Denis Kirchhoff

AVALIAÇÃO DE RISCO AMBIENTAL
E O PROCESSO DE LICENCIAMENTO:
O CASO DO GASODUTO DE DISTRIBUIÇÃO GÁS BRASILEIRO
TRECHO SÃO CARLOS - PORTO FERREIRA

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia (Hidráulica e Saneamento).

Orientador: Prof. Titular Marcelo Pereira de Souza

São Carlos
2004

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da
Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

K58a Kirchhoff, Denis
Avaliação de risco ambiental e o processo de
licenciamento : o caso do gasoduto de distribuição gás
brasileiro trecho São Carlos - Porto Ferreira / Denis
Kirchhoff. -- São Carlos, 2004.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2004.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Tit. Marcelo Pereira de Souza.

1. Risco. 2. Avaliação de risco ambiental.
3. Licenciamento. 4. Gasoduto. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **DENIS KIRCHHOFF**

Dissertação defendida e julgada em 02-06-2004 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Titular **MARCELO PEREIRA DE SOUZA** (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Titular **CARLOS CELSO DO AMARAL E SILVA**
(Faculdade de Saúde Pública/USP)

Aprovado

Profa. Dra. **ADELAIDE CASSIA NARDOCCI**
(Faculdade de Saúde Pública/USP)

Aprovado

Profª. Titular **MARIA DO CARMO CALJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Titular Marcelo Pereira de Souza, pela orientação fornecida durante a elaboração deste trabalho e, acima de tudo, pela amizade construída durante esse período.

À Professora Adelaide Cássia Nardocci pelos comentários e recomendações pertinentes que auxiliaram a lapidar esta Dissertação.

Ao Professor Carlos Celso do Amaral e Silva pelas contribuições que enriqueceram o trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo concedida.

Ao Professor Fazal Hussain Chaudhry pelo exemplo de pessoa e profissional seguido durante a elaboração deste trabalho.

A todos os colegas do Lab. SIG, principalmente ao Minduim, Vitão, Aldo e Isabel, que contribuíram de forma mais direta no andamento do trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento, pela disposição e dedicação.

Aos meus pais, Volker e Antonieta, e todo o resto da família, por todo apoio oferecido durante esses anos.

E, especialmente, à Mônica que sempre esteve ao lado apoiando em todos os momentos, inclusive nas visitas de campo necessárias para a conclusão desta Dissertação. Seu amparo foi de suprema importância. Ainda há muito a nossa frente...

"Acredite nos que procuram a verdade. Duvide dos que a encontram"

Andre Gide

RESUMO

KIRCHHOFF, D. (2004). *Avaliação de Risco Ambiental e o Processo de Licenciamento: O Caso do Gasoduto de Distribuição Gás Brasileiro Trecho São Carlos – Porto Ferreira*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

O Licenciamento Ambiental é instrumento que se mostra com estreita ligação com processos de avaliação de impacto ambiental, e somente deve ser concedido após a certeza da conciliação entre a atividade e a qualidade ambiental. No Estado de São Paulo é usado o Relatório Ambiental Preliminar (RAP) como forma de se analisar a viabilidade ambiental de empreendimentos. Concluiu-se que o mesmo não serve como elemento no processo de licenciamento de gasodutos, pois não exige a necessidade de estudo de alternativas locacionais, e em sendo assim, seu uso não garante que a atividade analisada demonstre viabilidade ambiental, função fundamental de qualquer Estudo de Impacto Ambiental. O estudo de viabilidade ambiental necessita instrumentos que atribuam confiabilidade ao processo decisório e a Avaliação de Risco Ambiental (ARA) é uma ferramenta importantíssima, pois complementa a avaliação sobre a viabilidade ambiental do empreendimento, e se mostra útil para o Licenciamento Ambiental de atividades. Dessa forma, o principal motivo de escolha desta ferramenta decorre do fato de seu uso servir como instrumento para tomadas de decisões mais racionais e efetivas onde exista possibilidade de danos, o que a torna de suma importância na verificação da viabilidade ambiental de um empreendimento. A ARA foi aplicada ao transporte de gás natural por gasodutos, porque este combustível tem ganhado maior espaço na matriz energética do Brasil, com crescente tendência de expansão. Concluiu-se que a ARA deve ser usada desde o início do processo de licenciamento, já para a obtenção da primeira das licenças que é a LP. Com isso, os riscos são avaliados e usados como critério fundamental para o estudo de localização do traçado do gasoduto. Dessa maneira, os riscos de fatalidades associados a acidentes com gasodutos são reduzidos, garantindo mínimos riscos à população.

Palavras-chave: risco; avaliação de risco ambiental; licenciamento; gasoduto

ABSTRACT

KIRCHHOFF, D. (2004). *Risk Assessment and the Process of Environmental Licensing: the Case Study of the Natural Gas Pipeline between Sao Carlos and Porto Ferreira*. M. Sc. Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

Environmental Licensing is a tool showing great connection with the environmental impact assessment process, and should only be granted after the conciliation between activity and environmental quality is verified. The State of Sao Paulo has implemented the Preliminary Environmental Report (PER), which is used to evaluate the environmental suitability of activities. As it does not require consideration of all location (siting) and technology alternatives, the use of PER for licensing purposes does not assure under any circumstance that the analyzed activity presents environmental suitability, which is a fundamental role of any environmental impact study. Environmental suitability evaluation needs instruments to increase reliability to decision making, and Risk Assessment (RA) is a very important tool because it complements the analysis about the activity's environmental suitability, making it essential for the Environmental Licensing process. RA was applied to the conveying of natural gas through pipes because the Brazilian natural gas network has been expanding for the last few years. It was concluded that RA should be used from the beginning of the environmental licensing process, adopting associated risks as fundamental criteria for location study of the gas pipe route, which is an essential condition to define the environmental suitability of the proposed activity. This way, fatality risks posed by the gas lines are reduced, assuring minimal risks to the population/environment.

Keywords: risk; risk assessment; licensing; natural gas pipeline

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Seqüência de eventos.....	10
Figura 3.2 – Árvore de evento.....	16
Figura 3.3 – Árvore de falha.....	17
Figura 3.4 – Árvore de evento com quantificação.....	18
Figura 3.5 – Etapas de uma Avaliação de Risco.....	20
Figura 3.6 – Exemplos de indicadores de risco: (A) contorno de risco; (B) curva F-N.....	21
Figura 3.7 – Acidentes envolvendo gasodutos em vários países.....	27
Figura 3.8 – Critérios de aceitabilidade de risco usados em diversos países....	37
Figura 3.9 – Comparação, através de curvas F-N, entre a aceitabilidade dos riscos sociais usada em diversos países.....	38
Figura 4.1 – Localização das Estações.....	40
Figura 4.2 - Área de estudo.....	41
Figura 5.1 - Processo de Licenciamento Ambiental (EIA vs. RAP).....	49
Figura 6.1 - Identificação de trecho crítico do traçado do gasoduto (município de São Carlos – Jd. Novo Horizonte).....	54
Figura 6.2 - Identificação de trecho crítico do traçado do gasoduto (município de Descalvado – Rua Minas Gerais).....	55
Figura 6.3 – Foto tirada na Rua Minas Gerais (Descalvado).....	55
Figura 6.4 - Área de estudo - faixa passível de implantação do gasoduto.....	57
Figura 6.5 - Notas atribuídas aos fatores ambientais de interesse em função da aptidão para implantação do gasoduto.....	59

Figura 6.6 - Detalhe de mapa com fatores ambientais ponderados em função da aptidão para implantação do gasoduto.....	60
Figura 6.7 – Alternativa de traçado de maior viabilidade ambiental do gasoduto em trecho que atravessa área urbana (Jd. Novo Horizonte)	61
Figura 6.8 – Alternativa de traçado de maior viabilidade ambiental no trecho que atravessa o Jd. Novo Horizonte (São Carlos) – imagem de satélite	61
Figura 6.9 - Alternativa de traçado de maior viabilidade ambiental do gasoduto em trecho que atravessa área urbana (Descalvado – Rua Minas Gerais)	63
Figura 6.10 - Alternativa de traçado de maior viabilidade ambiental no trecho que atravessa a Rua Minas Gerais (Descalvado) – imagem de satélite	63
Figura 6.11 – Número provável de fatalidades por quilometro de gasoduto....	64
Figura 6.12 – Árvore de Evento para vazamento de gás natural.....	65
Figura 6.13 – Árvore de Evento com probabilidades estimadas.....	67
Figura 6.14 – Zona de perigo aplicada ao trecho crítico de Descalvado.....	74
Figura 6.15 – Risco Individual associado ao gasoduto em estudo.....	75
Figura 6.16 - Comparação entre as curvas F-N para os dois cenários considerados.....	78
Figura 6.17 – Curvas de fatalidade do trecho crítico de Descalvado considerando a existência do tubo-camisa.....	80
Figura 6.18 – Comparação entre as curvas F-N.....	81
Figura 6.19 – Número provável de fatalidades por quilometro de gasoduto – cenário atual.....	82
Figura 6.20 – Número provável de fatalidades por quilometro de gasoduto – lotes ocupados.....	82
Figura 6.21 – Comparação entre o traçado alternativo e o implantado.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Exemplo de valores para comparação entre riscos.....	22
Tabela 4.1 – Composição do gás transportado.....	43
Tabela 4.2 – Características do gasoduto.....	44
Tabela 6.1 – Efeitos da radiação térmica nas pessoas.....	69
Tabela 6.2 – Efeitos potenciais da radiação térmica (<i>I</i>)	70
Tabela 6.3 – Estimativa da Zona de Perigo (15kW/m ²)	73
Tabela 6.4 – Comparação entre riscos.....	76

LISTA DE SIGLAS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ANP	Agência Nacional do Petróleo
AR	Avaliação de Risco
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
DEPRN	Departamento Estadual de Proteção aos Recursos Naturais
DOT	<i>Department of Transportation</i> (Estados Unidos)
EGIG	<i>European Gas Pipeline Incident Data Group</i> (Europa)
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
GRI	<i>Gas Research Institute</i>
NRC	<i>National Research Council</i> (Estados Unidos)
NTSB	<i>National Transportation Safety Board</i> (Estados Unidos)
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i> (Estados Unidos)
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
RAP	Relatório Ambiental Preliminar
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente
SRA	<i>Society for Risk Analysis</i> (Estados Unidos)

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
EPÍGRAFE.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTACT.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE SIGLAS.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	6
3. RISCO E AVALIAÇÃO DE RISCO.....	7
3.1 AVALIAÇÃO DE RISCO E ANÁLISE DE RISCO.....	10
3.2 AVALIAÇÃO DE RISCO AMBIENTAL	12
3.3 PRINCIPAIS ETAPAS DE UMA ARA.....	13
3.3.1 Identificação dos Perigos.....	13
3.3.2 Estimativa da Probabilidade ou Frequência.....	18
3.3.3 Análise das Consequências.....	19
3.3.4 Caracterização dos Riscos.....	19
3.3.4.1 Indicadores de Risco.....	20
3.4 GÁS NATURAL.....	23
3.4.1 Transporte de Gás Natural.....	23
3.4.2 Riscos Associados aos Gasodutos.....	24
3.4.3 Casos de Acidentes Ocorridos com Gasodutos.....	27
3.5 AVALIAÇÃO DE RISCO EM GASODUTOS.....	28
3.5.1 Etapas de uma Avaliação de Risco em Gasodutos.....	28
3.5.2 Probabilidade de Ocorrência de Falhas.....	29
3.5.3 Análise das Consequências.....	31
3.6 CRITÉRIO DE ACEITABILIDADE DOS RISCOS.....	33

4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	40
4.1.1 Localização do Empreendimento.....	40
4.1.2 Considerações Gerais.....	40
4.1.3 Descrição do Traçado.....	41
4.1.4 Características do Gás Transportado.....	43
4.1.5 Características do Gasoduto.....	43
4.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	44
4.3 MATERIAIS.....	45
5. O RAP – RELATÓRIO AMBIENTAL PRELIMINAR NO PROCESSO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....	47
5.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	47
5.2 O RAP ELABORADO PARA O GASODUTO DE DISTRIBUIÇÃO GÁS BRASILEIRO NO TRECHO DE SÃO CARLOS A PORTO FERREIRA.....	50
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
6.1 ANÁLISE DE PONTOS CRÍTICOS NO TRAÇADO DO RAP.....	52
6.1.1 Determinação do Traçado de Maior Viabilidade Ambiental do Gasoduto.....	56
6.2 IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS.....	65
6.3 ESTIMATIVA DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE EVENTO...	66
6.4 ANÁLISE DAS CONSEQUÊNCIAS.....	68
6.4.1 Definição da Zona de Perigo.....	68
6.5 CARACTERIZAÇÃO DOS RISCOS.....	75
6.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS RISCOS DOS TRAÇADOS: IMPLANTADO E ALTERNATIVO.....	83
7. CONCLUSÕES.....	86
8. RECOMENDAÇÕES.....	90
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
APÊNDICE A – DETERMINAÇÃO DA ZONA DE PERIGO.....	97
APÊNDICE B – CÁLCULO DO RISCO INDIVIDUAL.....	101
APÊNDICE C – CÁLCULO DO RISCO SOCIAL.....	114
APÊNDICE D – CURVAS DE FATALIDADE DOS TRECHOS CONSIDERADOS CRÍTICOS.....	130

1. INTRODUÇÃO

Há poucos anos o ser humano começou a perceber que o conjunto de valores que direcionam o desenvolvimento econômico e, conseqüentemente, a relação com o ambiente natural, encontrou uma barreira intransponível: os limites da biosfera. Assim, passou-se a buscar o conceito de desenvolvimento sustentável.

Entretanto, o desenvolvimento sustentável está longe de apresentar níveis aceitáveis, dada a manutenção das condições de pobreza, degradação ambiental e social em todo o mundo (SOUZA, 2000).

Para a adoção do modelo de desenvolvimento sustentável, uma das principais questões a serem resolvidas é a preservação da base ambiental e maior integração do econômico com o meio ambiente, buscando uma drástica redução dos processos de degradação dos recursos naturais. Assim, com o advento do conceito de desenvolvimento sustentável, aos poucos foram criadas ferramentas que servissem de base para melhor identificação e caracterização dos impactos causados pela ação antrópica no ambiente.

No Brasil, a preocupação com as questões ambientais é relativamente recente. Até a década de 1970, ações governamentais no sentido de compatibilizar as atividades humanas com a conservação do ambiente foram pontuais e, na maioria das vezes, desconectadas das políticas de desenvolvimento econômico.

Em 1981, com a Lei Federal 6.938/81 - Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) -, criou-se o arcabouço legal para que o meio ambiente pudesse ser considerado de maneira efetiva no processo de tomada de decisões. Além de ser responsável pela inclusão da componente ambiental na gestão das políticas públicas, pode ser considerada indutora de todo um capítulo na Constituição Federal de 1988.

A PNMA estabeleceu instrumentos destinados a harmonizar o desenvolvimento sócio-econômico com a conservação da natureza. Uma dessas ferramentas é a **Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)**, um instrumento que "trata de um conjunto de

procedimentos marcadamente preventivos dentro de um processo de controle ambiental e de estudo da viabilidade ambiental do empreendimento" (SOUZA, 1998). Sendo aplicável a políticas, programas, planos e projetos, no Brasil a AIA encontra-se apenas parcialmente estabelecida, uma vez que só se tem os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) para empreendimentos (projetos).

O EIA tem como objetivo descrever os impactos potenciais ambientais em decorrência de obras ou atividades a serem implantadas em determinada área, com sugestões específicas relacionadas a alternativas consideradas apropriadas para dirimir impactos negativos sobre o meio. Assim, é o instrumento da PNMA que avalia a viabilidade ambiental de empreendimentos. Em função de sua importância é utilizado como elemento indispensável no processo de licenciamento, tendo seu caráter prévio destacado ao ser exigido na fase de Licença Prévia.

O **Licenciamento Ambiental** - instrumento da PNMA - é procedimento administrativo que permite ao órgão ambiental competente licenciar a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais. É um instrumento que se mostra com estreita ligação com os processos de avaliação de impacto ambiental, e somente deverá ser concedido após a certeza da conciliação entre a atividade e a qualidade ambiental.

Dentre os princípios norteadores do Direito Ambiental brasileiro, o **Princípio da Precaução** assume, atualmente, um papel de destaque no procedimento de Licenciamento Ambiental, uma vez que objetiva afastar o perigo de dano ambiental em situações de incerteza quanto aos efeitos provocados por uma atividade.

Fundamentalmente, esse princípio preconiza que quando existem dúvidas científicas sobre os riscos provocados por uma atividade, empreendimento, processo ou produto, devem ser adotadas medidas destinadas a evitar a concretização de danos ao meio ambiente ou à saúde pública. Assim, a adoção de tal princípio faz com que se assumam a postura de "não esperar para se tomar ações contra sérias ameaças até que seja providenciada evidência científica" (VROM, 2003).

Outro princípio de suma importância no processo de Licenciamento Ambiental é o **Princípio da Prevenção**, o qual fundamenta que efeitos adversos conhecidos de atividades antrópicas devem ser prevenidos. A principal diferença entre os dois princípios (Precaução e Prevenção) está no fato do conhecimento ou não das possíveis consequências e efeitos adversos ligados a determinada atividade. Enquanto o Princípio

da Prevenção fundamenta que se sabendo os efeitos adversos estes devem ser prevenidos, o Princípio da Precaução preconiza que existindo dúvidas científicas sobre possíveis ameaças, medidas a fim de se evitar a concretização de tais danos devem ser adotadas. Ambos são princípios fundamentais que norteiam a legislação ambiental brasileira.

No caso de gasodutos, o Princípio da Prevenção torna-se fundamental, uma vez que as consequências de um acidente com um duto transportando gás natural já são bem conhecidos e estudados, e podem facilmente ser incluídos na análise de viabilidade ambiental do mesmo. Não é demais afirmar que tais princípios estarão sempre embutidos no trabalho aqui apresentado.

Para GRANZIERA (2001), o licenciamento decorre do poder de polícia, fundamentado nos princípios da prevenção e da supremacia do interesse público sobre o particular. Se a atividade estiver em desacordo com as normas, critérios, padrões e princípios da legislação ambiental, presume-se que a mesma esteja contrária ao interesse público e que, portanto, não deverá ser licenciada.

A função do licenciamento ambiental refere-se à necessidade de assegurar, o máximo possível, que a atividade econômica possa realizar-se com todos os benefícios que proporciona o desenvolvimento, sem prejudicar a capacidade do meio ambiente de atender às necessidades atuais e das gerações futuras, o que o coloca, também, a serviço do princípio do desenvolvimento sustentável.

A Resolução Conama 237/97, com vistas à orientação constitucional no sentido de prevenir o dano ambiental, regula o procedimento de Licenciamento Ambiental e prevê: “A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio dependerá de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA).”

No Estado de São Paulo, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA) editou a Resolução nº 42/94, instituindo o Relatório Ambiental Preliminar – RAP, conforme roteiro de orientação estabelecido pela SMA.

Embora inicialmente a resolução estadual tivesse a intenção de agilizar a tramitação do licenciamento das atividades modificadoras do meio ambiente previstas no artigo 2º, da Resolução Conama nº 01/86, infelizmente, padece de vícios insanáveis de inconstitucionalidade (AKAOUI, 2002).

Fato é que a função do EIA é analisar a viabilidade ambiental de empreendimentos e assim, também deveria ser a função do RAP. As vantagens e desvantagens relativas aos aspectos técnicos, institucionais e legais do uso do RAP ao invés do EIA ainda estão em discussão, e os resultados de licenciamentos de atividades obtidos através de RAP explicitam esses conflitos. Esses e outros problemas decorrentes da adoção do RAP pelo Estado de São Paulo são discutidos no capítulo 5 – *O RAP no processo de Licenciamento Ambiental*.

Se por um lado o EIA tem sido basicamente o único instrumento usado como subsídio para o Licenciamento, por outro, o EIA pode não ser completamente informativo quando as incertezas são grandes e importantes na análise do problema. Isso, em decorrência do uso de um número para representar o intervalo de valores que um parâmetro medido pode ter, e poder levar o analista – segundo seu juízo de valores - a escolhas mais otimistas ou conservadoras. Dessa maneira, pode não ser suficiente a elaboração do EIA, a fim de se verificar a conciliação entre empreendimento e qualidade ambiental.

Para algumas questões específicas, a avaliação de viabilidade ambiental pode requerer mais que um EIA. A Avaliação de Risco (AR) é uma ferramenta que pode interagir com o EIA de forma a complementar esta avaliação. Enquanto o EIA dá resposta sobre a viabilidade ambiental do empreendimento através da análise dos impactos previsíveis associados ao mesmo, a AR, para complementar a avaliação sobre a viabilidade ambiental do empreendimento, tenta quantificar riscos associados à determinada ação antrópica.

No Brasil, a AR é um instrumento muito pouco utilizado, mas com uso crescente, o que se aproxima muito da realidade de outros países considerados mais desenvolvidos (SOUZA, 1998). Assim, ao complementar a avaliação sobre a viabilidade ambiental do empreendimento, a AR Ambiental torna-se útil para o Licenciamento Ambiental de atividades.

A importância da aplicação de tal ferramenta se faz notória em atividades como gasodutos, que são um meio de transporte que merece atenção devido aos riscos de acidentes associados a sua presença em determinado local. Ao considerar o evento de um vazamento no gasoduto, pessoas próximas ao ponto de vazamento estarão em risco devido às propriedades inflamáveis e tóxicas do gás transportado.

O estudo de viabilidade ambiental necessita instrumentos que atribuam confiabilidade ao processo decisório e a Avaliação de Risco Ambiental (ARA) é uma ferramenta importantíssima em análises de novos empreendimentos que possam trazer riscos ao meio ambiente, a bens materiais e às pessoas. Em sendo assim, o principal motivo de escolha desta ferramenta decorre do fato de seu uso servir como instrumento para tomadas de decisões mais racionais e efetivas, em que exista possibilidade de danos, o que a torna útil na verificação da viabilidade ambiental de um empreendimento.

A ARA é aplicada ao transporte de gás natural por gasodutos, porque este combustível tem ganhado maior espaço na matriz energética do Brasil, principalmente após a construção do gasoduto internacional de transporte, o GasBol – gasoduto Bolívia-Brasil, com crescente tendência de expansão. Por esse motivo, ganha grande importância o estudo e avaliação dos riscos associados à instalação e operação de gasodutos para o transporte de gás até os centros consumidores. Dessa maneira, a incorporação do risco no estudo de viabilidade ambiental do gasoduto ajuda a estabelecer critérios para o traçado, considerando o Princípio da Prevenção.

Para tratar destas questões, o presente trabalho está estruturado da seguinte maneira: no primeiro capítulo – **introdução** – apresenta-se a justificativa e a contextualização da pesquisa; a seguir, são expostos os objetivos gerais do trabalho e os objetivos específicos. No terceiro capítulo é apresentada uma **revisão bibliográfica** a respeito dos temas pertinentes a este trabalho, procurando-se definir os principais conceitos ligados a Avaliação de Risco e de que maneira é encarada a elaboração desses estudos aplicados a gasodutos. Em seguida são apresentados os **materiais e métodos** utilizados no desenvolvimento do estudo de caso para que, no capítulo seguinte, possam ser expostos os **resultados e discussões** pertinentes ao tema. O capítulo seguinte contempla as **conclusões** gerais da pesquisa realizada e, a seguir, são apresentadas **recomendações** relacionadas ao estudo elaborado; ao final, são apresentadas as **referências bibliográficas** utilizadas para a elaboração da pesquisa.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta dissertação é verificar a utilidade da Avaliação de Risco para o processo de Licenciamento Ambiental de atividades. Assim, os riscos são avaliados e usados como critério fundamental para o estudo de localização do traçado do gasoduto, considerando o Princípio da Prevenção.

2.2 Objetivo específico

Especificamente, será aplicada ARA em estudo de caso: Gasoduto de distribuição Gás Brasileiro entre São Carlos e a cidade de Porto Ferreira, com aproximadamente 54 quilômetros de extensão. Para tanto, são estudadas alternativas de localização (traçado) considerando os riscos associados ao gasoduto.

3. RISCO E AVALIAÇÃO DE RISCO

Risco sempre foi uma parte vital no gerenciamento da informação na área financeira de investimentos e seguros. Riscos tecnológicos, por sua vez, passaram a ser analisados durante a II Grande Guerra em pesquisas de operações militares e, mais adiante, em energia nuclear e em exploração espacial (CARPENTER, 1995). Segundo o autor, o interesse, até então, limitava-se a eventos infreqüentes mas catastróficos.

Desde então, questões ambientais ganharam maior espaço e interesse em discussões de políticas públicas. Para Cornwell et al. (1989), devido a grande quantidade de acidentes trágicos que se tornaram “clássicos” (vazamento de metilisocianato em Bhopal, Índia; explosão da fábrica de GLP perto da Cidade do México, México; derramamento de óleo cru pelo Exxon Valdez perto do Alasca; vários incêndios e explosões em fábricas de processamento de hidrocarbonetos na área da costa do Golfo dos Estados Unidos), várias agências governamentais e o público em geral tornaram-se, cada vez mais, cientes dos riscos associados à produção, armazenagem, e transporte de materiais perigosos.

O uso da Avaliação de Risco serve como ferramenta para tomadas de decisões mais racionais e efetivas onde exista possibilidade de danos. Várias são as definições de risco, mas, de maneira geral, pode ser entendido como a combinação de dois conceitos: probabilidade e consequência. Assim, se decide sobre o quanto algo é arriscado respondendo a duas questões:

- Qual a probabilidade do evento acontecer? (probabilidade)
- Quão ruim seria se o evento acontecesse? (consequência)

A palavra “*hazard*” do inglês indica algo que pode causar dano ou ferimento; é algo que leva ao risco e, no presente texto, ela será traduzida pela palavra **perigo**.

A conexão entre risco e perigo é chamado de evento, ou seja, uma situação em que alguém ou algo fica exposto ao perigo. Por exemplo, uma panela com água fervente constitui um perigo e não risco, uma vez que pode causar dano a algo ou ferimento a

alguém que esteja exposto. Já um evento, considerando que uma pessoa esbarre e derrube a panela, pode levar à estimativa da probabilidade e severidade e, assim, ao risco. Portanto, só existe risco quando existir algo ou alguém que esteja exposto a um perigo.

Conway¹ apud Canter e Knox (1990) define risco como a medida da probabilidade e severidade de efeitos adversos; Berger² apud Canter e Knox (1990) define o termo como função da probabilidade de um evento acontecer e a magnitude ou severidade causada por esse evento.

Allen et al.(1992) definem risco como a probabilidade de eventos indesejados acontecerem em um período específico ou em circunstâncias específicas causadas pela realização de um perigo específico, podendo ser expresso como uma frequência ou uma probabilidade, dependendo da circunstância. Suter (1993) define o termo como a probabilidade de um efeito danoso específico acontecer, ou como a relação entre a magnitude do efeito e sua probabilidade de ocorrência.

Segundo a *Society for Risk Analysis* (SRA)³, risco é o potencial da realização de uma consequência adversa e indesejada à vida humana, saúde, propriedade, ou ao meio ambiente. Para Adams (1995), risco é a probabilidade de um adverso evento em particular ocorrer durante um período de tempo específico, ou como resultado de um desafio.

No entanto, muitas vezes os termos risco e incerteza são confundidos e usados como se tivessem o mesmo significado. Incerteza é a condição sob a qual não se tem a necessária informação para atribuir probabilidades para os resultados, o que dificulta a definição do problema e a identificação de soluções alternativas.

Segundo Frey e Burmaster (1999), incerteza representa ignorância parcial ou falta de informações perfeitas sobre fenômenos ou modelos mal caracterizados e é, fundamentalmente, uma propriedade do analista de risco, sendo redutível através de medidas e estudos adicionais.

¹ CONWAY, R. A. (1982). *Introduction to Environmental Risk Analysis*. Ch. 1 in *Environmental Risk Analysis for Chemicals*, R. A. Conway, editor, Van Nostrand Reinhold Company, New York, pp. 1-30.

² BERGER, I. S. (1982). *Determination of Risk for Uncontrolled Hazardous Waste Sites*. Proceedings of the National Conference on Management of Uncontrolled Hazardous Sites, Hazardous Materials Control Research Institute, Silver Spring, Maryland, pp. 23-26.

³ A *Society for Risk Analysis* é uma sociedade interdisciplinar profissional, fundada em 1981, voltada à análise de risco, gerenciamento de risco, e comunicação dos riscos. Maiores informações no site: <<http://www.sra.org>>

Segundo Adams (1995), risco e incerteza assumiram um papel em termos técnicos na literatura sobre risco e segurança desde 1921, quando Frank Knight anunciou em seu trabalho clássico “*Risk, uncertainty and profit*” que,

- não se sabendo exatamente o que irá acontecer, mas conhecendo-se as chances do que pode acontecer, isso é risco, e
- não se conhecendo nem as chances do que pode acontecer, isso é incerteza.

Incerteza está presente em todos os problemas ambientais, mas nem sempre se lida com ela explicitamente. Segundo Carpenter (1995), em EIAs, é usado um número para representar o intervalo de valores que um parâmetro medido pode ter, o que pode levar tanto a escolhas mais otimistas como a conservadoras, dependendo do analista. Quando as incertezas são grandes e importantes na análise do problema, o estudo pode não ser completamente informativo, e pode levar a erros nos resultados decorrentes da representação através de um número apenas.

Assim, a Avaliação de Risco proporciona uma forma prática na análise do problema, segundo as regras da teoria da probabilidade, expressando as probabilidades de todos os possíveis valores de cada parâmetro.

Risco pode ser estimado quantitativa ou qualitativamente. Se a probabilidade e a severidade podem ser quantificadas, o risco é simplesmente igual a probabilidade do evento pela severidade das consequências do evento. No entanto, estimar o risco nem sempre é tarefa fácil. Muitas vezes as consequências de um evento podem ser incertas (probabilidade do carro quebrar amanhã) ou discutíveis (severidade do aquecimento global).

Para Kolluru (1994), o conceito de Risco Ambiental tem importância significativa na avaliação e determinação dos alvos de uma política nacional de meio ambiente. Cada problema ambiental impõe a possibilidade de dano à saúde humana, à natureza, ao sistema econômico, ou à qualidade da vida humana. A Avaliação de Risco é o processo que estima a forma, dimensão e característica do risco.

Assim, o conceito de Risco Ambiental e suas metodologias e terminologias associadas ajudam as pessoas a discutir problemas ambientais com linguagem em comum, permitindo que muitos problemas ambientais sejam medidos e comparados em termos comuns.

Riscos podem ser modelados como uma cadeia ou seqüência de eventos como a figura abaixo:

Figura 3.1 – Seqüência de eventos

A quantificação do risco inclui definir o perigo, identificar o evento inicial que causaria o perigo, determinar as conseqüências ao sistema receptor e atribuir probabilidades de ocorrência desse evento (CANTER e KNOX, 1990).

O processo de determinação da natureza e da magnitude de um efeito adverso causado por um perigo, é chamado de Avaliação de Risco. Para Suter (1993), Avaliação de Risco pode ser definida como processo de atribuição de magnitudes e probabilidades aos efeitos adversos de atividades humanas ou de catástrofes naturais.

SRA define Avaliação de Risco como exame detalhado com o intuito de entender a natureza das conseqüências negativas e indesejadas à vida humana, saúde, propriedade, ou ao meio ambiente; é um processo analítico que fornece informações a respeito de eventos indesejáveis; é o processo de quantificação das probabilidades e conseqüências esperadas dos riscos identificados.

Segundo Allen et al. (1992), Avaliação de Risco é o termo usado para descrever o estudo de decisões sujeitas a conseqüências incertas. Para Berger apud Canter e Knox (1990), Avaliação de Risco inclui a identificação dos perigos potenciais, alocação da causa, estimativa da probabilidade do dano que resultará, e o balanço entre danos e benefícios causados pelo empreendimento analisado.

Para Mohamed e Antia (1998), o objetivo da Avaliação de Risco é, essencialmente, gerar informações necessárias para se tomar a melhor decisão possível levando-se em conta uma situação de perigo potencial.

3.1 Avaliação de Risco e Análise de Risco

Muitas vezes, Avaliação de Risco e Análise de Risco são usados como sinônimos. A confusão que existe entre o uso da Análise de Risco e da Avaliação de

Risco como sinônimos decorre das diferenças adotadas entre países, além do problema da tradução das principais terminologias usadas no campo de estudo em questão.

Por exemplo, no Canadá, a Análise de Risco é uma etapa da Avaliação de Risco. Já nos Estados Unidos, a Avaliação de Risco é uma etapa dentro da Análise de Risco que é vista de um ponto de vista mais abrangente, incluindo outras etapas.

De todos os países onde existe uma estrutura para o processo de Análise de Risco, cada um adotou uma estrutura específica para lidar com os mesmos. Os Estados Unidos sempre são referência para outros países que pensam adotar uma ou outra estrutura por serem um dos pioneiros com relação ao assunto (ver nota de rodapé 4). Assim, o termo Análise de Risco será usado de forma mais abrangente, incluindo também os aspectos relacionados ao Gerenciamento de Riscos.

Portanto, Avaliação de Risco é o processo que estima forma, dimensão e característica do risco e Gerenciamento do Risco é o uso dos resultados da Avaliação de Risco para mitigar, reduzir ou eliminar riscos inaceitáveis. É a procura de ações alternativas de redução de riscos e implementações que parecem ser mais efetivas quanto a custo. (CARPENTER, 1995).

A Avaliação de Risco pode ser considerada a primeira de duas fases no processo de se lidar com uma situação potencialmente perigosa. Mohamed e Antia (1998) afirmam que a fase de Avaliação do Risco providencia uma estimativa numérica da probabilidade de ferimento ou dano causado por uma situação perigosa, enquanto que a fase de Gerenciamento do Risco combina a Avaliação de Risco com a legislação regulatória, junto com as considerações socioeconômicas, técnicas, políticas, entre outras, para se alcançar uma decisão ecologicamente, economicamente e socialmente desejável.

Segundo o *National Research Council* (NRC)⁴, Avaliação de Risco e Gerenciamento de Risco têm funções analiticamente distintas mas, na prática, ambos precisam interagir. Como exemplo, Kolluru (1994) afirma que para completar a etapa de caracterização do risco, os “analistas de risco” necessitam saber quais opções políticas

⁴ O *National Research Council* é uma instituição privada, sem fins lucrativos fundada em 1916 no EUA, com o objetivo de providenciar conselho ao governo federal nos campos científico, tecnológico e de políticas de saúde. Em 1983, lançou o livro *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*, o qual se tornou a base para as Avaliações de Risco nos EUA.

podem ser usadas para calcular alternativas de exposições projetadas, além de novas opções poderem ser geradas enquanto acontece o processo de gerenciamento do risco.

3.2 Avaliação de Risco Ambiental

A Avaliação de Risco Ambiental (ARA) nada mais é que uma ferramenta para tomadas de decisões mais racionais e efetivas no campo ambiental. Carpenter (1995) afirma que a ARA tenta quantificar os riscos à saúde humana, aos bens econômicos e aos ecossistemas, gerados a partir de atividades humanas e fenômenos naturais que causam perturbações ao meio ambiente.

Segundo Carpenter (1995), a ARA apresenta a frequência e a severidade de consequências adversas ao meio ambiente de atividades ou intervenções planejadas, e em sendo assim, o EIA deve incluir a ARA quando o risco é importante, a fim de complementar a análise de viabilidade ambiental de determinado empreendimento.

Para Canter e Knox (1990), um dos aspectos chave da ARA está associado à determinação do transporte e destino de produtos químicos nas águas de superfície e subterrâneas, ar e solo. Outro aspecto chave, segundo os autores, está relacionado à determinação dos efeitos desses químicos que são liberados na natureza.

Muitas vezes a Avaliação de Risco é subdividida em áreas (riscos à saúde humana, ecologia e segurança), mas qualquer avaliação de risco tem início com a *identificação do perigo* ou definição do problema. Definidos os perigos, a próxima etapa é a *identificação das populações receptoras potenciais* e os *locais de exposição*. Posteriormente, na etapa de *caracterização do risco*, são caracterizadas natureza e magnitude das consequências de tal exposição.

3.3 Principais Etapas de uma Avaliação de Risco Ambiental

A Avaliação de Risco Probabilística é uma forma que se tem para quantificar o risco associado à determinada atividade. As quatro principais etapas são:

- 1 Identificação dos perigos
- 2 Estimativa da probabilidade/frequência
- 3 Análise das consequências
- 4 Caracterização do risco

A seguir, estas etapas são sucintamente descritas.

3.3.1 Identificação do perigo

Perigo é uma característica de um sistema ou processo que representa um potencial de acidente (fogo, explosão, vazamento tóxico). Nesta etapa de identificação, os perigos inerentes ou relacionados à operação e práticas existentes são explorados. Existem diversas maneiras de se abordar esta etapa, desde um *brainstorming* qualitativo através da técnica “*what-if*”, até procedimentos quantitativos como o FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) e o HazOp, dependendo do sistema estudado. O importante é identificar o máximo de perigos internos plausíveis e seus eventos associados.

Segundo Kolluru (1994), os “analistas de riscos” devem:

- Definir os limites analíticos;
- Identificar os perigos geralmente associados ao empreendimento, e sua operação;
- Determinar inventários de materiais perigosos, localização, transporte, e manuseio;
- Identificar eventos iniciantes;
- Revisar procedimentos de segurança de engenharia e administrativos;
- Identificar potencial de vazamentos catastróficos repentinos baseado em cenários de falha creditáveis.

A etapa de identificação dos eventos iniciantes é onde se constrói uma lista de eventos considerados anormais dentro do sistema de análise, que podem resultar em exposição ao perigo se este não for remediado corretamente.

A seguir, estão listadas algumas das técnicas usadas na etapa de identificação dos eventos iniciais (fonte: OSHA⁵):

A) Análise *What-if*

Serve de revisão do processo desde os materiais primários até o produto final. Em cada etapa, questões do tipo “e se” são formuladas e respondidas para avaliar os efeitos de falhas de determinados componentes ou erros no processo.

Consiste em uma técnica de *brainstorming* para explorar possibilidades e considerar os resultados de eventos indesejados ou inesperados (e. g., e se o operador abrir a válvula errada; e se for usado um material com a concentração errada).

B) Checklist

Para processos mais complexos, o estudo “*what-if*” pode ser mais bem organizado através do uso de “*checklists*”, que são listas detalhadas dos requerimentos ou etapas para avaliar o estado de um sistema ou operação e assegurar a conformidade com os padrões dos procedimentos de operação.

C) Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

É um estudo metódico de falhas em componentes. A revisão começa com um diagrama da operação, e inclui todos os componentes que poderiam falhar e, com isso, afetar a segurança da operação. Exemplos típicos são instrumentos transmissores, controladores, válvulas, bombas, etc. Estes componentes são listados em uma tabela de dados e analisados individualmente sobre o seguinte:

- Modo de falha potencial, (e.g., aberto, fechado, ligado, desligado, vazamentos, etc.);
- Consequências da falha; efeitos em outros componentes e efeitos em todo o sistema;
- Classe do perigo (e.g., alta, moderada, baixa);
- Probabilidade de falha;
- Métodos de detecção.

⁵ A *Occupational Safety and Health Administration* é uma agência federal dos Estados Unidos. As técnicas listadas acima foram tiradas do seguinte documento:
OSHA 3133 – *Process Safety Management – Guidelines for Compliance*.

D) Hazard and Operability Study (HazOp)

Consiste em um método estruturado de investigar sistematicamente problemas potenciais de operação que podem causar um desvio nos parâmetros com relação às condições do projeto, levando a criação de perigos e problemas nas operações.

Parâmetros pertinentes são escolhidos, como vazão, pressão, temperatura e tempo. Então, os efeitos causados pelos desvios de cada parâmetro são examinados. O sistema é avaliado como projetado e com os desvios notados. Todas as causas de falhas são identificadas. A avaliação é feita pesando as consequências, causas, e requerimentos de proteção envolvidos.

E) Árvore de Evento e Árvore de Falha

Uma ferramenta que providencia uma maneira estruturada para a quantificação do risco é a árvore de evento, que possibilita a investigação das consequências dos eventos iniciantes. Uma árvore de evento é um diagrama que descreve todas as consequências possíveis de um evento iniciante.

Cria-se uma árvore selecionando-se um evento iniciante e identificando-se todas as consequências relevantes, e sistematicamente, ir tratando cada consequência como um novo evento e identificando suas consequências, assim por diante.

Essa estrutura de possíveis eventos consequentes formando galhos a mais eventos possíveis forma uma árvore, possibilitando traçar os caminhos causais dos eventos.

E.1) Exemplo de Árvore de Evento

Um exemplo simples de uma árvore de eventos é apresentado na figura 3.2. O evento iniciante é um incêndio, pelo o qual são identificadas duas possíveis consequências: o sistema de extinção de incêndio, e a chamada do corpo de bombeiros.

Figura 3.2 – Árvore de evento
(Adaptado de Hastings, 2001)

Começando pelo sistema de extinção de incêndio como o próximo nível de eventos, identificam-se duas consequências possíveis: o sistema de extinção de incêndio funciona ou falha. Para cada resultado cria-se um novo galho: o corpo de bombeiros, nos quais também são identificadas consequências de sucesso ou falha. Nesse ponto a árvore para, pois não se têm mais consequências para incluir.

Após legendar os resultados, pode-se ver que o evento iniciante de um incêndio poderia levar a qualquer das três consequências na figura: o sistema fica OK, danos parciais, ou destruição total. Posteriormente, são definidas as probabilidades de cada galho e depois as agregando, calcula-se a probabilidade de cada resultado possível. Por fim, quantifica-se a severidade de cada resultado e determina-se o risco.

Árvores de eventos contém informações importantes, como pontos onde medidas de precaução críticas podem ou não funcionar. Para se obter informações sobre quão provável um sistema irá ou não funcionar, pode-se utilizar a análise por **árvores de falhas**.

Uma árvore de falha é similar a uma árvore de evento, pois também começa com um evento, mas ao invés de seguir determinando as consequências, traça as causas deste evento através de uma “análise reversa”.

A figura 3.3 apresenta uma árvore de falha para o exemplo do incêndio. Ela começa com o problema que queremos analisar, conhecido como evento (ou falha) topo, que neste caso é o sistema de extinção de incêndio falhando em sua execução. O que poderia causar isto? O sistema nunca é ativado, ou ele é ativado mas falha durante sua operação. Esses eventos estão ligados por uma “ponte-OR”, pois depende apenas de um

deles acontecer para causar a falha. Agora são adicionados novos galhos traçando suas causas. O sistema nunca é ativado se os sensores automáticos falham e não acontece a ativação manual. Estes estão ligados por uma “ponte-AND”, pois é necessário que os dois eventos aconteçam para causar a falha. Finalmente, o sistema não funciona, mesmo se ativado, se a água não atingir o sistema ou se as válvulas falharem e não abrirem.

Os eventos no final dos galhos da árvore de falha são chamados “eventos básicos” ou “causas raiz” (*root cause*). Atribuem-se probabilidades para cada “causa raiz”, e combinam-se essas probabilidades para se obter a probabilidade do evento um nível acima. Continua-se dessa maneira, nível a nível, até se obter a probabilidade da falha do topo ou o evento que originou esta árvore de falha. Assim, com as informações obtidas, pode-se atualizar a árvore de eventos. A figura 3.4 mostra um exemplo de árvore de evento com quantificação.

Figura 3.3 – Árvore de falha
(Adaptado de Hastings, 2001)

Figura 3.4 – Árvore de evento com quantificação
(Adaptado de Hastings, 2001)

A partir das informações de probabilidade e severidade fornecidas pela figura 3.4, o próximo passo é uma questão de cálculo: a probabilidade geral de um resultado OK (danos de \$1000), é $(0.9)(0.95) = 85.5\%$; a probabilidade de danos parciais (\$500.000), é $(0.9)(0.05) + (0.1)(0.7) = 11.5\%$; e a probabilidade de perda total (\$3.500.000), é $(0.1)(0.3) = 3\%$.

Combinando as informações sobre probabilidade e severidade, pode-se calcular o risco médio geral de danos causados por um incêndio: $(0.855)(-\$1.000) + (0.115)(-\$500.000) + (0.03)(-\$3.500.000) = -\163.355 .

As árvores de evento e de falha podem ser utilizadas para identificar áreas problemáticas e/ou seqüências que levem a resultados adversos. Isso pode ser usado para direcionar os esforços no Gerenciamento do Risco, como por exemplo, avaliar os efeitos de ações alternativas para reduzir a probabilidade de ocorrência do evento adverso.

3.3.2 Estimativa da Probabilidade ou Frequência

Essa etapa envolve estimar a frequência de ocorrência dos eventos e situações identificados na etapa anterior. Tipicamente, o desenvolvimento das frequências esperadas requer uma síntese de dados históricos, modelos de causas (e. g., árvore de evento e de falha), e julgamento de especialistas:

- Desenvolvimento de cenários de acidentes;
- Coletar dados da indústria ou empreendimento;
- Quantificar as frequências dos vários cenários;
- Delinear os contribuidores “chave” e suas influências.

3.3.3 Análise das Consequências

A Análise das Consequências envolve atividades que tentam “ligar” as fontes de perigo com os receptores potenciais:

- Caracterizar as fontes quanto a forma, quantidade, e a taxa de material e energia liberados para o meio ambiente;
- Estimar, por medidas e/ou modelos, transporte de materiais e propagação de energia pelo meio ambiente até os receptores de interesse;
- Avaliar os efeitos na segurança e saúde relacionados aos níveis de exposição projetados, especialmente concentrações atmosféricas;
- Identificar impactos ambientais;
- Estimar perdas e danos à propriedade, e outros impactos econômicos

No entanto, é interessante salientar que danos à propriedade, desapropriação, indenizações e impactos econômicos não caracterizam objeto do licenciamento ambiental, o qual leva em conta apenas os efeitos na saúde, avaliando principalmente os riscos de fatalidade associados ao empreendimento em análise.

3.3.4 Caracterização dos Riscos

É a etapa em que os riscos são determinados e estimados. Para tal, os resultados das análises de probabilidade e de consequências são integrados. A estimativa do risco é geralmente desenvolvida para ambos os riscos individuais e sociais (ou populacionais).

Risco individual é a probabilidade de ferimento, fatalidade ou doença no caso de indivíduos expostos, dentro de uma população. **Risco social** é uma estimativa da incidência dentro de uma população total que está potencialmente exposta.

No Estado de São Paulo, a CETESB adota o uso dos riscos individuais e social como forma de se avaliar o risco associado a determinada atividade. Os critérios que determinam se um risco calculado é considerado aceitável são discutidos mais a frente na seção 3.6 – página 33.

A figura 3.5 apresenta um esquema que representa a ligação entre as etapas de uma Avaliação de Risco descritas. Os resultados obtidos com a Avaliação de Risco servem como “input” na fase de tomada de decisão e planejamento. Assim, é importante para a etapa de Gerenciamento de Risco no sentido de reduzir, mitigar ou eliminar riscos inaceitáveis.

Figura 3.5 – Etapas de uma Avaliação de Risco
(Adaptado de Kolluru, 1994)

3.3.4.1 Indicadores de Risco

As medidas ou indicadores de risco podem ser fatalidades, ferimentos, invalidez, e perda econômica. Risco pode ser expresso como individual ou social.

Indicadores de Risco devem ser desenvolvidos para ambos os riscos - individuais e sociais -, e apresentados em linguagem simples. Riscos às pessoas geralmente são apresentados em termos de ferimentos e fatalidades; no entanto, é difícil definir uma graduação para ferimentos e fazer comparações entre os mesmos.

Três formas de se expressar o risco são:

1. Plotagem dos contornos de risco (do inglês, *risk contour plot*) ao redor de uma fonte de risco, mostrando linhas de “iso-risco” para ferimentos e fatalidades.
2. Perfil de risco (do inglês, *risk profile*), individual ou populacional, mostrando as frequências esperadas vs. distância da fonte, ou frequência vs. magnitude das consequências.
3. Curvas F-N (frequência-número) que é um gráfico logarítmico da frequência acumulada vs. consequências, i.e., frequência acumulada dos eventos que causam N ou mais fatalidades ou outros efeitos.

(A)

(B)

Figura 3.6 – Exemplos de indicadores de risco: (A) contorno de risco; (B) curva F-N
(Fontes: Kolluru, 1994 (adaptado); CETESB, 2000)

A figura 3.6-A mostra um exemplo de contorno de risco relativo a um indústria dentro de um distrito industrial, o qual está circundado por áreas residenciais e comerciais. Nota-se que a área residencial está situada na faixa de risco de fatalidade de 10^{-6} (1 chance em 1.000.000) a 10^{-5} (1 chance em 100.000) por ano. Já a figura 3.6-B mostra critério usado para avaliar os riscos sociais através de curva F-N. Esta é a figura que é usada como critério no Estado de São Paulo pela CETESB. Maiores detalhes sobre curvas F-N serão apresentados na seção 3.6.

As três formas de representação dos riscos mencionadas anteriormente podem ser muito úteis quando usadas em análises técnicas, mas métodos mais diretos são mais recomendados para apresentação dos riscos ao público. Isso pode ser feito comparando-se os riscos associados a um perigo com outros riscos aos quais a sociedade comumente aceita e está exposta todos os dias, como riscos de fatalidades causados por:

- *riscos voluntários*: fumar cigarros, dirigir carro, andar de moto, jogar futebol, escalar montanha, tomar pílulas contraceptivas;
- *riscos involuntários*: gripe, leucemia, atropelamento, enchentes, tornados, terremotos.

A tabela 3.1 apresenta um exemplo de riscos médios de alguns eventos e atividades com os quais as pessoas lidam no dia a dia.

Embora essa forma de apresentação dos riscos pode ser interessante, facilitando a compreensão das pessoas do que representa o valor obtido para o risco associado a determinado perigo, esse tipo de comparação pode levar a distorções do que representa realmente o resultado obtido. Riscos habituais considerados aceitáveis por muitos (por exemplo, fumar) podem acabar por mascarar o real significado do risco imposto pela atividade analisada. No capítulo 6 – *Resultados e Discussão* (tabela 6.4, página 76), apresenta uma discussão mais aprofundada das implicações relativas ao uso desse tipo de comparação.

Tabela 3.1 – Exemplo de valores para comparação entre riscos.

Riscos Voluntários		Riscos Involuntários	
<i>Atividade</i>	<i>Risco de Morte por Pessoa por Ano ($\times 10^{-6}$)</i>	<i>Atividade</i>	<i>Risco de Morte por Pessoa por Ano ($\times 10^{-6}$)</i>
Fumar cigarros (20 cigarros/dia)	5000	Leucemia	80
Andar de moto	2000	Atropelamento (EUA)	60
Dirigir carro (EUA)	170	Enchentes (EUA)	2.2
Escalar montanha	40	Terremotos (Califórnia-EUA)	1.7
Tomar pílulas contraceptivas	20	Tempestades (EUA)	0.8

(Fonte: Cornwell et al., 1989; Kletz, 1976)

3.4 Gás Natural

A composição típica do gás natural pode variar dependendo do fato de estar associado ou não ao óleo, ou de ter sido ou não processado em unidades industriais. É basicamente constituído de metano (mais de 80%), etano (menos de 10%) e, em menores proporções, propano e hidrocarbonetos de maior peso molecular (fonte: Gaspetro⁶).

Gás associado é aquele que, no reservatório, está dissolvido no óleo ou sob a forma de capa de gás. Neste caso, a produção de gás é determinada diretamente pela produção do óleo. Caso não haja condições econômicas para a extração, o gás natural é reinjetado na jazida ou queimado, a fim de evitar o acúmulo de gases combustíveis próximos aos poços de petróleo. Gás não associado é aquele que, no reservatório, está livre ou em presença de quantidades muito pequenas de óleo.

O gás natural é tido como alternativa energética mais limpa que os tradicionais derivados de petróleo e, nos últimos anos, seu consumo tem crescido, consideravelmente, no uso doméstico, principalmente em países industrializados. No Brasil, após a construção do gasoduto Bolívia-Brasil, o gás natural, com o tempo, deve se tornar um combustível mais utilizado, aumentando sua participação na matriz energética nacional. Como resultado, sistemas de transporte têm sido instalados para distribuição do gás.

Devido às propriedades inflamáveis do gás natural, esse tipo de combustível merece atenção especial relativa aos danos que pode causar em casos acidentais.

3.4.1 Transporte de Gás Natural

No estado gasoso, o transporte do gás natural é feito por meio de dutos ou, em casos muito específicos, em cilindros de alta pressão (como GNC - gás natural comprimido). No estado líquido (como GNL - gás natural liquefeito), pode ser transportado por meio de navios, barcaças e caminhões criogênicos, a -160°C, e seu volume é reduzido em cerca de 600 vezes, facilitando o armazenamento. Nesse caso,

⁶ Criada em maio de 1998, a Gaspetro é responsável por toda a estrutura de transporte, comercialização e armazenamento de gás natural. Informações obtidas no site: <http://www.gaspetro.com.br/propr.htm>

para ser utilizado, o gás deve ser revaporizado em equipamentos apropriados (fonte: ANP⁷).

A força que faz com que o transporte de gás nos gasodutos aconteça é a pressão, que gradualmente se dissipa e, sendo assim, uma série de estações de compressão são posicionadas ao longo do caminho do gasoduto. Cada estação tem um grande número de compressores que aumentam a pressão do gás, a fim de “empurrá-lo” até a próxima estação.

Além dos gasodutos de transporte (em inglês é usado o termo *transmission*), existem os de transferência e de distribuição. Os gasodutos de transferência são de uso particular do proprietário ou explorador das facilidades, e conduzem a matéria-prima até o local de processamento ou utilização. De forma semelhante, os gasodutos de distribuição levam o gás canalizado recebido das transportadoras até os usuários finais.

A distribuição é a etapa final do sistema de fornecimento. É o momento em que o gás chega ao consumidor para uso industrial, automotivo, comercial ou residencial. Nessa fase, o gás já deve atender a padrões de especificação e, praticamente, isento de contaminantes, para não causar problemas aos equipamentos nos quais será utilizado como combustível ou matéria-prima. Quando necessário, deverá também estar odorizado, para ser detectado facilmente em caso de vazamentos.

3.4.2 Riscos Associados aos Gasodutos

No caso de falhas no gasoduto que resultem em vazamentos, pessoas próximas ao ponto da falha podem estar em risco devido as propriedades inflamáveis e tóxicas que o gás pode ter. Assim, por onde passam, gasodutos impõem riscos associados a acidentes que podem resultar em fatalidades, ferimentos e danos à propriedade, decorrentes de explosões e incêndios.

Em muitos casos, o traçado de gasodutos é feito paralelo a estradas já existentes e, em trechos rurais, inevitavelmente atravessam terras usadas para a agricultura. Em regiões onde se têm fazendas dos dois lados da estrada, existe, então, a possibilidade de desvalorização da propriedade por onde passa o gasoduto; desvalorização essa associada à possibilidade de acidentes. Mesmo se enterrados, gasodutos podem ser danificados por várias atividades.

⁷ Informações obtidas junto ao site da Agência Nacional do Petróleo:
<http://www.anp.gov.br/gas/index.asp>.

Segundo Arnaldos et al. (1998), em uma análise histórica feita em 185 acidentes envolvendo gás natural, 67% deles ocorreram em gasodutos, e as causas mais frequentes foram falha mecânica, erro humano e eventos externos (como as falhas de impacto). Entre os acidentes de falha de impacto, a causa mais frequente foi de maquinaria de escavação. Esses acidentes podem resultar em perfuração do duto ou mesmo em sua completa ruptura, ocasionando vazamento do gás o que possibilitaria a ocorrência de explosões e incêndios, com conseqüências desastrosas.

Ao longo do duto, é estabelecida uma faixa de servidão, que é desapropriada e deve permanecer desocupada, servindo de acesso para atividades de inspeção e manutenção do sistema. Essa faixa de servidão é considerada de utilidade pública. No entanto, o local ao lado dessa faixa de servidão não é desapropriado, continuando a porção de terra sob responsabilidade do dono do terreno. Essa área pode ser utilizada com certas restrições, inclusive para agricultura, o que poderia levar a acidentes com a maquinaria utilizada.

Outro problema está relacionado à possível falta de conhecimento, por parte do proprietário da terra, do local exato por onde passa o gasoduto. Pelo fato da demarcação ser muito precária em vários trechos, muitos proprietários podem nem saber da existência de tal gasoduto ao adquirirem um imóvel que teve, dentro de seus limites, um gasoduto instalado há algum tempo. Isso pode acontecer, mesmo porque a existência de um gasoduto pode tornar o imóvel menos atrativo, e com isso sua indicação para futuros compradores pode ficar ofuscada.

O não conhecimento do local exato por onde passa o gasoduto pode levar a acidentes decorrentes de obras e construções de cercados e piscinas por exemplo, o que pode-se considerar muito corriqueiro em chácaras e sítios.

Por outro lado, merecem atenção especial gasodutos instalados em zonas urbanas, i.e., em áreas com alta densidade populacional, pois acidentais vazamentos do gás podem causar perigo físico à população, ou mesmo significativas perdas econômicas.

De acordo com o *National Transportation Safety Board* (NTSB)⁸ (1997), acidentes em gasodutos resultam em menos fatalidades anualmente comparadas a outros

⁸ *National Transportation Safety Board* é uma agência federal independente dos Estados Unidos que investiga acidentes em vários modos de transporte, dentre os quais: ferrovias, rodovias, transporte marinho e dutos.

modos de transporte, no entanto, o acidente de um único gasoduto tem o potencial de causar um desastre catastrófico que pode ferir centenas de pessoas, afetar milhares mais, e custar milhões de dólares em termos de danos à propriedade, perda de oportunidades de trabalho, desintegração social, danos ecológicos. Escavações e atividades de construção são as maiores causas de acidentes em gasodutos.

Para Zúñiga-Gutiérrez et al. (2002), quatro fatores são importantes no que respeita a danificação de gasodutos: (a) a possibilidade da população local danificar o gasoduto, intencionalmente ou não, aumenta com a densidade populacional, (b) atividade agrícola ao longo da rota do gasoduto aumenta a probabilidade de acidentes, (c) o risco de acidente aumenta quando o gasoduto é mais longo e existem mais pontos de inflexão na rota, (d) a probabilidade de acidente é maior quando a topografia é mais acidentada e menor quando plana.

Para Cornwell et al. (1989), não se pode falar em gasodutos 100% seguros. A questão principal é decidir se eles são seguros o suficiente, i. e., o público (sociedade) aceitará o risco associado à operação de gasodutos? Assim, a resposta para essa questão pode ser dada a partir dos resultados obtidos com a aplicação da ARA ao gasoduto.

3.4.3 Casos de Acidentes Ocorridos com Gasodutos (gás natural)

A figura 3.7 agrega doze casos obtidos em diversas fontes, e descreve as consequências de cada acidente. Tais exemplos demonstram a magnitude das consequências de um acidente causado por vazamento de gás natural de dutos.

Local	Ano	Fonte	Diâmetro do Duto (cm)	Pressão (psig)	Mortes	Feridos	Danos a Propriedade
Houston, Texas (EUA)	1969	NTSB/PAR-71/01	35.5	789.0	0	9	13 residências
Ufa, Sibéria (Rússia)	1989	PAPADAKIS (1999)	*	*	600	>500	2 trens
Venezuela	1993	NTSB (1997)	25.4	*	51	34	Um ônibus e 9 carros
Waterloo, Iowa (EUA)	1994	NTSB/PAB-98/02	1.26	25.0	6	7	9 carros, 4 prédios e 250 mil dólares
Latchford, Ontário (Canadá)	1994	TSBC/P94H0036	91.4	962.86	0	0	Danos ao gasoduto e 4.77 hectares queimados
Allentown, Pennsylvania (EUA)	1994	NTSB/PAR-96/01	5.0	55.0	1	66	> 5 milhões de dólares
Rapid City, Manitoba (Canada)	1995	TSBC/P95H0036	106.7	847.37	0	1	Danos ao gasoduto e 19.6 hectares queimados
Indianápolis, Indiana (EUA)	1997	NTSB/PAB-99/02	50.8	310.0	1	1	> 2 milhões de dólares
St. Cloud, Minnesota (EUA)	1998	NTSB/PAR-00/01	2.54	60.0	4	11	6 prédios e 400 mil dólares
Loudoun County, Virginia (EUA)	1998	NTSB/PAR-01/01	1.91	31.5	1	3	5 residências e 2 carros
Bridgeport, Alabama (EUA)	1999	NTSB/PAB-00/01	1.91	35.0	3	6	> 1 milhão de dólares
Eddy County, Novo México (EUA)	2000	CNN.com de 05/09/2000	76.2	*	12 (5 crianças)	*	*

Figura 3.7 – Acidentes envolvendo gasodutos em vários países

Obs.:

* – como diversas fontes foram utilizadas, não foi possível obter algumas informações a respeito do acidente ocorrido.

3.5 Avaliação de Risco em Gasodutos

Falhas em gasodutos podem impor ameaças às pessoas, ao meio ambiente e às propriedades na vizinhança próxima ao local do vazamento. Assim, vazamentos em gasodutos impõem riscos que, decorrentes de incêndios (efeitos da radiação térmica) e explosões (efeitos da sobrepressão), podem resultar em fatalidades, ferimentos, danos à propriedade.

A fim de se quantificar os riscos associados a um gasoduto, é necessário quantificar tanto a probabilidade que o gasoduto irá falhar e liberar gás para o meio ambiente quanto as consequências de tal vazamento. As consequências potenciais de vazamentos de gás incluem danos às construções (casas e prédios), incêndios na vegetação no entorno do gasoduto e, ainda, mortes e ferimentos às pessoas próximas ao ponto de vazamento.

3.5.1 Etapas de uma Avaliação de Risco em Gasodutos

A avaliação pode ser dividida nas seguintes etapas:

Etapas 1: Determinar as hipóteses de acidentes potenciais que resultariam em vazamento de gás do gasoduto.

Etapas 2: Determinar a frequência de ocorrência de cada acidente potencial. É preciso fazer distinção entre frequências para rupturas e furos.

Etapas 3: Determinar a exposição do público a cada acidente potencial. Essa exposição será função dos seguintes fatores:

- I. localização do acidente
- II. orientação do vazamento
- III. direção do vento
- IV. velocidade do vento
- V. estabilidade atmosférica
- VI. composição do gás
- VII. localização da fonte de ignição
- VIII. características do terreno no local

Etapas 4: O processo de determinação do risco ao longo da rota do gasoduto é feito da seguinte forma:

- I. cálculo das zonas de perigo no local selecionado, considerados os seguintes cenários acidentais: bola de fogo, jato de fogo, nuvem de vapor tóxico, nuvem de vapor inflamável, explosão de nuvem de vapor não confinado
- II. cálculo das probabilidades de ocorrência de cada cenário acima.
- III. soma das probabilidades de cada um dos perigos considerados para todos os acidentes no local selecionado ao longo do gasoduto.
- IV. efetuado o somatório das probabilidades de ocorrência no local selecionado, move-se o estudo alguns metros e efetuam-se os cálculos para o novo local através das etapas II a IV. O local de vazamento assumido para efetuar os cálculos deve ser movido ao longo da rota do gasoduto várias vezes até seu final. Com isso, pode-se determinar a exposição potencial total para a rota do gasoduto durante um período de tempo selecionado.

Métodos de representação dos riscos como curvas F-N e contornos do risco (vide seção 3.3.4.1) podem ser muito úteis quando usadas em análises técnicas, mas métodos mais diretos são mais recomendados para apresentação dos riscos ao público. Isso pode ser feito comparando-se os riscos associados ao gasoduto com outros riscos aos quais a sociedade comumente aceita e está exposta todos os dias.

Calculado o risco associado ao gasoduto, é possível, então, apresentá-lo em uma tabela de riscos involuntários e voluntários, como mostra a tabela 3.1 (pág 22). Assim, é possível comparar o risco associado ao gasoduto com outros riscos.

3.5.2 Probabilidade de Ocorrência de Falhas

Risco pode ser expresso através do produto da probabilidade de ocorrência de um evento perigoso e as conseqüências desse evento. Sendo assim, para quantificar os riscos associados a um gasoduto, é necessário quantificar a probabilidade de um gasoduto falhar e liberar gás ao meio ambiente.

Assim, uma parte importante na avaliação de risco é a quantificação da probabilidade de ocorrência de vazamentos e rupturas em gasodutos. Essas probabilidades são estimadas a partir de dados históricos sobre acidentes e vazamentos. Em países como os Estados Unidos, que utilizam gasodutos há mais de 50 anos, esse tipo de informação é mais facilmente acessível.

No caso do Brasil, a estimativa das probabilidades de falhas em gasodutos fica condicionada aos bancos de dados internacionais, como o do Departamento de

Transporte (DOT)⁹ e o do NTSB ambos dos Estados Unidos, e o *do European Gas Pipeline Incident Data Group* (EGIG)¹⁰ na Europa.

O mais comum indicador de performance usado pelas fontes de banco de dados acima mencionadas refere-se ao número de incidentes ou falhas no sistema de dutos, dentro de um intervalo de tempo. Sendo assim, temos:

x : número de eventos ou falhas no sistema de gasodutos em um intervalo de tempo $(t-t_0)$, em anos.

L : comprimento do sistema de gasodutos, em quilômetros.

E : exposição do sistema, em km-ano, onde, $E = \int_{t_0}^t L \cdot dt$

f : frequência de falha, $f = x/E$, em falhas por quilômetro de duto por ano.

Nos Estados Unidos, muitas análises de risco usam o valor de 1.0×10^{-3} falhas por ano por milha de gasoduto, baseado em dados do DOT. No entanto, Cornwell et al. (1989) afirmam que os investigadores devem fazer suposição sobre qual porcentagem das falhas é devida a rupturas (falhas completas) e qual porcentagem é devida a vazamentos (falhas parciais); isso porque os dados do DOT não fazem distinção entre esses dois tipos de falha.

As principais causas de falhas encontradas em gasodutos são intervenção de terceiros (principalmente em escavação), defeitos em materiais e corrosão (NTSB, 1997). Cornwell et al. (1989) citam alguns métodos disponíveis para se reduzir as frequências das falhas associadas a tais causas:

- acesso restrito à faixa de servidão do gasoduto pode ser a única maneira real de se reduzir a probabilidade de intervenções de terceiros. Segundo os autores, na maior parte das vezes, isso não é prático nem viável em boa parte do traçado.
- Uso de métodos que dificultam o acesso (por escavação) ao duto como: placas de concreto, uso de tubos camisa (um tubo dentro de outro), faixas de aviso enterradas pouco acima do duto.
- seleção de materiais, *design* do gasoduto e controle de qualidade podem afetar a frequência de falhas em gasodutos devido a defeitos de materiais.

⁹ Department of Transportation (DOT). Maiores informações no site: www.dot.gov

¹⁰ European Gas Pipeline Incident Data Group. Site: www.gastransportservices.nl/egig

- composição do gás, seleção de materiais, desidratação do gás, uso de inibidores de corrosão, dutos revestidos e sistemas de proteção catódica podem afetar a taxa de corrosão dos dutos.

Embora seja lógico assumir que melhorias em materiais, *design*, controle de qualidade, prevenção de corrosão etc., levarão a frequências mais baixas de falhas em gasodutos, existem muito poucos dados documentados considerando a real eficácia desses esforços.

3.5.3 Análise das Conseqüências

Outra importante fase da análise de risco ambiental em gasodutos é a análise das conseqüências, na qual se devem prever as potenciais zonas de perigo, de ferimento e fatalidades, devido a vazamentos de gases inflamáveis e tóxicos. Ao se analisar vazamentos de gás transportado em gasodutos, seis cenários acidentais devem ser considerados:

1. nuvem de vapor tóxico
2. nuvem de vapor inflamável sem ignição
3. bola de fogo (em inglês, *fireball*)
4. jato de fogo (em inglês, *jet fire*)
5. *flash fire* ou *Vapor Cloud Fire (VCF)*
6. explosão de nuvem de vapor não confinado (em inglês, *Unconfined Vapor Cloud Explosion - UVCE*)

Se o fluido do gasoduto tem um componente tóxico, como H_2S , o vazamento para a atmosfera pode ser perigoso para as pessoas que inalarem o gás tóxico. Ao avaliar a exposição potencial a materiais tóxicos, para se definir as zonas de perigo, deve ser usado uma combinação da duração da exposição (tempo) e concentração do gás tóxico.

Um vazamento de gás inflamável de um gasoduto criará uma zona de perigo dentro da qual a mistura gás/ar é inflamável. Pessoas envolvidas por essa nuvem de vapor inflamável podem ficar seriamente feridas devido a efeitos do calor caso a nuvem de vapor se incendeie.

Segundo Cornwell et al. (1989), nos anos 70 pesquisadores já realizavam estudos do comportamento da dispersão de jatos de gás em alta velocidade não

incendiados. O autor cita o trabalho produzido por Ooms¹¹ o qual desenvolveu modelos que prevêm acuradamente a máxima extensão das nuvens inflamáveis produzidas por vazamentos de gás de dutos pressurizados.

Em gasodutos transportando gás natural, a possibilidade de ocorrência de VCF (ou *flash fire*) decorrente de ignição demorada é extremamente pequena devido ao fato do gás ser mais leve que o ar. Essa possibilidade diminui ainda mais com a ação do vento. Quanto mais forte o vento, mais difícil acontecer o fenômeno ‘Incêndio da Nuvem de Vapor’ (em inglês, *Vapor Cloud Fire*).

Em um evento de ruptura do gasoduto, forma-se uma nuvem de gás no formato de um cogumelo, nuvem que se estabelece e então cresce em tamanho. Essa nuvem, no entanto, se dispersa rapidamente, e se estabelece um jato de gás quase constante. No caso da ignição ocorrer imediatamente após a ruptura, ter-se-á uma bola de fogo. Por outro lado, se a ignição não for imediata, mas ocorrer após algum tempo depois da ruptura, ocorrerá um jato de fogo (JO & AHN, 2002).

Pessoas próximas ao fogo podem sofrer ferimentos pelo calor radiante emitido pela chama. Brzustowski¹² apud Cornwell et al. (1989), apresenta uma metodologia que determina a extensão da zona inflamável criada pelo vazamento de gás e prevê a forma da chama baseado na velocidade do gás, orientação do vazamento de gás relativo à direção do vento, e condições locais meteorológicas. Esse tipo de análise permite ao analista determinar a distância do gasoduto em que o público pode ficar exposto a uma energia radiante específica.

Se o ponto de ruptura estiver próximo de uma edificação (casa, prédio), o vazamento do gás pode migrar para dentro dessa edificação, podendo ocorrer uma explosão significativa, caso o gás encontre uma fonte de ignição. Esse tipo de explosão ocorreu em Bridgeport, Alabama nos EUA em 1999 (ver figura 3.7 – pág. 27).

Em algumas circunstâncias, a ignição de uma nuvem de vapor inflamável pode resultar em explosão da nuvem de vapor não confinada. A onda de pressão, produzida por tal explosão, pode causar ferimentos nas pessoas que estejam expostas a essa “sobrepessão”. No caso de gás natural, essa situação dificilmente acontece e, de fato,

¹¹ OOMS, G. (1972). A New Method for the Calculation of the Plume Path of Gases Emitted by a Stack. *Atmospheric Environment*, vol. 6, p.899.

¹² BRZUSTOWSKI, T. A. (1976). Flaring in the Energy Industry. *Journal of Progress in Energy Combustion Science*, vol.2, p.121-49.

no desenvolvimento do presente trabalho não foi encontrada evidência documentada de gás natural envolvido em explosões de nuvem de vapor não confinado. Por outro lado, no transporte de produtos de hidrocarbonetos pesados, deve ser levado em conta o potencial de detonação do gás liberado (CORNWELL et al., 1989).

A partir de modelos pode-se prever essa zona de perigo imposta por um eventual acidente com o gasoduto. Assim, no evento de jato de fogo, deve-se estimar a máxima extensão desse jato a fim de se determinar quem são as pessoas que podem estar dentro da zona de perigo, isto é, dentro da área onde existe chance de fatalidade ou ferimento de uma ou mais pessoas. Isso, considerando sua localização em relação ao local de ocorrência do evento. Da mesma forma, para outros potenciais eventos identificados são estimadas as zonas de perigo associadas aos mesmos.

Uma vez com os resultados das análises de probabilidade e de conseqüências, as informações geradas são integradas e a estimativa do risco é apresentada para ambos os riscos individuais e sociais, através dos indicadores citados na seção 3.3.4.1 (iso-risco, curvas F-N, etc).

3.6 Critério de Aceitabilidade dos Riscos

Uma parte muito importante na análise dos riscos é a chamada Aceitabilidade dos Riscos, que é a determinação do ponto a partir do qual um risco é considerado aceitável ou não. É onde se determina o quão seguro uma atividade é suficientemente segura¹³.

A análise comparativa de riscos requer o estabelecimento de níveis de risco (limites), a serem usados como referências que permitam comparar situações muitas vezes diferenciadas.

O estabelecimento desses níveis envolve a discussão da tolerabilidade dos riscos, a qual depende de um julgamento por vezes subjetivo e pessoal, que envolve temas como a percepção dos riscos, que varia consideravelmente de indivíduo para indivíduo, e principalmente entre especialistas e a população. No entanto, critérios usados em

¹³ Um dos primeiros autores a descrever uma abordagem para responder a questão “*How safe is safe enough?*” foi Starr em um artigo publicado em 1969 na revista *Science* intitulado “*Social Benefit Versus Technological Risk*”. Nesse artigo, Starr propôs a comparação do risco associado a uma atividade industrial aos riscos impostos por outras atividades que indivíduos estão expostos diariamente. Assim, propôs dividir os riscos em duas categorias: voluntários e involuntários.

Avaliações de Riscos devem sempre refletir “julgamentos de valor” que a sociedade tem sobre a significância dos riscos.

Vários países adotaram diferentes critérios a fim de se obter uma forma pela qual se poderia julgar se um risco estimado estaria dentro de padrões aceitáveis. No presente trabalho também é feita a diferenciação entre risco individual e social.

A seguir são descritos alguns dos padrões adotados internacionalmente com relação aos **riscos individuais**:

Hong Kong

Segundo Cornwell e Meyer (1997), o governo de Hong Kong desenvolveu critérios para riscos individuais associados a instalações consideradas potencialmente perigosas. Tais critérios devem ser aplicados a novas instalações ou a possíveis expansões de instalações já existentes.

Assim, os critérios adotados por Hong Kong podem ser definidos como:

- Riscos individuais abaixo de 1.0×10^{-5} por ano são definidos como aceitáveis;
- Riscos individuais acima de 1.0×10^{-5} por ano são definidos como inaceitáveis.

Austrália

Para novas instalações industriais, a *Environmental Agency of Western Austrália* (EPAWA) usa as seguintes definições como limites de aceitabilidade dos riscos para áreas residenciais:

- Riscos individuais abaixo de 1.0×10^{-6} por ano são definidos como aceitáveis;
- Riscos individuais acima de 1.0×10^{-5} por ano são definidos como inaceitáveis.

Vale ressaltar que em locais considerados sensíveis (em inglês, *sensitive developments*) esse critério muda. Riscos abaixo de 5.0×10^{-7} por ano são definidos como aceitáveis em áreas próximas a hospitais, escolas, creches e asilos.

Diferentemente de Hong Kong, a Austrália estipula uma faixa de negociação entre os dois valores apresentados acima. Caso os riscos de um empreendimento fiquem dentro desta faixa, deve-se, então, pesar a importância do projeto frente a necessidade

do público de ser protegido contra danos causados por possíveis acidentes. Dependendo do resultado, o risco deve ser reduzido o máximo possível dentro de uma meta estipulada pelas autoridades competentes. Outros países também adotam essa faixa de negociação como é apresentado na figura 3.8.

Reino Unido

A *Health and Safety Executive* (HSE) é a autoridade reguladora para identificação de perigos e estudos de avaliação de riscos no Reino Unido. Em 1984, a HSE publicou o documento intitulado “*Risk Criteria for Land Use Planning in the Vicinity of Major Industrial Hazards*”, o qual propôs os seguintes critérios:

- Riscos individuais abaixo de 1.0×10^{-6} por ano são definidos como aceitáveis;
- Riscos individuais acima de 1.0×10^{-5} por ano são definidos como inaceitáveis, para pequenas instalações.
- Riscos individuais acima de 1.0×10^{-6} por ano são definidos como inaceitáveis, para grandes instalações.

Holanda

O *Directorate General for Environmental Protection* (DGEP), na Holanda publicou um documento intitulado “*Premises for Risk Management, Dutch Environmental Policy Plan, 1989*”, o qual determina, para localização de instalações, os seguintes critérios:

- Riscos individuais abaixo de 1.0×10^{-8} por ano são definidos como aceitáveis;
- Riscos individuais acima de 1.0×10^{-5} por ano são definidos como inaceitáveis, para instalações já existentes.
- Riscos individuais acima de 1.0×10^{-6} por ano são definidos como inaceitáveis, para novas instalações.

O critério usado pela Holanda é criticado por muitos autores que argumentam que tais valores adotados tornam muitos empreendimentos inviáveis.

Venezuela

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), (1995) publicou o documento intitulado “*Criterios para el Analisis Cuantitativo de Riesgos*”, o qual determina que as

companhias avaliem os riscos individuais impostos por um projeto e os compare com os seguintes critérios:

- Riscos individuais abaixo de 1.0×10^{-6} por ano são definidos como aceitáveis;
- Riscos individuais acima de 1.0×10^{-6} por ano são definidos como inaceitáveis.

Brasil, Estado de São Paulo

No Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) publicou, em 2000, o documento intitulado “Termo de Referência para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos”, o qual determina os seguintes critérios de aceitabilidade de riscos impostos por atividades industriais:

- Riscos individuais abaixo de 1.0×10^{-6} por ano são definidos como aceitáveis;
- Riscos individuais acima de 1.0×10^{-5} por ano são definidos como inaceitáveis.

Já nos Estudos de Análise de Riscos em dutos, a CETESB resolveu adotar o critério de aceitabilidade uma ordem de grandeza abaixo do usado em atividades industriais, deixando especificados os seguintes critérios:

- Riscos individuais abaixo de 1.0×10^{-5} por ano são definidos como aceitáveis;
- Riscos individuais acima de 1.0×10^{-4} por ano são definidos como inaceitáveis.

Embora o termo de referência citado alegue ter sido realizado amplo levantamento de critérios internacionais vigentes atualmente e, a partir dos quais, assumido valores ditos médios, tais critérios adotados na aceitabilidade dos riscos individuais, no Estado de São Paulo, não parecem estar entre valores intermediários dos critérios pesquisados, como pode ser visto na figura 3.8.

O uso de critérios que definem valores altos do risco estimado como sendo aceitáveis tem reflexo negativo, uma vez que a Avaliação de Risco é uma ferramenta muito importante para se garantir que determinada atividade não seja “muito arriscada” para as pessoas ou para o meio ambiente de forma geral. Em sendo assim, o “trabalho” que o empreendedor tem para demonstrar que sua atividade não apresenta riscos

intoleráveis fica facilitado e o dever de garantir risco mínimo à população comprometido.

De fato, com as informações obtidas junto a CETESB, foi constatado que na época da determinação de tais critérios não se sabia exatamente qual seria o melhor valor a ser adotado e, temendo inviabilizar a instalação de dutos no Estado de São Paulo, foi adotado o critério com uma ordem de grandeza menor que para outras atividades industriais. Nas palavras de Xavier, (2003):

Na elaboração do Termo de Referência, acordou-se entre os membros do grupo técnico que o elaborou, a redução do valor de Risco Individual (RI) em uma ordem de grandeza. Naquele momento não havia experiência concreta na estimativa do RI para dutos, mesmo fora do país. Receava-se que a adoção dos mesmos valores de RI para instalações fixas pudesse ser altamente restritivo, inviabilizando esse tipo de empreendimento. Passados três anos do uso do termo de referência, e após diversos licenciamentos de dutos ocorridos no estado de São Paulo, o que se observa é que os novos dutos atendem ao critério vigente com folga.

Seja por motivos econômicos e/ou políticos, a redução do valor do critério de aceitabilidade para RI faz com que este critério seja muito permissivo em comparação aos outros adotados nos diversos países pesquisados. Pela afirmação acima apresentada, seria prudente uma revisão dos critérios adotados atualmente.

A figura a seguir apresenta uma comparação entre os critérios de aceitabilidade comentados acima:

Figura 3.8 – Critérios de aceitabilidade de risco (individual) usados em diversos países.

Como já comentado anteriormente e apresentado na figura 3.8, alguns países adotaram uma faixa de risco negociável, a qual pode ser usada para se negociar um nível de risco que seja mais baixo, mas que também seja praticável. Essa região central é conhecida como ALARP (*As Low as Reasonably Practicable*).

No Estado de São Paulo, a CETESB determina que os riscos sociais deverão ser apresentados através da curva F-N, obtida por meio de plotagem dos dados de frequência acumulada do evento final e seus respectivos efeitos representados em termos de número de vítimas fatais.

Com relação à aceitabilidade dos riscos sociais, a figura a seguir mostra de forma resumida uma comparação entre os principais critérios usados no mundo e o adotado no Estado de São Paulo pela CETESB.

Figura 3.9 – Comparação, através de Curvas F-N, entre a aceitabilidade dos riscos sociais usada em diversos países.

Quando a curva fica abaixo da linha tracejada, os riscos são considerados aceitáveis. Acima da linha contínua, os riscos são considerados inaceitáveis, havendo ainda uma região central onde os riscos são considerados gerenciáveis, e que devem ser reduzidos tanto quanto praticável. O conceito da região ALARP (*As Low as Reasonably Practicable*) também se aplica na avaliação do risco social; assim, embora os riscos

nessa região não sejam considerados inaceitáveis, medidas adicionais de redução de riscos devem ser consideradas.

Aparentemente os valores adotados pela CETESB para a avaliação da aceitabilidade dos riscos sociais condizem com a afirmação no termo de referência de que foram adotados valores médios. No entanto, segundo o mesmo termo de referência, nos estudos de análise de riscos em dutos, os riscos deverão ser avaliados somente a partir do risco individual, de acordo com os critérios citados anteriormente.

Isso acarreta em situação perigosa, uma vez que valores de risco muito altos são considerados aceitáveis na avaliação dos riscos associados a gasodutos instalados no Estado de São Paulo.

Embora a Companhia afirme que para qualquer duto em estudo sempre é pedido o estudo dos riscos sociais (informação verbal)¹⁴, o fato dessa obrigação não estar presente no Termo de Referência (que é único na matéria), abre uma lacuna perigosa no estudo de decisões sujeitas a consequências incertas, e compromete a confiabilidade no processo decisório de análise de risco.

¹⁴Informação obtida através de mensagem eletrônica (e-mail)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

4.1.1 Localização do Empreendimento

O empreendimento localiza-se na região noroeste do Estado de São Paulo, área de concessão para distribuição de gás natural obtida pela Gás Brasileiro Distribuidora S.A., mais precisamente nos territórios dos municípios de São Carlos, Descalvado e Porto Ferreira (ver figura 4.2). A Estação de Transferência e Custódia (ETC-2) e as Estações de Controle de Pressão (ECPs) estão localizadas nas coordenadas apresentadas na figura 4.1, por onde passa o gasoduto.

Estação	Pólo de Consumo	Localização	Ponto de Referência
ETC-2	-	47°52'39" W e 22°06'34" S	Estrada São Carlos / Itirapina
ECP-01/2	São Carlos	47°51'48" W e 22°02'55" S	Trevo de acesso a São Carlos na SP-215
ECP-02/2	Descalvado	47°37'17" W e 21°55'40" S	Acesso Sul de Descalvado na SP-215
ECP-03/2	Porto Ferreira	47°30'33" W e 21°50'59" S	Estrada Velha São Carlos / P. Ferreira

Figura 4.1 – Localização das Estações
(Fonte: GÁS BRASILIANO DISTRIBUIDORA S.A., 2001)

4.1.2 Considerações Gerais

Em linhas gerais, o empreendimento é composto de:

- Rede de alta pressão enterrada com uma extensão total de 54.800 m, construída em tubo de aço de 200 mm de diâmetro nominal e espessura de 6,4 mm;
- Travessias de ferrovia, rodovias e cursos de água;

- Três (03) Estações de Controle de Pressão (ECPs), onde são feitos a redução e o controle da pressão, para a distribuição aos usuários, através de rede de baixa pressão.

Com relação às travessias de cursos de água, deve-se mencionar que, nos de maior porte (três do total de dezesseis), foram empregadas técnicas construtivas do tipo furo dirigido, o que segundo o empreendedor minimiza as interferências com os recursos hídricos, bem como com a vegetação eventualmente presente nas suas margens.

A figura 4.2 apresenta a área de estudo e os pontos por onde passa o gasoduto implantado, i. e., começa na ETC-2 (ponto azul na figura) e passa em seguida pelas ECPs (pontos vermelhos) de São Carlos, Descalvado e termina em Porto Ferreira, na ECP-03/2.

Figura 4.2 - Área de estudo
(Fonte: RANIERI e KIRCHHOFF, 2003)

4.1.3 Descrição do Traçado

O sistema foi subdividido em três trechos, tendo como origem do sistema a saída da Estação de Transferência de Custódia – ETC-02 e, como marcos divisórios, as

estações de controle de pressão. Boa parte do traçado desenvolve-se paralela às estradas, fora da faixa de domínio, locada a uma distância de 1,0 m da cerca em área “*non aedificandi*”. No trecho entre a Rodovia Washington Luís e a Cidade de Descalvado, o duto afasta-se das rodovias, passando a caminhar pelo interior das propriedades particulares.

Ao longo do duto foi estabelecida uma faixa de servidão de 3,00 m, (1,50 m de cada lado), que deve ser mantida desocupada e será utilizada como acesso para as atividades de inspeção e manutenção do sistema.

De acordo com o Relatório Ambiental Preliminar (RAP) realizado pela Gás Brasileiro Distribuidora S.A., a camada de cobertura de aterro tem, no mínimo, 1,50 m e, especificamente nas travessias sob estradas, rios e ferrovias, esse recobrimento é de 1,80 m, sempre medido a partir da geratriz superior externa do tubo.

A) TRECHO 1

Este trecho tem início na estação de transferência de custódia (ETC-2) do Gasoduto Brasil-Bolívia, em São Carlos e segue até a ECP-01/2. O trecho inicial desenvolve-se paralelo à “Estrada para Represa do Broa – Itirapina”, caminhando fora da faixa de domínio a 1 m da cerca, em seguida afasta-se da rodovia e passa a caminhar por vias internas de uma área de reflorestamento com pinus; cruza o Ramal Ferroviário São Carlos/Itirapina, sob concessão da FERROBAN, em região onde o uso predominante passa a ser o industrial, com a presença da Fábrica de Motores da Volkswagen e outras, até atingir a Rodovia SP-215. A partir deste ponto, o duto segue paralelo à SP-215, até chegar a ECP-01/2, implantada próxima ao trevo de acesso à Cidade de São Carlos.

B) TRECHO 2

A partir da ECP-01/2 o duto segue paralelo à SP-215, até atingir o trevo da Rodovia Washington Luís (SP-310), onde passa a caminhar paralelo a esta rodovia, por um pequeno trecho, até o bairro Jardim Novo Horizonte, já em área urbanizada da Cidade de São Carlos. Nesta área, predomina o uso residencial sobre os demais, ainda que apareçam outros usos, tais como: pequenos estabelecimentos comerciais, depósitos, oficinas, passando, aos poucos, para granjas, sítios e outros.

O duto segue por uma rua de terra, até o local onde está situada a Igreja de Santo Antônio, onde abandona a estrada, e, quase em linha reta, segue atravessando diversas

propriedades rurais, até atingir a via de acesso sul da Cidade de Descalvado, onde está implantada a ECP-02/2.

C) TRECHO 3

A partir da ECP-02/2, a tubulação segue em meio a propriedades rurais, atravessa o Rio Bonito, até atingir a Rua Minas Gerais dentro de um pequeno bairro de Descalvado, onde a distância do duto às casas fica muito pequena, elevando o número de pessoas expostas no caso de um acidente.

Logo depois, cruza o acesso principal da Cidade de Descalvado e passa a caminhar paralelo à Estrada Velha São Carlos - Descalvado - Porto Ferreira. Essa via (não pavimentada) tem a função principal de permitir o acesso aos sítios, fazendas, granjas e minerações (extrações de areia e argila), localizadas ao longo do seu traçado. No entanto, a mesma já conta com diversas casas construídas ou em construção, colocando também essas pessoas em exposição. Na entrada da cidade de Porto Ferreira está implantada a Estação de Controle de Pressão ECP-03/2.

4.1.4 Características do Gás Transportado

Segundo dados contidos no RAP realizado pela Gás Brasileiro Distribuidora S.A., a composição do gás que vem da Bolívia é a seguinte:

Tabela 4.1 – Composição do gás transportado

Componente	Porcentagem (do volume)
Metano	91,80
Etano	5,58
Propano	0,97
I-Butano	0,03
N-Butano	0,02
Pentano	0,10
Nitrogênio	1,42
Dióxido de Carbono	0,08
Total	100,00

(Fonte: GÁS BRASILIANO DISTRIBUIDORA S.A., 2001)

4.1.5 Características do Gasoduto

Os seguintes parâmetros foram retirados do Relatório Ambiental Preliminar (RAP) e serão utilizados na etapa de Análise das Consequências.

Tabela 4.2 – Características do gasoduto

	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3
Pressão na saída da Estação (bar)	31,5	28,5	19,8
Comprimento (metros)	7.900	31.100	15.800
Diâmetro do duto (polegadas)	8,3	8,3	8,3

(Fonte: GÁS BRASILIANO DISTRIBUIDORA S.A., 2001)

4.2 Aspectos Metodológicos

O estudo de caso apresentado foi efetuado, observando-se as seguintes etapas:

I. Uso de SIG para Determinação do Traçado de Maior Viabilidade:

Nessa etapa, o risco associado ao gasoduto foi usado como critério fundamental na escolha da alternativa de localização do traçado de maior viabilidade ambiental.

Levando-se em consideração a procura pela determinação da aptidão apresentada pelo território frente à implantação do gasoduto, foram observadas as seguintes etapas:

- criação da base de dados digital georreferenciada;
- levantamento e aquisição das informações existentes que fossem relevantes para o estudo em questão;
- armazenamento das informações em formato digital através da transformação dos mapas em papel para o formato digital, pelo processo de digitalização;
- edição dos arquivos para posterior manipulação;
- definição das atividades a serem consideradas, cujas características fossem adequadas para ilustrar a avaliação apresentada;
- levantamento bibliográfico sobre as ponderações a serem efetuadas para os diferentes fatores ambientais, de acordo com a atividade considerada;
- síntese das informações levantadas – manipulação do banco de dados digital, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica, de modo a permitir a sobreposição das informações;
- aplicação para o território, a fim de se identificar trechos considerados críticos no traçado já implantado;

II. Identificação dos Perigos Associados ao Gasoduto;

Aqui, os potenciais cenários acidentais decorrentes de um vazamento são considerados, através de revisão de literatura internacional.

III. Estimativa da Probabilidade de Ocorrência de Evento;

Nessa etapa, as probabilidades são estimadas a partir de dados históricos internacionais sobre acidentes e vazamentos, como já comentado no capítulo anterior – *Revisão Bibliográfica* (seção 3.5.2 – pág. 29).

IV. Análise das Consequências de um eventual vazamento;

Essa etapa envolve estimar, por medidas e/ou modelos, a Zona de Perigo associada à ocorrência de vazamento do gás. Os critérios para a definição dos limites da Zona de Perigo estão expostos no capítulo, na seção 6.4.1 – pág. 67.

V. Caracterização dos Riscos;

É a etapa onde os riscos serão determinados e estimados. Para tanto, os resultados das análises de probabilidade e de consequências são integrados.

VI. Apresentação da Comparação entre os Riscos dos Traçados: Implantado e Alternativo.

Em cada trecho considerado crítico, será proposto traçado alternativo e os riscos sociais associados ao gasoduto serão comparados para cada traçado.

4.3 Materiais

Para a geração da base de dados digitais, utilizou-se o *software* CartaLinx, versão 1.2, para a geração de arquivos vetoriais, e o *software* Idrisi for Windows, versão I32.11, para o tratamento e manipulação dos dados, ambos desenvolvidos pela *Graduate School of Geography*, da *Clark University*, Massachusetts.

As informações relativas aos fatores ambientais considerados foram extraídas de mapeamentos executados e publicados por diversas fontes, a saber:

- Topografia: Carta do Brasil, escala 1:50.000, folhas Descalvado, Corumbataí, Ibaté, Pirassununga e São Carlos, do IBGE (1971);
- Hidrografia: mesmas folhas utilizadas para topografia;

- Pedologia: Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo, escala 1:100.000, folhas São Carlos e Descalvado, do IAC (1981 e 1982, respectivamente);
- Infra-estrutura: mesmas folhas utilizadas para topografia. A localização das rodovias asfaltadas e os limites da área urbanizada foram atualizados com visita a campo e interpretação de imagem Landsat (órbita/ponto 220/75) de 2000;
- Uso do Solo: imagem Landsat (órbita/ponto 220/75) de 2000.

5. O RAP – Relatório Ambiental Preliminar no Processo de Licenciamento Ambiental

5.1 Contextualização

Do ponto de vista da avaliação de viabilidade ambiental para a implementação de empreendimentos, a Constituição Federal, em seu artigo 225, afirma que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”, e acrescenta que deve “exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade”.

Portanto, o instrumento EIA/RIMA é um instrumento de Política Ambiental com respaldo Constitucional.

Também, considerando o Princípio da Prevenção, a Lei de Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981), impõe àquele que pretenda instalar, ampliar e funcionar obra, empreendimento, construção ou exercer atividade que possa causar degradação da qualidade ambiental, que antes seja fiscalizado pelo Poder Público, o qual deverá negar a licença em caso de prejuízo à coletividade.

Na regulamentação para a elaboração do EIA/RIMA, o Artigo 2º da Resolução Conama nº 01, de 23 de janeiro de 1986 diz que “dependerá de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente”. Gasodutos estão entre as atividades listadas no mesmo artigo.

Contudo, com a alegação inicial de agilizar a tramitação do licenciamento das atividades modificadoras do meio ambiente previstas no artigo 2º, da Resolução

Conama nº 01/86, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente Paulista editou a Resolução nº 42/94, a qual instituiu o Relatório Ambiental Preliminar (RAP), e que, infelizmente, padece de vícios insanáveis de inconstitucionalidade (AKAOUI, 2002).

De fato, a finalidade principal do RAP não é avaliar a viabilidade ambiental de projetos, e sim verificar se existe a necessidade de elaboração de EIA/RIMA. Afinal, a adoção do RAP como forma de avaliar a viabilidade ambiental de empreendimentos incorre em diversos problemas. O primeiro deles diz respeito à concessão das Licenças do processo de licenciamento de atividades, a saber: a Licença Prévia (LP) a qual deve atestar viabilidade ambiental aprovando localização e concepção; a Licença de Instalação (LI) que autoriza a instalação; e a Licença de Operação (LO) que autoriza o funcionamento. Para emití-las, o órgão ambiental estabelece as condições, restrições, exigências e medidas de controle que deverão ser cumpridas nas diversas fases de implantação e funcionamento do empreendimento.

No item 1 de seu Anexo, a resolução estadual determina que “nos casos previstos no artigo 2º da Resolução nº 01/86, do Conama, o interessado requererá a licença ambiental, instruída com o Relatório Ambiental Preliminar – RAP, conforme roteiro de orientação estabelecido pela SMA”. Ao final do item 3, alínea *b*, permite que a secretaria venha a **dispensar** a apresentação do Estudo de Impacto Ambiental pelo requerente do licenciamento.

O segundo grande erro da resolução estadual foi permitir que se requeresse o licenciamento das atividades mencionadas no artigo 2º da Resolução Conama nº 01/86 sem que, de imediato, fosse apresentado o Estudo de Impacto Ambiental pelo requerente. Com efeito, a resolução estadual prevê que o interessado no licenciamento da atividade potencialmente causadora de significativa degradação ambiental deverá apresentar o RAP, sendo certo que, somente após a análise deste, é que se poderá exigir a elaboração de EIA.

Entretanto, o mais grave dos erros foi prever a possibilidade de dispensa da apresentação do EIA/RIMA, pois certamente a Constituição Federal não previu tal conduta do administrador, e assim não quis que fosse, tanto que conferiu à União a competência para estabelecer normas gerais acerca da matéria concorrente (AKAOUI, 2002). Esta foi estabelecida na Lei de Política Nacional do Meio Ambiente, da qual se originaram os demais diplomas que dão sustentáculo à exigência do referido Estudo de Impacto Ambiental.

Além do mais, mesmo que se deixem de lado as questões jurídicas, outro problema no processo do RAP, é que a Avaliação de Risco só é realizada para se obter a LI, após a obtenção da LP. Com isso, possibilita-se aprovação da localização sem a elaboração de avaliação dos riscos associados ao empreendimento.

Figura 5.1 – Processo de Licenciamento Ambiental (EIA vs. RAP)

(Adaptado de Oliveira, 2004)

Também, a Resolução da SMA/SP nº 42/94 sequer menciona a necessidade de estudar alternativas locacionais e tecnológicas, característica fundamental no processo de EIA/RIMA. Ao regulamentar a exigência de apresentação de EIA/RIMA, o texto da Resolução Conama nº 01/86 exige o estudo de **TODAS** as alternativas possíveis, inclusive a alternativa de não implementação da atividade, destacando o conceito intrínseco ao EIA estabelece que há necessidade de se considerar os fatores ambientais para depois identificar áreas aptas a receber o empreendimento. Assim, alternativas locacionais devem ser previamente consideradas sempre com o intuito de minimizar os impactos ambientais.

Pelo processo de RAP, o que tem acontecido com frequência é a aprovação de localização partindo do pressuposto que a adoção de medidas mitigadoras, através de adoção de tecnologia disponível, podem ser usadas para garantir certa viabilidade. Em essência, o caminho deveria ser o inverso, ou seja, estabelecer a localização de maior viabilidade ambiental e, a partir dessa escolha, adotar medidas que mitiguem e reduzam os impactos que ainda existirem. Além de garantir impactos menores, essa abordagem reduz os custos do empreendedor com medidas mitigadoras e compensatórias.

É importante que os riscos sejam avaliados e usados como critério fundamental para o estudo de localização do traçado do gasoduto. Essa abordagem - de se analisar os riscos em trechos considerados críticos - facilita a adoção e escolha de localização mais segura, com relação à exposição da população. Ao se reduzir os riscos de fatalidades associadas a acidente com gasodutos garante-se riscos mínimos à população.

Assim, tem-se ótima oportunidade para aplicação do Princípio da Prevenção, uma vez que o mesmo não pode ser apenas usado na teoria, mas sim aplicá-lo na prática sempre que efeitos adversos conhecidos de atividades antrópicas estiverem em questão.

Outro grande problema diz respeito à participação da comunidade no processo do RAP e obtenções de licenças. O acesso dado à população, através de audiências, não é tão assegurado quanto seria se um Estudo de Impacto Ambiental fosse feito no lugar do RAP.

Pelo exposto, torna-se claro que o RAP não atende os principais objetivos para os quais o EIA foi constituído, qual seja, o de avaliar a viabilidade ambiental do empreendimento, considerando o binômio tipologia-localização.

5.2 O RAP elaborado para o gasoduto de distribuição Gás Brasileiro no trecho de São Carlos a Porto Ferreira

No estudo de caso apresentado, todas as exigências e procedimentos do RAP foram atendidas, e o empreendimento teve não só sua Licença Prévia aprovada, como cumpriu todas as exigências posteriores. Dessa forma, sua localização foi aprovada sem que os riscos associados ao gasoduto fossem usados como fonte de critérios, subsidiando o estudo de alternativas locacionais.

No entanto, conforme mencionado, há um processo judicial em andamento questionando não só o uso, mas também o conteúdo do RAP enquanto instrumento capaz de avaliar ambientalmente o empreendimento.

Sem dúvida, o fato de o risco ter sido contemplado somente após a definição da localização do traçado comprometeu o processo de estudo de alternativas locacionais, função fundamental de qualquer Estudo de Impacto Ambiental.

Uma vez que o documento apresentado pelo empreendedor não deixa claro os critérios adotados para priorizar a passagem em um ou outro local, a metodologia adotada no RAP elaborado para licenciar o gasoduto em questão não permite garantir que o traçado escolhido e implementado pelo empreendedor apresente viabilidade ambiental, como será exposto nos capítulos seguintes.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das considerações apresentadas no capítulo anterior, apresentam-se a seguir os resultados obtidos.

6.1 Análise de Pontos Críticos no Traçado do RAP

Alguns trechos de alto risco do sistema, como áreas com um histórico de vazamentos e áreas com alta densidade populacional, são facilmente identificáveis. O potencial para o acontecimento de danos causados por terceiros está altamente relacionado ao nível de atividades com potencial de dano, como por exemplo, a instalação e manutenção de outros serviços públicos (água e esgoto), construções de cercados e construções de piscinas. Assim, tais áreas devem, sempre que possível, ser evitadas.

Não é tarefa da Avaliação de Risco prever quando ou se um acidente irá acontecer em algum lugar em particular, mas mostrar onde no sistema em estudo o risco é maior ou menor, baseado na informação sobre potencial de falhas e atividades de redução de risco (mitigação).

Entretanto, é importante salientar que a mitigação é uma etapa posterior ao estudo de alternativas ambientalmente viáveis. Assim, após o estudo do traçado de maior viabilidade, caso a avaliação de risco indique a necessidade de adoção de medidas mitigadoras, essas deverão ser usadas a fim de se reduzir ainda mais o risco imposto pelo empreendimento.

No estudo em questão, para se identificar os trechos críticos do empreendimento já implantado, foi elaborado um estudo técnico utilizando-se metodologia disponível na literatura nacional e internacional e que vem sendo utilizada em estudos para determinação de traçados de empreendimentos lineares com resultados positivos.

Com isso, assegura-se a escolha de traçados com maior viabilidade ambiental e que, conseqüentemente, possibilitam aos empreendedores menores gastos com medidas mitigadoras e compensatórias. A título de exemplo, o poliduto da Petrobrás na região de Ribeirão Preto (EIA/RIMA elaborado pela OSBRA em 1991), usou tal metodologia.

Em uma primeira análise do RAP, identificaram-se trechos do gasoduto implantados em locais críticos no que diz respeito ao risco potencial de ocorrência de fatalidades e ferimentos, no caso de acidente, e que devem ser evitados. Isso, devido ao fato do gasoduto passar muito próximo a residências dentro de bairros nos municípios de São Carlos e Descalvado.

A proximidade do gasoduto às residências aumenta o número de pessoas que estariam diretamente expostas a um possível acidente, aumentando o chamado risco social nesses trechos do sistema de transporte de gás natural.

A figura 6.1 mostra o trecho considerado crítico no município de São Carlos. Nesse local, entre a ECP-01/2 e a ECP-02/2, o gasoduto atravessa o bairro Jardim Novo Horizonte onde predomina o uso residencial sobre os demais, aparecendo também outros usos, tais como, pequenos estabelecimentos comerciais, depósitos e oficinas.

Figura 6.1 - Identificação de trecho crítico do traçado do gasoduto - município de São Carlos (Jd. Novo Horizonte)

(Fonte: RANIERI e KIRCHHOFF, 2003)

Situação semelhante acontece no trecho entre a ECP-02/2 e a ECP-03/2. Como mostra a figura 6.2, o gasoduto atravessa a Rua Minas Gerais, dentro de um bairro no município de Descalvado onde a distância do duto às casas fica muito, elevando o número de pessoas expostas no caso de um acidente. A figura 6.3 apresenta uma foto tirada na Rua Minas Gerais por onde passa o duto. Pode-se notar pela fotografia que o duto passa muito próximo as residências (aproximadamente 5 metros de distância).

Figura 6.2 - Identificação de trecho crítico do traçado do gasoduto - município de Descalvado (Rua Minas Gerais)

(Fonte: RANIERI e KIRCHHOFF, 2003)

Figura 6.3 – Foto tirada na Rua Minas Gerais (Descalvado) – o tracejado em vermelho mostra por onde passa o gasoduto.

Após essa primeira análise do traçado, partiu-se então para a determinação do traçado de maior viabilidade ambiental através do uso dos *softwares* Cartalinx e Idrisi para digitalização de imagens e posterior manipulação de mapas temáticos.

6.1.1 Determinação do Traçado de Maior Viabilidade Ambiental do Gasoduto

Foram adotadas algumas premissas para a definição do traçado de maior viabilidade ambiental, a saber:

a) Adotaram-se as Estações de Controle de Pressão (ECP) já instaladas pelo empreendedor nos Municípios de São Carlos e Descalvado como pontos de passagem obrigatória do gasoduto e a ECP de Porto Ferreira como ponto final, embora o procedimento ideal fosse a determinação do “melhor” traçado a partir da Estação de Transferência de Custódia do GASBOL sem “forçar” a passagem ou chegada em pontos pré-definidos (como são as ECPs).

b) Uma vez que o duto já está instalado e, portanto, o impacto ambiental na fase de implantação já ocorreu, considerou-se que nos casos em que o traçado já implantado se aproxima do traçado de maior viabilidade ambiental calculado, sem prejuízo significativo ao meio, o primeiro seria aceito.

As etapas para a determinação do traçado de maior viabilidade ambiental (menor impacto) são descritas a seguir:

Etapa 1) Definição da área de viabilidade econômica do empreendimento.

Em virtude da não apresentação por parte do empreendedor no RAP da faixa territorial de viabilidade econômica para a passagem do gasoduto, considerou-se o recorte do território apresentado no RAP (corredor de aproximadamente 13 quilômetros) e reproduzida na figura 6.4 como sendo a área passível de implantação do empreendimento.

Figura 6.4 - Área de estudo - faixa passível de implantação do gasoduto.
(Fonte: RANIERI e KIRCHHOFF, 2003)

Etapa 2) Definição de critérios para determinação de locais com maior potencial para receber o empreendimento dentro da área de estudo considerada.

Essa etapa consiste na identificação de aspectos do meio físico, biológico ou antrópico - aqui definidos como FATORES AMBIENTAIS - que podem:

a) **causar** dano ao duto e, em consequência, ocasionar um acidente. Nesta categoria procurou-se identificar tipos de uso e atividades exercidas no território e o potencial de tais atividades em causar dano ao duto. Exemplo: atividades agrícolas, atividades minerárias, obras de infra-estrutura urbana, obras viárias etc.

b) **sofrer** impacto no caso de ocorrência de acidente na tubulação. Nesta categoria considerou-se a severidade das consequências de um acidente, notadamente em termos de perda de vidas humanas, em função do tipo de ocupação do território. Exemplo: aglomerações humanas (bairros urbanos e rurais), chácaras, estradas, indústrias etc. Também se considerou a suscetibilidade dos solos agrícolas aos processos erosivos como fator relevante, apesar de secundário, na determinação do melhor traçado.

Etapa 3) Geração do banco de dados digital.

Uma vez determinados os fatores ambientais de interesse foi feito levantamento dos mapeamentos oficiais já executados na área de estudo. Mapas em papel foram convertidos para o formato digital e atualizados com o uso de imagens de satélite gerando um banco de dados com informações sobre relevo, solos, suscetibilidade à erosão, hidrografia, infra-estrutura e uso/ocupação das terras. Nessa etapa, bem como na etapa 5, foram utilizados *softwares* de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que permitem o manuseio de grande quantidade de dados sobre um território.

Etapa 4) Atribuição de pesos (notas) aos fatores ambientais considerados de interesse.

O objetivo dessa etapa foi, por meio de hierarquização, determinar a aptidão de cada parcela do território para receber o empreendimento em função da probabilidade de ocorrência de dano ao duto e/ou da probabilidade de haver perda de vidas humanas no caso de acidente.

Uma vez que o documento apresentado pelo empreendedor não explicita claramente os critérios adotados para priorizar a passagem em um ou outro local, primeiramente foi feita uma análise criteriosa do texto do RAP e do Estudo de Avaliação e Análise de Riscos de modo a identificar as prioridades adotadas pelo empreendedor. Tal análise apontou como fator de maior restrição identificado pelo empreendedor para passagem do duto, as áreas com vegetação nativa em geral.

Essa conclusão pôde ser comprovada pelo DEPRN¹⁵ (Escritório Técnico de São Carlos) que informou que o empreendedor aceitou todas as sugestões de mudança de traçado indicadas pelo órgão para evitar a passagem em locais com vegetação nativa. Outro fator ambiental de restrição identificado pelo empreendedor à passagem do duto que pode ser inferido do RAP são os cursos d'água, várzeas e áreas de preservação permanente.

As principais causas de falhas encontradas em gasodutos são intervenção de terceiros, principalmente em escavação (NTSB, 1997). Pode-se concluir que em função da necessidade de obras e reparos em redes de água e esgoto e na infra-estrutura viária, escavações são mais frequentes em áreas urbanas do que em áreas rurais. Estas

¹⁵ Informação verbal obtida através de telefonema.

constatações do próprio empreendedor permitem concluir que áreas urbanizadas são menos aptas à passagem do duto do que áreas rurais. Na mesma direção, conclui-se que áreas de mineração, nas quais há constante movimentação de máquinas e freqüentes escavações, o risco de acidentes torna-se muito elevado e, portanto, a aptidão para a implantação de dutos dessa natureza é nula.

Vale ressaltar que a principal preocupação nessa etapa foi obter essa hierarquização com base no RAP para que se pudesse fazer comparações entre os resultados obtidos no RAP e no presente estudo.

Além das prioridades inferidas da leitura do RAP e do Estudo de Avaliação e Análise de Riscos, para a atribuição de notas aos fatores ambientais foram consultadas publicações nacionais e internacionais e profissionais - especialistas - de nível superior ligados às áreas de engenharia agrônômica, ambiental, civil, mecânica, produção e arquitetura. É importante salientar que a atribuição de notas aos fatores ambientais considerados de maior relevância foi feita de maneira ordinal e não cardinal.

Dessa forma, aos fatores ambientais foram atribuídas notas entre 1 e 8 (valores inteiros), sendo a **nota 1 atribuída aos locais de MAIOR aptidão** para receber o duto e **8 os locais de MENOR aptidão**. Em função da operação matemática realizada pelo *software* utilizado para o cálculo do traçado de menor impacto (explicação adiante) os **locais com ABSOLUTA RESTRIÇÃO receberam nota -1 (um negativo)**.

A figura 6.5 apresenta as notas atribuídas aos fatores ambientais na área de estudo após análise do RAP e consenso entre os pesquisadores participantes. Cabe reiterar que estas notas atribuídas não têm a intenção de guardar proporção, mas apenas uma ordem. O resultado desta etapa é um mapa como o apresentado na figura 6.6.

Fator ambiental de interesse	Nota
Agricultura/pecuária/silvicultura (baixa suscetibilidade à erosão)	1
Agricultura/pecuária/silvicultura (média suscetibilidade à erosão)	2
Agricultura/pecuária/silvicultura (alta suscetibilidade à erosão)	3
Chácaras / Sítios	4
Faixa de 50 metros ao redor de aglomerações urbanas	4
Áreas residenciais / comerciais / industriais	4
Cerrado / Floresta Nativa / Várzea	8
Rios / Córregos	8
Áreas de Preservação Permanente (margens de corpos d'água)	8
Mineração ativa	-1

Figura 6.5 - Notas atribuídas aos fatores ambientais de interesse em função da aptidão para implantação do gasoduto.

O fator suscetibilidade à erosão foi considerado como sendo de caráter secundário e, assim, foi agrupado juntamente com atividades agro-pastoris, ou seja, em áreas com atividades de agricultura, pecuária ou silvicultura – que a princípio teriam notas 1 – o fator suscetibilidade à erosão determina a hierarquização com notas de 1 a 3.

É importante destacar que a atribuição da nota 4 para áreas residenciais, comerciais e industriais foi adotada para manter a hierarquização do empreendedor (inferida do RAP e do Estudo de Avaliação e Análise de Riscos), a fim de se usar os mesmos critérios para se comparar os traçados implantado e proposto.

No entanto, melhor abordagem seria considerar tais áreas como sendo **inaptas** para a implantação do gasoduto (e, como tal, receber nota **-1: restrição absoluta à passagem**), uma vez que o maior risco associado ao gasoduto está relacionado as fatalidades que um acidente pode causar.

Figura 6.6 - Detalhe de mapa com fatores ambientais ponderados em função da aptidão para implantação do gasoduto.

Etapa 5) Cálculo do traçado de maior viabilidade ambiental.

Para se determinar o traçado de maior viabilidade ambiental, o algoritmo empregado neste estudo calcula o caminho mais curto entre dois pontos a ser percorrido pelo duto, procurando atravessar áreas às quais se atribuíram notas mais baixas (mais aptas) e evitando passar por áreas com notas mais altas (menos aptas). Um local com nota -1 é reconhecido pelo *software* como uma área pela qual o traçado não pode seguir em hipótese alguma (no presente estudo, somente áreas de mineração ativa).

Figura 6.7 – Alternativa de traçado de maior viabilidade ambiental do gasoduto em uma parcela do trecho que atravessa área urbana (São Carlos - Jd. Novo Horizonte).

(Fonte: RANIERI e KIRCHHOFF, 2003)

Figura 6.8 – Alternativa de traçado de maior viabilidade ambiental do gasoduto no trecho que atravessa o Jd. Novo Horizonte (São Carlos) – imagem de satélite.

(Fonte: RANIERI e KIRCHHOFF, 2003)

A figura 6.7 apresenta o principal trecho, no município de São Carlos, onde há discordância entre o traçado atual e o traçado obtido aplicando-se a metodologia descrita anteriormente (que contempla a viabilidade ambiental do empreendimento). A figura apresenta traçado alternativo ao já instalado - proposto pelo RAP - que desvia de aglomerações humanas, e com isso diminui bastante o risco social no trecho considerado. A figura 6.8 mostra o mesmo trecho da figura 6.7 usando imagem de satélite.

A figura 6.9 mostra o traçado implementado e a alternativa de traçado de maior viabilidade ambiental para o trecho crítico no município de Descalvado, calculada conforme a metodologia apresentada. A figura 6.10 apresenta o mesmo trecho de Descalvado usando imagem de satélite.

Uma importante constatação é feita com relação ao comprimento dos trechos considerados críticos e dos propostos. No trecho de São Carlos, a alternativa proposta é 450 metros menor que a implantada, e a do trecho de Descalvado é 375 metros maior que a implantada, resultando em um total de 75 metros a menos de dutos necessários para a implantação dos trechos alternativos. Com isso, percebe-se que havia alternativa para o traçado que, além de ambientalmente mais adequada, era menor em comprimento, diminuindo o custo de implantação com dutos.

Vale ressaltar mais uma vez que a indicação de pontos críticos aqui feita se deve ao fato do gasoduto e das ECPs já estarem instalados. Melhor abordagem seria determinar o traçado de maior viabilidade ambiental entre a Estação de Transferência de Custódia do GASBOL e a ECP-03/2 (entre São Carlos e Porto Ferreira), e em seguida determinar os melhores locais das outras ECPs, sem “forçar” a passagem ou chegada em pontos pré-definidos (ECP-01/2 e ECP-02/2).

Figura 6.9 - Alternativa de traçado de maior viabilidade ambiental do gasoduto em trecho que atravessa área urbana (Descalvado – Rua Minas Gerais).

(Fonte: RANIERI e KIRCHHOFF, 2003)

Figura 6.10 – Alternativa de traçado de maior viabilidade ambiental do gasoduto em no trecho que atravessa a Rua Minas Geras (Descalvado) – imagem de satélite.

(Fonte: RANIERI e KIRCHHOFF, 2003)

No estudo de caso apresentado, mais de 90 % do traçado estão em áreas de uso agrícola, e pouco menos que 8 % em áreas urbanas e residenciais. Isso pode mascarar ou esconder trechos onde o risco é alto por este estar diluído na extensão total do gasoduto, o que demonstra a importância **de se examinar um trecho menor do gasoduto**, para que se apontem os riscos que são mais representativos dentro de toda extensão do sistema. O gráfico apresentado na figura 6.11 confirma claramente os trechos considerados mais críticos dentro de todo sistema.

Após a coleta dos dados referentes à caracterização populacional ao longo do gasoduto, construiu-se um gráfico relacionando o número provável de fatalidades pela quilometragem do gasoduto. Assim, a cada quilômetro do traçado foi calculado o número provável de fatalidades considerando o pior cenário acidental (bola de fogo), isto é, o evento que resultaria em maior número de vítimas fatais.

Figura 6.11 – Número provável de fatalidades por quilômetro de gasoduto

A figura 6.11 aponta com clareza os trechos considerados críticos no sistema em estudo. Os picos identificados no gráfico são exatamente os trechos que foram considerados críticos e propostas mudanças no traçado, ou seja, o trecho de São Carlos no Jardim Novo Horizonte, e o trecho de Descalvado na Rua Minas Gerais.

6.2 Identificação dos Perigos

Considerando a composição do gás transportado, pode-se descartar o perigo de nuvem de vapor tóxico uma vez que os componentes do gás natural transportado pela Gás Brasileiro não apresentam elevada toxicidade.

A árvore de evento apresentada na figura 6.12 retrata essas possíveis consequências no caso da ocorrência de vazamento de gasoduto.

Figura 6.12 – Árvore de Evento para vazamento de gás natural

Em gasodutos transportando gás natural, a possibilidade de ocorrência de VCF (ou *flash fire*) decorrente de ignição demorada é extremamente pequena devido ao fato do gás ser mais leve que o ar. Essa possibilidade diminui ainda mais com a ação do vento. Quanto mais forte o vento, mais difícil acontecer o fenômeno Incêndio da Nuvem de Vapor (em inglês, *Vapor Cloud Fire* - VCF). De fato, não existe evidência documentada de gás natural envolvido em tais acontecimentos.

Assim, os principais cenários acidentais de um vazamento a serem considerados são:

1. bola de fogo (em inglês, *fireball*)
2. jato de fogo (em inglês, *jet fire*)

6.3 Estimativa da Probabilidade de Ocorrência de Evento

As probabilidades são estimadas a partir de dados históricos sobre acidentes e vazamentos. Esse tipo de informação não existe no Brasil devido ao pouco tempo da existência de gasodutos no país. Em sendo assim, a estimativa das probabilidades de falhas em gasodutos fica condicionada aos bancos de dados internacionais, como o do Departamento de Transporte (DOT) e o do NTSB dos Estados Unidos, e o *do European Gas Pipeline Incident Data Group* (EGIG) na Europa.

Nos Estados Unidos, o DOT apresenta a frequência de vazamentos de $7,4 \times 10^{-4}/\text{km} \cdot \text{ano}$ para o período de 1970 a 1985. De 1984 a 1996 a frequência cai para $1,7 \times 10^{-4}/\text{km} \cdot \text{ano}$. Essa drástica redução se deve a revisão dos critérios usados para relato de acidentes nos Estados Unidos. A partir de 1984, novos critérios adotados passaram a excluir ocorrências que antes seriam incluídas nos relatórios de acidentes em gasodutos.

A frequência de vazamento em gasodutos avaliada pelo EGIG, considerando o somatório das ocorrências registradas como fissura, furo e ruptura, foi $4,4 \times 10^{-4}/\text{km} \cdot \text{ano}$ (de 1970 a 2001). Entretanto, a frequência de ocorrências diminuiu para $2,1 \times 10^{-4}/\text{km} \cdot \text{ano}$ para o período de 1997 a 2001. Isso, segundo EGIG (2002), se deve ao aumento de medidas de segurança adotadas pelo setor.

No entanto, vale ressaltar que o EGIG é um grupo formado por grandes operadores do sistema de transporte de gás na Europa Ocidental. Assim, é no mínimo discutível algumas de suas conclusões. Alegam, por exemplo, que no período de 1970 a 2001 não houve sequer uma fatalidade ou pessoas feridas decorrentes de acidentes com gasodutos.

Papadakis (1999) afirma que embora o EGIG não apresente números oficiais sobre fatalidades, uma estimativa não oficial da taxa média de fatalidades relacionada à rede de transporte de gás da Europa apresenta o valor de $1,1 \times 10^{-5}/\text{km} \cdot \text{ano}$, para o período de 1970 a 1991, o que, ainda segundo o autor seria quatro vezes menor do que a taxa no sistema de transmissão dos Estados Unidos ($4,2 \times 10^{-4}/\text{km} \cdot \text{ano}$). Mesmo alegando que durante um período de 31 anos não houve acidentes fatais com gasodutos na Europa Ocidental, existem inúmeros exemplos de acidentes que resultaram em muitas fatalidades no resto do mundo (vide figura 3.7 – pág. 27), contrariando a suposta afirmação de que acidentes com gasodutos não causam mortes.

Nos Estados Unidos, o número de pessoas feridas ou mortas por ano decorrente do transporte de gás se manteve constante sem que ocorresse nenhuma melhora no período de 1987 a 1995 (PAPADAKIS, 1999). Assim, o autor afirma que mesmo com as melhorias obtidas no sistema de transporte de gás que fizeram com que as frequências de vazamentos diminuíssem, o número de pessoas mortas e feridas se manteve, o que claramente indica que gasodutos têm um grande potencial de perigo (nas palavras do autor, *major hazard potential*).

Para a estimativa da probabilidade de ocorrência de cada evento identificado, foi escolhido o uso da frequência de vazamento fornecida pela base de dados EGIG ($2,1 \times 10^{-4}$ por km*ano) pelos seguintes motivos:

- Os dados do EGIG fazem distinção entre vazamentos por ruptura, furo e fissura, o que melhora a qualidade da informação gerada pela Árvore de Eventos.
- O valor da frequência de vazamento do EGIG é maior do que do DOT, e com isso garante-se estimativa mais conservadora da probabilidade de ocorrência de cada evento identificado.

Assim, a partir da árvore de evento construída na etapa anterior, estimou-se a probabilidade de ocorrência de cada evento. A figura 6.13 apresenta a estimativa de todas essas probabilidades.

Figura 6.13 – Árvore de Evento com probabilidades estimadas.
(Fontes: EGIG, 2002; BARTENEV et al., 1996; BURGER, 2001; CORNWELL e MARTINSEN, 1992)

Os dados sobre tipo de vazamento também foram obtidos da base de dados EGIG, em seu quinto relatório de 2002. Como pode ser notado, a diferenciação entre os tipos de vazamento se torna importante na estimativa da frequência de ocorrência do evento, refinando o resultado gerado pela árvore de evento. Por exemplo, as consequências de um vazamento do tipo ruptura são muito diferentes das do tipo fissura, assim como suas respectivas probabilidades de ocorrência.

Os dados relativos à ocorrência de ignição foram obtidos dos trabalhos de Bartenev et al. (1996), Burguer (2001), EGIG (2002) e Cornwell e Martinsen (1992).

6.4 Análise das Consequências

Essa etapa envolve estimar, por medidas e/ou modelos, transporte de materiais e propagação de energia pelo meio ambiente até os receptores de interesse, ou seja, estimar qual a Zona de Perigo associada à ocorrência de determinado evento.

6.4.1 Definição da Zona de Perigo

Ao considerar que vazamentos de um gasoduto de alta pressão podem resultar em graves danos à vizinhança próxima ao local do vazamento, necessita-se prever que área será afetada, em caso de acidente. Assim, deve-se adotar uma definição da zona de perigo, i. e., a área que será considerada como sendo de graves consequências.

Essa zona é definida, basicamente, pelos perigos da **radiação térmica** do fogo e das **explosões**, de um eventual acidente. Sua estimativa está ligada à relação existente entre intensidade de radiação térmica e a probabilidade de ocorrência de fatalidade que uma pessoa sofre ao ficar exposta a tal intensidade térmica, e é importante na estimativa do risco social.

Superfícies de materiais, como estruturas de madeira, podem pegar fogo como consequência da radiação térmica. Quanto maior o tempo de exposição, menor intensidade de radiação térmica se torna necessária para inflamar a superfície do material. Abaixo de certa intensidade, não ocorrerá ignição independente do tempo de exposição. Isso define o conceito de **intensidade crítica de radiação**. A intensidade crítica de radiação da madeira é aproximadamente 15 kW/m^2 (TNO¹⁶ apud JO e AHN, 2002).

¹⁶ TNO (1989). *Methods for the determination of possible damage*, Green Book, Chapter 1, TNO, Rijswijk, The Netherlands.

Para pessoas, a chance de ferimentos se torna significativa com 30 segundos de exposição a uma intensidade térmica de aproximadamente $14,5 \text{ kW/m}^2$, se tomado o valor máximo de 1% de fatalidade (JO e AHN, 2002). A tabela 6.1 apresenta um resumo dos efeitos relacionados à radiação térmica de acordo com diversos autores.

Tabela 6.1 – Efeitos da radiação térmica nas pessoas.

Intensidade Térmica I (kW/m^2)	Tempo p/ Queimadura (segundos) (Eisenberg et al. 1975)	Tempo p/ 1% mortalidade (segundos) (Hymes 1983)	Tempo p/ 50% mortalidade (segundos) (Hymes 1983)	Tempo p/ 100% mortalidade (segundos) (Bilo e Kinsman 1997)
5.05	30.3	123.1	267.1	406.4
6.31	23.5	91.5	198.5	302.1
9.46	14.7	53.4	115.8	176.2
12.62	10.6	36.4	79.0	120.2
15.77	8.2	27.0	58.7	89.3
25.24	4.8	14.5	31.4	47.8
31.55	3.7	10.8	23.3	35.5
37.85	3.0	8.4	18.3	27.9

(Fontes: EISENBERG et al., 1975; HYMES, 1983; BILO e KINSMAN, 1997)

Na literatura internacional, encontram-se diversos exemplos de valores de intensidade térmica na qual dor e queimaduras ocorrem (e.g. Eisenberg et al., 1975; Bagster e Pitblado, 1989; van Wingerden et al., 1994) e a tabela a seguir apresenta alguns desses valores.

Tabela 6.2 – Efeitos potenciais da radiação térmica (*I*)

<i>I</i> (kW/m²)	Efeitos
0.8 – 1.2	Radiação solar (meio dia).
1.6	Sem desconforto em longas exposições.
2.1	Mínimo para dor após 60 segundos.
4.0	0% chance de fatalidade.
4.7	Causa dor em 15 s, ferimentos após 30 s. Não causa fatalidades após vários minutos de exposição.
8.0	Causa morte em minutos.
9.5	Causa dor em 8 s, queimaduras de segundo grau após 20 s.
12.5	Intensidade mínima para madeira pegar fogo. 50 % de chance de fatalidade após 80 s.
23	10% de fatalidade para exposição instantânea.
30	Ignição espontânea de madeira.
37.5	Danos a equipamentos. 25% de fatalidade para exposição instantânea.
60	100% de fatalidade para exposição instantânea.

(Fontes: Eisenberg et al., 1975; Bagster e Pitblado, 1989; van Wingerden et al., 1994)

Uma zona de graves conseqüências, devido à radiação térmica, pode ser definida como a área dentro da qual espera-se que sejam significativos: 1) os danos à propriedade e 2) a chance de ocorrer ferimentos graves ou fatalidades.

Assim, essa área pode ser definida como um contorno de intensidade de radiação térmica, correspondente a um valor máximo abaixo do qual:

- pessoas, no momento da falha, estariam expostas a uma baixa chance de fatalidade (1%);
- estruturas de madeira não queimariam, por não sofrerem ignição.

No Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) publicou no ano 2000 o documento intitulado “Termo de Referência para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos”, o qual estabelece que os níveis de intensidade térmica a serem adotados serão de 12,5 kW/m² e 37,5 kW/m², os quais representam respectivamente uma probabilidade de 1% e de 50% de fatalidade da população afetada, isso para tempos de exposição de 30 e 20 segundos. Assim, para eventos acidentais envolvendo incêndios, as distâncias de interesse são aquelas correspondentes aos níveis de radiação térmica de 12,5 kW/m² e 37,5 kW/m².

Gas Research Institute (GRI), (2000) desenvolveu uma abordagem simplificada para se prever a área potencialmente afetada pelo vazamento de um gasoduto de alta

pressão transportando gás natural. Consideram o cenário de ruptura total do gasoduto como o pior caso (em inglês, *worst-case scenario*), chegando na seguinte equação:

$$r = \sqrt{\frac{2348p \cdot d^2}{I_{th}}} \quad (1)$$

onde,

r = distância radial (em pés) onde a intensidade térmica é igual a I_{th} ;

I_{th} = intensidade térmica (Btu/hr/ft²);

p = pressão no duto (psi);

d = diâmetro do duto (polegadas).

Jo & Ahn (2002) propõem uma equação (eq. 2) para estimativa da distância (raio) de perigo, associada à radiação térmica, a partir do ponto de vazamento do gasoduto no caso de ruptura total. Essa equação considera o valor de $I = 15 \text{ kW/m}^2$ como sendo o limite da zona de perigo.

$$r \cong 1.512 \cdot \left(\frac{P_0^{\frac{1}{2}} \cdot d^{\frac{5}{4}}}{L^{\frac{1}{4}}} \right) \quad (2)$$

onde,

P_0 = pressão na estação de compressão (N/m²);

d = diâmetro do gasoduto (m);

L = comprimento do gasoduto entre a estação de compressão até o ponto de vazamento (m).

Uma vez cercada pela mistura gás/ar na zona inflamável, uma construção poderia ser potencialmente destruída pela explosão do gás - caso encontrasse uma fonte de ignição. Assim, o comprimento do jato de gás pode ser usado na estimativa da zona de perigo.

Jo & Ahn (2002) propõem a seguinte equação para se estimar o tamanho do jato de gás a partir do ponto de vazamento do gasoduto, em caso de ruptura total:

$$l \cong 726 \cdot d \left(\frac{d}{L} \right)^{\frac{0.71}{2.42}} \left(\frac{P_0}{P_a} \right)^{\frac{0.5}{1.42}} \quad (3) \text{ e } (4)$$

$$w \cong 123 \cdot d \left(\frac{d}{L} \right)^{\frac{0.71}{2.42}} \left(\frac{P_0}{P_a} \right)^{\frac{0.5}{1.42}}$$

onde,

l = comprimento do jato de gás (m);

w = largura do jato de gás (m);

d = diâmetro do gasoduto (m)

L = comprimento do gasoduto entre a estação de compressão até o ponto de vazamento (m);

P_0 = pressão na estação de compressão (N/m^2);

P_a = pressão atmosférica (N/m^2).

A equação proposta por GRI (eq.1) não considera a perda de carga que ocorre dentro do duto que faz com que a pressão do gás diminua ao ser transportado por grandes extensões. Já as equações propostas por Jo e Ahn (eqs. 2 e 3) consideram o efeito da perda de carga. No entanto, as equações propostas por Jo e Ahn (2002) estimam distâncias correspondentes à intensidade de radiação térmica de 15 kW/m^2 , enquanto na proposta por GRI (2000) pode-se escolher o valor adotado de I .

Assim, para efeito de comparação entre as equações propostas pelos autores anteriormente citados, será adotado o valor de 15 kW/m^2 como sendo a intensidade térmica de interesse para a estimativa do raio da zona de perigo.

Como base para avaliar a validade do modelo proposto por GRI (2000), foram usadas informações sobre acidentes ocorridos nos Estados Unidos e Canadá. Ao todo, foram revisados 12 acidentes (três no Canadá e o restante nos Estados Unidos). Os autores puderam concluir que em todos os casos a área calculada é conservadoramente maior que a área de chão queimada segundo informações constantes nos relatórios analisados.

Ainda segundo os autores, o aparente conservadorismo do modelo se dá pelo fato dele estar baseado em uma taxa efetiva de vazamento contínuo, o que é consistente com a suposição de ignição quase imediata. Afirmam que o tempo para ignição para a maioria dos acidentes relatados é provavelmente maior, fazendo com que a aproximação da taxa de vazamento efetiva torne o modelo conservador.

Já na pesquisa de Jo e Ahn (2002), os autores afirmam que o modelo proposto superestima a zona de perigo nos pontos próximos às estações (começo do gasoduto), mas ao se distanciar acima de 500 metros, a zona de perigo é estimada com erro de 0 a 15% acima do resultado que seria obtido através da solução exata, o que leva a uma

estimativa conservadora. Esse erro diminui ao longo do gasoduto. Assim, uma linha de tendência foi introduzida à curva obtida com o modelo desconsiderando os valores dos primeiros 2000 metros a fim de se minimizar o erro da estimativa.

O modelo proposto por Jo e Ahn (2002) considera o efeito de perda de carga, e com isso a zona de perigo diminui com o comprimento do gasoduto. No entanto, como forma de análise conservadora, adotou-se o valor mais alto obtido através da linha de tendência da curva estimada pelo modelo. O Apêndice A mostra com maiores detalhes como foram efetuado esses cálculos.

Já o modelo proposto pelo GRI (2000) não considera o efeito de perda de carga, estimando a zona de perigo máxima para todo o trecho considerado. Estimou-se, então, a zona de perigo associada ao gasoduto usando as equações 1, 2, 3 e 4, e foram obtidos os resultados apresentados na tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Estimativa da Zona de Perigo (15kW/m²)

Estimativa da Zona de Perigo	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3
Modelo Jo e Ahn (2002) – eq. 2, 3 e 4	67,20 m	52,60 m	48,60 m
Modelo GRI (2000) – eq.1	38,02 m	36,17 m	30,15 m

Vale lembrar que o **trecho 1** se refere a porção do gasoduto desde a Estação de Transferência de Custódia até a ECP-01/2, em São Carlos; o **trecho 2**, da ECP-01/2 até a ECP-02/2, já em Descalvado; e o **trecho 3** é referente ao segmento a partir da ECP-02/2 até a ECP-03/2 em Porto Ferreira.

Os valores apresentados na tabela 6.3 poderiam ser usados como um critério no estudo da localização do traçado do gasoduto, usando as zonas de perigo calculadas como referência para o distanciamento do gasoduto de aglomerações humanas.

Por exemplo, ao se aplicar essa zona de perigo como critério no estudo preliminar da localização do gasoduto, percebe-se que no trecho da Rua Minas Gerais em Descalvado muitas casas ficam dentro da área de exposição, elevando o número de potenciais vítimas fatais no caso de acidente.

A figura 6.14 apresenta o trecho crítico de Descalvado com as respectivas zonas de perigo calculadas segundo Jo & Ahn (2002) e GRI (2000). Percebe-se que existem várias casas, um supermercado e um bar na zona de perigo.

Figura 6.14 – Zona de perigo aplicada ao trecho crítico de Descalvado

Assim, a partir dos estudos realizados sobre os riscos impostos pelo gasoduto às pessoas neste trecho, ficaria clara a necessidade de mudança do traçado para um local onde a distância de separação do gasoduto das residências respeitasse os valores calculados para a zona de perigo, e com isso, diminuísse o número de pessoas expostas ao risco.

6.5 Caracterização dos Riscos

A estimativa do risco é desenvolvida para ambos os riscos individuais e sociais (ou populacionais) através da integração dos resultados das análises de probabilidade e de consequências.

A apresentação do **risco individual** é feita através do perfil de risco, que mostra as frequências esperadas vs. distância da fonte, possibilitando visualizar a distribuição geográfica do risco em diferentes regiões. Assim, o contorno de um determinado nível de risco individual representará a frequência esperada de um evento capaz de causar um dano em um local específico. A figura 6.15 apresenta o risco individual calculado para todo o traçado do gasoduto em estudo.

Figura 6.15 – Risco Individual associado ao gasoduto em estudo

Percebe-se pela figura 6.15 que o ponto onde o risco é maior (em cima do duto) não alcança o limite de 10^{-5} . No Estado de São Paulo, dutos com risco de fatalidade menor que 10^{-5} por ano são considerados aceitáveis. Somente se o risco fosse acima de 10^{-4} que este entraria na faixa dos riscos intoleráveis, sendo a faixa entre 10^{-4} e 10^{-5} considerada como área de riscos gerenciáveis e que devem ser reduzidos ao máximo possível.

Por outro lado, como exposto na seção 3.6 – figura 3.8 (pág. 37), o gasoduto analisado só estaria dentro da faixa de riscos aceitáveis pelos critérios do Brasil e de

Hong Kong. Na Austrália, Reino Unido, Holanda e Venezuela o risco individual associado ao gasoduto em estudo estaria fora da faixa de riscos aceitáveis. Como pode ser visto na tabela B.6 do **Apêndice B** (pág. 110), o risco individual de fatalidade é igual a 10^{-6} por ano (1 chance em 1 milhão) a 73 metros do gasoduto.

A tabela 6.4 apresenta uma comparação entre riscos voluntários e involuntários, comumente aceitos pela sociedade em relação ao risco associado ao gasoduto em questão.

Tabela 6.4 – Comparação entre riscos.

Riscos Voluntários		Riscos Involuntários	
<i>Atividade</i>	<i>Risco de Morte por Pessoa por Ano ($\times 10^{-6}$)</i>	<i>Atividade</i>	<i>Risco de Morte por Pessoa por Ano ($\times 10^{-6}$)</i>
Fumar cigarros (20 cigarros/dia)	5000	Gripe	200
Andar de moto	2000	Leucemia	80
Corrida de carro	1200	Gasoduto (a 10 metros de distância)	3.4
Dirigir carro (EUA)	170	Enchentes (EUA)	2.2
Escalar montanha	40	Terremotos (Califórnia-EUA)	1.7
Tomar pílulas contraceptivas	20	Tempestades (EUA)	0.8

(Fonte: Cornwell et al., 1989; Kletz, 1976)

O risco anual de morte a 10 metros do gasoduto fica em 3.4×10^{-6} . É interessante notar que o risco calculado para o gasoduto em questão é 1000 vezes menos arriscado que a atividade de fumar cigarros. Tal conclusão pode levar a decisões incorretas com relação ao risco relativo a esse empreendimento. Assim, pode-se concluir, por exemplo, que um fumante não teria o menor problema em aceitar tal situação. No entanto, um acidente com um gasoduto pode ter consequências devastadoras.

No entanto, é interessante notar que o risco acima de 100×10^{-6} (ou 10^{-4}) para gasodutos é considerado inaceitável no Estado de São Paulo. Portanto, considerando essa hipótese, o risco associado a gasodutos ainda seria 50 vezes menor comparativamente ao ato de fumar cigarros e 20 vezes menor que o ato de andar de moto. Tal comparação pode levar a interpretações equivocadas. De fato, isso não

significa que o risco associado a gasodutos seja baixo e, sendo assim, deveria ser considerado aceitável.

Assim, riscos habituais considerados aceitáveis por muitos (como é o caso do cigarro) podem acabar por mascarar o real significado do risco imposto pela atividade analisada, levando a interpretações errôneas e induzindo a tomadas de decisão equivocadas.

O **risco social** é apresentado através das curvas F-N, obtida por meio da plotagem dos dados de frequência acumulada do evento final e seus respectivos efeitos representados em termos de número de vítimas fatais. A estimativa do risco social requer informações a respeito da densidade populacional local, do tipo de ocupação (residências, comércio, indústria, áreas rurais, etc), efeitos em diferentes períodos (diurno e noturno) e respectivas condições meteorológicas, e características das edificações onde as pessoas se encontram.

A partir da coleta dos dados necessários para a construção das curvas F-N, foram montados diversos cenários considerados importantes para a análise dos resultados obtidos. O **Apêndice C** apresenta com maiores detalhes a abordagem adotada na construção das curvas F-N.

Percebeu-se durante o estudo que no trecho crítico em Descalvado (Rua Minas Gerais) os lotes mais ao norte apresentavam claramente grande potencial para ocupação. Como forma de verificar uma possível mudança futura do risco social devido a essa ocupação, considerou-se o cenário onde os lotes estão totalmente ocupados.

Assim, os dois primeiros cenários avaliados foram baseados na caracterização populacional considerando:

- ocupação atual;
- ocupação de todos os lotes no trecho crítico de Descalvado.

A figura 6.16 apresenta uma comparação entre as curvas F-N para os cenários: 1) ocupação atual e 2) ocupação total dos lotes no trecho crítico de Descalvado, bem como os critérios de aceitabilidade adotados pela CETESB no Estado de São Paulo.

Figura 6.16 – Comparação entre as curvas F-N para os dois cenários considerados

O empreendedor do gasoduto argumenta ter adotado como medida de proteção o uso do chamado tubo-camisa no trecho crítico de Descalvado. Afirma que tal adoção reduz a probabilidade de ocorrência do evento bola de fogo a zero. Tal suposição é considerada extremamente otimista (não conservadora), uma vez que não existem estudos que comprovem tamanha eficácia. Risco zero é exceção em qualquer atividade humana e deve ser devidamente comprovada, ainda mais em gasoduto.

Vale ressaltar que o tubo-camisa **não está em todo o trecho da Rua Minas Gerais**. Em um trecho onde o duto precisa fazer uma curva, essa medida de proteção não existe pois o tubo-camisa foi aplicado apenas em trechos retilíneos.

Em conversas com especialistas na área através da lista de discussão RiskAnal¹⁷, ficou claro que a suposição adotada não condiz com a realidade. Bier (2003)¹⁸ afirma que mesmo que sejam adotadas uma série de medidas de proteção do duto, **de forma alguma a probabilidade de ocorrência de falha seria zero**.

¹⁷ Lista de discussão de profissionais ligados à área de Análise de Risco disponível em: <riskanal@lyris.pnl.gov>

¹⁸ Vicki Bier é Professora Ph.D. pelo Departamento de Engenharia Física (*Department of Engineering Physics*) da Universidade de Wisconsin, e tem trabalhado com: Perigos Tecnológicos, Análise de Risco, Análise Decisória (*Decision Analysis*) e Pesquisa de Operações (*Operations Research*).

Lorenzo (2003)¹⁹ afirma que **nenhuma combinação de medidas de proteção do gasoduto pode reduzir a probabilidade de ocorrência a zero**. Assim, afirma que dificilmente atingiria um fator de redução de 10 vezes com a adoção de tais medidas, o que resultaria na curva F-N ainda na região ALARP (riscos gerenciáveis), longe da região de riscos considerados aceitáveis.

Mesmo não concordando com a adoção da suposição de que o uso do tubo-camisa reduz a probabilidade de ocorrência do evento bola de fogo a zero, foi montado também o cenário que considera o tubo-camisa 100% eficaz na mitigação do evento bola de fogo. Uma vez que a adoção de tal medida não abrange todo o trecho considerado crítico, ainda assim algumas casas estariam dentro da área de risco. A figura 6.17 apresenta o trecho crítico com as curvas de fatalidade relativas a 12,5 kW/m² e 37,5 kW/m² (1% e 50% de fatalidade, respectivamente) para o cenário acidental bola de fogo, considerando a existência e total eficácia da medida de proteção tubo-camisa.

O **Apêndice D** apresenta as figuras com as curvas de fatalidade para os trechos críticos, para todos os cenários acidentais considerados no estudo.

¹⁹ Donald Lorenzo é consultor independente pela ABS Consulting, Houston, Texas (E.U.A.), especializada em serviços relacionados a segurança, qualidade e sistemas de gerenciamento ambiental. É também especializada em Análise e Avaliação de Riscos e Planos de Gerenciamento de Riscos.

Figura 6.17 – Curvas de fatalidade do trecho crítico de Descalvado considerando a existência do tubo-camisa

Percebe-se pela figura que mesmo se considerando o tubo-camisa 100% eficaz no evento bola de fogo, caso o acidente ocorra no trecho que não existe essa proteção várias pessoas estariam expostas a esse cenário accidental.

A figura 6.18 apresenta uma comparação das curvas F-N entre os seguintes cenários:

- sem tubo-camisa – ocupação atual
- sem tubo camisa – ocupação total dos lotes
- com tubo-camisa – ocupação atual
- com tubo camisa – ocupação total dos lotes

Figura 6.18 – Comparação entre as curvas F-N

Aparentemente, a adoção de tal medida de proteção não justifica a aprovação do traçado tão próximo a residências. O resultado da análise das curvas F-N deveria estimular a mudança do traçado nesse trecho altamente populoso, uma vez que havia alternativas mais apropriadas.

Foi feita análise do gasoduto por trechos de 1 quilômetro para visualização dos trechos que estariam impondo maiores riscos nos seus arredores. Assim, foram montados os gráficos apresentados nas figuras 6.19 e 6.20, as quais apresentam o número provável de fatalidades por quilômetro de gasoduto considerando o cenário acidental de piores conseqüências (bola de fogo), ou seja, o cenário que causaria maior número de vítimas fatais.

A figura 6.19 apresenta o gráfico para o cenário atual de ocupação e a figura 6.20 apresenta o mesmo gráfico considerando os lotes totalmente ocupados no trecho crítico de Descalvado. Ambas mostram os seguintes cenários:

- sem tubo-camisa (período diurno)
- sem tubo-camisa (período noturno)
- com tubo-camisa (período diurno)
- com tubo-camisa (período noturno)

Figura 6.19 – Número provável de fatalidades por quilômetro de gasoduto – cenário atual

Figura 6.20 – Número provável de fatalidades por quilômetro de gasoduto – lotes ocupados

Os trechos onde o número de vítimas fatais seriam maiores no caso do acontecimento do cenário acidental bola de fogo são exatamente os trechos considerados críticos no presente trabalho. Mostra, ainda, que a adoção da medida de proteção tubo-camisa reduz o número provável de fatalidades, porém, esse número continua alto (em torno de 220 pessoas no pico), o que reforça a idéia de mudança do traçado para locais onde se mantenha uma distância segura de núcleos habitacionais.

A seguir, serão comparados os riscos dos traçados implantado e alternativo proposto. A adoção do tubo camisa como forma de reduzir os riscos será também discutida em comparação a mudança do traçado.

6.6 Comparação entre os Riscos dos Traçados: Implantado e Alternativo

Uma comparação entre os riscos sociais dos dois pontos críticos identificados é apresentada na figura 6.21 através de curvas F-N para os trechos considerados. Considerando que o número de pessoas expostas a um acidente com o gasoduto no trecho proposto seria muito menor (e portanto, o número de fatalidades também menor), os pontos na curva F-N deslocam-se para a esquerda e saem da área de risco gerenciável para a área de risco aceitável, ou como aparece no Termo de Referência da CETESB, risco negligenciável.

Deve-se ressaltar que a metodologia usada para a determinação do traçado alternativo de maior viabilidade ambiental desvia de grandes aglomerações humanas, portanto, é de se esperar a queda no número de fatalidades prováveis, ao se modificar o traçado do gasoduto de um local com várias casas (a cinco metros do traçado) para um local onde grandes aglomerações ficam a distâncias seguras do gasoduto.

Figura 6.21 - Comparação entre o traçado alternativo e o implantado

A figura 6.21 apresenta comparação entre a opção inicial do empreendedor passando pela Rua Minas Gerais sem o uso do tubo-camisa e, posteriormente, a adoção do tubo-camisa como medida de proteção a fim de se reduzir os riscos associados ao gasoduto e com isso, afastar a curva F-N do limite de intolerabilidade. A curva apresentada para o traçado alternativo mostra claramente que os riscos diminuem mais drasticamente com a mudança do traçado, mesmo sem o uso da medida de proteção adotada.

Para o trecho crítico de Descalvado, é interessante notar que o tubo-camisa foi aplicado em aproximadamente 600 metros do traçado do gasoduto. O traçado alternativo proposto tem apenas 450 metros a mais que o traçado implantado, o que mostra além de uma melhor adequação ambiental do traçado, também uma melhor adequação do ponto de vista econômico por necessitar de menor quantidade de dutos.

Voltando ao Princípio da Prevenção, tem-se aqui situação onde existe alternativa “menos arriscada” e esta deveria ser adotada prevenindo eventuais efeitos adversos associados ao gasoduto em questão. Uma vez sabendo do potencial que o gasoduto tem de causar fatalidades (riscos), deve-se optar por escolhas de traçados que evitem a proximidade de aglomerações humanas.

Percebe-se pela figura 6.21 que a mudança do traçado, embora reduza substancialmente o risco afastando a curva do limite de intolerabilidade, não traz a

curva para a região de riscos totalmente aceitáveis. Essa situação acontece pois o traçado foi modificado apenas em dois trechos, deixando ainda alguns locais com residências e estabelecimentos comerciais dentro da área de risco.

Também, no traçado alternativo não foi empregado nenhum tipo de medida mitigadora, o que poderia reduzir ainda mais a curva F-N do traçado alternativo, deslocando a mesma para a esquerda e se aproximando da região de riscos totalmente aceitáveis.

Se fosse usada uma distância de segurança (baseada nas simulações relacionadas aos cenários acidentais considerados) como critério para localização do traçado total, seria possível trazer a curva F-N para a região de risco aceitável. Assim, existindo a possibilidade de se distanciar o gasoduto de forma a reduzir o número de pessoas na área de risco, garante-se risco mínimo à população nas adjacências ao gasoduto.

7. CONCLUSÕES

Cabe reiterar que risco associado a gasodutos é fato. Nos Estados Unidos, por exemplo, o número de pessoas feridas ou mortas por ano decorrente do transporte de gás se manteve constante sem que ocorresse nenhuma melhora no período de 1987 a 1995. Assim, mesmo com as melhorias obtidas no sistema de transporte de gás que fizeram com que as frequências de vazamentos diminuíssem, o número de pessoas mortas e feridas se manteve, o que claramente indica um grande potencial de perigo associado a gasodutos.

Nessa perspectiva, os resultados obtidos através da metodologia usada permitem concluir que o binômio tipologia-localização não foi totalmente considerado como ponto fundamental no estudo da viabilidade ambiental do gasoduto em questão, pois é a partir da definição de tipologia e do estudo de localização que se avalia a viabilidade ambiental da atividade. Assim, o fato de o risco ter sido contemplado apenas após a definição da localização do traçado comprometeu o processo de estudo de alternativas locais.

O estudo elaborado para se licenciar o gasoduto em questão apresenta um erro grosseiro no procedimento relativo a escolha de sua localização, uma vez que não foram apresentados critérios claros para essa escolha. Assim, mesmo existindo opções para um traçado considerado ambientalmente viável, preferiu-se (por parte do empreendedor) pela adoção de medidas mitigadoras à escolha da localização ambientalmente mais adequada. Com isso, o empreendedor impõe uma situação na qual a população deve conviver com um risco que antes não existia, i. e., ele externaliza à população os riscos associados ao seu empreendimento.

A suposição do empreendedor do gasoduto argumentando que a adoção do tubo-camisa como medida de proteção reduziria a probabilidade de ocorrência do evento bola de fogo a zero é considerada extremamente otimista, uma vez que não existem estudos

que comprovem tamanha eficácia. Risco zero é exceção em qualquer atividade humana e deve ser devidamente comprovada, ainda mais em gasoduto.

Não existe justificativa para a passagem do gasoduto em questão em meio a um bairro residencial, deixando pessoas expostas aos riscos impostos pelo mesmo. Não é válido o argumento de que o gasoduto, para chegar ao consumidor final, em algum momento os dutos inevitavelmente entram em áreas residenciais. Talvez isso fosse aplicável em grandes centros urbanos como São Paulo, mas não é o caso das realidades de cidades como São Carlos, Descalvado e Porto Ferreira, onde sem dúvida existem alternativas mais apropriadas.

Com relação ao Relatório Ambiental Preliminar, conclui-se que o mesmo **não serve como elemento no processo de licenciamento de gasodutos**, uma vez que a metodologia adotada no RAP elaborado para licenciar o gasoduto em questão não permite garantir que o traçado escolhido e implementado pelo empreendedor apresente viabilidade ambiental.

Uma vez que o RAP não atendeu aos aspectos de alternativas locacionais, o empreendimento em questão deveria ter sido avaliado através de EIA. Dessa maneira, o **RAP elaborado é insuficiente** para garantir que exista viabilidade ambiental no gasoduto em questão. Além disso, no EIA, a AR seria elaborada na obtenção da LP e, portanto, os riscos estariam sendo contemplados na definição do traçado. No caso do RAP, a AR foi “exigida” apenas para obtenção da LI. Dessa forma, quando a AR foi elaborada o traçado já havia sido aprovado.

O procedimento administrativo do licenciamento ambiental, mecanismo de controle e restrição da atividade humana pelo poder público, tem por fundamento impedir que venha a mesma a ser danosa ao meio ambiente. Assim, cabe salientar que o processo de licenciamento não deve se encerrar com a emissão das licenças. Nessa perspectiva, o estudo de viabilidade ambiental necessita de instrumentos que atribuam confiabilidade ao processo decisório, e a Avaliação de Risco torna-se uma ferramenta fundamental em análises de novos empreendimentos que possam trazer riscos à sociedade e ao meio ambiente, e portanto, ao licenciamento ambiental.

No estudo de caso apresentado, a aprovação da localização do gasoduto partiu do pressuposto que a adoção de medidas mitigadoras, através de adoção de tecnologia

disponível, poderiam ser usadas para garantir a viabilidade ambiental do empreendimento. Em essência, o caminho deve ser o inverso. Primeiro, estabelece-se a localização de maior viabilidade ambiental e, a partir dessa escolha, adota-se medidas que mitiguem e reduzam os impactos que ainda existirem. Além de garantir impactos negativos menores, essa abordagem reduz os custos de implantação e de medidas mitigadoras e compensatórias a serem adotadas pelo empreendedor.

Conclui-se que se a AR fosse usada desde o início do processo de licenciamento ambiental, os riscos seriam avaliados e usados como critério fundamental para o estudo de localização do traçado do gasoduto, condição essencial para o estabelecimento da viabilidade ambiental da atividade em questão. Assim, certamente o gasoduto analisado não atravessaria áreas residenciais como o fez.

O Licenciamento Ambiental é instrumento que se mostra com estreita ligação com processos de avaliação de impacto ambiental, e somente deve ser concedido após a certeza da conciliação entre a atividade e a qualidade ambiental. Assim, os resultados apontam que o Licenciamento, da forma como foi feito, não foi efetivo no balanceamento entre atividade e qualidade ambiental. Dessa maneira, a Licença Prévia não deveria ter sido concedida.

No estudo de caso apresentado, mais de 90 % do traçado estão em áreas de uso agrícola, e pouco menos que 8 % em áreas urbanas e residenciais. Isso pode mascarar ou esconder trechos onde o risco é alto por este estar diluído na extensão total do gasoduto, o que demonstra a importância **de se examinar um trecho menor do gasoduto**, para que se apontem os riscos que são mais representativos dentro de toda extensão do sistema. O gráfico apresentado na figura 6.11 (pág. 63) confirma claramente os trechos considerados mais críticos dentro de todo sistema.

Vale ressaltar que o simples uso da ferramenta não necessariamente garante que o empreendimento apresente viabilidade ambiental, podendo passar meramente a condição de "mais um item do *checklist*" exigido no processo de licenciamento.

Uma parte muito importante no processo de análise dos riscos é a Aceitabilidade dos Riscos, a qual determina a partir de que ponto o risco estimado é considerado aceitável ou não.

No Estado de São Paulo, empreendimentos que foram exigidos a elaborar Estudo de Análise de Risco apresentaram riscos dentro da faixa de aceitabilidade estipulada pela CETESB. Por outro lado, são no mínimo discutíveis tais valores adotados como critério de aceitabilidade uma vez que estes não parecem estar na mesma direção dos critérios de aceitabilidade adotados em outros países mais “desenvolvidos” no que diz respeito ao estudo e análise dos riscos associados a atividades humanas. Dessa forma, conclui-se que o critério de aceitabilidade adotado pela CETESB é muito permissivo em comparação aos outros adotados nos diversos países pesquisados.

Como exposto na seção 3.6 – figura 3.8 (pág. 37), o gasoduto analisado só estaria dentro da faixa de riscos aceitáveis pelos critérios do Brasil e Hong Kong. No Reino Unido, Holanda e Venezuela o risco individual associado ao gasoduto em estudo estaria na faixa de riscos inaceitáveis, e na Austrália na região *ALARP*.

O mesmo ocorre com os riscos sociais. A curva F-N calculada fica dentro da região de intolerabilidade pelos critérios usados em Santa Bárbara (Estados Unidos), na Venezuela e na Holanda. Apenas no Brasil e na Inglaterra a curva estaria dentro da região *ALARP*.

Por aceitar valores muito altos para riscos considerados aceitáveis, os órgãos ambientais do Estado de São Paulo podem estar licenciando atividades sem garantir **risco mínimo à população** e ao meio ambiente.

8. RECOMENDAÇÕES

1. A Avaliação de Risco deveria ser usada no processo de Estudo de Impacto Ambiental, auxiliando o estudo de alternativas locacionais ao propor critérios para este estudo. Portanto, a AR - como um estudo exigido para o Licenciamento - deve estar relacionada à Licença Prévia.
2. Seria interessante a adoção de medidas que impedissem a ocupação de locais próximos ao gasoduto que estivessem dentro da chamada zona de perigo estimada através da Avaliação de Risco. Esse corredor, então, deveria ser de alguma forma desapropriado pelo empreendedor a fim de se evitar futura ocupação em área de risco e garantir a operação no decorrer dos anos dentro de riscos compatíveis.
3. No estudo de localização de dutos e estações, a Avaliação de Risco deve servir como fonte de critérios, ou seja, a AR é concomitante ao estudo de traçado e não posterior como foi feito no estudo de caso apresentado.
4. Locais ocupados, por onde um gasoduto proposto passa a impor riscos que antes inexistiam, devem ser indenizados, uma vez que o empreendedor estaria aí externalizando, aos proprietários destes imóveis, os riscos associados ao seu empreendimento.
5. Deveria ser realizada revisão dos critérios de aceitabilidade adotados pelo Estado de São Paulo a fim de adequar tais critérios às características atuais referentes aos estudos de análise de riscos associados a gasodutos. Essa revisão deve tornar os critérios compatíveis aos critérios de outros países e levar em consideração a carência de informações e detalhamento no Brasil.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J. (1995). **Risk**. London, Routledge. 228 p.

AKAOUI, F. R. V. (2002). Resolução nº 42/94 da Secretaria Estadual do Meio Ambiente de São Paulo: Um texto contaminado pela eiva da inconstitucionalidade – A necessidade do estudo de impacto ambiental. **Revista Justitia**. Disponível em: <www.mp.sp.gov.br/justitia/CÍVEL/civel%2068.pdf>. Acesso em: 01 out. 2003.

ALLEN, F. R.; GARLICK, A. R.; HAYNS, M. R.; TAIG, A. R., eds. (1992). **The management of Risk to society from potential accidents**. London, Elsevier.

ARNALDOS, J. et al. (1998). Design of a computer tool for the evaluation of the consequences of accidental natural gas releases in distribution pipes. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, n. 11, p. 135-48.

BAGSTER, D. F.; PITBLADO, R. M. (1989). **Thermal Hazards in the Process Industry**. Chemical Engineering Progress.

BARTENEV, A. M. et al. (1996). Statistical Analysis of Accidents on the Middle Asia Centre-Gas Pipelines, **Journal of Hazardous Materials**, v. 46, p. 57-69.

BIER, V. (2003). **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <dkir@sc.usp.br> em 18 nov.

BILO, M.; KINSMAN, P. R. (1997). Thermal Radiation Criteria Used in Pipeline Risk Assessment. ***Pipes & Pipelines International***, Nov.-Dec., p. 17-25.

BURGER, L. (2001). ***EIA – Air Quality and Risk Assessment for the Proposed SASOL Gas Pipeline Between Secunda and Komatipoort***, Africa. Gas Supply Project. Mark Wood Consultants.

CANTER, L. W.; KNOX, R. C. (1990). ***Groundwater Pollution Control***. Chelsea, Michigan, Lewis Publishers. Cap. 7, p. 263-293.

CARPENTER, R. A. (1995). Risk Assessment. In: VANCLAY, F.; BRONSTEIN, D. A., eds. ***Environmental and social impact assessment***. New York, John Wiley & Sons Ltd. Cap. 9, p. 193-219.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (2000). ***Termo de referência para a elaboração de estudos de Análise de Riscos***. São Paulo, Brasil.

CORNWELL, J. B. et al. (1989). Risk Analysis Methodology for Gas Pipelines. In: ***Petro-Safe '89***, Houston, Texas, Oct.

CORNWELL, J. B.; MARTINSEN, W. E. (1992). Quantitative Risk Analysis of a Sour Gas Pipeline. In: ***Pipeline Risk Assessment, Rehabilitation, and Repair Conference***, Houston, Texas, May.

CORNWELL, J. B.; MEYER M. M. (1997). Risk Acceptance Criteria or “How Safe is Safe enough?”. In: ***II Risk Control Seminar***, Puerto La Cruz, Venezuela, Oct.

EGIG (2002). ***Gas Pipeline Incidents***. 5th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group 1970-2001. Groningen, Sep.

EISENBERG, N. A. et al. (1975). ***Vulnerability Model: A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills***. Environmental Control, Report CG-D-136-75, Rockville, MD, USA.

FREY, H. C.; BURMASTER, D. E. (1999). Methods for Characterizing Variability and Uncertainty: Comparison of Bootstrap Simulation and Likelihood-Based Approaches. ***Risk Analysis***, v. 19, n. 1, Feb.

GRANZIERA, M. L. M. (2001). ***Direito de Águas. Disciplina Jurídica das Águas Doces***. 1ª Edição, São Paulo, Editora Atlas.

GÁS BRASILIANO DISTRIBUIDORA S.A. (2001). Relatório Ambiental Preliminar – RAP. ***Sistema de Distribuição de Gás Natural (Eixo São Carlos - Descalvado - Porto Ferreira)***. Equipe UMAH – Urbanismo, Meio Ambiente, Habitação S/C Ltda.

GAS RESEARCH INSTITUTE (2000). ***A Model for Sizing High Consequence Areas Associated with Natural Gas Pipelines***. Topical Report GRI-00/0189. Edmonton, Alberta, Canada, Oct.

HASTINGS, D. (2001). ***Risk Assessment and Management***. Departamento de Sistemas de Engenharia. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Estados Unidos. Disponível em: <http://msl1.mit.edu/ESD10/block4/4.2b_-_Risk_Assessment.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2002. Notas de aula.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (1992). ***The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations***. United Kingdom. HSE Books.

HYMES, I. (1983). ***The Physiological and Pathological Effects of Thermal Radiation***. Systems Reliability Directorate, Report SRD, R275, Culcheth, Warrington, UK.

JO, Y. D.; AHN, B. J. (2002). Analysis of Hazard Areas Associated with High-Pressure Natural Gas Pipelines. In: ***Journal of Loss Prevention in the Process Industries***, n. 15, p. 179-88.

KOLLURU, R. V., ed. (1994). ***Environmental strategies handbook: a guide to effective policies and practices***. New York, McGraw-Hill. Cap. 11, p. 327-432.

LORENZO, D. (2003). ***Publicação eletrônica*** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <dkir@sc.usp.br> em 19 nov.

MAZZOLA, (1999). Thermal Interaction Analysis in Pipeline Systems: A Case Study. In: ***Journal of Loss Prevention in the Process Industries***, n. 12, p. 495-505.

MOHAMED, A. M. O.; ANTIA, H. E., eds. (1998). ***Geoenvironmental Engineering***. London, Elsevier. Caps. 10 e 11, p. 245-79.

NRC (1983). National Research Council - ***Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process***. National Academy Press, Washington, D. C.

NSTB (1997). National Transportation Safety Board – ***Safety Study: Protecting Public Safety through Excavation Damage Prevention***. Washington, D. C.

OLIVEIRA, I. S. D. (2004). ***A Contribuição do Zoneamento Ecológico Econômico para a Implementação do Estudo de Impacto Ambiental***. 111p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

PAPADAKIS, G. A. (1999). Major Hazard Pipelines: a Comparative Study of Onshore Transmission Accidents. In: *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, n. 12, p. 91-107.

PETROBRÁS (1991). *EIA/RIMA – Poliduto São Paulo/Brasília – Osbra*. Jaakko Pöyry Engenharia Ltda.

PETROLEOS DE VENEZUELA S. A. (1995). *Criterios para el Analisis Cuantitativo de Riesgos*. No. IR-S-02, Venezuela.

RANIERI, V. E. L.; KIRCHHOFF, D. (2003). *Laudo Pericial referente ao Processo 909/01 da Primeira Vara da Comarca de Descalvado*. São Paulo.

SOUZA, M. P. (1998). Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos: Outros Instrumentos de Gestão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS HÍDRICOS, 1998. *Anais Virtuais*. Rio Grande do Sul.

SOUZA, M. P. (2000). *Instrumentos de Gestão Ambiental: Fundamentos e Prática*. São Carlos. 112 p. Ed. Riani Costa.

SUTER, G. W. (1993). *Ecological Risk Assessment*. Chelsea, Michigan, Lewis Publishers.

van WINGERDEN, K. et al. (1994). *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapour Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVEs*. Centre for Chemical Process Safety (CCPS) of the American Institute of Chemical Engineers (AIChE).

VIEIRA, V. P. P. B. (1998). Análise de Risco: Instrumento de Gestão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS HÍDRICOS, 1998. *Anais Virtuais*. Rio Grande do Sul.

VROM (2003). *Where there's a will there's a world: Working on sustainability*. 4th National Environmental Policy Plan. Ministério de Planejamento Territorial, Habitação e Meio Ambiente. Holanda. Disponível em:
<<http://www2.minvrom.nl/Docs/internationaal/NMP4wwwengels.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2003.

XAVIER, J. C. (2003). *Publicação eletrônica* [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <dkir@sc.usp.br> em 22 ago.

ZÚÑIGA-GUTIÉRREZ, G. et al. (2002). Environmental quantitative assessment of two alternative routes for a gas pipeline in Campeche, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, n. 59, p. 181-6.

APÊNDICE A - DETERMINAÇÃO DA ZONA DE PERIGO

1. Resultados adaptados da aplicação do modelo proposto por Jo e Ahn (2002)

Segundo Jo e Ahn (2002), o modelo proposto superestima a **zona de perigo** nos pontos próximos às estações (começo do gasoduto), mas ao se distanciar acima de 500 metros, a zona de perigo é estimada com erro de 0 a 15% acima do resultado que seria obtido através da solução exata, o que leva a uma estimativa conservadora. Esse erro diminui ao longo da extensão do gasoduto.

Assim, uma linha de tendência foi introduzida à curva obtida com o modelo desconsiderando os valores dos primeiros 2000 metros, com o intuito de minimizar o erro da estimativa. Esse modelo considera o efeito de perda de carga dentro do duto, e com isso a zona de perigo diminui com o comprimento do gasoduto. O restante dos pontos são usados como dado de entrada para introduzir uma linha de tendência.

Como forma de análise conservadora, o ponto do eixo Y pelo qual cruza a linha de tendência é o valor de interesse. Isso porque, com a queda da pressão, ao se distanciar da ECP a zona de perigo diminui. Mesmo assim, este valor é usado, então, como o ponto que limita a zona de perigo. As figuras A.1, A.2 e A.3 apresentam as linhas de tendência adicionadas nos três trechos considerados (ETC-2 à ECP-01/2; ECP-01/2 à ECP-02/2; e ECP-02/2 à ECP-03/2). A tabela A.1 apresenta os valores obtidos da zona de perigo de cada trecho.

Figura A.1 – Linha de tendência introduzida na curva obtida com as equações propostas por Jo e Ahn (2002) – trecho 1.

Figura A.2 – Linha de tendência introduzida na curva obtida com as equações propostas por Jo e Ahn (2002) – trecho 2

Figura A.3 – Linha de tendência introduzida na curva obtida com as equações propostas por Jo e Ahn (2002) – trecho 3

Tabela A.1 – Estimativa da Zona de Perigo (15kW/m²)

Estimativa da Zona de Perigo	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3
Modelo Jo e Ahn (2002)	67,20 m	52,60 m	48,60 m

2. Resultados da aplicação do modelo proposto por GRI (2000)

No modelo proposto por GRI (2000) pode-se escolher o valor adotado de I . Assim, usou-se o valor de $I = 15 \text{ kW/m}^2$ como forma de comparação entre os dois modelos utilizados.

$$r = \sqrt{\frac{2348p \cdot d^2}{I_{th}}} \quad (\text{A.1})$$

onde,

r = distância radial (em pés) onde a intensidade térmica é igual a I_{th} ;

I_{th} = intensidade térmica (Btu/hr/ft²);

p = pressão no duto (psi);

d = diâmetro do duto (polegadas).

Com isso, obtiveram-se os seguintes resultados para a zona de perigo calculada pelo modelo proposto por GRI (2000):

Tabela A.2 – Estimativa da Zona de Perigo (15kW/m²)

Estimativa da Zona de Perigo	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3
Modelo GRI (2000)	38,02 m	36,17 m	30,15 m

APÊNDICE B – CÁLCULO DO RISCO INDIVIDUAL

1. Cálculo do Risco Individual

Para o cálculo do Risco Individual associado ao gasoduto em estudo, deve-se somar as contribuições de todos os eventos possíveis. Assim, o Risco Individual Total em um determinado ponto pode ser calculado pelo somatório de todos os riscos individuais nesse ponto conforme apresentado a seguir:

$$RI_{x,y} = \sum_{i=1}^n RI_{x,y,i} \quad (\text{B.1})$$

onde,

$RI_{x,y}$ = risco individual total de fatalidade no ponto x,y (ano⁻¹);

$RI_{x,y}$ = risco de fatalidade no ponto x,y devido ao evento i (ano⁻¹);

n = numero total de eventos considerados na análise.

No Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) publicou no ano 2000 o documento intitulado “Termo de Referência para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos”, o qual estabelece que os níveis de intensidade térmica a serem adotados serão de 12,5 kW/m² e 37,5 kW/m², os quais representam respectivamente uma probabilidade de 1% e de 50% de fatalidade da população afetada, isso para tempos de exposição de 30 e 20 segundos.

Assim, para eventos acidentais envolvendo incêndios, as distâncias de interesse são aquelas correspondentes aos níveis de radiação térmica de 12,5 kW/m² e 37,5 kW/m². Além dos níveis de radiação adotados acima, também será usado o nível de 4,7 kW/m², que seria o correspondente a 0 % fatalidade.

Esses valores serão usados para calcular as respectivas distâncias do duto relativas aos níveis apresentados. A tabela a seguir resume esses valores.

Tabela B.1 – Efeitos potenciais da radiação térmica (I)

Distância a ser determinada (metros)	Vulnerabilidade associada a x_i (y_i)	Intensidade de radiação térmica (kW/m ²)
x_1	0,50	37,5
x_2	0,01	12,5
x_3	0,00	4,7

Utilizou-se a seguinte função de vulnerabilidade (V(d)):

$$\begin{aligned}
0 < d \leq x_1 &\Rightarrow V(d) = y_0 + (d - x_0) \cdot \frac{(y_1 - y_0)}{(x_1 - x_0)} \\
x_1 < d \leq x_2 &\Rightarrow V(d) = y_1 + (d - x_1) \cdot \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \\
x_2 < d \leq x_3 &\Rightarrow V(d) = y_2 + (d - x_2) \cdot \frac{(y_3 - y_2)}{(x_3 - x_2)} \\
x_3 < d \leq x_4 &\Rightarrow V(d) = y_3 + (d - x_3) \cdot \frac{(y_4 - y_3)}{(x_4 - x_3)}
\end{aligned}$$

onde,

- d = distância do local estudado ao centro do evento (metros);
- x_i = distância do *endpoint* ao centro do evento (metros);
- y_i = vulnerabilidade associada ao *endpoint* x_i ;
- i = número do *endpoint* estudado.

Os cenários acidentais usados no cálculo do RI são:

1. Bola de fogo (ruptura)
2. Jato de fogo (ruptura)
3. Jato de fogo (furo)
4. Jato de fogo (fissura)

Portanto, o RI total será o somatório dos RIs de cada uma das quatro hipóteses acidentais consideradas.

Com relação ao cálculo jato de fogo (furo) e jato de fogo (fissura) foram feitas algumas alterações no modelo proposto por GRI (2000), uma vez que este propõe uma equação para ruptura total do duto.

Para o cálculo da taxa de vazamento foi usada a equação usada por Crane Co. (1981) apud GRI (2000):

$$Q_{inicial} = C_d \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} p \frac{\varphi}{a_0} \quad (B.2)$$

onde,

$$\varphi = \text{fator de fluxo} = \gamma \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}};$$

$$a_0 = \text{velocidade do gás} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{m}};$$

- C_d = coeficiente de descarga $\equiv 0,62$;
 γ = specific heat ratio of gás $\equiv 1.306$ para metano;
 R = constante dos gases $= 8,310 \text{ J/(kg mol)/K}$;
 T = temperatura do gás $= 293 \text{ K}$ ou 20°C ;
 m = peso molecular do gás $\equiv 16 \text{ kg/mol}$ de metano;
 d = diâmetro do furo (metros);
 p = pressão (psi).

A taxa de efetiva é uma fração da taxa de pico de vazamento inicial. A taxa não se mantém constante devido ao furo que encontra a pressão atmosférica muito menor que a pressão dentro do duto.

Por exemplo, no caso de ruptura total do duto, a taxa de vazamento cai para um terço da taxa inicial em pouco menos de um minuto. Assim, essa queda deve ser considerada nos cálculos. Esse fator de queda da taxa de vazamento é chamado de λ . Pelo trabalho de Mazzola (1999), obtiveram-se os seguintes valores para λ .

Tabela B.2 – Valores de λ obtidos de Mazzola (1999)

Tipo de vazamento	Valor de λ
Ruptura total (100% do diâmetro do duto)	0,33
Ruptura (50% do duto)	0,80
Furo (10% do duto)	0,90
Fissura (2% do duto)	0,95

O duto em estudo tem 8, 3 polegadas de diâmetro, ou seja, 21,082 centímetros. Assim, foram adotados os valores de λ para furo e fissura. No caso de furo, este foi simulado como sendo 10% do diâmetro do duto (ou seja, 2,1 cm), e para fissura, foi simulado como sendo 2% do diâmetro do duto (ou seja, 4,2 mm). A partir daí, o valor da taxa de vazamento efetiva pode ser obtido por:

$$Q_{efetiva} = \lambda \cdot Q_{inicial} \quad (\text{B.3})$$

A tabela a seguir apresenta os valores da taxa de vazamento efetiva calculada em cada trecho do duto considerado.

Tabela B.3 – Cálculo da taxa de vazamento efetiva

Trecho 1 (ETC-02 à ECP-01/2)		p=	456.8688739	psi
Furo		Fissura		
lambda= 0.90		lambda= 0.95		
diâmetro do furo (cm)= 2.108		diâmetro do furo (cm)= 0.42		
Qinicial= 53.58		Qinicial= 2.13		
Qefetivo= 48.22		Qefetivo= 2.02		
Trecho 2 (ECP-01/2 à ECP-02/2)		p=	413.3575525	psi
Furo		Fissura		
lambda= 0.90		lambda= 0.95		
diâmetro do furo (cm)= 2.108		diâmetro do furo (cm)= 0.42		
Qinicial= 48.48		Qinicial= 1.924		
Qefetivo= 43.63		Qefetivo= 1.828		
Trecho 3 (ECP-02/2 à ECP-03/2)		p=	287.1747207	psi
Furo		Fissura		
lambda= 0.90		lambda= 0.95		
diâmetro do furo (cm)= 2.108		diâmetro do furo (cm)= 0.42		
Qinicial= 33.68		Qinicial= 1.34		
Qefetivo= 30.31		Qefetivo= 1.27		

De posse dos valores obtidos da taxa de vazamento efetiva, pode-se calcular a distância horizontal (r) do fogo pela equação dada por GRI (2000):

$$I = \frac{\eta \cdot X_g \cdot Q_{efetivo} \cdot H_c}{4\pi \cdot r^2} \quad (B.4)$$

$$\text{ou, } r = \sqrt{\frac{\eta \cdot X_g \cdot Q_{efetivo} \cdot H_c}{4\pi \cdot I}} \quad (B.5)$$

onde,

H_c = calor de combustão = 50000 kJ/mol para metano;

η = fator de eficiência de combustão = 0.35;

X_g = fator de emissividade = 0.2;

$Q_{efetivo}$ = taxa de vazamento efetiva do gás;

r = distância do fogo com intensidade de radiação térmica I .

Assim, foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela B.4 – Cálculo das distâncias de interesse

		Trecho 1			
		ACIDENTE 1	ACIDENTE 2	ACIDENTE 3	ACIDENTE 4
Análise das Consequências		bola de fogo	jato de fogo	jato de fogo	jato de fogo
	unidade	ruptura	ruptura	furo	fissura
	letalidade no pto 0 (y0)	decimal	1.0	1.0	1.0
	letalidade no pto 1 (y1)	decimal	0.5	0.5	0.5
	letalidade no pto 2 (y2)	decimal	0.01	0.01	0.01
	letalidade no pto 3 (y3)	decimal	0.0	0.0	0.0
	raio do pto 0 (x0)	m	0.00	0.00	0.00
	raio do pto 1 (x1)	m	68.00	24.05	10.24
	raio do pto 2 (x2)	m	110.00	41.65	17.74
	raio do pto 3 (x3)	m	175.00	67.93	28.93
Taxa anual de ocorrência do acidente		1/km*ano	4.29E-06	2.86E-06	9.09E-06
Diâmetro médio de vulnerabilidade (1% fatalidade em x)		km	0.22000	0.08330	0.03548
Probabilidade de ocorrência do acidente		1/ano	9.45E-07	2.38E-07	3.22E-07
		Trecho 2			
		ACIDENTE 1	ACIDENTE 2	ACIDENTE 3	ACIDENTE 4
Análise das Consequências		bola de fogo	jato de fogo	jato de fogo	jato de fogo
	unidade	ruptura	ruptura	furo	fissura
	letalidade no pto 0 (y0)	decimal	1.0	1.0	1.0
	letalidade no pto 1 (y1)	decimal	0.5	0.5	0.5
	letalidade no pto 2 (y2)	decimal	0.01	0.01	0.01
	letalidade no pto 3 (y3)	decimal	0.0	0.0	0.0
	raio do pto 0 (x0)	m	0.00	0.00	0.00
	raio do pto 1 (x1)	m	60.00	22.87	9.74
	raio do pto 2 (x2)	m	105.00	39.62	16.88
	raio do pto 3 (x3)	m	170.00	64.61	27.52
Taxa anual de ocorrência do acidente		1/km*ano	4.29E-06	2.86E-06	9.09E-06
Diâmetro médio de vulnerabilidade (1% fatalidade em x)		km	0.21000	0.07924	0.03375
Probabilidade de ocorrência do acidente		1/ano	9.02E-07	2.27E-07	3.07E-07
		Trecho 3			
		ACIDENTE 1	ACIDENTE 2	ACIDENTE 3	ACIDENTE 4
Análise das Consequências		bola de fogo	jato de fogo	jato de fogo	jato de fogo
	unidade	ruptura	ruptura	furo	fissura
	letalidade no pto 0 (y0)	decimal	1.0	1.0	1.0
	letalidade no pto 1 (y1)	decimal	0.5	0.5	0.5
	letalidade no pto 2 (y2)	decimal	0.01	0.01	0.01
	letalidade no pto 3 (y3)	decimal	0.0	0.0	0.0
	raio do pto 0 (x0)	m	0.00	0.00	0.00
	raio do pto 1 (x1)	m	58.00	19.07	8.12
	raio do pto 2 (x2)	m	98.00	33.02	14.07
	raio do pto 3 (x3)	m	167.50	53.85	22.94
Taxa anual de ocorrência do acidente		1/km*ano	4.29E-06	2.86E-06	9.09E-06
Diâmetro médio de vulnerabilidade (1% fatalidade em x)		km	0.19600	0.06604	0.02813
Probabilidade de ocorrência do acidente		1/ano	8.42E-07	1.89E-07	2.56E-07

As taxas anuais de ocorrência de acidente foram tiradas da Árvore de Evento construída e apresentada no capítulo 6 (figura 6.13 – pág. 67).

O próximo passo é aplicar a função de vulnerabilidade apresentada anteriormente. Como exemplo, abaixo são apresentados os resultados para o trecho 1 do gasoduto:

Tabela B.5 – Cálculo da vulnerabilidade associada à distância do duto

d(metros)	Trecho 1											
	V(d) - ACIDENTE 1			V(d) - ACIDENTE 2			V(d) - ACIDENTE 3			V(d) - ACIDENTE 4		
	0<d<x1	x1<d<x2	x2<d<x3	0<d<x1	x1<d<x2	x2<d<x3	0<d<x1	x1<d<x2	x2<d<x3	0<d<x1	x1<d<x2	x2<d<x3
0.0	1.0000			1.0000			1.0000			1.0000		
0.5	0.9963			0.9896			0.9756			0.8808		
1.0	0.9926			0.9792			0.9512			0.7615		
1.5	0.9890			0.9688			0.9268			0.6423		
2.0	0.9853			0.9584			0.9024			0.5231		
2.5	0.9816			0.9480			0.8780				0.3713	
3.0	0.9779			0.9376			0.8536				0.2117	
3.5	0.9743			0.9272			0.8292				0.0521	0.0106
4.0	0.9706			0.9168			0.8048					0.0084
4.5	0.9669			0.9064			0.7803					0.0062
5.0	0.9632			0.8960			0.7559					0.0040
5.5	0.9596			0.8857			0.7315					0.0018
6.0	0.9559			0.8753			0.7071					
6.5	0.9522			0.8649			0.6827					
7.0	0.9485			0.8545			0.6583					
7.5	0.9449			0.8441			0.6339					
8.0	0.9412			0.8337			0.6095					
8.5	0.9375			0.8233			0.5851					
9.0	0.9338			0.8129			0.5607					
9.5	0.9301			0.8025			0.5363					
10.0	0.9265			0.7921			0.5119					
10.5	0.9228			0.7817				0.4832				
11.0	0.9191			0.7713				0.4506				
11.5	0.9154			0.7609				0.4179				
12.0	0.9118			0.7505				0.3852				
12.5	0.9081			0.7401				0.3525				
13.0	0.9044			0.7297				0.3199				
13.5	0.9007			0.7193				0.2872				
14.0	0.8971			0.7089				0.2545				
14.5	0.8934			0.6985				0.2218				
15.0	0.8897			0.6881				0.1892				
15.5	0.8860			0.6778				0.1565				
16.0	0.8824			0.6674				0.1238				
16.5	0.8787			0.6570				0.0912				
17.0	0.8750			0.6466				0.0585				
17.5	0.8713			0.6362				0.0258				
18.0	0.8676			0.6258					0.0098			
18.5	0.8640			0.6154					0.0093			
19.0	0.8603			0.6050					0.0089			
19.5	0.8566			0.5946					0.0084			
20.0	0.8529			0.5842					0.0080			
20.5	0.8493			0.5738					0.0075			
21.0	0.8456			0.5634					0.0071			
21.5	0.8419			0.5530					0.0066			
22.0	0.8382			0.5426					0.0062			
22.5	0.8346			0.5322					0.0057			
23.0	0.8309			0.5218					0.0053			
23.5	0.8272			0.5114					0.0049			
24.0	0.8235			0.5010					0.0044			
24.5	0.8199				0.4875				0.0040			
25.0	0.8162				0.4736				0.0035			
25.5	0.8125				0.4596				0.0031			
26.0	0.8088				0.4457				0.0026			
26.5	0.8051				0.4318				0.0022			
27.0	0.8015				0.4179				0.0017			
27.5	0.7978				0.4039				0.0013			
28.0	0.7941				0.3900				0.0008			
28.5	0.7904				0.3761				0.0004			
29.0	0.7868				0.3622							
29.5	0.7831				0.3483							
30.0	0.7794				0.3343							
30.5	0.7757				0.3204							
31.0	0.7721				0.3065							
31.5	0.7684				0.2926							
32.0	0.7647				0.2787							
32.5	0.7610				0.2647							
33.0	0.7574				0.2508							
33.5	0.7537				0.2369							

Tabela B.5 (cont.) – Cálculo da vulnerabilidade associada à distância do duto

34.0	0.7500			0.2230						
34.5	0.7463			0.2091						
35.0	0.7426			0.1951						
35.5	0.7390			0.1812						
36.0	0.7353			0.1673						
36.5	0.7316			0.1534						
37.0	0.7279			0.1395						
37.5	0.7243			0.1255						
38.0	0.7206			0.1116						
38.5	0.7169			0.0977						
39.0	0.7132			0.0838						
39.5	0.7096			0.0699						
40.0	0.7059			0.0559						
40.5	0.7022			0.0420						
41.0	0.6985			0.0281						
41.5	0.6949			0.0142						
42.0	0.6912				0.0099					
42.5	0.6875				0.0097					
43.0	0.6838				0.0095					
43.5	0.6801				0.0093					
44.0	0.6765				0.0091					
44.5	0.6728				0.0089					
45.0	0.6691				0.0087					
45.5	0.6654				0.0085					
46.0	0.6618				0.0083					
46.5	0.6581				0.0082					
47.0	0.6544				0.0080					
47.5	0.6507				0.0078					
48.0	0.6471				0.0076					
48.5	0.6434				0.0074					
49.0	0.6397				0.0072					
49.5	0.6360				0.0070					
50.0	0.6324				0.0068					
50.5	0.6287				0.0066					
51.0	0.6250				0.0064					
51.5	0.6213				0.0063					
52.0	0.6176				0.0061					
52.5	0.6140				0.0059					
53.0	0.6103				0.0057					
53.5	0.6066				0.0055					
54.0	0.6029				0.0053					
54.5	0.5993				0.0051					
55.0	0.5956				0.0049					
55.5	0.5919				0.0047					
56.0	0.5882				0.0045					
56.5	0.5846				0.0043					
57.0	0.5809				0.0042					
57.5	0.5772				0.0040					
58.0	0.5735				0.0038					
58.5	0.5699				0.0036					
59.0	0.5662				0.0034					
59.5	0.5625				0.0032					
60.0	0.5588				0.0030					
60.5	0.5551				0.0028					
61.0	0.5515				0.0026					
61.5	0.5478				0.0024					
62.0	0.5441				0.0023					
62.5	0.5404				0.0021					
63.0	0.5368				0.0019					
63.5	0.5331				0.0017					
64.0	0.5294				0.0015					
64.5	0.5257				0.0013					
65.0	0.5221				0.0011					
65.5	0.5184				0.0009					
66.0	0.5147				0.0007					
66.5	0.5110				0.0005					
67.0	0.5074				0.0004					
67.5	0.5037				0.0002					
68.0	0.5000				0.0000					
68.5		0.4942								
69.0		0.4883								
69.5		0.4825								
70.0		0.4767								
70.5		0.4708								
71.0		0.4650								
71.5		0.4592								
72.0		0.4533								
72.5		0.4475								
73.0		0.4417								
73.5		0.4358								
74.0		0.4300								
74.5		0.4242								
75.0		0.4183								
75.5		0.4125								
76.0		0.4067								
76.5		0.4008								

Tabela B.5 (cont.) – Cálculo da vulnerabilidade associada à distância do duto

77.0		0.3950	
77.5		0.3892	
78.0		0.3833	
78.5		0.3775	
79.0		0.3717	
79.5		0.3658	
80.0		0.3600	
80.5		0.3542	
81.0		0.3483	
81.5		0.3425	
82.0		0.3367	
82.5		0.3308	
83.0		0.3250	
83.5		0.3192	
84.0		0.3133	
84.5		0.3075	
85.0		0.3017	
85.5		0.2958	
86.0		0.2900	
86.5		0.2842	
87.0		0.2783	
87.5		0.2725	
88.0		0.2667	
88.5		0.2608	
89.0		0.2550	
89.5		0.2492	
90.0		0.2433	
90.5		0.2375	
91.0		0.2317	
91.5		0.2258	
92.0		0.2200	
92.5		0.2142	
93.0		0.2083	
93.5		0.2025	
94.0		0.1967	
94.5		0.1908	
95.0		0.1850	
95.5		0.1792	
96.0		0.1733	
96.5		0.1675	
97.0		0.1617	
97.5		0.1558	
98.0		0.1500	
98.5		0.1442	
99.0		0.1383	
99.5		0.1325	
100.0		0.1267	
100.5		0.1208	
101.0		0.1150	
101.5		0.1092	
102.0		0.1033	
102.5		0.0975	
103.0		0.0917	
103.5		0.0858	
104.0		0.0800	
104.5		0.0742	
105.0		0.0683	
105.5		0.0625	
106.0		0.0567	
106.5		0.0508	
107.0		0.0450	
107.5		0.0392	
108.0		0.0333	
108.5		0.0275	
109.0		0.0217	
109.5		0.0158	
110.0		0.0100	
110.5			0.0099
111.0			0.0098
111.5			0.0098
112.0			0.0097
112.5			0.0096
113.0			0.0095
113.5			0.0095
114.0			0.0094
114.5			0.0093
115.0			0.0092
115.5			0.0092
116.0			0.0091
116.5			0.0090
117.0			0.0089
117.5			0.0088
118.0			0.0088
118.5			0.0087
119.0			0.0086
119.5			0.0085
120.0			0.0085

O Risco Individual é então calculado por trecho através da seguinte equação:

$$RI_j(d) = V_j(d) * \text{Frequência do evento } j \quad (\text{B.6})$$

onde,

RI_j = risco associado ao evento acidental j (ano^{-1});

V_j = vulnerabilidade associada ao evento j .

Esse processo é repetido para os outros trechos do gasoduto e do somatório dos RI s obtém-se o Risco Individual Total do gasoduto. A tabela a seguir apresenta o resultado obtido para o RI total.

Tabela B.6 – Risco Individual total

d (metros)	Risco Individual - TRECHO TOTAL
0.0	4.44E-06
0.5	4.37E-06
1.0	4.30E-06
1.5	4.23E-06
2.0	4.16E-06
2.5	4.08E-06
3.0	4.01E-06
3.5	3.94E-06
4.0	3.89E-06
4.5	3.85E-06
5.0	3.81E-06
5.5	3.77E-06
6.0	3.72E-06
6.5	3.68E-06
7.0	3.64E-06
7.5	3.60E-06
8.0	3.56E-06
8.5	3.51E-06
9.0	3.47E-06
9.5	3.42E-06
10.0	3.38E-06
10.5	3.33E-06
11.0	3.28E-06
11.5	3.23E-06
12.0	3.18E-06
12.5	3.13E-06
13.0	3.08E-06
13.5	3.03E-06
14.0	2.98E-06
14.5	2.94E-06
15.0	2.90E-06
15.5	2.86E-06
16.0	2.82E-06
16.5	2.78E-06
17.0	2.74E-06
17.5	2.71E-06
18.0	2.69E-06
18.5	2.67E-06
19.0	2.65E-06
19.5	2.63E-06
20.0	2.61E-06
20.5	2.60E-06
21.0	2.58E-06
21.5	2.56E-06
22.0	2.54E-06
22.5	2.52E-06
23.0	2.50E-06
23.5	2.48E-06
24.0	2.46E-06
24.5	2.44E-06
25.0	2.41E-06
25.5	2.39E-06
26.0	2.37E-06

Tabela B.6 (cont.) – Risco Individual total

26.5	2.35E-06
27.0	2.33E-06
27.5	2.31E-06
28.0	2.29E-06
28.5	2.27E-06
29.0	2.25E-06
29.5	2.23E-06
30.0	2.20E-06
30.5	2.18E-06
31.0	2.16E-06
31.5	2.14E-06
32.0	2.12E-06
32.5	2.10E-06
33.0	2.08E-06
33.5	2.06E-06
34.0	2.04E-06
34.5	2.03E-06
35.0	2.01E-06
35.5	1.99E-06
36.0	1.97E-06
36.5	1.96E-06
37.0	1.94E-06
37.5	1.92E-06
38.0	1.90E-06
38.5	1.89E-06
39.0	1.87E-06
39.5	1.85E-06
40.0	1.84E-06
40.5	1.82E-06
41.0	1.81E-06
41.5	1.79E-06
42.0	1.78E-06
42.5	1.77E-06
43.0	1.76E-06
43.5	1.75E-06
44.0	1.74E-06
44.5	1.73E-06
45.0	1.72E-06
45.5	1.70E-06
46.0	1.69E-06
46.5	1.68E-06
47.0	1.67E-06
47.5	1.66E-06
48.0	1.65E-06
48.5	1.64E-06
49.0	1.63E-06
49.5	1.62E-06
50.0	1.61E-06
50.5	1.59E-06
51.0	1.58E-06
51.5	1.57E-06
52.0	1.56E-06
52.5	1.55E-06
53.0	1.54E-06
53.5	1.53E-06
54.0	1.52E-06
54.5	1.51E-06
55.0	1.50E-06
55.5	1.48E-06
56.0	1.47E-06
56.5	1.46E-06
57.0	1.45E-06
57.5	1.44E-06
58.0	1.43E-06
58.5	1.42E-06
59.0	1.41E-06
59.5	1.39E-06
60.0	1.38E-06
60.5	1.37E-06
61.0	1.35E-06
61.5	1.34E-06
62.0	1.33E-06
62.5	1.31E-06
63.0	1.30E-06
63.5	1.28E-06
64.0	1.27E-06
64.5	1.26E-06
65.0	1.24E-06
65.5	1.23E-06
66.0	1.22E-06
66.5	1.20E-06
67.0	1.19E-06
67.5	1.18E-06
68.0	1.16E-06
68.5	1.15E-06
69.0	1.13E-06
69.5	1.12E-06
70.0	1.10E-06
70.5	1.08E-06
71.0	1.07E-06

Tabela B.6 (cont.) – Risco Individual total

71.5	1.05E-06
72.0	1.04E-06
72.5	1.02E-06
73.0	1.01E-06
73.5	9.91E-07
74.0	9.76E-07
74.5	9.60E-07
75.0	9.44E-07
75.5	9.29E-07
76.0	9.13E-07
76.5	8.98E-07
77.0	8.82E-07
77.5	8.66E-07
78.0	8.51E-07
78.5	8.35E-07
79.0	8.20E-07
79.5	8.04E-07
80.0	7.89E-07
80.5	7.73E-07
81.0	7.57E-07
81.5	7.42E-07
82.0	7.26E-07
82.5	7.11E-07
83.0	6.95E-07
83.5	6.80E-07
84.0	6.64E-07
84.5	6.48E-07
85.0	6.33E-07
85.5	6.17E-07
86.0	6.02E-07
86.5	5.86E-07
87.0	5.71E-07
87.5	5.55E-07
88.0	5.39E-07
88.5	5.24E-07
89.0	5.08E-07
89.5	4.93E-07
90.0	4.77E-07
90.5	4.62E-07
91.0	4.46E-07
91.5	4.30E-07
92.0	4.15E-07
92.5	3.99E-07
93.0	3.84E-07
93.5	3.68E-07
94.0	3.52E-07
94.5	3.37E-07
95.0	3.21E-07
95.5	3.06E-07
96.0	2.90E-07
96.5	2.75E-07
97.0	2.59E-07
97.5	2.43E-07
98.0	2.28E-07
98.5	2.17E-07
99.0	2.07E-07
99.5	1.96E-07
100.0	1.86E-07
100.5	1.75E-07
101.0	1.65E-07
101.5	1.55E-07
102.0	1.44E-07
102.5	1.34E-07
103.0	1.23E-07
103.5	1.13E-07
104.0	1.02E-07
104.5	9.16E-08
105.0	8.11E-08
105.5	7.55E-08
106.0	6.99E-08
106.5	6.42E-08
107.0	5.86E-08
107.5	5.29E-08
108.0	4.73E-08

A partir dos resultados obtidos, construiu-se a seguinte figura que representa o chamado perfil de risco do gasoduto, o qual apresenta as frequências esperadas vs. distância da fonte, possibilitando visualizar a distribuição geográfica do risco em diferentes regiões.

Figura B.1 - Risco Individual calculado baseado no modelo proposto por GRI (2000)

APÊNDICE C – CÁLCULO DO RISCO SOCIAL

1. Cálculo do Risco Social

1.1 Introdução

O risco social (RS) é uma estimativa da incidência dentro de uma população total que está potencialmente exposta, e é apresentado através das curvas F-N, obtida por meio da plotagem dos dados de frequência acumulada do evento final e seus respectivos efeitos representados em termos de número de vítimas fatais. A estimativa do RS requer informações a respeito da densidade populacional local, do tipo de ocupação (residências, comércio, indústria, áreas rurais, etc) e efeitos em diferentes períodos (diurno e noturno).

Também para o risco social são adotados os valores de intensidade térmica estabelecidos pelo Termo de referência publicado pela CETESB. Assim, no Estado de São Paulo, os níveis de intensidade térmica a serem adotados são de $12,5 \text{ kW/m}^2$ e $37,5 \text{ kW/m}^2$, os quais representam respectivamente uma probabilidade de 1% e de 50% de fatalidade da população afetada, isso para tempos de exposição de 30 e 20 segundos.

Portanto, para eventos acidentais envolvendo incêndios, as distâncias de interesse são aquelas correspondentes aos níveis de radiação térmica de $12,5 \text{ kW/m}^2$ e $37,5 \text{ kW/m}^2$. Além dos níveis de radiação adotados acima, também será usado o nível de $4,7 \text{ kW/m}^2$, que seria o correspondente a 0 % fatalidade.

As distâncias relativas às intensidades térmicas de interesse são usadas para traçar o corredor de perigo correspondente a cada cenário acidental considerado (bola de fogo, jato de fogo...), e calculado o risco social a partir da constatação da existência de construções com pessoas expostas a tal cenário. Assim, para cada cenário, foi estimado o número provável de vítimas fatais de acordo com a probabilidade de fatalidades associadas aos efeitos físicos considerados.

A estimativa do número de vítimas fatais foi realizada considerando-se probabilidades médias de morte, de acordo com o Termo de Referência da CETESB, o qual estabelece:

- Aplicar a probabilidade de 75% para pessoas expostas entre a fonte do vazamento e a curva de probabilidade de fatalidade de 50%;
- Aplicar a probabilidade de 25% para pessoas expostas entre a curva com probabilidades de fatalidade de 50% e 1%.

A figura C.1 apresenta esquematicamente como deve ser estimado o número de fatalidades para a elaboração da curva F-N.

Figura C.1 - Estimativa do número de fatalidades para o cálculo do risco social
(fonte: CETESB, 2000)

O número de vítimas fatais para cada um dos eventos considerados foi estimado conforme segue:

$$N_{ik} = Ne_{k1} \cdot 0,75 + Ne_{k2} \cdot 0,25 \quad (C.1)$$

onde,

N_{ik} = número de fatalidades resultante do evento final i ;

Ne_{k1} = número de pessoas presentes e expostas no quadrante $k1$ até a distância delimitada pela curva correspondente à probabilidade de fatalidade de 50%;

Ne_{k2} = número de pessoas presentes e expostas no quadrante $k2$ até a distância delimitada pela curva correspondente à probabilidade de fatalidade de 1%;

Os cenários acidentais usados no cálculo do RS são os mesmos usados no cálculo do risco individual:

1. Bola de fogo (ruptura)
2. Jato de fogo (ruptura)
3. Jato de fogo (furo)
4. Jato de fogo (fissura)

É importante lembrar que o cenário acidental número 3 foi simulado como jato de fogo com furo de 10% do diâmetro do duto e o cenário acidental número 4 simulado como jato de fogo com furo de 2% do diâmetro do furo.

Para cada cenário acidental considerado anteriormente foram traçadas as curvas correspondentes a 50% e 1% de fatalidade. A partir daí, calculou-se o número de vítimas fatais através da equação C.1.

Com os valores de vítimas fatais associados a cada evento considerado e suas correspondentes probabilidades de ocorrência, foi então plotado a curva F-N relativa ao gasoduto em estudo.

1.2 Dados de distribuição populacional situada ao redor do gasoduto

O cálculo do risco social está diretamente ligado à densidade populacional existente nos arredores do gasoduto. Assim, é importante ter informações detalhadas a respeito da distribuição da população bem como a distância da mesma do gasoduto.

O gasoduto foi, então, dividido em três trechos:

- Trecho 1 – entre a ETC-2 e a ECP-01
- Trecho 2 – entre a ECP-01 e a ECP-02
- Trecho 3 – entre a ECP-02 e a ECP-03

Para um melhor detalhamento, os trechos 2 e 3 foram subdivididos. Assim, foram estabelecidos pontos ao longo do gasoduto para identificar o começo e fim desses sub-trechos:

- Ponto A – ETC-2 - estaca zero (início do gasoduto)
- Ponto B – ECP-01 – estaca 7.900 m
- Ponto C – estaca 13.500 m
- Ponto D – ECP-02 – estaca 38.900 m
- Ponto E – estaca 42.000 m
- Ponto F – estaca 43.000 m
- Ponto G – ECP-03 – estaca 54.800 m

Foi efetuado então a caracterização populacional ao longo do gasoduto, através de fotografias aéreas constantes no RAP e visitas a campo subseqüentes para verificação da consistência dos dados levantados sobre densidade populacional, considerando cada cenário acidental. Isso porque cada cenário acidental tem uma distância específica

relacionada às curvas de 1% e 50% de fatalidade. A tabela C.1 apresenta essa caracterização.

Tabela C.1 – Caracterização populacional ao longo do gasoduto – cenário atual

Trecho do gasoduto	Cenário Acidental	Dentro da área de 75% de fatalidade	Dentro da área de 25% de fatalidade
Entre pontos A e B	Bola de Fogo	1 casa 1 chácara pequena	0
	Jato de Fogo Ruptura	0	1 casa 1 chácara pequena
	Jato de Fogo Furo	0	0
	Jato de Fogo Fissura	0	0
Entre pontos B e C	Bola de Fogo	1 depósito 1 concreteria Luperplas 25 casas 2 bares 4 chácaras pequenas 1 chácara média 2 chácaras grandes	1 Indústria 7 casas 1 chácara pequena
	Jato de Fogo Ruptura	17 casas 2 bares 1 chácara média	1 depósito 1 concreteria Luperplas 3 casas 4 chácaras pequenas 2 chácaras grandes
	Jato de Fogo Furo	0	1 depósito 1 concreteria 17 casas 1 bar
	Jato de Fogo Fissura	0	0
Entre pontos C e D	Bola de Fogo	3 casas 1 chácara pequena 3 chácaras médias 1 bar	3 casas 1 chácara pequena 1 chácara média
	Jato de Fogo Ruptura	1 chácara média 1 casa	2 casas 1 chácara pq. 1 chácara média 1 bar
	Jato de Fogo Furo	0	1 chácara média 1 casa
	Jato de Fogo Fissura	0	0
Entre pontos D e E	Bola de Fogo	Laboratório Vansil 1 Serralheria Aço Metal 3 casas 1 chácara pequena	1 serralheria Cintra distribuidora 5 casas 1 funilaria 1 chácara pequena
	Jato de Fogo Ruptura	1 casa	Laboratório Vansil 1 Serralheria Aço Metal
	Jato de Fogo Furo	0	1 casa
	Jato de Fogo Fissura	0	0

Entre pontos E e F	Bola de Fogo	85 casas 1 supermercado 1 bar	59 casas
	Jato de Fogo Ruptura	22 casas 1 bar	14 casas 1 supermercado
	Jato de Fogo Furo	0	19 casas 1 bar
	Jato de Fogo Fissura	0	0
Entre pontos F e G	Bola de Fogo	7 casas 1 chácara pequena 1 chácara média 1 chácara grande	0
	Jato de Fogo Ruptura	0	5 casas 1 chácara pequena 1 chácara média 1 chácara grande
	Jato de Fogo Furo	0	0
	Jato de Fogo Fissura	0	0

A seguir, a tabela C.2 apresenta o número de pessoas que foram consideradas para o cálculo do risco social. Essa caracterização foi usada na elaboração do RAP e, a fim de se ter uma base de comparação com os resultados do RAP, os mesmos valores foram usados no presente estudo para o cálculo do risco social.

Tabela C.2 – População característica de cada estabelecimento considerado no estudo

Descrição	População período diurno	População período noturno
Indústria	230	30
Depósito	5	0
Vibrato Concretaria	50	0
Luperplas	20	0
Laboratório Vansil	35	0
Serralheria	6	0
Supermercado	10	0
Bar	3	5
Cintra Distr.	6	0
Casas	3	6
Funilaria	4	0
Aço Metal	5	0
Chácara Pequena	3	6
Chácara Média	6	9
Chácara Grande	10	15

(Baseado em GÁS BRASILEIRO DISTRIBUIDORA S.A., 2001)

Percebeu-se durante o estudo que no trecho entre os pontos E e F (Rua Minas Gerais - ver figura C.2) os lotes mais ao norte apresentavam claramente grande potencial para ocupação. Como forma de verificar uma possível mudança futura do risco social devido a essa ocupação, considerou-se o cenário onde os lotes estão totalmente ocupados, e a partir daí calculou-se o risco social através da curva F-N.

A tabela C.3 apresenta os dados sobre a caracterização populacional do trecho, considerando ocupação total dos lotes, bem como uma comparação com o cenário atual de ocupação.

Tabela C.3 – Comparação da caracterização populacional considerando o cenário atual de ocupação e os lotes totalmente ocupados

Trecho do gasoduto	Cenário Acidental	Dentro da área de 75% de fatalidade	Dentro da área de 25% de fatalidade
Entre pontos E e F Cenário Atual	Bola de Fogo	85 casas 1 supermercado 1 bar	59 casas
	Jato de Fogo Ruptura	22 casas 1 bar	14 casas 1 supermercado
	Jato de Fogo Furo	0	19 casas 1 bar
	Jato de Fogo Fissura	0	0
Entre pontos E e F Lotes Totalmente Ocupados	Bola de Fogo	134 casas 1 supermercado 1 bar	102 casas
	Jato de Fogo Ruptura	28 casas 1 bar	36 casas 1 supermercado
	Jato de Fogo Furo	0	22 casas 1 bar
	Jato de Fogo Fissura	0	0

Figura C.2 – Trecho do gasoduto atravessa Rua Minas Gerais em Descalvado

1.3 Probabilidade de exposição da população

Para se chegar a uma estimativa da exposição da população mais realista, o número provável de pessoas no local considerado deve ser multiplicado por um fator de permanência das pessoas nesse local, uma vez que o cálculo do RS é feito para o período de um ano, e nesse período, pode-se ter situação de ausência das pessoas por diversos motivos. Por exemplo, em uma fábrica, deve-se considerar se a mesma funciona 24 horas por dia, ou ainda se funciona aos sábados e domingos.

Assim, a diversidade de situações leva a necessidade de se efetuar o cálculo do número provável de pessoas e sua permanência em cada local e em seu respectivo horário. Para se chegar ao fator de permanência, considera-se o número de horas que o indivíduo permanece no local durante o período diurno ou noturno (12 horas), quantos dias por mês o estabelecimento funciona, e a quantidade de meses por ano de funcionamento.

Assim, o cálculo do FP é feito da seguinte forma:

Fator de Permanência (FP) = horas de permanência diária no local / 12 h x dias de trabalho mensal / 30 dias x meses de trabalho por ano / 12 meses.

As considerações pertinentes para os diferentes tipos de estabelecimentos são apresentadas abaixo:

Residências

- Para as residências, considera-se que as pessoas permaneçam em suas casas seis dias por semana (considerou-se que a casa fica 24 horas por semana vazia), 12 meses por ano. Assim, tem-se para os períodos diurno e noturno o mesmo fator de permanência: 12 horas por dia, 26 dias por mês, 12 meses por ano, ou seja, **FP=0,867**.

Propriedades rurais

- A ocupação humana do tipo rural encontrada na área de estudo apresenta variações quanto ao porte e a extensão. Assim, foram considerados três tipos de propriedades rurais: pequena, média e grande, onde o número de pessoas presentes é variável (vide tabela C.2), pois se assumiu que as mesmas possuem funcionários que residem no local e necessitam de maior ou menos número de mão-de-obra.

Considerou-se que as pessoas ficam no local 26 dias por mês, 12 meses por ano. Dessa forma, tem-se o mesmo fator de permanência, tanto diurno como noturno: 12 horas por dia, 12 meses por ano, 26 dias por mês, ou seja, **FP=0,867**.

Supermercado

- O único supermercado presente no estudo funciona 12 horas por dia, 26 dias por mês, durante 12 meses, ou seja, **FP=0,867**.

Galpões e Depósitos

- Esses estabelecimentos funcionam apenas no período diurno, 22 dias por mês, durante 12 meses por ano, ou seja, **FP=0,611**.

Pequenas empresas

- As pequenas empresas funcionam apenas no período diurno, das 8 às 18 horas, 22 dias por mês, durante 12 meses por ano, ou seja, **FP=0,611**.

Médias empresas

- As empresas de porte médio funcionam apenas no período diurno, das 8 às 18 horas, 26 dias por mês, durante 12 meses por ano, ou seja, **FP=0,722**.

Grandes empresas

- Considerou-se que as empresas de grande porte funcionam 24 horas por dia, todos os dias da semana, durante 12 meses por ano, ou seja, **FP=1,0**.

A tabela C.2, então, foi modificada pelo fator de permanência, resultando nos valores da tabela C.4.

Tabela C.4 – População característica de cada estabelecimento considerado no estudo

Descrição	População período diurno	População período noturno	Fator de Permanência	Nº de pessoas com probabilidade de exposição	
				diurno	noturno
Indústria	230	30	1,0	230	30
Depósito	5	0	0.611	3.06	0
Concreteria	50	0	0.722	36.10	0
Luperplas	20	0	0.611	12.22	0
Laboratório Vansil	35	0	0.722	25.27	0
Serralheria	6	0	0.722	4.33	0
Supermercado	10	0	0.867	8.67	0
Bar	3	5	0.867	2.60	4.34
Cintra Distr.	6	0	0.722	4.33	0.00
Casas	3	6	0.867	2.60	5.20
Chácara Pequena	3	6	0.867	2.60	5.20
Chácara Média	6	9	0.867	5.20	7.80
Chácara Grande	10	15	0.867	8.67	13.01

Os dados da tabela C.1 são, então, usados em conjunto com o número de pessoas com probabilidade de exposição mostrados na tabela C.4. Assim, tem-se o número de vítimas fatais decorrentes de cada cenário acidental, considerando todo o gasoduto.

Os valores obtidos de fatalidades são agrupados de forma decrescente e suas respectivas probabilidades de ocorrência são arranjadas de forma acumulada como mostra a tabela C.5. Assim, construiu-se a curva F-N para o trecho total do gasoduto (figura C.3).

Tabela C.5 – Cálculos efetuados para plotagem da curva F-N

Cenário Acidental	Trecho	Período	Número Fat.	Freq. Cenário	Prob. Per.	Freq. Final	Freq. Acumulada
Bola de fogo	3	noturno	481.84	8.42E-07	0.5	4.21E-07	4.21E-07
Bola de fogo	3	diurno	278.14	8.42E-07	0.5	4.21E-07	8.42E-07
Bola de fogo	2	diurno	206.48	9.02E-07	0.5	4.51E-07	1.29E-06
Bola de fogo	2	noturno	203.97	9.02E-07	0.5	4.51E-07	1.74E-06
Jato de Fogo ruptura	3	noturno	124.20	1.89E-07	0.5	9.45E-08	1.84E-06
Jato de Fogo ruptura	2	noturno	110.98	2.27E-07	0.5	1.13E-07	1.95E-06
Jato de Fogo ruptura	3	diurno	73.76	1.89E-07	0.5	9.45E-08	2.05E-06
Jato de Fogo ruptura	2	diurno	72.45	2.27E-07	0.5	1.13E-07	2.16E-06
Jato de Fogo 10%	3	noturno	28.39	2.56E-07	0.5	1.28E-07	2.29E-06
Jato de Fogo 10%	2	noturno	26.44	3.07E-07	0.5	1.53E-07	2.44E-06
Jato de Fogo 10%	2	diurno	23.44	3.07E-07	0.5	1.53E-07	2.59E-06
Jato de Fogo 10%	3	diurno	14.31	2.56E-07	0.5	1.28E-07	2.72E-06
Jato de Fogo 2%	1	noturno	7.80	9.45E-07	0.5	4.72E-07	3.19E-06
Jato de Fogo 2%	1	diurno	3.90	9.45E-07	0.5	4.72E-07	3.67E-06
Jato de Fogo 2%	1	noturno	2.60	2.38E-07	0.5	1.19E-07	3.79E-06
Jato de Fogo 2%	1	diurno	1.30	2.38E-07	0.5	1.19E-07	3.90E-06

Figura C.3 – Curva F-N do gasoduto entre São Carlos e Porto Ferreira

Da mesma forma, foi calculada a curva F-N considerando o cenário de ocupação total dos lotes entre os pontos E e F. Os resultados são apresentados na tabela C.6 e figura C.4 apresenta uma comparação entre as curvas considerando o cenário atual de ocupação e o cenário de ocupação total dos lotes entre os pontos E e F.

Fica claro que no cenário ocupação total dos lotes o risco aumenta (curva mais próxima ao limite de intolerabilidade), deixando evidente uma possível mudança nos riscos sociais associados ao gasoduto em questão.

Tabela C.6 – Cálculos efetuados para plotagem da curva F-N (lotes ocupados)

Cenário Acidental	Trecho	Período	Número Fat.	Freq. Cenário	Prob. Per.	Freq. Final	Freq. Acumulada
Bola de fogo	3	noturno	728.93	8.42E-07	0.5	4.21E-07	4.21E-07
Bola de fogo	3	diurno	401.69	8.42E-07	0.5	4.21E-07	8.42E-07
Bola de fogo	2	noturno	206.48	9.02E-07	0.5	4.51E-07	1.29E-06
Bola de fogo	2	diurno	203.97	9.02E-07	0.5	4.51E-07	1.74E-06
Jato de Fogo ruptura	3	noturno	176.22	1.89E-07	0.5	9.45E-08	1.84E-06
Jato de Fogo ruptura	2	noturno	110.98	2.27E-07	0.5	1.13E-07	1.95E-06
Jato de Fogo ruptura	3	diurno	99.77	1.89E-07	0.5	9.45E-08	2.05E-06
Jato de Fogo ruptura	2	diurno	72.45	2.27E-07	0.5	1.13E-07	2.16E-06
Jato de Fogo 10%	3	noturno	32.30	2.56E-07	0.5	1.28E-07	2.29E-06
Jato de Fogo 10%	2	noturno	26.44	3.07E-07	0.5	1.53E-07	2.44E-06
Jato de Fogo 10%	2	diurno	23.44	3.07E-07	0.5	1.53E-07	2.59E-06
Jato de Fogo 10%	3	diurno	16.26	2.56E-07	0.5	1.28E-07	2.72E-06
Jato de Fogo 2%	1	noturno	7.80	9.45E-07	0.5	4.72E-07	3.19E-06
Jato de Fogo 2%	1	diurno	3.90	9.45E-07	0.5	4.72E-07	3.67E-06
Jato de Fogo 2%	1	noturno	2.60	2.38E-07	0.5	1.19E-07	3.79E-06
Jato de Fogo 2%	1	diurno	1.30	2.38E-07	0.5	1.19E-07	3.90E-06

Figura C.4 – Comparação entre curvas F-N do gasoduto entre São Carlos e Porto Ferreira (lotes ocupados e cenário atual)

O empreendedor do gasoduto argumenta ter adotado como medida de proteção o uso do chamado tubo-camisa no trecho crítico de Descalvado. Afirma que tal adoção reduz a probabilidade de ocorrência do evento bola de fogo a zero. Tal suposição é considerada extremamente otimista (não conservadora), uma vez que não existem estudos que comprovem tamanha eficácia. Risco zero é exceção em qualquer atividade humana e deve ser devidamente comprovada, ainda mais no caso de gasoduto.

Vale ressaltar que o tubo-camisa **não está em todo o trecho da Rua Minas Gerais** (vide figura 6.17 – pág. 80). Em um trecho onde o duto precisa fazer uma curva, essa medida de proteção não existe pois o tubo-camisa foi aplicado apenas em trechos retilíneos.

Mesmo não concordando com a adoção da suposição de que o uso do tubo-camisa reduz a probabilidade de ocorrência do evento bola de fogo a zero, foi montado, a título de comparação, também o cenário que considera o tubo-camisa 100% eficaz na mitigação do evento bola de fogo.

Uma vez que a adoção de tal medida não abrange todo o trecho considerado crítico, ainda assim algumas casas estariam dentro da área de risco. Assim, foram construídas as curvas F-N considerando o tubo-camisa no trecho que atravessa a Rua Minas Gerais em Descalvado.

A tabela C.7 apresenta a caracterização populacional no trecho crítico de Descalvado (entre pontos E e F), levando em consideração os seguintes cenários:

- Sem tubo-camisa, cenário atual de ocupação;
- Sem tubo-camisa, ocupação total dos lotes no trecho crítico de Descalvado;
- Com tubo-camisa, cenário atual de ocupação;
- Com tubo-camisa, ocupação total dos lotes no trecho crítico de Descalvado.

Tabela C.7 – Comparação da caracterização populacional considerando o cenário atual de ocupação e os lotes totalmente ocupados

Trecho do gasoduto	Cenário Acidental	Dentro da área de 75% de fatalidade	Dentro da área de 25% de fatalidade
Entre pontos E e F Sem tubo-camisa Cenário Atual	Bola de Fogo	85 casas 1 supermercado 1 bar	59 casas
	Jato de Fogo Ruptura	22 casas 1 bar	14 casas 1 supermercado
	Jato de Fogo Furo	0	19 casas 1 bar
	Jato de Fogo Fissura	0	0
Entre pontos E e F Sem tubo-camisa Lotes Totalmente Ocupados	Bola de Fogo	134 casas 1 supermercado 1 bar	102 casas
	Jato de Fogo Ruptura	28 casas 1 bar	36 casas 1 supermercado
	Jato de Fogo Furo	0	22 casas 1 bar
	Jato de Fogo Fissura	0	0
Entre pontos E e F Com tubo-camisa Cenário Atual	Bola de Fogo	39 casas 1 supermercado 1 bar	51 casas
	Jato de Fogo Ruptura	3 casas 1 bar	10 casas 1 supermercado
	Jato de Fogo Furo	0	3 casas 1 bar
	Jato de Fogo Fissura	0	0
Entre pontos E e F Com tubo-camisa Lotes Totalmente Ocupados	Bola de Fogo	53 casas 1 supermercado 1 bar	79 casas
	Jato de Fogo Ruptura	4 casas 1 bar	12 casas 1 supermercado
	Jato de Fogo Furo	0	4 casas 1 bar
	Jato de Fogo Fissura	0	0

A figura C.5 foi construída a partir dos dados constantes na tabela C.7, e apresenta uma comparação entre as curvas F-N para o traçado total considerando quatro cenários descritos anteriormente.

Figura C.5 – Comparação entre curvas F-N do gasoduto entre São Carlos e Porto Ferreira

A figura C.5 mostra claramente que a medida de proteção tubo-camisa não reduz substancialmente o risco social associado ao gasoduto. A seguir, foi construída a curva F-N somente para o trecho 3 do gasoduto (trecho crítico de Descalvado) e feita comparação entre três cenários, a saber:

1. **sem tubo-camisa (lotes ocupados)**, que era o cenário inicial antes da implantação do gasoduto e já considerando mudança na questão da ocupação dos lotes;
2. **com tubo-camisa (lotes ocupados)**, a fim de se visualizar a mudança na curva F-N decorrente da adoção de tal medida de proteção;
3. **proposta alternativa de traçado**, considerando que nessa proposta não é necessária a adoção do tubo-camisa.

Figura C.6 – Comparação entre o traçado alternativo e o implantado

A figura C.6 apresenta comparação entre a opção inicial do empreendedor passando pela Rua Minas Gerais sem o uso do tubo-camisa e, posteriormente, a adoção do tubo-camisa como medida de proteção a fim de se reduzir os riscos associados ao gasoduto e com isso, afastar a curva F-N do limite de intolerabilidade. A curva apresentada para o traçado alternativo mostra claramente que os riscos caem mais drasticamente (curva desloca para a direita) com a mudança do traçado, mesmo sem o uso de medidas mitigadoras.

**APÊNDICE D – CURVAS DE FATALIDADE DOS TRECHOS
CONSIDERADOS CRÍTICOS**

1. Curvas de Fatalidade

Como já mencionado anteriormente, foram simulados 4 cenários acidentais:

1. Bola de Fogo (ruptura total do duto)
2. Jato de Fogo (ruptura total do duto)
3. Jato de Fogo (furo de 10% do duto)
4. Jato de Fogo (furo de 2% do duto)

Vale lembrar que para o cálculo das prováveis vítimas fatais foram usados os níveis de intensidade térmica de $12,5 \text{ kW/m}^2$ e $37,5 \text{ kW/m}^2$, os quais representam respectivamente uma probabilidade de 1% e de 50% de fatalidade da população afetada, isso para tempos de exposição de 30 e 20 segundos.

Assim, para eventos acidentais envolvendo incêndios, as distâncias de interesse são aquelas correspondentes aos níveis de radiação térmica de $12,5 \text{ kW/m}^2$ e $37,5 \text{ kW/m}^2$. Como apresentado no Apêndice C, pessoas dentro da área de exposição limitada pela curva de $12,5 \text{ kW/m}^2$ têm 75 % de probabilidade de fatalidade, e, pessoas dentro da área de exposição limitada pela curva de $37,5 \text{ kW/m}^2$ têm 25 % de probabilidade de fatalidade.

Tabela D.1 – Distâncias correspondentes aos valores de intensidades térmica de $12,5 \text{ kW/m}^2$ e $37,5 \text{ kW/m}^2$

	Cenário acidental	Distância para $37,5 \text{ kW/m}^2$ (m)	Distância para $12,5 \text{ kW/m}^2$ (m)
Trecho 1	Bola de fogo - ruptura	68,00	110,00
	Jato de fogo – ruptura	24,05	41,65
	Jato de fogo – furo 10%	10,24	17,64
	Jato de fogo – furo 2%	2,10	3,63
Trecho 2	Bola de fogo - ruptura	60,00	105,00
	Jato de fogo – ruptura	22,87	39,62
	Jato de fogo – furo 10%	9,74	16,88
	Jato de fogo – furo 2%	1,99	3,45
Trecho 3	Bola de fogo - ruptura	58,00	98,00
	Jato de fogo – ruptura	19,07	33,02
	Jato de fogo – furo 10%	8,12	14,07
	Jato de fogo – furo 2%	1,66	2,88

Os dois trechos considerados críticos (em São Carlos e Descalvado) são apresentados a seguir.

1.1 Trecho Jd. Novo Horizonte (Município de São Carlos)

Figura D.1 – Cenário acidental Bola de Fogo – ruptura total

Figura D.2 - Cenário acidental Jato de Fogo – ruptura total

Figura D.3 - Cenário acidental Jato de Fogo – furo 10% do duto

Figura D.4 - Cenário acidental Jato de Fogo – furo 2% do duto

1.2 Trecho Rua Minas Gerais (Município de Descalvado) **Figura D.5 – Cenário acidental Bola de Fogo – ruptura total**

Figura D.6 – Cenário acidental Jato de Fogo – ruptura total

Figura D.7 - Cenário acidental Jato de Fogo – furo 10% do duto

Figura D.8- Cenário acidental Jato de Fogo – furo 2% do duto