

6. ESTIMATIVA DAS FREQUÊNCIAS

6.1 Introdução

As hipóteses acidentais identificadas na APP, e selecionadas para serem avaliadas quantitativamente neste estudo estão relacionadas a vazamentos (rupturas catastrófica e parcial) de gás natural, que eventualmente venham a ocorrer durante as operações de transferência de produto no trecho terrestre do Gasoduto PMXL-1 – UTGCA.

Para os cálculos das frequências foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica em diferentes referências internacionais recentes, as quais foram estudadas e definidas no Capítulo 4, de acordo com a Tabela 6.1, referente a acidentes em dutos de transporte de gás natural de acordo com os diferentes tipos de vazamentos estudados quantitativamente.

Tabela 6.1 – Frequências das hipóteses acidentais para as diferentes classes de vazamento levantadas na Análise Histórica



Classe de Vazamento	% Diâmetro	Frequência Total/ Duto de Gás Natural (oc/km.ano)	Participação da Taxa de Falha por Classe de vazamento (%)	Frequência por Classe de Vazamento (oc/km.ano)
Furo	5 %	1,70E-04	49,0	8,33E-05
Fenda	20 %		38,0	6,46E-05
Ruptura Catastrófica	100 %		13,0	2,21E-05

O Gasoduto operará anualmente 100% do tempo. No entanto, ocorrerá a passagem de condensado no gasoduto durante aproximadamente 30 minutos a cada duas vezes ao ano, desta forma, utilizou-se o fator de utilização, para a correção das frequências de ocorrências adotando para o presente estudo 99% de movimentação de gás natural e 1% de movimentação de condensado. A Tabela 6.2 apresenta as frequências com as respectivas porcentagens de movimentação.

Tabela 6.2 – Frequências do Trecho Terrestre do Gasoduto PMXL-1 - UTGCA

Frequência Total (oc/m.ano)	%	Furo	Fenda	Ruptura
1,70E-04	100% (EGIG)	8,33E-05	6,46E-05	2,21E-05
1,68E-04	99% (Gás Natural)	8,25E-05	6,40E-05	2,19E-05
1,7E-06	1% (condensado)	8,33E-07	6,46E-07	2,21E-07

6.2 Frequências dos Cenários Acidentais

6.2.1 Árvore de Eventos para Gás natural

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

No presente estudo foram considerados os seguintes efeitos físicos, de acordo com as características do gás natural: *fireball* seguido de jato de fogo gerado pela ruptura catastrófica do duto e jato de fogo resultante da ignição imediata de vazamentos causados por fenda ou furo na tubulação (20% ou 5% do diâmetro, respectivamente).

Caso não ocorra a ignição imediata haverá a formação de uma nuvem de vapor inflamável que poderá ignizar de forma retardada (caso se encontre dentro dos limites de inflamabilidade) podendo ainda provocar explosões se houverem áreas de confinamento.

Assim, as Árvores de Eventos tiveram por finalidade analisar as conseqüências possíveis dos vazamentos de gás inflamável, não tendo sido consideradas, conservativamente, neste estudo, as interferências dos sistemas de segurança existentes que eventualmente possam atuar quando da ocorrência do vazamento.

As Figuras 6.1 e 6.2 apresentam as Árvore de Eventos, para as situações relacionadas com ruptura catastrófica da linha e rupturas parciais (20% - fenda e 5% - furo), respectivamente.

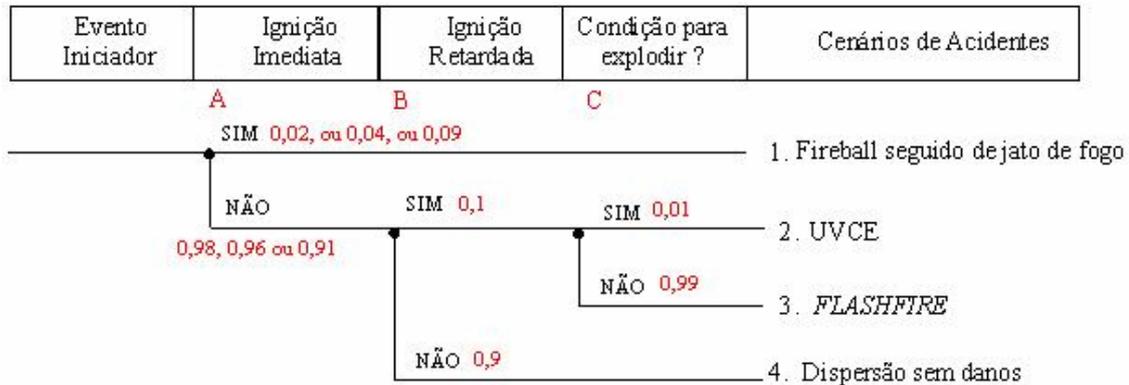


Figura 6.1 – Árvore de Eventos para Ruptura Catastrófica da Linha

As probabilidades da árvore de eventos apresentada na Figura 6.1 são definidas a seguir:

A - Probabilidade de ignição imediata - extraída do TNO - Purple Book, págs. 4.13 e 4.14, depende da taxa de vazamento ou massa liberada e da reatividade do produto, como mostrado na Tabela 6.2 a seguir:



Tabela 6.2 – Probabilidade de Ignição Imediata

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

Fonte: TNO- Purple Book.

Para a identificação da reatividade do gás, o TNO apresenta a seguinte tabela de referência, mostrada na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Reatividade de gases para cálculo da probabilidade de ignição imediata

Baixa Reatividade	Média Reatividade	Alta Reatividade
Amônia	1-Buteno	Benzeno
Metano	Propano	Acetileno
Cloroetano	Butano	Nafta, solvente
Dicloropropeno	Propeno	Formaldeído

Fonte: TNO- Purple Book.

Desta forma, conforme o apresentado, o gás natural (metano) é um gás de baixa reatividade e terá sua probabilidade de ignição igual a 0,02, ou 0,04, ou 0,09 de acordo com a quantidade de massa vazada na hipótese, por se tratar de um vazamento instantâneo.



Vale ressaltar que para ruptura catastrófica será considerado apenas o evento de bola de fogo (*fireball*) para as simulações de conseqüências, uma vez que o jato de fogo que ocorre após o *fireball* não apresentará distâncias significativas, ou superiores à da bola de fogo, pois por definição, é um evento que ocorre a partir de um vazamento contínuo e, neste caso, tem-se um vazamento instantâneo.

B - Probabilidade de ignição retardada – probabilidade calculada considerando todas as fontes de ignição que se encontram dentro da nuvem de vapor, delimitada pelo Limite Inferior de Inflamabilidade (LII), num determinado ponto de liberação. A probabilidade é estimada a partir do estabelecido por Lees – Volume 3 – Pág. A7/32 e está apresentada na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Probabilidades de Ignição Retardada

Fontes de Ignição	Probabilidade de Ignição Retardada
"Nenhuma"	0,1
Muito poucas	0,2
Poucas	0,5
Muitas	0,9

Fonte: Lees.

C - Condição para explodir – a Tabela 6.5 apresenta as probabilidades de explosão utilizadas na rotina de cálculo do programa QUANTOX, extraída Lees – Volume 2, pág. 16/154 e 16/155. Observa-se que a probabilidade varia com a massa, obtida a partir das simulações das conseqüências.

Tabela 6.5 – Probabilidade de Explosão

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

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

Fonte: Lees.

A Figura 6.2 apresenta a árvore de eventos para rupturas parciais, ou seja, fenda (20% do diâmetro) e furo (5% do diâmetro).

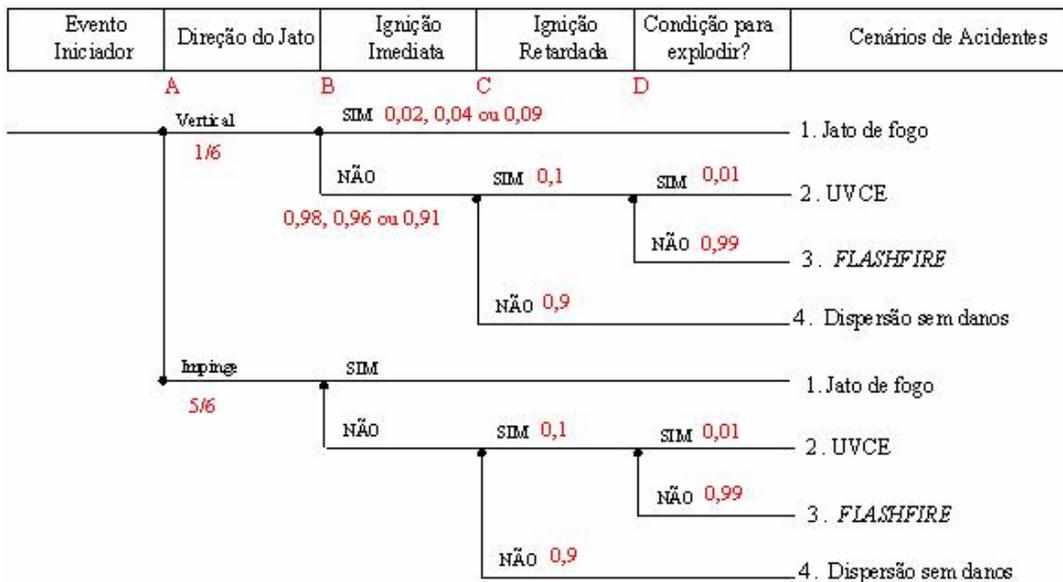


Figura 6.2 – Árvore de Eventos para Ruptura Parcial – Fenda e Furo

As probabilidades da árvore de eventos apresentada na Figura 6.2 são definidas a seguir:

A - Probabilidade da direção do jato – consideraram-se duas direções para ocorrência do mesmo, ou seja, *impinge* (presença de barreiras, onde o presente estudo trata de duto enterrado) e vertical. Para essas direções foram considerados os seguintes percentuais:

- Direção vertical: 1/6;

- Direção *impinged*: 5/6.

As direções das liberações foram definidas empiricamente com base:

- a) na possibilidade de perda de inventário nas diversas posições, no plano transversal ao duto; e,
- b) tipo de produto vazado.

Nos gasodutos enterrados as liberações promoverão a abertura de crateras, formando, conseqüentemente, os jatos denominados “*impinged*” ou jatos com perda de momento, que são causados pelo choque da emissão do jato de gás com as paredes da cratera formada. Estes jatos simulados como do tipo “*impinged*” buscam emular os verdadeiros “jatos em crateras” observados nos eventos acidentais com gasodutos enterrados.

Adicionalmente à ocorrência do jato “*impinged*” nas simulações realizadas no EAR foi também considerada a formação de jato pleno vertical.



A direção de 60° para jatos enterrados trata-se de uma complementação para a direção vertical de vazamento, sendo as demais direções observadas na direção “*impinged*”, formando jato em cratera.

É importante ressaltar que, na realidade, a direção, em graus, representa a distribuição percentual das liberações nas duas direções passíveis de ocorrer, tanto nos gasodutos como nos oleodutos enterrados (*impinged* e vertical).

A Figura 6.3 apresenta o Percentual de Ocorrência para a Tipologia Jato de Fogo nas direções *impinge* (presença de anteparos) e vertical.

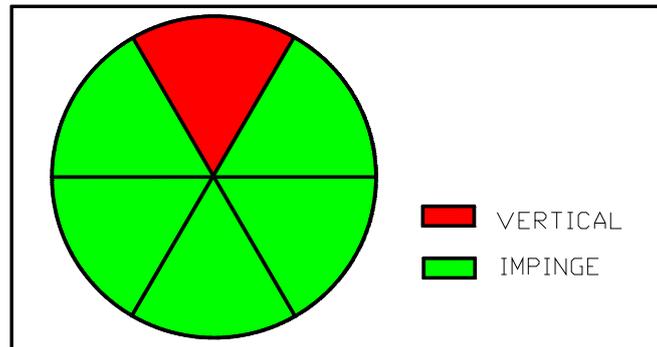


Figura 6.3 – Percentual de Ocorrência para a Tipologia Jato de Fogo

B - Probabilidade de ignição imediata - Probabilidade de ignição imediata - extraída do TNO - Purple Book, págs. 4.13 e 4.14, que depende da taxa de vazamento ou massa liberada e da reatividade do produto, conforme mostrado anteriormente nas Tabelas 6.2 e 6.3.

As probabilidades de ignição serão as mesmas já mencionadas, porém, devem ser selecionadas em função da taxa de vazamento (vazamento contínuo).

C - Probabilidade de ignição retardada – é obtida através da Tabela 6.4 como na ruptura catastrófica da linha.

D – Condição para explodir – será determinada da mesma forma que na ruptura catastrófica, ou seja, a partir da Tabela 6.5.

A Tabela 6.6 apresenta as frequências x direção do jato utilizadas na seqüência do estudo.

Tabela 6.6 – Frequências Finais

Classe de Vazamento	Frequência utilizada (oc/km.ano)	Distribuição das liberações	Probabilidade	Frequência final (oc/km.ano)	Hipótese Acidental
Fenda (20%) c/ Gás Natural	6,40E-05	Direção Vertical	1/6	1,07E-05	2BV
		Direção Impinge	5/6	5,33E-05	2BI
Furo (5%) c/ Gás Natural	8,25E-05	Direção Vertical	1/6	1,38E-05	2CV
		Direção Impinge	5/6	6,88E-05	2CI
Fenda (20%) c/ Condensado	6,46E-07	Direção Vertical	1/6	1,08E-07	4BV
		Direção Impinge	5/6	5,38E-07	4BI

Tabela 6.6 – Frequências Finais

Classe de Vazamento	Frequência utilizada (oc/km.ano)	Distribuição das liberações	Probabilidade	Frequência final (oc/km.ano)	Hipótese Acidental
Furo (5%) c/ Condensado	8,33E-07	Direção Vertical	1/6	1,39E-07	4CV
		Direção Impinge	5/6	6,49E-07	4CI

