Instalar proteção catódica de acordo com as normas técnicas aplicáveis
R7	Efetuar manutenção e medições periódicas nos sistemas de proteção anticorrosiva.
R8	Manter suspiros nos tubos-camisa e caixas de válvula, quando requerido em norma técnica
R9	Realizar controle por ensaios não destrutivos das juntas soldadas.
R10	Efetuar ensaios de resistência nos tubos e exigir certificado de qualidade dos fabricantes de tubos, equipamentos e acessórios.
R11	Realizar teste hidrostático na tubulação
R12	Colocar placas ao longo do traçado, contendo o número de telefone da 0800, para comunicação de acidentes e alertando com relação a periculosidade da substância.
R13	Elaborar Plano de Ação de Emergência

Portanto, com base nas informações anteriores, considera-se que os riscos adicionais procedentes do Gasoduto do Pará às populações circunvizinhas são plenamente toleráveis, quando comparados com os limites estabelecidos no Termo de Referência.

IX. MEDIDAS MITIGADORAS DOS RISCOS

IX.1 - DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DO PGR E PEI

Este relatório, preparado pela Risco Ambiental Engenharia / Ecology, refere-se ao Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) para o Gasoduto do Pará, que transporta Gás Natural, oriundo do Gasoduto Meio Norte, a partir do município de Açailândia, para os municípios de Marabá, Barcarena e Marituba, na região metropolitana de Belém.

O Gasoduto do Pará possibilitará o escoamento de parte da produção de gás da Bacia do Pará-Maranhão e da Bacia do Parnaíba para o Estado do Pará, viabilizando o abastecimento dos mercados, potenciais e factíveis, industrial, automotivo e termoelétrico nos municípios supracitados.

A longo prazo, através da implantação de ramais específicos, espera-se que o Gasoduto do Pará também possibilite o escoamento do Gás Natural proveniente da Venezuela e das Reservas de Silves e Urucu no Amazonas. Além disso, prevê-se que esse tronco fará parte da futura expansão da rede de gasodutos, que interligará a malha Norte, Nordeste, Sudeste, Centro Oeste, integrando todo o Sistema Nacional de Gás em anel.

A sua elaboração tem como base a Norma Técnica CETESB P4.261 de maio/2003 (Manual de Orientação para Elaboração de Estudos de Análise de Riscos) e documentação fornecida pela TGP e Main Engenharia.

IX.1.1 - Introdução

O Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) é um instrumento executivo que objetiva auxiliar na prevenção de falhas e minimizar as conseqüências acidentais envolvendo produtos inflamáveis, explosivos ou tóxicos, caso estas venham a ocorrer.

O PGR compreende diferentes sistemas de gerenciamento, sendo composto pelos seguintes tópicos:

- Informações de segurança de processo;
- Revisão dos riscos de processos;
- Gerenciamento de modificações;
- Manutenção e garantia da integridade de sistemas críticos;
- Procedimentos operacionais;
- Capacitação de recursos humanos;
- Investigação de incidentes;
- Plano de ação de emergência (PAE);
- Auditorias

Como meio de atingir os objetivos do PGR, este deve ser analisado por seus usuários periodicamente, com o intuito de mantê-lo como instrumento eficiente, indicando as atividades e ações que devem ser implementadas para uma melhoria constante da segurança operacional e redução dos riscos associados às instalações em estudo.

IX.1.2 - Descrição das Instalações

O traçado do gasoduto, com aproximadamente 737 km de extensão, se inicia na Estação de Compressão e de Medição de Açailândia, a ser construída, no município de Açailândia, no Maranhão. Partindo deste ponto, o Gasoduto apresenta uma linha tronco e dois ramais distintos (1 e 1A). A linha tronco seguirá o rumo oeste, atravessando a divisa do Estado do Pará, chegando ao município de Marabá (PA); os ramais seguem na direção norte até Paragominas, e posteriormente, em direção noroeste, até as cidade de Barcarena (Ramal 1) e Marituba, região metropolitana de Belém (Ramal 1A), no Pará. A linha tronco terá 214 km de extensão até Marabá; o Ramal 1, até Barcarena, terá 481 km, e o Ramal 1A, 43 km até Marituba.

No trecho entre Paragominas e Barcarena (Ramal 1), o gasoduto compartilhará a faixa de servidão com o mineroduto da Vale, o que dispensará a abertura de novos acessos para logística de obra e reduzirá as necessidades de intervenções na faixa, tais como, desapropriações ou supressão de vegetação.

Em seu traçado, o Gasoduto do Pará atravessará 5 municípios no estado do Maranhão, 3 municípios no estado do Tocantins e 17 municípios no estado do Pará, indicados no **Figura IX-1**, a seguir.

IX.1.3 - Informações de Segurança de Processo

IX.1.3.1 - Sistema de Supervisão e Controle

Os equipamentos e instalações do Gasoduto serão operados a partir de uma Estação Central. Hierarquicamente, o SCADA será constituído por:

- Uma estação central;
- Estações remotas localizadas nas Estações de Medição e válvulas intermediárias com atuação remota.

A Estação Central terá como função a supervisão/controle e a coordenação de todas as operações do complexo. Ela será constituída de um sistema distribuído em múltiplos processadores, associados em rede local de alta velocidade, desempenhando tarefas específicas.

A Estação Central terá dois processadores principais, dois processadores de Interface Homem/Máquina (IHM), um processador de engenharia e apoio à programação e um processador de funções avançadas de engenharia e programação. Este último servirá de plataforma para o software de funções avançadas de detecção de vazamentos, empacotamento (*line packing*), acompanhamento de *pig* (*pig tracking*) e, também, para supervisão das funções de manutenção do sistema.

Nas Estações de Medição, a computação dos sinais de vazão será realizada por equipamentos dedicados (computador de vazão) com aquisição de dados por Unidades Terminais.

IX.1.3.1.1 - Sistema de Telecomunicações

O Sistema de Telecomunicações do Gasoduto deverá atender às necessidades operacionais e de manutenção e possibilitará as comunicações, operacional e administrativa, entre as Estações Centrais e Remotas.

- Para o atendimento das necessidades, o Sistema de Telecomunicações incluirá:
- Sistema de transmissão do sinal, óptico ou microonda;
- Estações de amplificação de sinal;
- Sistema de comunicação de dados;
- Sistema de comunicações administrativas (voz e dados corporativos);

- Sistema de comunicações móveis para apoio à manutenção e fiscalização da faixa.

IX.1.3.1.2 - Inspeção da Faixa de Duto

A inspeção das tubulações tem a finalidade de determinar as condições do duto quanto à corrosão externa, danos mecânicos e do estado do revestimento. A inspeção da faixa de domínio compreende a observação visual (ao longo de toda sua extensão) de existência de irregularidades, que possam ocasionar esforços mecânicos nas tubulações ou colocar em risco as instalações existentes. Tais irregularidades podem ser: erosão; movimentação de terra; desmoronamento; tráfego de veículos e/ou equipamentos pesados sobre a faixa; crescimento de vegetação; deficiência do sistema de drenagem da faixa; queimadas; invasão da faixa por terceiros; realização de obras nas proximidades ou que interfiram com a faixa; deficiência na demarcação e sinalização de advertência; afloramento do tubo; e processos erosivos que possam gerar problemas para os dutos. São também verificadas as condições de tráfego das estradas de acesso às áreas das válvulas de bloqueio.

Serão realizadas manutenções preventivas periódicas com o objetivo de manter o sistema em boas condições operacionais e de segurança durante toda a sua vida útil. Durante todo o tempo de execução de um trabalho, a equipe responsável fica em contato permanente, via rádio ou telefone celular, com órgãos operacionais envolvidos.

Os equipamentos que passam pelas manutenções são: sistema de proteção catódica; válvulas de bloqueio e no seu sistema de acionamento; manômetros; termômetros; medidores de vazão; sinalizadores de passagem de PIG e demais acessórios do gasoduto.

A inspeção do gasoduto, da faixa de domínio e das estradas de acesso, compreendendo todos os equipamentos, instalações e acessórios entre os lançadores e recebedores de *pig* estão baseados nas normas ASME B 31.8 e API 5L. Esta norma fixa as condições mínimas exigíveis na inspeção de dutos terrestres em operação. A sinalização da faixa de domínio do gasoduto tem como objetivo proteger as instalações, impedindo a escavação ou o tráfego de veículos. As placas e marcos utilizado na sinalização são padronizados.

IX.1.3.1.3 - Sistemas de Segurança

O gasoduto terá válvulas de bloqueio automáticas instaladas ao longo de toda a linha, localizadas aproximadamente a cada 30 Km, as válvulas serão do tipo "Ball-Valve" com atuadores pneumáticos providos de sistema de detecção de vazamentos por queda súbita de pressão (*line break shut off*) e fechamento por baixa pressão (*low pressure shut off*).

As válvulas serão dotadas de by-pass, dimensionado com, aproximadamente, metade do diâmetro nominal da linha, para possibilitar a manutenção das válvulas de bloqueio. Adicionalmente, as válvulas de bloqueio localizadas nas áreas de lançadores e recebedores de pigs estarão providas de fechamento remoto.

Ter-se-á também, nas estações, um sistema de ESD (*Emergency Shut Down*) para casos de emergência, que fecha automaticamente a válvula de entrada e despressuriza a estação, abrindo os "blow-offs".

IX.1.3.1.4 - Lançadores e Recebedores de Pig

O duto será dotado de um sistema de lançamento e recebimento de pigs. A cada 90 km, aproximadamente (ou a cada 3 válvulas de bloqueio), serão instaladas estações de limpeza onde serão localizados os lançadores ou recebedores de pigs. Os pigs são introduzidos no duto, impulsionados pelo fluxo de gás, tendo como objetivo a limpeza e/ou inspeção interna do mesmo. Podem ser calibradores (Geométricos), para detectar eventuais reduções no diâmetro interno do duto; ou de limpeza interna do duto, destinados à inspeção interna do tubo, à detecção da perda de material da parede por corrosão, de trincas ou outros defeitos e não-conformidades do duto

A linha terá estações intermediárias de limpeza, cada uma provida de um lançador e um recebedor de "Pigs", instaladas a cada 90 Km aproximadamente (a cada 3 válvulas de bloqueio), conforme detalhe a seguir.



Figura IX-2 - Configuração típica de um Lançador de "Pigs"

IX.1.4 - Revisão dos Riscos de Processo

Neste item são apresentados os eventos acidentais que foram identificados e avaliados na Análise de Riscos e que terão suas causas e conseqüências administradas pelo PGR.

A técnica utilizada foi a Análise Preliminar de Perigos e levou à identificação de 2 Eventos Iniciadores principais presentes em cada um dos trechos analisados, que compõem o Gasoduto do Pará.

1. Grande liberação de gás natural causada por ruptura catastrófica, furo ou fissura da tubulação²⁸;
2. Pequena liberação de gás natural causada por furo ou fissura na tubulação.

²⁸ O que define uma pequena ou grande liberação não é somente o tamanho do diâmetro da liberação, mas também o tempo de liberação.

Os eventos iniciadores têm como possíveis conseqüências a formação de jato de fogo ou de nuvem de gás inflamável e, em princípio, podem apresentar desdobramentos tais como incêndio em nuvem ou explosão em nuvem.

Estes eventos iniciadores se desdobraram em 12 cenários acidentais, e sua distribuição quanto às categorias de severidade por trecho do Gasoduto, se encontra apresentada a seguir:

Quadro IX-1 - Distribuição das Severidades dos Cenários Acidentais

Severidade	Categorias	Total	Total %
	I	6	50
II	4	33	
III	-	0	
IV	2	17	
Total	12	100	

Deverá ser realizada uma revisão dos riscos de processo nas seguintes situações abaixo:

- ▶ Alteração no processo e/ou instalações;
- ▶ Renovação de Licenças Ambientais;
- ▶ Retomada da operação após paradas por períodos superiores a 6 (seis) meses.

IX.1.5 - Gerenciamento de Modificações

O Gerenciamento de Modificações envolve uma análise entorno da implantação de alguma mudança de projeto, processo ou de pessoal na empresa. Esta análise deve envolver os seguintes itens:

- O tempo de adaptação à mudança;
- Embasamento técnico relacionado à mudança;
- Aspectos positivos e negativos sobre segurança de processo e segurança ocupacional com relação à mudança implantada;
- Relação de treinamentos necessários para capacitação de funcionários para atender a modificação;
- Atualização de documentação técnica, registrando as mudanças de projeto.

IX.1.5.1 - Sistema de Permissão de Trabalho (PT)

A Permissão de Trabalho é o documento que autoriza a execução de determinada tarefa. Qualquer serviço ou modificação no procedimento operacional deverá ser sempre precedido de uma solicitação de Permissão para Trabalho (PT), onde deverá constar:

- Tipo de trabalho a ser executado (a frio ou a quente);
- Órgão solicitante;
- Local e data de execução do serviço;
- Descrição do serviço;
- Nome do executante do serviço;
- Horário previsto para início e término do serviço.

IX.1.5.2 - Manutenção e Garantia da Integridade de Sistemas Críticos

Entende-se por manutenção preventiva o conjunto de atividades de inspeção e aferição que são necessárias para que os equipamentos e instrumentos não apresentem falhas que possam resultar em eventos acidentais, ou seja, objetiva a garantia da integridade física dos equipamentos e funcionamento seguro, preservando assim suas condições de funcionamento. Portanto, todos os equipamentos e sistemas de proteção possuem implementações e inspeções periódicas com a finalidade de promover a integridade e confiabilidade destes.

IX.1.5.3 - Material dos Tubos

Serão utilizados tubos API 5Lx70, fabricados com requisitos adicionais estabelecidos em especificações técnicas adequadas.

As espessuras de parede do gasoduto e demais componentes de tubulação serão calculadas de acordo com os critérios estabelecidos pela ASME B 31.8. Não é necessária margem de tolerância para corrosão, devido às especificações do gás transportado, o qual consiste de gás natural seco não-corrosivo.

A espessura de parede dos tubos do gasoduto considerará a condição de valor mínimo requerido para garantir a resistência mecânica aos esforços produzidos durante a sua construção e montagem. O gasoduto terá espessura mínima 7,3 mm para a linha tronco e 5,6 mm para os ramais.

A espessura nominal da parede dos tubos e dos componentes de tubulação será selecionada entre as espessuras padronizadas nas respectivas normas de fabricação, sendo igual ou superior à espessura requerida. Para valores de espessuras padronizadas para tubos serão consultados o ASME B 31.8 e o API 5L.

IX.1.5.4 - Revestimento Externo

A corrosão pelo solo na superfície externa do gasoduto será evitada através da adoção de um revestimento anticorrosivo, com aplicação feita em planta fixa, utilizando-se Camada Tripla de Polietileno (PE/PP/FBE).

IX.1.5.5 - Sistema de Proteção Catódica

O Gasoduto será dotado, também, de um Sistema de Proteção Catódica para todos os seus trechos enterrados, cujo objetivo é complementar a proteção contra a corrosão pelo solo, proporcionada por seu revestimento externo, bem como o de controlar as interferências a que o duto estará sujeito, devido às correntes de fuga originárias de Sistemas Elétricos, Ferroviários e/ou Metroviários. O Sistema de Proteção Catódica será constituído pelos componentes listados a seguir:

- Leitões de anodos (localizados nas áreas de baixa resistividade do solo) e posicionados aproximadamente de 150 em 150 km, revestidos com óxidos de metais nobres;
- Retificadores de corrente impressa (próximos aos leitões de anodos) providos de amperímetro, voltímetro, e painel solar para casos de corte de energia;
- Pontos de teste (*Test Points*) instalados a cada 2 km ao longo de toda a linha, com cabos soldados ao tubo (para efetuar as medições de potencial tubo-solo), localizados, principalmente, próximos às travessias de grandes rios e lagos e nos cruzamentos de ferrovias e dutos;
- Sistema de controle entre painéis dos retificadores e a sala de controle;
- Juntas de isolamento elétrico do tipo monobloco, instaladas nos afloramentos do Gasoduto, junto aos lançadores/recebedores de *pigs*, destinadas a limitar o fluxo de corrente de proteção catódica aos trechos enterrados.
- Equipamentos e dispositivos de drenagem elétrica, para o controle das interferências, devido às correntes de fuga originárias de sistemas ferroviários.

IX.1.5.6 - Procedimentos Operacionais

Os procedimentos operacionais são embasados em instruções operacionais, adequadas e seguras, visando eliminar ou reduzir as possibilidades de ocorrência de eventos acidentais.

A tecnologia empregada em todo o processo operacional do gasoduto atende a referências normativas internacionais consagradas por entidades que padronizam os procedimentos desde os projetos, montagem e implantação e, principalmente, a operação.

O empreendedor segue as normas ANSI (*American National Standards Institute*), API (*American Petroleum Institute*), ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), MSS (*Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry*), SIS (*Sveriges Standardiseringskommission*), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), do Ministério do Trabalho e Previdência Social.

Serão realizadas manutenções preventivas periódicas nos equipamentos do sistema de proteção catódica, válvulas de bloqueio e no seu sistema de acionamento, manômetros, termômetros, medidores de vazão, sinalizadores de passagem de pig e demais acessórios do Gasoduto, a fim de manter o sistema em boas condições operacionais e de segurança durante toda a sua vida útil. Durante todo o tempo de execução dos trabalhos, a equipe responsável deverá ficar em contato permanente, via rádio, com os órgãos operacionais envolvidos.

A inspeção da faixa de domínio compreenderá a observação (ao longo de toda a sua extensão) da existência de irregularidades que possam ocasionar esforços mecânicos nas tubulações ou colocar em risco as instalações existentes, como erosão, movimentação de terra, desmoronamento, tráfego de veículos e/ou equipamentos pesados sobre a faixa, crescimento de vegetação, deficiência do sistema de drenagem da faixa, queimadas, invasão da faixa por terceiros, realização de obras nas proximidades ou que interfiram com a faixa, deficiência na demarcação e sinalização de advertência, afloramento do duto, submetido às correntes das águas ou com processos erosivos que possam gerar riscos. Deverão também ser verificadas as condições de tráfego das estradas de acesso às áreas das válvulas de bloqueio, estações de lançadores e recebedores de pigs, e demais instalações. A inspeção da tubulação terá a finalidade de determinar as condições físicas do duto e, se necessário, poderão ser utilizados materiais de uso convencional.

Apresentar os recursos automáticos de fechamento das válvulas e bombas, na saída dos terminais e estação de bombeamento, reduzindo as operações manuais no processo.

Como as operações automáticas são vistoriadas e controladas, em tempo real das principais variáveis de processo. Por outro lado, as operações manuais necessitam que o operador siga até o local de interesse para o acompanhamento e/ou ação desejada.

Os sistemas automatizados reduzem a probabilidade de possíveis erros humanos e longos intervalos de tempo para fechamentos de válvulas. Porém, mesmo nestes casos, controles manuais são utilizados durante necessidade de ações corretivas executadas no caso de falha em sistemas automáticos, assim como durante manutenção de equipamentos.

Os procedimentos operacionais descrevem as ações a serem seguidas durante a execução de determinada tarefa e deve englobar os itens a seguir:

- Procedimentos em situações emergenciais;
- Procedimentos não rotineiros;
- Normas de segurança que devem ser seguidas durante a execução da tarefa;
- Recomendações de segurança em operações.

Durante as operações de transferência, há um constante acompanhamento do operador encarregado deste procedimento. Qualquer situação atípica deve exigir os procedimentos de resposta à emergência, pré-determinados, de acordo com o Plano de Ação de Emergência.

O gerente de SMS e o técnico de segurança do trabalho devem ser os responsáveis em acompanhar os procedimentos operacionais e de segurança.

IX.1.5.7 - Capacitação de Recursos Humanos

Como forma de garantir um adequado desempenho das atividades de gerenciamento de riscos e um constante aprimoramento operacional, é necessário que haja periodicamente uma difusão de informações técnicas através de treinamentos específicos para capacitação técnica de pessoal.

Todos os funcionários e contratados terceirizados devem participar periodicamente de algum tipo de treinamento, pois, este é parte integrante das ações necessárias para prevenção da ocorrência de acidentes. Os treinamentos variam de acordo com a função que será executada pelo funcionário. As seguintes situações devem apresentar obrigatoriamente treinamento:

- Alguma alteração no processo operacional;
- Modificação nos equipamentos de segurança;

- Admissão de funcionário;
- Contratação de funcionário terceirizado;
- Remanejamento interno de funcionários com mudança de função;
- Alterações no PGR ou no PAE.

IX.1.5.8 - Treinamento

Um programa de treinamento deve ser desenvolvido levando em conta os critérios de capacitação de pessoal e a compatibilidade entre o conhecimento do trabalhador e as habilidades exigidas para execução da função desejada.

Para elaborar um programa de treinamento, os seguintes tópicos devem ser levantados, prioritariamente:

- Determinação das informações que devem ser transmitidas;
- Determinação do(s) tipo(s) de treinamento(s) mais adequado(s).

Existem três tipos de treinamentos:

Teóricos

Os treinamentos teóricos são os que fazem a transferência de informações e conhecimento de forma didática, através de palestras, apresentações, congressos, etc.

Práticos

Os treinamentos práticos são os que realizam atividades práticas como meio de fixar as informações transmitidas anteriormente no treinamento teórico.

Táticos ou Estratégicos

Os treinamentos táticos ou estratégicos são os que realizam simulações de situações emergenciais. Este tipo de treinamento deve permitir a visualização da atuação do Controle de Emergência da Empresa.

IX.1.5.9 - Registro de Treinamento

Todos os treinamentos devem ser registrados como meio de aprimorar futuros treinamentos e manter o nível esperado de capacitação dos funcionários.

Estes registros devem conter informações como: Identificação dos funcionários treinados data de realização do treinamento, avaliação da eficácia do treinamento e conteúdo programático.

IX.1.6 - Investigação de Acidentes

Devem ser investigados todos os incidentes que resultam, ou que poderiam resultar, em consequências acidentais com danos às instalações, meio ambiente e pessoas.

Imediatamente após a ocorrência de um incidente deve ser iniciada a investigação e registro, objetivando evitar que acidentes similares ocorram posteriormente.

A investigação de acidentes deve ser realizada por uma equipe formada por especialistas, para uma investigação meticulosa e conclusão da análise do incidente. Ao final da investigação esta conclusão deve ser formalizada através de um relatório de registro, o qual deve conter as seguintes informações:

- Data e hora do incidente;
- Descrição detalhada do incidente;
- Data e hora do início das investigações;
- Identificação dos profissionais partes da equipe de investigação;
- Identificação de todos os presentes no local que possam contribuir com informações sobre a ocorrência;
- Ações emergenciais tomadas;
- Descrição dos danos ocorridos ou que poderiam ter ocorrido;
- Identificação dos possíveis fatores contribuintes para a situação do incidente;
- Conclusões da análise do incidente;
- Ações corretivas sugeridas com prazo e o responsável por sua implementação.

Os relatórios de registro de incidentes deverão ser arquivados pelo prazo mínimo de 5 anos.

IX.1.6.1 - Equipe de Investigação de Acidentes

Após as ações de controle emergencial, e antes das operações de contenção, limpeza e remoção de resíduos, devem-se realizar o isolamento da área do incidente/acidente, permitindo que o trabalho da equipe de investigação.

Seguem abaixo alguns tópicos que devem ser seguidos pela equipe de investigação de acidentes:

- Foto/filme da cena do acidente;
- Foto/filme dos equipamentos danificados e marcas que caracterizem essa degradação (trincas, rupturas, deformidades, etc.);
- Foto/filme do entorno danificado e marcas que caracterizem essa degradação (efeitos sobre a vegetação, fragmentos de equipamentos, contaminação do solo e corpos hídricos, etc.);
- Foto/filme do local de início do evento acidental;
- Foto/filme do centro de um foco resultante em uma consequência acidental (incêndio, por exemplo);
- Recolhimento de material para análise laboratorial.

IX.1.7 - Plano de Ação de Emergência

Considera-se aqui que o Plano de Ação de Emergência do Gasoduto do Pará elaborado com base no resultado do estudo de análise de risco e na legislação vigente. O PAE é considerado como parte integrante do processo de gerenciamento de risco e uma itemização sugerida para sua elaboração ou manutenção é apresentada a seguir.

IX.1.7.1 - Estrutura do Plano de Ação de Emergência

- Objetivo
- Documentos Complementares
- Área de Abrangência e Limitação do Plano
- Definições e Siglas
- Descrição das Instalações Envolvidas

- Cenários de Emergência
- Sistema de Alerta
- Comunicação de Emergências
- Estrutura Organizacional de Resposta
- Recursos
 - ▶ Materiais
 - ▶ Humanos
- Estratégia e Procedimentos de Resposta
 - ▶ Avaliação de Cenário de Emergência
 - ▶ Informações para Estratégias de Resposta
 - ▶ Descrição das Estratégias de Resposta
 - ▶ Procedimentos de Resposta
 - ▶ Procedimentos de Apoio
- Encerramento das Operações
- Folha de Controle de Revisões
- Equipe Técnica
- Anexos

IX.1.7.2 - Descrição da Estrutura do Plano de Ação de Emergência

▪ Objetivo

Neste item deve-se estabelecer e definir informações, estratégias, procedimentos e a estrutura de resposta a emergências na instalação.

▪ Documentos Complementares

Neste item devem ser relacionados planos mútuos de operação, cartas de acordo, termos de compromissos, protocolos de interface, planos de auxílio mútuo e outros documentos complementares para o desenvolvimento das ações.

▪ Área de Abrangência e Limitação do Plano

Neste item devem ser definidos os limites de jurisdição de abrangência do plano de resposta a emergências da instalação e a área geográfica considerada vulnerável.

▪ Definições e Siglas

Neste item devem ser dadas as explicações necessárias à compreensão de determinados termos e siglas utilizadas no plano de ação de emergência.

▪ Descrição das Instalações Envolvidas

Neste item devem constar as seguintes informações básicas sobre a instalação, como: descrição resumida da instalação; nome, endereço completo, e-mail, telefone, fax e números de registro da instalação necessários para emissão de documentos de autorização para transporte de recursos; localização em coordenadas geográficas; Mapa de localização ou fotografia aérea; descrição dos acessos à instalação; acessos disponíveis na região.

▪ Cenários de Emergência

Neste item devem ser relacionados os cenários de emergência, selecionados entre os cenários acidentais identificados na análise de risco.

▪ Sistema de Alerta

Neste item devem ser descritos os procedimentos e equipamentos utilizados para alerta nas situações de emergências.

▪ Comunicação de Emergências

Neste item deve constar o fluxograma de comunicação das emergências para as gerências internas e órgãos fiscalizadores.

- Estrutura Organizacional de Resposta

Neste item deve ser apresentada a estrutura organizacional de resposta preestabelecida a ser formar quando da ocorrência de uma emergência.

- Recursos

Neste item devem ser relacionados os equipamentos, materiais de resposta e recursos humanos, compatíveis com as ações necessárias ao controle das emergências. Deve conter tanto os recursos pertencentes a instalação, quanto aqueles contratados de terceiros.

- ▶ Materiais

Aqui devem estar relacionados tipos e características operacionais; quantidade disponível; localização; tempo máximo estimado de deslocamento para o local de utilização; e pessoas necessárias para operação.

- ▶ Humanos

Aqui devem estar relacionados especialidade; quantidade disponível; localização; e tempo máximo estimado de deslocamento para o local de utilização.

- Estratégia e Procedimentos de Resposta

- ▶ Avaliação de Cenário de Emergência

Neste item deve ser descrito o procedimento para identificação das características do cenário de emergência para adoção da estratégia mais eficaz. Este procedimento deve prever a localização; acesso; riscos envolvidos; extensão; condições ambientais; existência e número de vítimas.

- ▶ Informações para Estratégias de Resposta

Relacionar as informações relevantes que devem subsidiar o planejamento das estratégias de resposta para os cenários de emergência.

- ▶ Descrição das Estratégias de Resposta

Neste item devem estar relacionadas as estratégias de resposta, para aqueles cenários que necessitem de uma estratégia previamente definida.

▶ Procedimentos de Resposta

Neste item devem estar descritos todos os procedimentos de resposta correspondentes às ações previstas nas estratégias.

▶ Procedimentos de Apoio

Neste item devem ser descritos os procedimentos relativos a função: logística, planejamento e administração.

▪ Encerramento das Operações

Neste item devem constar os critérios para decisão quanto ao encerramento das operações, desmobilização, ações pós-emergência e análise crítica.

▪ Anexos

Neste item devem contar: desenho ou planta geral da instalação, planta de drenagem, mapas e sensibilidade, fluxogramas de engenharia, fluxogramas de processo, licenças ou autorizações, acordos formais, informações técnicas e informações sobre recursos externos.

▪ Equipe Técnica

Neste item devem contar a relação dos componentes que elaboraram o plano de ação de emergência

▪ Folha de Controle de Revisões

O plano de ação de emergência deve ser periodicamente avaliado e revisado, sempre que uma análise de risco o indicar, quando sofrer uma modificação ou quando decorrente do seu acionamento por acidente ou exercício simulado recomendar.

IX.1.7.3 - Auditorias

A auditoria é um procedimento de vistoria que objetiva verificar a conformidade dos procedimentos e práticas com os requisitos determinados neste Programa. Estas auditorias devem ser realizadas periodicamente por equipe externa à instalação, própria ou contratada.

A equipe de auditores deve ser composta por pessoas com conhecimento do processo envolvido e deve ser provida de capacitação técnica adequada.

Eventualmente, quando o processo de auditoria identificar itens fora do padrão esperado, estes são chamados de “não-conformidades” e devem ser disponibilizados para todos os funcionários, com a finalidade de promover discussões sobre as causas e evitar futuras ocorrências similares.

Durante uma auditoria devem ser avaliados os tópicos a seguir:

- Procedimentos operacionais
- Equipamentos e instrumentação
- Entrevistas com operadores
- Leitura de relatórios de inspeção e listas de verificação (referentes à manutenção preventiva, válvulas, conexões e instrumentação)
- Realização de testes periódicos de verificação técnica da capacitação dos operadores

É sugerido que auditorias sejam realizadas a cada 2 (dois) ano.

A gerência deve registrar a documentação dos relatórios de auditoria e garantir que uma solução adequada seja aplicada para sanar as não-conformidades encontradas, como a elaboração de um plano de ação, definindo a ação a ser implementada para eliminar a causa da anomalia, o responsável e o prazo para sua implementação.

X. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

A Bibliografia consultada é apresentada em forma de nota ao longo do texto. Adicionalmente, é apresentado a seguir as referências bibliográficas complementares.

CETESB/SP - *Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Risco*, 2003.

CETESB/SP - *Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Risco*, 2003.

Projeto Conceitual do Gasoduto do Pará da CTMAIN, CTM-0013-01-PC.

Análise Quantitativa de Riscos do Gasoduto do Pará da Risco Ambiental engenharia.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). *Process Safety Management*, OSHA 3132, 1993.

LEES, Frank Pearson. *Loss prevention in the process industries (2 Vols.)*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 1980.

XI. EQUIPE TÉCNICA

Nome	Formação	Registro Geral	Registro IBAMA	Assinatura
Técnico Responsável				
Arlei Pury Mazurec	Sociólogo	RG: 10180643-8	298397	
Edson de Pinho da Silva	Físico, DSc.	SIAPE 0387332	182427	

Nome	Formação	Registro IBAMA
Giselia Soares Ouriques	Eng. Química	2061048
Eliana Nogueira Camacho	Eng. Química	251487
Rubinei Rodrigues	Técnico de Segurança	60052

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
2903948	028.593.617-40	26/05/2010	26/05/2010
Nome/Razão Social/Endereço GISELIA SOARES OURIQUES Praça Pio X, 8 andar CENTRO RIO DE JANEIRO/RJ 20040-020			
Este certificado comprova a regularidade no			
Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental			
Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0			
Auditoria Ambiental Educação Ambiental Gestão Ambiental			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.	
Autenticação e16b.386.p1gv.r1db			

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
298397	044.097.587-56	21/07/2010	21/10/2010
Nome/Razão Social/Endereço ARLEI PURY MAZUREC Rua Visconde de Pirajá, 187/704 IPANEMA RIO DE JANEIRO/RJ 22110-003			
Este certificado comprova a regularidade no			
Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental			
Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0			
Gestão Ambiental Educação Ambiental			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.	
Autenticação lqzx.9r64.ylvs.5b7i			

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
303637	733.169.207-06	21/07/2010	21/10/2010
Nome/Razão Social/Endereço Edison de Pinho da Silva Rua UJ Nº5 Campus da UFRJ SEROPEDICA/RJ 23890-000			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> Controle da Poluição Eletricidade Gestão Ambiental Qualidade do Ar Qualidade do Solo Auditoria Ambiental Educação Ambiental Qualidade da Água Uso do Solo			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">iefw.lqwk.gbqs.5klz</p>	

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
60052	880.923.307-78	15/07/2010	15/10/2010
Nome/Razão Social/Endereço RUBINEI RODRIGUES RUA PARETO, 20, AP-101 TIJUCA RIO DE JANEIRO/RJ 20550-120			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> Educação Ambiental Segurança do Trabalho Gestão Ambiental Controle da Poluição			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">d25r.1u7n.s1at.q419</p>	

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis					
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGISTRO					
Nr. Registro Atual:	Nr. Registro Anterior:	CPF/CNPJ:	Válido até:		
251487		002.007.637-17	31/03/2004		
Nome/Razão Social/Endereço Eliana Nogueira Camacho Rua UJ n/05 Antiga Rio-SP SEROPEDICA/RJ 23890-000					
Este certificado comprova o registro no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> Auditoria Ambiental Controle da Poluição Educação Ambiental Gestão Ambiental Qualidade da Água Qualidade do Ar Qualidade do Solo Recuperação de Áreas Recursos Hídricos Segurança do Trabalho Uso do Solo					
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.			A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">ym1r.e6q7.befr.05cl</p>		