

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da  
Informação e Documentação – FACE  
Departamento de Economia  
CEEMA – Centro de Estudos em Economia, Meio Ambiente e  
Agricultura**

**Mestrado Profissional em Gestão Econômica do Meio Ambiente**

**GERÊNCIA DE RISCO INDUSTRIAL – UM ESTUDO “*EX-POST*”  
SOBRE O ACIDENTE EM BHOPAL, ÍNDIA.**

**ANTONIO FERNANDO NOCETI BAHIA**

**Orientador: Professor Ph.D. Jorge Madeira Nogueira**

Brasília – DF  
Maio, 2006

**ANTONIO FERNANDO NOCETI BAHIA**

**GERÊNCIA DE RISCO INDUSTRIAL – UM ESTUDO “*EX-POST*”  
SOBRE O ACIDENTE EM BHOPAL, ÍNDIA.**

Dissertação apresentada como requisito à  
obtenção do título de Mestre em Economia -  
Gestão Econômica do Meio Ambiente do  
Programa de Pós-Graduação em Economia -  
Departamento de Economia da Universidade de  
Brasília - UnB.

Orientador: Professor Ph.D. Jorge Madeira Nogueira

Banca Examinadora:

Brasília – DF  
Maio, 2006

**“É na experiência da vida que o Homem evolui”**

**Harvey Spencer Lewis – F.R.C.**

## Agradecimentos

A conclusão deste estudo só foi possível graças à colaboração e estímulo, direta ou indiretamente, de muitas pessoas. Manifesto minha gratidão a todas essas pessoas e em especial:

Ao Professor Jorge Madeira Nogueira meu orientador, a quem agradeço a oportunidade de aprender a arte de ensinar e conhecer o meio ambiente.

Aos Professores Denise Imbroisi, Pedro Zuchi, Charles Curt Mueller, Bernardo Mueller, Nathércia Schneider, Luciene Rodrigues, Augusto Mendonça e Sérgio Augusto Batalhone, pela motivação, dedicação e competência demonstrada nesta difícil “arte de ensinar”.

Aos meus grandes amigos e companheiros, Marco Cícero da Silva, Mário Sérgio Xavier Regattieri e Sérgio Augusto Batalhone que sempre me ajudaram e incentivaram, meu eterno e especial agradecimento;

Aos colaboradores do NEPAMA, Waneska, Márgea, Marcos e Rafael;

À Vera Lúcia Silva, minha esposa que tanto me incentivou nesta lida e aos meus eternos filhos e filhas os quais tenho paixão eterna;

Ao Grande Arquiteto do Universo a oportunidade de viver e me aperfeiçoar a cada dia que passo na face da Terra.

Naturalmente, os erros remanescentes são de minha inteira responsabilidade.

## RESUMO

A ocorrência de acidentes catastróficos faz com que vários organismos internacionais sejam conduzidos à reflexão e à discussão dos danos causados às empresas, aos seres humanos, aos animais e ao meio ambiente. No acidente em Bhopal na Índia, ocorrido no ano de 1984, os prejuízos causados foram e são até hoje incalculáveis. Sejam eles considerados sob diferentes óticas, como por exemplo, a do bem-estar da sociedade, incluindo a saúde pública; a de natureza econômica; e a do meio ambiente, refletindo a perda e/ou a difícil recuperação da biodiversidade.

O objetivo desta dissertação é efetuar uma análise ex-post do acidente em Bhopal, tendo como fundamentação teórica os diferentes métodos e técnicas de análise de risco industrial até então desenvolvidos e constantes em publicações científicas.

Por outro lado, o presente estudo tem a simples pretensão de contribuir como um instrumento que possa auxiliar e orientar as firmas/indústrias em suas novas instalações e/ou ampliações industriais no que concerne à análise de risco.

**Palavras-chaves:** análise de risco, avaliação de risco, economia do meio ambiente, maiores acidentes, acidentes químicos ampliados.

**Classificação JEL: J28, R41**

## ABSTRACT

The catastrophic accidents occurrence have conducted many international organizations to reflection and to discuss the damages caused to enterprises, people, animals and environment. The impairments caused by the 1984 Bhopal accident in India are incalculable, being them considered by the social welfare viewpoint, including public health; under the Economy viewpoint; under the Ecology – loss and/or hard biodiversity retrieval.

The aim of this dissertation is to present an ex-post analysis of the Bhopal accident, based on several methods and industrial risk analysis techniques developed, until now, by specialists and presented in scientific journals.

Otherwise, this research has the simple pretention to contribute as an instrument which can contribute as a helpful auxiliary instrument to guide firms/industries in their new plants and/or industrial expansion relatively to the risk analysis.

**Keywords:** risk analysis, risk evaluation, environment economics, major accidents, extended chemical accidents.

**Classificação JEL: J28, R41**

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>SUMÁRIO</b> .....	vii
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	xi
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1. Contextualização .....	12
1.2. Objetivos .....	13
1.3. Delimitação do Estudo .....	13
1.4. Relevância do Estudo .....	13
1.5. Estrutura da Dissertação .....	14
<b>CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
2.1. Referencial Teórico .....	16
2.2. Teoria do Consumidor .....	17
2.3. Externalidades .....	18
2.4. Externalidades Negativas e Ineficiência .....	19
Figura 1 – Custo Externo .....	20
2.5. Direito de Propriedade .....	20
2.6. Teorema de Coase - Economia do Bem-Estar .....	21
2.7. Instrumentos de Política Ambiental .....	22
<b>CAPÍTULO 3 - O ESTADO DA ARTE DO GERENCIAMENTO DE RISCO</b> .....	25
3.1. Gerenciamento de Risco .....	25
3.2. A Análise de Risco: algumas definições .....	26
3.2.1. Perigo .....	26
3.2.2. Risco .....	26
3.2.3. Risco Individual .....	27
3.2.4. Risco Social .....	27
3.2.5. Análise de riscos .....	27
3.2.6. Análise de riscos ambientais .....	29
3.3. Teorias de Análise de Risco – Aplicações da teoria científica para processos técnicos .....	30
3.4. Abordagem das Análises de Risco .....	33
3.4.1. HazOp - Hazard and Operability Study .....	33
3.4.2. Procedimento global de uma Análise de Risco .....	33
<b>Figura 2</b> - Um cenário típico de metodologia de avaliação de risco .....	34
<b>Figura 3</b> - Etapas envolvidas no desenvolvimento de um cenário de acidente de máxima confiança .....	35
3.4.3. Critérios de Aceitabilidade de Riscos Industriais .....	38
<b>Figura 4</b> – Critérios de Tolerabilidade de Riscos Sociais adotados pela FEPAM .....	39
<b>Figura 5</b> – Critérios de Tolerabilidade de Riscos Sociais adotados pela FEPAM .....	40
3.4.4. O uso na produção .....	41

<b>Figura 6</b> – Análise Determinística de Risco - Exemplo de um esquema de matriz de risco.....	41
3.5. Teoria científico-acadêmica para Análise de Risco.....	41
3.5.1. Conceitos Iniciais .....	41
3.5.2. Uma sinopse de risco – conceitos relacionados.....	42
3.6. Organizações de Gerenciamento de Risco .....	44
<b>CAPÍTULO 4 - MÉTODOS E TÉCNICAS DE ANÁLISES DE RISCO</b> .....	46
4.1. Avaliação de Risco – AR (Risk Assessment - RA) - Análises .....	46
<b>Figura 7</b> - Diagrama de bloco simplificado apresentando várias etapas de técnicas e/ou ferramentas para condução a uma análise de risco.....	48
4.2. Breve apresentação de técnicas científicas de avaliação de risco disponíveis.....	50
4.3. Análise Ótima de Risco (ORA) .....	51
4.4. Identificação de risco .....	51
4.5. Avaliações de risco .....	52
4.5.1. Avaliação qualitativa de risco.....	52
4.5.2. Avaliação probabilística de risco - software PROFAT .....	52
4.5.3. Análise de consequência .....	53
4.5.4. MOSEC - Modelagem e simulação de fogo e explosão .....	54
4.5.5. HAZDIG - Dispersão de Gases Perigosos .....	54
4.5.6. DOMIFFFECT - Análise de Efeito Dominó .....	55
4.5.7 Estimação de Risco .....	56
<b>Figura 8</b> – Desenho ambiental da planta e seus ambientes.....	57
<b>Figura 9</b> – Contornos de risco indicando áreas de impacto para um acidente ocorrendo no Reator 1 (Enxofre) devido a risco severo (A), alto risco (B) e risco moderado (C). .....	64
<b>Figura 10</b> – Contornos de risco indicando áreas de impacto para um acidente ocorrendo no Reator 2 (Hidrogênio) devido a risco severo (A), alto risco (B) e risco moderado (C). .....	64
<b>Figura 11</b> – Contornos de risco indicando áreas de impacto para um acidente ocorrendo em tanques de armazenamento devido a risco severo (A), alto risco (B) e risco moderado (C). .....	65
<b>Figura 12</b> – Contornos de risco indicando áreas de impacto para um acidente ocorrendo em tanques de armazenamento devido a risco severo (A), alto risco (B) e risco moderado (C). .....	66
4.8. Características de acidentes industriais .....	67
<b>CAPÍTULO 5 - GRANDES ACIDENTES INDUSTRIAIS</b> .....	69
5.1. Poluição química ambiental .....	69
5.2. Acidentes químicos ampliados .....	71
5.3. Características de acidentes químicos ampliados.....	74
5.4. Agravamento dos acidentes ampliados no Brasil.....	76
<b>CAPÍTULO 6 - BHOPAL – MAIOR ACIDENTE DA HISTÓRIA</b> .....	78
6.1. Análise <i>ex-ant</i> do acidente em Bhopal .....	78
6.2. Abrangência do acidente em Bhopal.....	78
6.3. Principais falhas ocorridas .....	79
6.4. Análises de Risco aplicáveis em Bhopal .....	83



6.5.	Análise de Risco <i>ex-post</i> do grande acidente de Bhopal .....	83
6.5.1.	Análise de Risco: HazOp ( <i>Hazard and Operability Study</i> ) .....	83
6.5.2.	Análise de Risco: Procedimento global de uma Análise de Risco - Análise de acidente de máximo confiável ( <i>MCAA - maximum credible accident analysis</i> ) e análise de risco quantitativo ( <i>QRA - quantitative risk analysis</i> ) .....	85
6.5.3.	Análise de Risco: ORA - Análise Ótima de Risco.....	85
6.5.4.	Análise de Risco: Avaliação probabilística de risco - análise modificada da árvore de falha ( <i>MFTA - Modified Fault Tree Analysis</i> ).....	87
6.5.5 –	Análise de Risco: Análise de Efeito Dominó ( <i>Domino Effect Analysis</i> ) .....	88
6.6.	Avaliação econômica <i>ex-post</i> do grande acidente de Bhopal .....	89
<b>CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO DO TRABALHO - RECOMENDAÇÕES</b> .....		91
7.1.	Recomendações gerais acerca do acidente analisado .....	91
7.2.	Recomendações aplicáveis para Governos .....	91
7.3 -	Recomendações aplicáveis para indústria .....	92
7.4.	Recomendações aplicáveis às comunidades .....	92
7.5.	Recomendações aplicáveis para engenharia e universidades de negócios .....	93
7.6.	Recomendações aplicáveis para mídia .....	93
7.7.	Recomendações aplicáveis para todos .....	93
7.8.	Recomendações às empresas que pretendem instalar e/ou ampliar suas indústrias .....	93
<b>TABELAS</b> .....		95
<b>Tabela 1</b> - Classificação de Metodologias de Análise de Risco .....		95
<b>Tabela 2</b> - Conexões entre dados de entrada e metodologias.....		97
<b>Tabela 3</b> - Análise Determinística de Risco .....		98
<b>Tabela 4</b> - Valores de danos e risco para diferentes plantas industriais de unidades de sulfoleno.....		99
<b>Tabela 5</b> - Probabilidade de ocorrência de diferentes eventos acidentais em várias unidades em plantas de fábrica de sulfoleno.....		100
<b>Tabela 6</b> - Lista de importantes eventos iniciais (eventos básicos) que podem levar a uma explosão de reator de produção de sulfureto com Índice de Melhoria – IM.....		101
<b>Tabela 7</b> - Resultado de análises de conseqüência para acidente em reator de produção de sulfureto (Reator 1) .....		102
<b>Tabela 8</b> - Efeito letal de várias potencialidades sobre a área devido a um acidente em reator de sulfureto (Reator 1).....		102
<b>Tabela 9</b> - Resultado de análises de conseqüência para acidente em reator de hidrogênio (Reator 2) .....		103
<b>Tabela 10</b> - Efeito letal de várias potencialidades sobre a área devido a um acidente em reator de hidrogênio (Reator 2).....		103
<b>Tabela 11</b> - Resultado de análises de conseqüência para acidente em unidades de estocagem (butadieno e dióxido de enxofre).....		104
<b>Tabela 12</b> - Efeito letal de várias potencialidades sobre a área devido a um acidente em unidades de estocagem (butadieno e dióxido de enxofre) .....		104

<b>Tabela 13</b> - Resultado de análises de consequência para acidente em linhas de tubo .....	105
<b>Tabela 14</b> - Efeito letal de várias potencialidades sobre a área devido a um acidente em linhas de tubo .....	105
<b>Tabela 15</b> – Acidentes químicos ampliados - nível global com mais de 20 óbitos de 1970 a 1984 ...	106
<b>Tabela 16</b> - Principais valores estatísticos das variáveis analisadas .....	107
<b>Tabela 17</b> - Incidentes registrados em MHIDAS após o ano de 1974 que resultaram em mais de 100 mortes.....	107
<b>Tabela 18</b> - Incidentes ocorridos no Brasil nos anos de 2000 e 2001.....	108
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	109

## LISTA DE SIGLAS

- ABQUIM** - Associação Brasileira da Indústria Química
- BLEVE** - *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions*
- CRP** - Programa de Reserva de Conservação
- DOMIFFECT** - *DOMino EFFect Analysis – software DOMIFFECT*
- EPA** - *Environmental Protection Agency*
- EQIP** - Programa de Incentivos de Qualidade Ambiental
- FEPAM** - Fundação Estadual de Proteção Ambiental
- FUNASA** - Fundação Nacional de Saúde, Ministério da Saúde
- FUNDACENTRO** - Fundação Jorge Duprat de Figueiredo, de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho
- HAZDIG** - Dispersão de Gases Perigosos - software HAZDIG
- HazOp** - *Hazard and Operability Study*
- HIRA** - *Hazard Identification and Ranking Analysis*
- HSE** - *Health and Safety Executive*
- MARS** - *Major Accidents Report System*
- MCAA** - *Maximum Credible Accident Analysis*
- MFTA** - *Modified Fault Tree Analysis*
- MHIDAS** - *Major Hazard Incident Data Service*
- SRD** – *Safety and Reliability Directorate*
- MOSEC** - *Modeling and simulation of fires and explosions in chemical process industries*
- NRC** - *National Research Council*
- OECD** – *Organization for Economic Co-Operation and Development*
- OIT** – Organização Internacional do Trabalho
- optHAZOP** - *optimal Hazard and Operability Study*
- ORA** - *Optimum Risk Analysis*
- OSHA** - *Occupational Safety and Health Administration*
- PRA** - Análise Probabilística de Risco
- PROFAT** - Análise Probabilística de Árvore de Falha
- PSA** - Análise Probabilística de Segurança
- QRA** - *Quantitative Risk Analysis*
- SCAP** - *Safety, Credible Accidents, and Probabilistic Fault Tree Analysis*
- SWeHI** - *Safety Weighted Hazard Index*
- USDA** - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização

Os países em processo de desenvolvimento econômico, para que possam ampliar a sua capacidade de produção, além de necessitarem de contar com um conjunto de instituições – jurídicas, políticas, sociais e econômicas – sólidas, devem experimentar, paralelamente, uma expansão – quantitativa e qualitativa – no seu estoque de fatores de produção. O aumento no estoque de fatores de produção, conjugado com uma expansão no conjunto de unidades produtoras – indústrias e firmas – fará com que a sua fronteira de possibilidade de produção se desloque positivamente, resultando desta forma, em crescimento econômico.

Por outro lado, a instalação e implantação de novas indústrias e firmas, que sob a perspectiva econômica propiciará uma expansão na produção de bens e serviços destinados a atender às demandas interna e externa, podem promover danos ambientais, haja vista que nos países em desenvolvimento a infra-estrutura de base é, via de regra, precária e as leis ambientais quando existem não são rigorosas.

O que se assiste hoje com o processo de globalização econômica é uma acirrada competição entre os países em desenvolvimento no intuito de atrair empresas multinacionais com seus investimentos de capitais produtivos, sendo que nesse processo o que se observa é a total falta de instrumentos governamentais de regulamentação que assegurem à população segurança e saúde.

Nos países em desenvolvimento a mão-de-obra é mais barata, possui baixo custo da terra, o que facilita acesso a mercados propiciando custos operacionais mais baixos em relação aos países desenvolvidos. Assim, uma vez instaladas as plantas industriais, as firmas têm pouco incentivo para minimizar riscos ambientais e humanos, criando desta forma negligência ambiental assim como, em regulamentos e equipamentos de segurança. O panorama geral sobre situações em que ocorrem acidentes fatais que envolvem mortes e seqüelas, destruição do meio ambiente, envolvem por outro lado, custos econômicos e não econômicos, além dos privados existem os sociais e financeiros.

Esta constatação demonstra a necessidade de se analisar, avaliar e administrar sistematicamente todos os diferentes tipos de riscos, a fim de se proteger

a saúde e a segurança pública, bem como limitar os choques ambientais e econômicos de acidentes potenciais.

### **1.2. Objetivos**

O objetivo da presente dissertação é efetuar uma análise *ex-post* sobre o acidente ocorrido em Bhopal na Índia, tendo como referencial teórico os vários estudos sobre Análise de Risco Industrial disponíveis na literatura econômica e de análise de risco, assim como, proceder a um estudo sobre a aplicação da Teoria do Bem-Estar Social, haja vista o sério problema social que o acidente provocou.

### **1.3. Delimitação do Estudo**

O estudo *ex-post* efetuado sobre Bhopal – Índia é importante pelo fato de ter ocorrido em um local muito povoado e teve como consequência repercussão mundial. Com este estudo pretende-se alertar os países que geram produtos químicos tais como o Brasil, de que devem estar atentos para as políticas públicas minimizando o custo social cominado por acidentes maiores.

### **1.4. Relevância do Estudo**

Os conceitos da Teoria do Bem-Estar Social desenvolvidos por diferentes autores, entre eles, Coase (1920) referem-se à atribuição de valor ao uso de bens naturais promovendo eficiência econômica em conjunção com a preocupação ambiental. Segundo Coase, nos preços dos bens e serviços devem ser incorporados de forma integral os custos sociais, inclusive aqueles relacionados à poluição, à exploração e à degradação dos recursos naturais e ambientais (Fontenele & Araújo, 2001). Coase em seu artigo “*The Problem of Social Cost*” (1960) critica os instrumentos de internalização dos custos ambientais por meio de intervenção estatal e explica que é a falta de uma definição dos “direitos de propriedade” que inviabiliza qualquer negociação direta entre os poluentes e as vítimas.

Na ausência de custos de transação, Coase apud Faucheux & Noel (1995) argumenta a existência de interesse econômico entre as vítimas até que se atinja um nível de poluição aceitável – solução ótima –, o qual é obtido mediante processo de livre negociação entre as partes envolvidas.

Como no acontecimento de grandes acidentes, denominados por “Acidentes Maiores”, em indústrias químicas ocorrem muitas vítimas diretas e indiretamente – pessoas fora do perímetro da fábrica –, muitos autores, como por exemplo: CHRISTOU & PORTER, Jai P. GUPTA, C. IOANNIDIS, Faisal I. KHAN, Tahir Husain, S.A. ABBASI; Christian KIRCHSTEIGER se preocuparam em estudar esses acidentes e sugerir soluções, não só às empresas, mas também à área governamental, fazendo com que no futuro, prováveis acidentes sejam minimizados ao extremo ou não venham a ocorrer, se os responsáveis – firmas e governo – levarem em consideração as diretrizes estabelecidas pelos estudiosos.

A aplicabilidade de métodos e técnicas sobre análise de risco faz com que as empresas devam se preocupar com suas instalações industriais, com o meio ambiente, e, com as populações adjacentes a elas. De igual modo, as autoridades governamentais devem possuir um corpo técnico especializado nessas tecnologias para traçarem as políticas públicas ambientais.

Neste contexto, a relevância do estudo se justifica, pelo fato das indústrias químicas além de serem altamente poluidoras, são, por outro lado, responsáveis pelos acidentes ecológicos e ambientais com irreparáveis perdas da diversidade e de vidas humanas, envolvendo custos altíssimos – instalações, indenizações, seguros, etc –, caracterizando desse modo, um problema de saúde pública.

### **1.5. Estrutura da Dissertação**

O capítulo um apresenta a introdução, que se desdobra em contextualização, objetivos, delimitação e relevância do estudo.

O capítulo dois trata das externalidades ambientais, teoria do consumidor, direito de propriedade, economia do bem-estar e mecanismos de controle da poluição.

O capítulo três discute o “estado da arte” do Gerenciamento de Risco, apresentando diversos tipos de risco.

O capítulo quatro apresenta os Métodos e Técnicas de Análise de Risco com as várias teorias científicas de análise de risco, abrangendo identificações, análises de risco e modelagens desenvolvidas para simulações de acidentes.

O capítulo cinco descreve a abordagem que se refere os grandes acidentes industriais, com suas características e conseqüências.

O capítulo seis apresenta a ocorrência do grande acidente em Bhopal na Índia, suas abrangências, principais falhas ocorridas, análises de Avaliação de Risco ex-post baseadas em cinco análises de risco escolhidas, suas aplicações e identificação de falhas ocorridas e comentários efetuados pelo autor, inclusive relacionando instrumentos econômicos desenvolvidos na literatura quando couber.

No capítulo sete encontra-se a conclusão e as recomendações do trabalho onde são apresentadas as sugestões para os governos e as indústrias, haja vista as externalidades negativas provocadas por um acidente maior.

## **CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **EXTERNALIDADES AMBIENTAIS, ECONOMIA DO BEM-ESTAR E INSTRUMENTOS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO**

#### **2.1. Referencial Teórico**

Segundo Mueller (1995) até o final da década de 1960, a teoria neoclássica não reconhecia que problemas ambientais pudessem causar falhas substanciais e persistentes em economias de mercado. A suposição era de que o sistema econômico funcionaria como se: (i) existissem fontes inesgotáveis de matérias e energia utilizadas no processo produtivo; (ii) ao longo do processo de produção todos os insumos materiais fossem totalmente transformados em produtos, não deixando nenhum tipo de resíduo; (iii) no consumo, todos os produtos simplesmente desaparecessem, não deixando nenhum vestígio; e, (iv) as instituições da sociedade assegurassem que todos os atributos ambientais relevantes pertencessem a alguém, sendo desta forma livremente transacionados em mercados competitivos. A concepção prevalecente era a de que a economia funcionava como um sistema isolado. Após 1960 é que se tornou evidente o fato de que as externalidades ambientais faziam parte dos processos econômicos e a economia passou a ser tratada como um sistema que retira do meio ambiente matérias-primas para transformação em produtos e energia, restituindo esses materiais e essa energia ao ecossistema, na forma de resíduos e rejeitos.

Neste contexto, a análise econômica neoclássica reconheceu então que há um processo de extinção de determinados materiais (alguns podem ser reversíveis, mas a um certo custo) e que quantidades cada vez maiores de rejeitos e poluição gerados poderão exceder a capacidade de assimilação e resiliência do ecossistema, gerando degradação ambiental. Esta pode se tornar irreversível e os ativos ambientais em sua maioria não são substituíveis. Da mesma forma, a economia neoclássica passou a considerar o impacto direto do meio ambiente sobre o bem-estar dos indivíduos. Pelo fato de que os recursos ambientais participam na melhoria no desenvolvimento econômico e do bem-estar, há necessidade de se valorar os bens e serviços para que os valores sejam utilizados nas suas diversas formas na economia, tais como nas contas nacionais, na valoração de estoque de matérias-primas, no traçado de políticas econômicas, na determinação de valores de



taxas e tarifas ambientais, no fornecimento de subsídios e ações judiciais quando de pedidos de indenizações por danos ambientais.

## **2.2. Teoria do Consumidor**

A maioria dos métodos e técnicas de valoração ambiental fundamenta-se na teoria neoclássica, principalmente nas teorias do consumidor e do bem-estar. As medidas de valoração têm como base a preferência do indivíduo pela preservação, conservação ou utilização dos bens e serviços. “Os consumidores, dado os seus gostos e suas preferências e, estando sujeitos a uma restrição orçamentária atribuem valores aos ativos ambientais” (Bateman e Turner, 1992). A disposição a pagar (DAP) de um consumidor por uma mercadoria, dependendo de sua restrição monetária, reflete a preferência do consumidor pelo produto.

É importante ressaltar que o conceito de eficiência de alocação de recursos desenvolvido pelo economista italiano Vilfredo Pareto, não se aplica nesse tipo de análise. Segundo este conceito, “uma alocação tem eficiência de Pareto quando não pode ser realocada para tornar maior o bem-estar de uma pessoa sem que haja diminuição do bem-estar de outra” (Pindyck e Rubinfeld, 1999, p.637). A análise é baseada no critério de Kaldor-Hicks-Scitovsky que é um conceito de melhora potencial de Pareto, onde se pode medir em termos monetários o bem-estar social (Faria, 1998, p.33).

A idéia básica é que para uma determinada mudança na alocação de recursos seja desejável sob a ótica econômica, é necessário simplesmente que os ganhos sociais superem as perdas, mesmo admitindo a hipótese de que uma pessoa possa incorrer em alguma perda em virtude dessa mudança.

Nos estudos de valoração ambiental, a hipótese aceita pelos métodos é que o grau de satisfação de uma pessoa pode ser medido em função dos preços que ela está disposta a pagar pelo seu consumo. Quando se trata do meio ambiente, o valor econômico atribuído ao recurso, segundo Marques e Comune (1995), não reflete o valor verdadeiro de mercado, haja vista que os bens e serviços ambientais são exclusivos para cada indivíduo em relação ao seu consumo. Na determinação de uma medida de bem-estar sob a ótica econômica, faz-se necessário a recorrência a alternativas que revelem as preferências do consumidor”.

### 2.3. Externalidades

Segundo Mueller (2001 p.62), a teoria neoclássica da poluição é o ramo da economia ambiental neoclássica. A expansão da economia provocou escassez generalizada de recursos naturais inclusive causando problemas com poluição e degradação. O sistema econômico passou a merecer atenção e prioridade pela sociedade no que se refere à preservação e recuperação das condições do meio ambiente. A adequação de modelos econômicos matemáticos explica o equilíbrio dos sistemas a partir das unidades componentes: os indivíduos e as empresas. Os agentes econômicos que atuam em mercados de bens e serviços e de fatores de produção, se esforçam a uma situação de equilíbrio geral eficiente. Os agentes econômicos são os indivíduos ou famílias que atuam no mercado como consumidores de bens e serviços e também como ofertantes de fatores de produção. As condições de eficiência nos modelos de equilíbrio geral, apoiadas na Teoria das Externalidades de Pigou (1932) pressupõem funções de satisfação dos indivíduos e de produção das empresas, a livre concorrência, a ausência de intervenção de governo e não existência de externalidades. A teoria de equilíbrio geral demonstra que nas condições acima, o funcionamento do mercado de produção conduz a uma situação ótima para o sistema econômico (estado de eficiência econômica).

Segundo Pindick & Rubinfeld (1999 p.701, 712) “externalidades são os efeitos das atividades de produção e consumo que não refletem diretamente nos preços de mercado, e podem se tornar uma causa de ineficiência econômica; e os bens públicos são os bens que podem beneficiar todos os consumidores, mas cuja oferta no mercado ou é insuficiente ou é totalmente inexistente. Estes dois fatores produzem falhas de mercado que dão origem a questões de política pública. Soluções econômicas existem para as ineficiências que envolvem regulamentações governamentais, negociações entre as partes, ou o direito de as partes prejudicadas recorrerem à justiça contra os responsáveis pelas externalidades”.

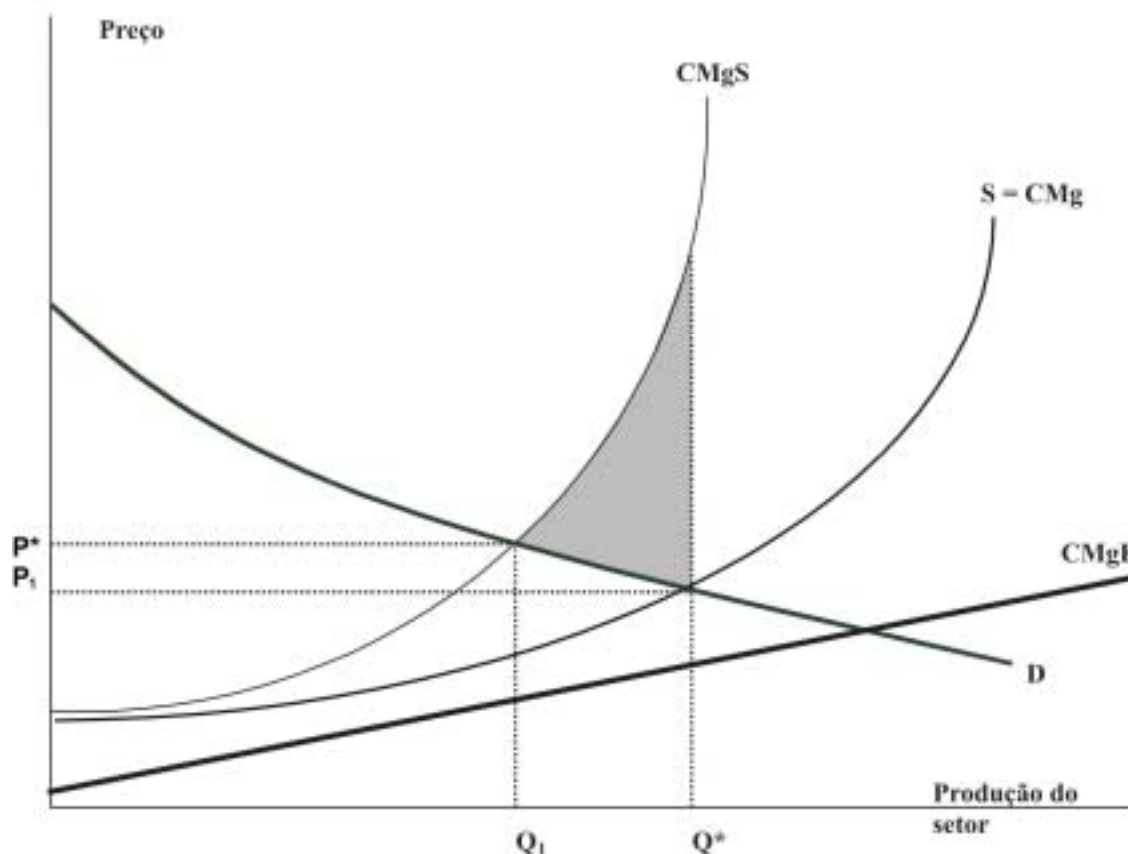
Varian (2000 p.612), elucida que “uma externalidade de consumo ocorre se um consumidor se preocupa diretamente com a produção ou consumo de outro agente. Uma externalidade de produção ocorre quando as possibilidades de produção de uma empresa são influenciadas pelas escolhas de outra empresa ou consumidor. Uma das características das externalidades é que há bens com que as pessoas se importam e que não são vendidas nos mercados”.

Mueller (2001 p.69) comenta que “a teoria neoclássica da poluição está nos efeitos externos na produção e do consumo, e o foco principal são as externalidades. Quando um agente produz algo que afete a utilidade ou a produção de outro produtor ou consumidor há externalidade. Existem duas categorias de externalidades: externalidade no consumo e as externalidades na produção. Na de consumo, a satisfação do externalizador aumenta para atender seu objetivo enquanto isso, causa mal estar ao internalizador [termo pouco usado - identifica a vítima da externalidade (Contador, 2000 p.252)] sofrendo assim as conseqüências, não ocorrendo, portanto, alocação eficiente de recursos. Na de produção, o gerador de externalidade encontra motivo de aumentar seu objetivo na produção de um bem, poluindo mais; enquanto que o internalizador é obrigado a ter um custo maior para não ser prejudicado com a poluição provocada pelo outro. Isto representa uma alocação não eficiente de recursos”. Para haver eficiência seria necessário que fosse cobrado algo do externalizador (por exemplo: uma taxa) para que ele venha a reduzir sua produção. A alocação de recursos se aproximaria do ótimo estabelecido pelo critério de Pareto”.

Os efeitos no bem-estar das pessoas, no meio ambiente ou mesmo no desempenho de outras empresas, são consideradas como externalidades quando certas ações beneficiam (externalidades positivas) involuntariamente os outros; ou prejudicam (externalidades negativas) em caso contrário (Contador, 2000 p.251).

#### **2.4. Externalidades Negativas e Ineficiência**

Como as externalidades não refletem os preços de mercado, elas podem se tornar uma causa de ineficiência econômica. O custo social, para qualquer nível de produção, seria obtido pela diferença entre o custo marginal social e o benefício marginal (apresentado pela curva da demanda). O custo social agregado pode ser determinado pela soma da diferença entre CMgS e D para todas as unidades produzidas que excedam o nível de produção eficiente. Esse custo social é representado na Figura 1 pela área sombreada, correspondendo entre as curvas CMgS e D medidas, respectivamente, para os níveis de produção  $Q^*$  e  $Q$ . Quando há externalidades negativas, o custo médio da produção privada será inferior ao custo médio social (Pindick & Rubinfeld, 1999 p.703).

Figura 1 – Custo Externo<sup>1</sup>

Fonte: Pindick & Rubinfeld (1999 p.703)

## 2.5. Direito de Propriedade

“O direito de propriedade é o conjunto de leis que descreve o que as pessoas e as empresas podem fazer com suas respectivas propriedades. As pessoas detentoras de terras podem fazer benfeitorias para seu benefício, ou podem vendê-las. Também estão protegidas contra possíveis interferências em relação ao uso de seu direito de propriedade” Pindick & Rubinfeld (1999 p.721).

<sup>1</sup> **Custo externo** – Quando há externalidades negativas, o custo marginal social CMgS é maior do que o custo marginal privado CMg. A diferença é o custo marginal externo CMgE. O produto competitivo do setor é  $Q_1$ , na interseção da oferta de mercado CMg com a demanda D. O produto eficiente  $Q^*$  é menor na interseção da demanda com o custo marginal social CMgS (Pindick & Rubinfeld, 1999 p.703).

## 2.6. Teorema de Coase - Economia do Bem-Estar

Como as externalidades interferem no bem-estar de outras pessoas, elas também influenciam o meio ambiente. O Teorema de Coase procura internalizar as externalidades através de uma negociação entre o agente causador e o agente receptor da poluição. Os direitos de propriedade são estabelecidos e devem ficar bem definidos entre os envolvidos. Na negociação são geradas duas situações:

1ª - refere-se à remuneração feita pelo emissor da externalidade de forma a compensar a vítima pelos prejuízos sofridos; e,

2ª - refere-se ao pagamento executado pela vítima ao emissor para que ele reduza a externalidade [Pearce e Turner, (1990) apud Santos (2005 p.13), [Faucheux e Noël (1995) apud Braga & Abdallah (2005, p.7)].

“O Teorema de Coase se aplica onde os custos de transação são baixos (Sousa, 2005 p.10) e consiste em que, tanto num caso como no outro, o montante que cada um aceita receber e/ou pagar determina o ponto de equilíbrio da negociação. Este ponto é idêntico em ambos os casos e constitui um *optimum*, ou seja, o ponto ótimo de poluição”, Braga & Abdallah (2005 p.5). Segundo Sousa (2005 p.10), o Teorema de Coase não funciona a contento quando as partes são muitas (grande grupo de pessoas envolvidas), há dificuldades em se organizar quando da existência de uma externalidade, inclusive em razão do problema do “carona” (*free rider*). Os custos elevados impossibilitam os contratos entre o externalizador e o internalizador. O Teorema supõe que é possível identificar a origem dos danos provocados e identificar os causadores. A existência de informação imperfeita e de custos de transação elevados pode, também, inviabilizar a correção das externalidades fazendo com que haja intervenção do governo.

Pearce e Turner (1990) apud Santos (2005 p.13) identificaram no Teorema de Coase o fato importante de que muitas substâncias poluentes permanecem no meio ambiente por longos períodos de tempo, podendo afetar as pessoas por muitos anos. A poluição pode comprometer a saúde de pessoas que ainda nem existem, e, portanto, não podem realizar qualquer tipo de negociação. Este comentário se aplica aos grandes acidentes que provocam degradação no meio ambiente quando não se consegue limpar o ambiente atingido. Determinadas substâncias levam muitos anos e mesmo décadas para serem extintas.

## 2.7. Instrumentos de Política Ambiental

Margulis (1996 p.1), menciona que os países em desenvolvimento possuem dificuldades em estabelecer prioridades em políticas ambientais para os problemas e intervenções. Os dados e informações adequadas são difíceis de se obter, não existem ou são imprecisos. As informações disponíveis devem ser utilizadas para se formular as análises necessárias para resolução dos problemas ambientais.

Os critérios hierarquizados e considerados pelos países, normalmente, são: **a)** ecológicos, como os impactos físicos, a irreversibilidade ou a recorrência dos problemas; **b)** sociais, como o número de pessoas afetadas, os efeitos sobre a saúde e a incidência entre os mais pobres; e, **c)** econômicos, como os efeitos sobre a produtividade econômica e o crescimento, e fatores como o risco e a incerteza.

Da mesma forma, Nogueira (1999 p.2) sugere que os problemas ambientais, tais como conservação, degradação, proteção do patrimônio ambiental, são de responsabilidade governamental. Tisdell (1991, Capítulo 3) apud Nogueira (1999 p.2) lista que entre as razões para a intervenção, as melhorias na eficiência econômica e a distribuição de renda entre gerações, a existência de externalidades, as características de bens públicos associados à conservação da natureza, a falta de informações sobre possíveis conseqüências ambientais das ações humanas, problemas relacionados aos custos de transação, ao risco e à incerteza, entre outros.

Na literatura encontram-se desmembramentos quanto às políticas de gestão ambiental que devem ser aplicadas por governos, sendo elas: Instrumentos de Persuasão (IP), Comando e Controle (CC) e Instrumentos Econômicos (IE). Os instrumentos que se aplicam à presente dissertação são descritos por Nogueira (1999 p.3, 4, 5):

***“Instrumentos de Comando e Controle** - são aqueles que se apóiam na regulamentação direta, acompanhada de fiscalização e sanção para o não-cumprimento das normas e padrões estabelecidos. Sendo:*

***Estudos de Impacto Ambiental (EIA)** - consiste de um conjunto de atividades, pesquisas e tarefas técnicas com a finalidade de avaliar as principais conseqüências ambientais potenciais de um projeto, visando atender aos regulamentos de proteção do meio ambiente e, efetivamente,*

*auxiliar na decisão de implantação (ou não) do projeto (MOREIRA, 1993) apud Nogueira (1999 p.4);*

**Licenciamentos (LIC)** - *um dos principais instrumentos de política de preservação de recursos naturais no Brasil, principalmente em se tratando de atividades agropecuárias, florestais e exploração/conservação da biodiversidade. Consiste numa autorização a ser concedida pela Autoridade Ambiental para a exploração econômica de áreas de relevante interesse ambiental em propriedades privadas. O licenciamento pode estabelecer padrões de uso e exploração de recursos naturais, bem como a reabilitação ecológica de áreas a serem exploradas (MOTTA e REIS, 1994) apud Nogueira (1999 p.4). É uma exigência de caráter preventivo que deve ocorrer envolvendo três tipos de licenças: licença-prévia; licença de instalação; e licença de operação (FRANCISCO, 1998) apud Nogueira (1999 p.4);*

**Controles Diretos (CD)** - *consistem em regulações limitando níveis de emissões de poluentes ou, ainda, especificações obrigatórias para equipamentos ou processos produtivos, buscando estimular um comportamento considerado ambiental e socialmente adequado. Componente básico do CD, o padrão ambiental é um nível estabelecido de desempenho que se aplica através do instrumento legal. Assim, um padrão ambiental é um nível que nunca deve ser ultrapassado por um determinado poluente, um padrão de emissões corresponde à taxa máxima de emissões legalmente permitida (FIELD, 1996) apud Nogueira (1999 p.5) e um padrão tecnológico determina a técnica ou prática que devem adotar os poluidores potenciais.*

### **Instrumentos Econômicos**

*Os instrumentos econômicos (IE) de gestão ambiental buscam alcançar metas ambientais através de incentivos e desincentivos via sistema de preços. Os instrumentos mais utilizados são:*

**Taxas/Impostos/Multas** - *a taxação, enquanto instrumento econômico de gestão ambiental, consiste em impor ao agente econômico um custo sobre o uso de um bem ambiental. A taxação pode ocorrer sobre a quantidade de poluentes emitidos, sobre a coleta e o tratamento de lixo/efluente e ainda sobre o uso de um bem ou produto que provoque dano ambiental no processo*

*produtivo ou de consumo (FIELD, 1996) apud Nogueira (1999 p.5). Nesse sentido, ela pode ser aplicada em vários campos: poluição das águas, qualidade do ar, tratamento do lixo, uso de fertilizantes, carros, baterias e toda sorte de matéria-prima. O objetivo da taxaçaõ é, primordialmente, reduzir a degradaçaõ ambiental.”*



## CAPÍTULO 3 - O ESTADO DA ARTE DO GERENCIAMENTO DE RISCO

### 3.1. Gerenciamento de Risco

As plantas industriais de processos químicos estão sujeitas a uma gama de riscos devido à natureza intrínseca das substâncias e dos produtos que são manejados, produzindo externalidades negativas muitas vezes incomensuráveis, que muitas vezes requerem a intervenção do Estado. Esses produtos químicos podem, não raramente, produzir danos irreparáveis aos equipamentos, bem como ocasionar graves lesões ou morte aos trabalhadores e às comunidades circunvizinhas às suas instalações. Ao longo dos últimos trinta anos, muitas indústrias químicas, petroquímicas e de processamento de petróleo têm se envolvido em acidentes, em todo o mundo. Os reflexos econômicos – prejuízos financeiros e materiais, o aumento dos riscos de acidentes em indústrias de alta periculosidade, a utilização de maior número de matérias-primas e insumos, a criação de novos processos e produtos, grandes capacidades de armazenamento e transporte de produtos perigosos, fez com que se aumentasse a pressão sobre as firmas no sentido de reduzirem seus riscos, conscientizarem os cidadãos sobre estes e adotarem medidas de segurança, de emergência e contenção de riscos. Para a consecução dessas atividades, há necessidade de gerenciamento de riscos composto de uma etapa, de um processo, que é precedido de análise e avaliação dos riscos.

A Gerência de Riscos, *a priori*, baseia-se na identificação, análise, avaliação e tratamento dos riscos dentro de uma empresa, com o objetivo de minimizar a possibilidade e a probabilidade de ocorrência de incidentes<sup>2</sup> e acidentes, melhorando a segurança e reduzindo os gastos com seguros. A origem do Gerenciamento de Riscos se confunde com a própria evolução do prevenicionismo. Dentro do gerenciamento de riscos estão aglutinados todos os aspectos apresentados por diversas filosofias prevenicionistas que surgiram ao longo dos tempos, sob uma ótica gerencial e objetiva. Nos Estados Unidos o Gerenciamento de Riscos (*Risk Management*) surgiu há aproximadamente 40 anos, logo após a

---

<sup>2</sup> Incidentes são compreendidos como eventos inesperados sem sérias conseqüências, embora possam ocasioná-las, enquanto os acidentes são eventos também inesperados, porém causam danos materiais, lesões e óbitos.

Segunda Guerra Mundial, e vem sendo sustentada e aprimorada pela ação conjunta de empresários, trabalhadores e organizações governamentais. No Brasil, o Gerenciamento de Riscos foi introduzido com o objetivo de reduzir os custos relativos ao pagamento de seguros e, ao mesmo tempo, aumentar a proteção do patrimônio e dos trabalhadores. Porém, somente em finais da década de 80 e início da atual década é que o gerenciamento de riscos começou a ser divulgado e utilizado de forma mais ampla por um número maior de empresas (Souza, 1995 p.17).

### **3.2. A Análise de Risco: algumas definições**

Antes de serem analisados os aspectos teóricos do gerenciamento de risco, é importante se apresentar algumas definições ou terminologias técnicas para a devida compreensão do escopo do presente trabalho. Assim sendo, define-se como:

#### **3.2.1. Perigo**

Característica associada a uma substância, instalação, atividade ou procedimento, que representa um potencial de causar danos aos seres vivos ou ao meio ambiente. No caso de substâncias, deve-se ressaltar que o perigo não é uma propriedade intrínseca da matéria, pois ele é relativo ao elemento vivo ou ao meio que sofre a ação. Como exemplos de perigo, pode-se citar: produto a pressões elevadas, manuseio ou uso de substâncias tóxicas, inflamáveis, reativas, radioativas, corrosivas, explosivas, muito quentes (exemplo: craqueamento catalítico: 900° C) ou muito frias (Soares, 2001 p.1).

#### **3.2.2. Risco**

Incerteza associada a um perigo, com possibilidade de acontecer no futuro, que causa uma redução de segurança. É a probabilidade de perda ou dano em pessoas, sistemas e equipamentos ou ao meio ambiente, em um determinado período de tempo enquanto durar seus efeitos, como resultado de uma situação de perigo. O risco é função da probabilidade ou da frequência de ocorrência de uma anormalidade. Observa-se que no tratamento da questão, as pessoas tendem a associar o risco com a “probabilidade de ocorrência” do evento e não tanto com as “conseqüências”, embora o correto é a associação dessas.

A noção de risco considera, portanto, a existência de uma possível exposição às situações de perigo: os riscos podem ser maiores com elementos pouco perigosos, dispostos inadequadamente durante longo tempo, do que um produto muito perigoso, produzido em pequenas quantidades. Do mesmo modo, o risco de morte de uma pessoa na eventualidade de uma explosão acidental em uma indústria química depende da magnitude da explosão, do combustível ou do produto envolvido, da probabilidade de ocorrência e as conseqüências para o organismo humano (Soares, 2001 p.1).

### **3.2.3. Risco Individual**

Probabilidade anual de um indivíduo sofrer algum dano durante ou após um determinado acidente. Os níveis de danos estão relacionados à perda da vida, ferimentos, danos à propriedade, interrupção da atividade, necessidade de abandono (evacuação) dos prédios Christou e Porter (1999 p.21)

### **3.2.4. Risco Social**

Risco da população na zona de influência de um acidente. Sua avaliação é importante no tocante à eventualidade de acidentes com conseqüências ambientais. O risco é, em geral, assumido pelas pessoas em troca de uma necessidade de realizar a ação perigosa. Avalia-se que o risco assumido voluntariamente situa-se entre 10 a 100 vezes maior do que aqueles que a pessoa não assume voluntariamente (Soares, 2001 p.2).

### **3.2.5. Análise de riscos**

Operação sistemática para descrever e quantificar os riscos associados a uma substância, instalação, atividade ou procedimento (Soares, 2001 p.2). A consideração de incertezas no plano de desenvolvimento de um campo de petróleo (Santos e Schiozer, 2003 p.1), afeta a decisão nos processos de produção, e a quantificação do impacto de tais incertezas permite a análise de risco.

A avaliação de risco e de perigo abrange os bens totalmente adversos de um projeto ou de uma planta industrial que envolva fogo, calor, combustão, explosão ou inundação, podendo surgir dentro de uma fábrica ou de um transporte industrial de inflamáveis – considerando-se os polidutos, caminhões, vagões, balsas,

navios. A avaliação é feita na forma de probabilidade de ocorrência do risco e a segurança depende da localização da fábrica, das precauções de segurança, do grau de treinamento e agilidade dos funcionários.

Várias metodologias de análise de risco são utilizadas. Segundo Khan e Abbasi (2002 p.467) um dos mais poderosos conceitos amplamente usados em várias metodologias de avaliação de risco, e, especificamente em análise de acidente e análise de risco quantitativa, é o conceito de desenvolvimento de cenários de acidentes e envolve essencialmente os seguintes passos:

1. Desenvolvimento e delineamento de credibilidade de cenários de acidentes;
2. Modelagem matemática de cálculos de ocorrência de dano; por exemplo: explosão seguida de fogo, nuvens de gases seguidas de explosão, gases confinados causando explosão. Para tal consecução utilizam-se dados históricos; e,
3. Estimação de risco, baseado na estimação de danos potenciais em etapas previstas e probabilidades de ocorrência de cenários de acidentes e fatores de risco. Quando não se dispõe de qualquer informação, utiliza-se da análise de sensibilidade.

Para uma análise de risco, Santos e Schiozer (2003 p.2) levam em consideração:

- a - A definição das incertezas dos atributos (valores possíveis e probabilidades associadas);
- b - A análise de sensibilidade dos atributos de incerteza para selecionar o mais crítico, reduzindo o número de simulações possíveis de modelos;
- c - A montagem de todos os modelos possíveis com o novo conjunto de atributos críticos (técnica de árvore derivada), simulação dos modelos, e cálculo da função objetivo de cada modelo;
- d - A construção da curva de risco (função objetivo e distribuição cumulativa), a determinação da função-objetivo para cada expectativa de dano. Normalmente probabilidades acumuladas: P90 (pessimista – probabilidade de ocorrer certamente acidente: 90%), P50 (provável, idem 50%) e P10 (otimista, idem 10%); e,

e - A seleção de modelos representativos para cada expectativa.

A especificação de atributos de incerteza deve ser feita por uma equipe de peritos para garantir os melhores dados iniciais. O procedimento habitual é especificar três níveis de incerteza para cada atributo: otimista, provável e pessimista. A análise de sensibilidade é executada comparando-se um modelo básico (composto normalmente pelo nível mais provável de cada atributo) com todas as variações de cada nível de cada atributo. Depois da análise de sensibilidade, os atributos críticos são combinados em uma técnica de árvore derivada e todos modelos possíveis são simulados. O tratamento estatístico dos resultados permite a determinação da curva de risco e os valores correspondendo para P90 (pessimista – probabilidade de ocorrer certamente acidente: 90%), P50 (provável, idem 50%) e P10 (otimista, idem 10%). Muitos modelos são normalmente gerados por este procedimento e alguns deles podem ser escolhidos para representar o alcance do problema de incerteza. Estes modelos referidos como modelos representativos, podem ser usados para vários propósitos, tais como verificar a importância da otimização de estratégia de produção no procedimento de análise de risco (Santos e Schiozer, 2003 p.2).

### **3.2.6. Análise de riscos ambientais**

A produção de elementos poluentes, causadores de impactos ambientais, em muitos casos é resultado de falhas no processo, sobretudo se os valores estiverem em níveis excessivos, ou fora dos limites previstos nas leis regulamentadoras ou normas (externas ou internas à empresa). A análise de riscos ambientais é uma atividade que envolve ferramentas de apoio à decisão e está intimamente ligada ao estudo de impacto ambiental (Soares, 2001 p.2).

A história tem revelado que acidentes de grandes proporções são causados por imperícia, imprevistos, erros humanos, causas acidentais, falhas de equipamentos, inclusive de segurança, fadiga de materiais, calamidades públicas tais como enchentes, maremotos, tufões, deslizamentos de terra e outros tantos fatores.

Até os anos 1960<sup>3</sup>, no Brasil, não se considerava a abrangência dos danos, ou seja, os equipamentos eram trocados ou reparados e a indústria continuava a operar sem preocupação com a substituição, recuperação e indenização dos danos ambientais; efetuando-se o pagamento do prêmio de seguros materiais e de vidas humanas.

A preocupação com o meio ambiente exige investimentos financeiros de grande volume em empresas de produtos químicos, refinarias, armazenamento e transporte de seus produtos. A combinação de altos investimentos em exigência ambiental, em novos produtos e tecnologias, resulta em um exame íntimo de atividades correntes e oportunidades futuras pelas companhias de petróleo. Dependendo da estratégia da companhia, decorre em fechamento, expansão ou diversificação das empresas.

Segundo Moschandreas e Karuchit (2002) uma sugestão relativa a um modelo de análise de incerteza é aquela em que especialistas em análise de risco podem usar modelos diferentes para estimar fatores de produção. Uma abordagem mais enfocada que trata especificamente com argumento e modelo de incertezas é conhecida como abordagem distribucional. Esta abordagem é usada em análises de incerteza de modelos de estrutura e suposições ou argumentos alternativos.

### **3.3. Teorias de Análise de Risco – Aplicações da teoria científica para processos técnicos**

Segundo Tixier *et al* (2002 p.292), muitas metodologias foram desenvolvidas nos últimos dez anos para empreender uma análise de risco em uma fábrica industrial. Os métodos são classificados em seis classes baseadas na combinação de quatro critérios usuais (qualitativos, quantitativos, determinísticos e probabilístico). E, finalmente, os dados de produção são descritos em quatro classes (gerenciamento, classificação, probabilística e hierarquização).

Com a intenção de interligar estas metodologias e as conexões entre elas, os autores definiram previamente os critérios: determinístico, probabilístico e determinístico/probabilístico. Foram identificadas sessenta e duas metodologias que são resumidas nas Tabelas 1 e 2 e separadas de acordo com os critérios estudados.

---

<sup>3</sup> Experiência vivida pelo Autor no período de março de 1965 a junho de 1972 na Refinaria Duque de Caxias – Petrobrás, Rio de Janeiro, participando na solução de acidentes de alto risco de vida e de grandes proporções, inclusive explosões e incêndios.

Para a compreensão das tabelas, inicialmente são consideradas três fases:

- a) Identificação baseada em uma descrição de local (atividades de risco, produtos e equipamentos);
- b) Avaliação para realizar uma quantificação do risco: uma abordagem determinística e/ou uma abordagem probabilística;
- c) Hierarquização que aponta para classificação de certos resultados obtidos nas duas fases prévias, a fim de apresentar riscos preponderantes.

A fase de identificação de risco é essencial, porque ela estabelece a base da análise de risco. Os dados de identificação de risco serão as entradas da avaliação e/ou das fases hierarquização. A fase de avaliação de risco deve ser realizada de acordo com duas abordagens diferentes: qualquer uma pela avaliação de conseqüências de dano (abordagem determinística) ou pela avaliação de probabilidade de acidente (abordagem probabilística). As fases de classificação da hierarquização de risco são obtidas previamente, a fim de implementar modificações ou ações corretivas nos sistemas de risco mais severos.

Na Tabela 1, as sessenta e duas metodologias são classificadas de acordo com os quatro critérios definidos previamente. A grande maioria de métodos é determinística, porque historicamente, operadores e organizações públicas inicialmente tentaram quantificar danos e conseqüências de acidentes potenciais, antes de entender por que e como os riscos podiam ocorrer. Em seguida há a classificação probabilística e determinística/probabilística em relação às análises quantitativas e qualitativas.

Na Tabela 2 são descritos os tipos de entrada de dados que são relacionados como características do processo ou relacionados como qualitativo de política de segurança. Para cada classe de entrada algumas informações são determinadas pelo tipo de dados:

- Projetos ou diagramas são relacionados com a descrição do local, instalação, unidades, redes de fluidos, barreiras de segurança e armazenamentos;

- Processo e reações são relacionados a operações e descrição de tarefas, características físicas e químicas do processo, parâmetros cinéticos e calorimétricos, condições operacionais e normais em condições de funcionamento;
- Substâncias são relacionadas ao tipo de substância, propriedades físicas e químicas, quantidades e dados toxicológicos;
- Probabilidade e frequência são relacionadas ao tipo de falha, probabilidade e frequência de falha, falha humana, taxa de falha e a probabilidade de exposição;
- Política e gerenciamento são relacionados à manutenção, organização, política de segurança, Sistema Gerencial de Segurança, gerenciamento de transporte e o custo de equipamento.
- Ambiente é relacionado ao ambiente do local, dados topográficos e a densidade populacional;
- Textos e conhecimento histórico são relacionados a padrões e regulamentos, e registros históricos;

Estes dados de entrada são condensados na Tabela 2. *A posteriori* são dadas conexões entre dados de entrada e as listas de metodologias. A maior parte dos métodos é baseada em uma descrição geral do local (Plantas e Diagramas) e alguns levam em conta os dados de entrada comuns ao ambiente: projeto ou diagrama, processos e reações, e produtos são geralmente usados por métodos determinísticos, enquanto que os métodos determinísticos/probabilísticos usam como dados principais de entrada: probabilidade e frequência; plantas ou diagrama; e, produtos.

Os dados de entrada mais específicos da Tabela 2 (Política e Gerenciamento, ambiente, textos e conhecimentos históricos) estão principalmente empregados em métodos determinísticos.



### **3.4. Abordagem das Análises de Risco**

#### **3.4.1. HazOp - Hazard and Operability Study<sup>4</sup>**

A abordagem de análise de risco abrange a indústria aeroespacial, a produção de energia nuclear, instalações de refino de petróleo e fábricas químicas. Para cada área há desenvolvimento de técnicas específicas para se estudar riscos. Como exemplo, a análise de perigo e operabilidade denominada como HazOp (*Hazard and Operability Study*) - Análise de Perigos e Operabilidade – é um método sistemático de análise de riscos que aborda técnicas e análises qualitativas – efetuando-se um levantamento completo dos fatores operacionais que possam provocar falhas no sistema (Khan, 2001 p.56); Konstandinidou et. al, 2003).

Esta abordagem (criada por KLETZ na década de 1970) foi introduzida em indústrias químicas para o exame sistemático formal do processo e de engenharia para avaliar o potencial de perigo de funcionamentos ineficazes de operações. HazOp tem sido necessária para estimar a avaliação preliminar de um sistema complexo que apresenta vários processos que acontecem em seqüência (chamado efeito dominó), ou em paralelos, cada um deles envolvendo muitas reações químicas e termodinâmicas de risco (Cacciabue, 2000 P.2).

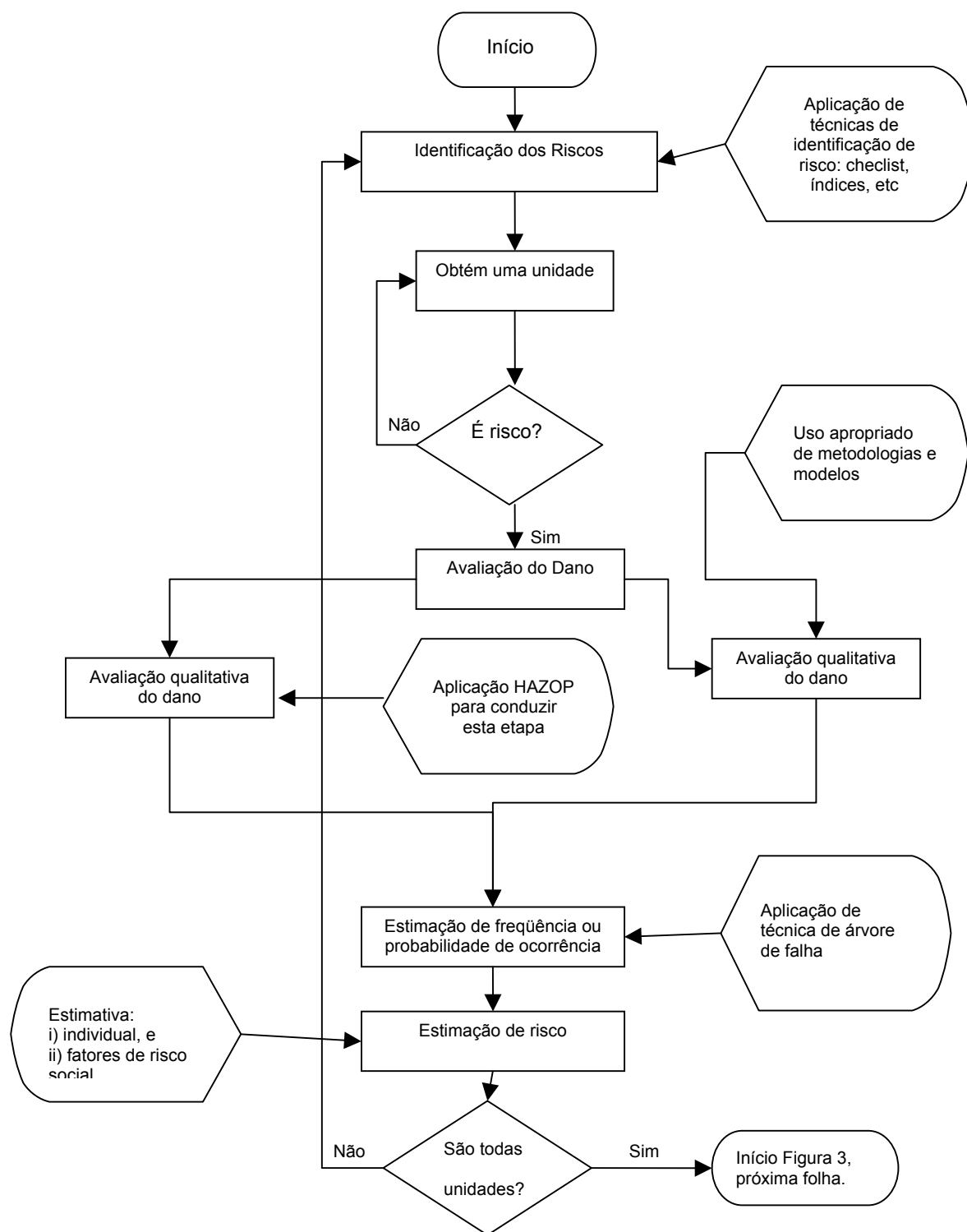
#### **3.4.2. Procedimento global de uma Análise de Risco**

É apresentado por Khan e Abbasi (2002 p.467), onde são estudados cenários típicos de avaliação de metodologia de risco, detalhado na Figura 2; e, etapas envolvidas no desenvolvimento de um cenário de acidente de máxima confiança, detalhadas na Figura 3.

---

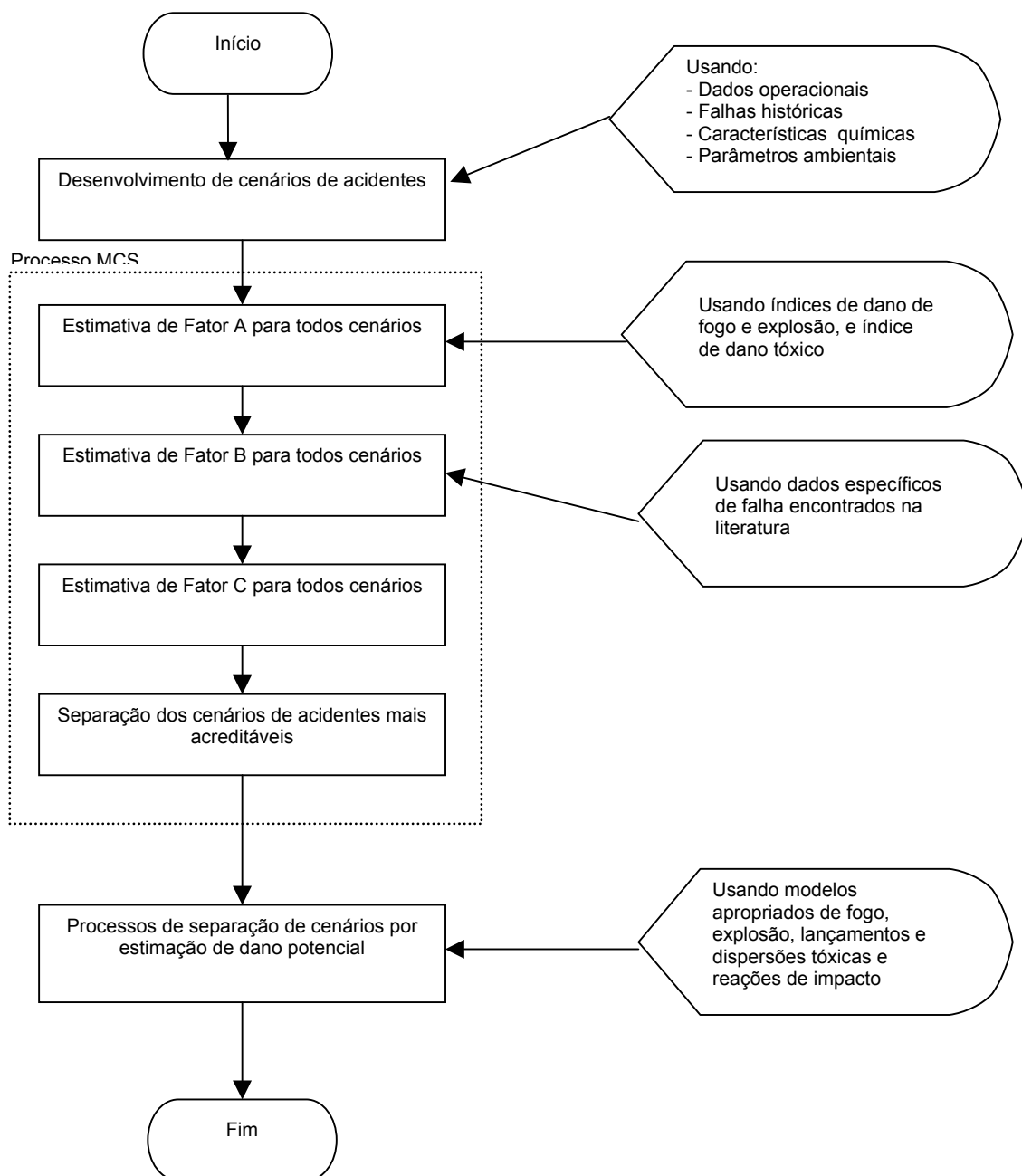
<sup>4</sup> Para maiores detalhes sobre Hazop - Análise de Perigos e Operabilidade consultar Souza (1995, p.36).

**Figura 2 - Um cenário típico de metodologia de avaliação de risco**  
 Fonte: Khan e Abbasi, (2002 p.468)



**Figura 3 - Etapas envolvidas no desenvolvimento de um cenário de acidente de máxima confiança**

Fonte: Khan e Abbasi (2002 p.469)



**Descrição de cenários** - Uma poderosa ferramenta, e extensamente utilizada em várias metodologias de avaliação de risco, é o uso do conceito de cenários de acidente confiáveis - especificamente em análise de acidente de máximo confiável (MCAA - *Maximum Credible Accident Analysis*) e análise de risco quantitativo (QRA - *Quantitative Risk Analysis*). Alguns conceitos são descritos a seguir (Khan e Abbasi, 2002 p.468):

**Cenário de acidentes** – Um cenário de acidentes é a descrição de uma situação esperada. Contém eventos únicos ou combinados. A expectativa de um cenário não significa que realmente acontecerá, mas existe uma probabilidade razoável que isso aconteça. É a base de estudo de risco; informa o que pode acontecer e analisam-se métodos de prevenir ou minimizar a possibilidade de ocorrência de um evento. Um cenário pode influenciar vários aspectos do projeto Podemos citar como exemplo um derramamento esperado de líquido tóxico ou uma combustão química pode afetar a localização de detectores de gás, de válvulas, isolamento de equipamentos, capacidade da estrutura e equipamento, envenenamento de pessoas, procedimentos operacionais, localização de equipamentos de combate ao fogo, equipamentos de prontidão de emergência.

Cenário de acidentes é também definido como um acidente que tem real possibilidade de acontecer (isto é, probabilidade mais alta que  $1 \cdot e^{-06}$ /ano) e tem uma propensão para causar dano significativo (no mínimo, uma fatalidade). Este conceito inclui danos prováveis causados por um acidente e ambas probabilidades de ocorrência, podendo haver um tipo de acidente que pode acontecer muito freqüentemente, mas causaria pouco dano. Mas os acidentes que têm probabilidade apreciável de ocorrência como também possui dano potencial significativo, é classificado na categoria de acidentes acreditáveis.

Muitos acidentes sérios que ocorreram no passado foram originados de pequenos acidentes, não foram registrados ocasionando perda de informações. Em tais situações, até um vazamento pequeno pode levar a um acidente desastroso. Se não houver estancamento do vazamento, pode ser formada uma nuvem de gás que se transforma em uma explosão acompanhada de incêndio, bastando que haja uma fonte de fogo ou faísca (experiência vivida pelo Autor no trabalho em refinaria de

petróleo). Em uma análise de acidentes passados, revela que a maior parte dos acidentes considerados catastróficos aconteceu por ignorância e, em particular, em áreas não muito arriscadas ou em que o controle das organizações não era adequado.

**3.4.2.1. A Metodologia MCS** - Os passos subseqüentes da Metodologia MCS (Khan e Abbasi, 2002 p.471) são apresentados na Figura 3. O processo começa com desenvolvimentos plausíveis de acidente em uma unidade de processo. Na segunda etapa, os raios de danos são calculados para cada cenário de acidente. Isto pode ser feito usando um ou outro índice: de explosão, índice de dano tóxico ou índice de dano de fogo e explosão. Na etapa subseqüente, a probabilidade de cada cenário de acidente é estimada. Isto pode ser feito usando-se os dados específicos da indústria (taxas de fracasso de vários componentes usados na unidade de processo) ou os dados disponíveis na literatura (freqüências de ocorrência de vários eventos sob condições diferentes).

Este procedimento de estimação de probabilidade é fácil, porém pouco explorado e tem sido objeto de críticas. A mais precisa estimação de probabilidade seria feita na etapa subseqüente de avaliação de risco. O uso de métodos de estimação de probabilidade confiáveis (por exemplo, análise de árvore de falha) não só exige grandes conjuntos de dados, mas também muito trabalho computacional, tempo e custo.

**Delineamento de máxima credibilidade de cenários de acidente** - uma vez que todos cenários de acidente acreditáveis têm sido identificados, eles são estudados adicionalmente para se decidir quais os mais acreditáveis. Os cenários de acidentes acreditáveis são aqueles que têm mais alto dano potencial como também alta probabilidade de ocorrência. Podendo haver cenários com potencial de dano maior que o mais acreditável, mas, devido a sua baixa probabilidade de ocorrência, pode não ser qualificado como tão acreditável (Khan e Abbasi, 2002 p.472).

**Estimação potencial de dano** - a estimação potencial de dano (Khan e Abbasi, 2002 p.472) envolve prováveis conseqüências de avaliação se um dos cenários se materializa. Os danos potenciais são quantificados em termos de raios de dano (os

raios da área em que o dano provavelmente aconteceria), danificação da propriedade (quebra de janelas, destruição de edifícios) e efeitos tóxicos (toxidade crônica ou aguda, mortalidade). A avaliação das conseqüências envolve uma grande variedade de modelos matemáticos. Por exemplo, modelos de fontes são usados para predizer a taxa de liberação de material de risco, o grau de emissão de chamas (fogo) e a taxa de evaporação. Modelos de explosões e fogo são usados para predizer as características de explosões e incêndios. Os modelos de intensidade de impacto são usados para predizer as zonas de dano devido a fogo, explosão e carga tóxica. Os modelos de dispersão de gás tóxico são usados para predizer reações humanas a níveis diferentes de exposições a toxidades químicas.

### **3.4.3. Critérios de Aceitabilidade de Riscos Industriais**

Os critérios adotados pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM/RS (Silva, 2002 p.2) são empregados conforme orientações internacionais, baseando-se no estabelecimento de dois níveis de risco: um nível alto, acima do qual os riscos são considerados “intoleráveis” (limite de intolerabilidade); e, um nível baixo, abaixo do qual os riscos são considerados “perfeitamente toleráveis” (limite de tolerabilidade trivial). Entre os dois limites, os resultados são julgados caso a caso, considerando-se o enfoque ALARA<sup>5</sup>, resultantes das respectivas implementações.

Vários critérios são estudados. Como exemplo, tem-se: Critérios para seleção de substâncias tóxicas; Critérios para seleção de substâncias inflamáveis (gases e líquidos voláteis); Critérios para seleção das substâncias explosivas.

O Risco Social é representado por uma função matemática que relaciona a freqüência de ocorrência dos eventos às suas conseqüências. Quando as conseqüências são analisadas em termos do número de vítimas, o Risco Social pode ser definido como a relação existente entre a freqüência de ocorrência e o número de vítimas provocadas em uma determinada população devido a eventos perigosos originados em uma determinada instalação industrial ou sistema de transporte.

---

<sup>5</sup> ALARA - “As Low as Reasonably Achievable” (tão baixo quanto razoavelmente atingível). Significa que os riscos devem ser reduzidos sempre que o custo das medidas necessárias para redução for razoável quando comparado com os benefícios obtidos em termos de redução de riscos (redução marginal ou diferencial de risco). Às vezes também mencionado na forma ALARP – “As Low as Reasonably Possible” (tão baixo quanto possível).

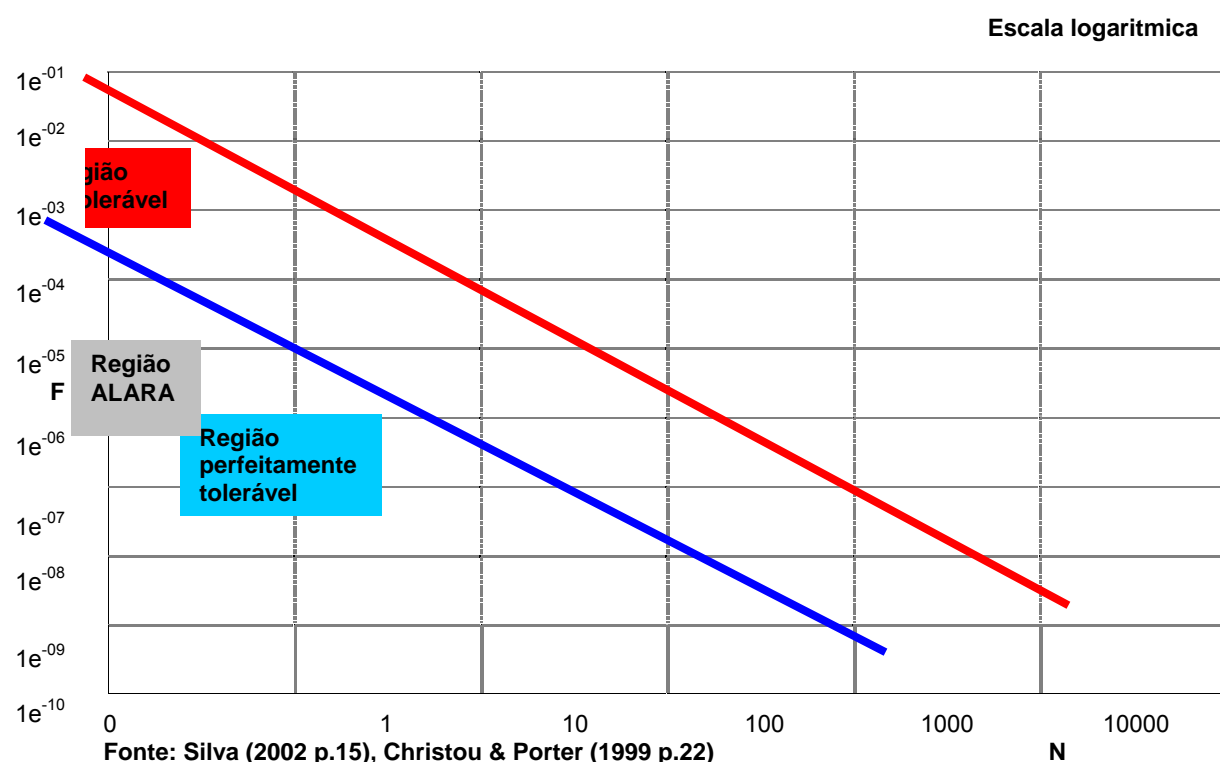
A representação matemática frequentemente utilizada para o Risco Social é obtida mediante diagramas **F – N**; isto é, diagramas representando a frequência **F** de eventos que provocam um número de vítimas superiores a **N** (Figura 4). A interpretação destes diagramas favorece a previsão da probabilidade de uma instalação dar lugar a uma catástrofe socialmente relevante [Silva (2002 p.34); Christou e Porter (1999 p.32)].

**Exemplo de critérios de tolerabilidade para dutos:** são avaliados como um caso a parte com critérios de tolerabilidade específicos. A tolerabilidade será avaliada com base no valor do risco individual tomando por base os seguintes limites (Figura 5):

a – Risco negligenciável  $< 1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$

b – Risco individual máximo tolerável  $= 1 \times 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$

**Figura 4 – Critérios de Tolerabilidade de Riscos Sociais adotados pela FEPAM**



**Figura 5** – Critérios de Tolerabilidade de Riscos Sociais adotados pela FEPAM

<b>Linha de Intolerabilidade</b>	<b>Região Intolerável</b>	<b>10<sup>-5</sup> / ano</b>
<b>Linha de Tolerabilidade</b>	<b>Região ALARA</b>	<b>10<sup>-6</sup> / ano</b>
	<b>Região Perfeitamente Tolerável</b>	

Fonte: Silva (2002 p.15), Christou e Porter (1999 p.22)

Segundo Kirchsteiger (1999) o Método de Análise Determinística de Risco de uma empresa que possui uma função interna de gerenciamento, normalmente é definido um certo número de várias “categorias de severidade” para ambas as probabilidades e conseqüências de perigos. Um exemplo de categorias é o esquema demonstrado na Tabela 3.

Nota-se que, nestes esquemas, uma definição quantitativa está freqüentemente dada em adição da definição qualitativa, principalmente para assegurar consistência no curso da análise e prover marca de referência (análise de semiquantitativo). Porém, não é necessário o uso destas definições quantitativas na aplicação do método como tal. Em esquemas deste tipo, a equipe de avaliação, normalmente incluindo membros de gerenciamento de linha, engenheiros de segurança e pessoal de operações, primeiro identificará todos os perigos, usando o método HazOp (Konstandinidou *et al*, 2003) ou abordagens semelhantes, e então atribui uma categoria de severidade para cada um destes, para ambas as probabilidades e conseqüências.

O “risco” associado com um perigo particular é então composto de sua categoria de severidade em ambas as conseqüências e probabilidades, e estão freqüentemente expressos como um par de caracteres como “B3” que significa um perigo com uma probabilidade “B” e conseqüência “3” (Figura 6). Esta idéia permite a ambos as probabilidades e conseqüências para serem julgadas, mas evita o uso de manipulação matemática complexa para isto ser alcançado (Kirchsteiger, 1999).



### 3.4.4. O uso na produção

Seguindo as suposições na Tabela 3, uma “matriz de risco” então seria definida como uma matriz 5 x 5 com cada lado correspondendo a uma categoria de severidade (Figura 7). As células desta matriz expressam a probabilidade/conseqüência da categoria atribuída para cada perigo individual.

O sombreado na figura indica a avaliação que seria aplicada a um risco que cai em qualquer uma célula particular desta matriz quadrada. Perigos com avaliações altas, como A1, B1 e A2 nos quadrados pretos, estão contemplados como sendo muito severos e exigindo ação imediata para redução. Perigos com avaliações baixas, como E5, E4 e D5 nos quadrados brancos, são considerados como não exigir nenhuma ação adicional. Perigos entre estes dois (os quadrados em vermelho e marrom claro) são considerados adequados para alguma melhoria de uma solução de custo efetivo que pode ser achada. Um esquema deste tipo pode provar um método efetivo para obter uma avaliação simples de um alcance de perigos, no que se relaciona a locais de riscos, e para priorizá-los em ações de melhoria [Kirchsteiger (1999)].

**Figura 6** – Análise Determinística de Risco - Exemplo de um esquema de matriz de risco

Categorias de Probabilidade	Conseqüência das “Categorias de Severidade”				
	5	4	3	2	1
A					
B					
C					
D					
E					

Fonte: Kirchsteiger (1999)

## 3.5. Teoria científico-acadêmica para Análise de Risco

### 3.5.1. Conceitos Iniciais

O Conselho Nacional de Pesquisa (*National Research Council - NRC*) – Itália, instituiu um paradigma de avaliação de risco clássico, como um procedimento de etapas múltiplas que identificam um perigo e então relaciona a exposição da

população a um agente químico ou não, com dose e risco. A prática de avaliação de risco convencional possui limitações que podem levar ao menosprezo do risco, como sendo:

- As exposições a contaminantes ou substâncias químicas e suas combinações, são normalmente tratadas como evento independente associado a cada rota específica. Exposições simultâneas de uma pessoa a rotas múltiplas de contaminação durante um certo tempo não são consideradas;
- A análise de incerteza em avaliação de risco convencional considera somente a incerteza de parâmetro. Embora ambos tipos de incerteza (argumento e modelo) contribuam para incerteza global, eles são freqüentemente desprezíveis ou ignorados.

Os conceitos de risco agregado e riscos cumulativos recentemente desenvolvidos respondem às limitações acima. A análise de avaliação de risco está evoluindo com a formulação de modelos que são mais complexos e identificam os riscos e cenários mais realistas de exposição, atingindo novas perspicácias que permitem ao especialista estimar riscos de exposições a contaminantes e rotas múltiplas. Este aumento na complexidade do processo de avaliação de risco é necessário para acrescentar incertezas de risco.

### **3.5.2. Uma sinopse de risco – conceitos relacionados**

**i - Exposição e dose – produtos químicos** - definição de exposição e dose, é estabelecida em documentos do “*Guidelines for Exposure Assessment*” “*Environmental Protection Agency – EPA*. O início da exposição é o contato de um agente químico com o indivíduo e se dá por inalação pela boca e nariz ou absorvido pela pele. A unidade de dose de exposição tem três variações diferentes: massa da substância química, massa da substância química por tempo, e massa da substância química por peso do corpo por tempo. A unidade genérica de exposição (tempo de concentração) é normalmente usada para rota de inalação somente.

**ii - O risco e avaliação de risco** - a exposição a agentes químicos prejudiciais leva ao risco ou à probabilidade de sofrer efeito adverso. O processo de estimar a probabilidade é chamado de análise de risco. Esta, aplicada a uma situação particular constitui uma avaliação de risco, que normalmente estima a

probabilidade de ocorrência de efeitos sobre a saúde humana. Identificação de risco, avaliação de dose-resposta, avaliação de exposição e caracterização de risco são os quatro elementos ou etapas que constituem o paradigma de avaliação de risco.

**iii - Análise de incerteza convencional de estimativas de risco** - a análise de incerteza é a análise da variação ou imprecisão do resultado de uma avaliação. Em geral, existem duas classificações comumente usadas: (1) cenário, modelo, e parâmetro de incerteza; e, (2) variabilidade de incerteza.

Fontes de parâmetro de incerteza são erros de medida, erros de amostragem, de variabilidade, e o uso de dados de substituto. Erros de medida se referem a erros fortuitos, de imprecisão ou erros sistemáticos, enquanto erros de amostragem são erros de tamanho de amostra: pequena e/ou nenhuma amostra representativa.

**iv - Uma nova análise de incerteza de estimativas de risco** - a nova análise de incerteza abrangente é chamada de método de análise de incerteza (Moschandreas e Karuchit, 2002). Para estimar risco cumulativo e incerteza, são desenvolvidas seis etapas:

**Etapa 1:** Identificar efeitos e externalidades tóxicas - são coletados efeitos tóxicos, a relação de dose-resposta e externalidades tóxicas dos contaminantes investigados;

**Etapa 2:** Identificar os cenários de exposição de interesse - é um conjunto de fatos, suposições e inferências sobre como são assumidas as exposições; e os cenários incluídos devem ser cuidadosamente selecionados;

**Etapa 3:** Desenvolver os modelos de dose - os esforços começam com estimação de exposição sujeita a contaminantes e com estimação contínua de dose e risco causado pela exposição. Informações são obtidas mediante dados de questionários, na literatura ou suposições;

**Etapa 4:** Estimar exposição<sup>6</sup>, dose e risco – são efetuadas estimativas de valores (volumes, tempo, etc.) e são atribuídos aleatoriamente. Esta atribuição de valores é permanente para todas as análises e colocadas em um banco de dados. O risco cumulativo pode ser estimado usando também abordagem determinística ou

---

<sup>6</sup> A estimacão é executada usando-se o Método de Monte Carlo — que é um método de amostragem de estatística para se obter a distribuição de probabilidade dos resultados possíveis de um modelo (EPA, 1997b, em Moschandreas e Karuchit, 2002). A distribuição de probabilidade de cada variável é desenvolvida usando todos dados avaliados e disponíveis.

abordagem probabilística. A abordagem probabilística usa uma distribuição de probabilidade para representar cada variável modelada no lugar de um ponto estimado, um valor único.

O método determinístico emprega modelos de dose apropriados discutidos inicialmente, para estimar dose para todos caminhos de intoxicação. O método probabilístico é usado para estimação de risco e análise da incerteza e suas origens, e como estas se associam com estimativas de risco. Com a análise de sensibilidade, variáveis estimadas de sub-modelos envolvendo dados observados ou substitutos com a finalidade de melhorar a caracterização das variáveis de entrada e a identificação de contribuições significantes na produção de modelos;

**Etapa 5:** Analisar performance de incerteza – segundo Moschandreas e Karuchit (2002), até então, não existe nenhum método padrão para analisar quantitativamente tipos de incerteza. O método de análise de incerteza era desenvolvido para incorporar cenários e modelos de incertezas na análise de incerteza em avaliação de risco. A análise de incerteza é o conceito de cenário-modelo-parâmetro cumulativo de risco método de análise de incerteza;

**Etapa 6:** Caracterizar risco - na caracterização de risco são incluídas estimativas de risco e associadas incertezas, e comparações de riscos nas sub-populações. Adicionalmente, a caracterização de risco identifica variáveis que significativamente afetam os resultados em cada módulo de simulação, ou alternativas na avaliação que podem mudar as conclusões alcançadas. Finalmente, caracterização de risco desenvolve os resultados da análise de incerteza, substancia e sustenta o processo de tomada de decisão.

### **3.6. Organizações de Gerenciamento de Risco**

Devido aos grandes problemas ocasionados por indústrias e transportes de produtos químicos, muitos países se organizam para criar normas de orientações e avaliações de riscos com metas de proteção ambiental, empresarial e pessoas.

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte (USDA) vem implementando regulamentos em defesa do Programa de Reserva de Conservação [*Conservation Reserve Program - CRP*] e Programa de Incentivos de Qualidade Ambiental [*Environmental Quality Incentives Program -*

*EQIP*]. Estes dois programas de conservação de recursos naturais foram autorizados desde 1996. (Coelho, 2002 p.5)

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OECD, é uma organização intergovernamental formada por trinta países industrializados, abrangendo a América do Norte, Europa e Oceania, como também a Comissão Européia, que coordena e harmoniza políticas, discute assuntos de preocupação mútua, e trabalha em conjunto para responder problemas internacionais.

Uma outra organização de destaque é a Diretiva Seveso II de 09 de dezembro de 1996 que substituiu a Diretiva Seveso I de 1982. Tem como objetivo a prevenção de acidentes graves que envolvam substâncias perigosas e a amplitude das suas conseqüências para o homem, firmas e o meio ambiente, tendo em vista assegurar, de maneira coerente e eficaz, níveis de proteção elevados em toda a Comunidade Européia formada por representantes de vários países (Diretiva Seveso, 2001).

No Brasil, o Ministério da Saúde, por intermédio da FUNASA - Fundação Nacional de Saúde também orienta empresas quanto a procedimentos de segurança industrial para produtos tóxicos, tanto para as de transportes, quanto para as de armazenamento e produção (Funasa, 2001). Pelo Ministério do Trabalho e Emprego, existe também a FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat de Figueiredo, de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho, que desenvolve atividades de prevenção de acidentes e doenças profissionais.

## CAPÍTULO 4 - MÉTODOS E TÉCNICAS DE ANÁLISES DE RISCO

### 4.1. Avaliação de Risco – AR (Risk Assessment - RA)

Muitos acidentes que ocorrem nas indústrias químicas se iniciam nas proximidades das áreas de estocagem onde reatores, bombas de recalque e as unidades de armazenamento são altamente vulneráveis, produzindo acidentes consideravelmente de alta periculosidade; com isso, precisam ser elaborados planos de segurança com a finalidade de se prevenir presumíveis desastres.

A ciência de Avaliação de Risco surgiu recentemente em função de sua importância crescente; e é definida como “um processo, que inclui determinação qualitativa e quantitativa de riscos e sua avaliação social”. Surge mediante a oportunidade de se criar oportunidades e corrigir problemas (ou conseqüências) antes que possa resultar em qualquer acidente.

O potencial de dano nas unidades (de processamento e de estocagem) é tal que seu impacto atinge e ultrapassa os limites da fábrica, ocasionando danos em áreas próximas, causando acidentes que podem ser definidos como um processo, que inclui determinação qualitativa e quantitativa de riscos e sua avaliação de risco social. Exemplo de grandes acidentes citados na literatura científica:

a) Cidade do México - San Juan Ixhauatepec com explosão [BLEVE – (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions*) Explosões de vapor expandido de líquido fervendo (submetido a altas temperaturas)] em área de estocagem e distribuição, seis esferas de armazenamento de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e 48 cilindros foram totalmente destruídos resultando em 500 fatalidades e 7.000 pessoas feridas (Khan e Abbasi, 1999 p.137);

b) Tchernobyl na então União Soviética, hoje Ucrânia, acidente com vazamento de material radioativo que contaminou toda a região da Ucrânia, Belarus e o norte da Europa, mostram claramente como as conseqüências de um acidente podem se tornar muito piores onde existem áreas residenciais nas vizinhanças (Knuthi, 1999 p.13);

c) Seveso, na Itália, explosão de dioxina (TCDD - tetracloro dibenzeno dioxina), em julho de 1976, na fábrica de produtos químicos afetou cerca de 37.000 pessoas e contaminou o solo de uma área de aproximadamente 18 km<sup>2</sup> (Mainier, 2001 p.14; Christou e Porter, 1999 p.21);

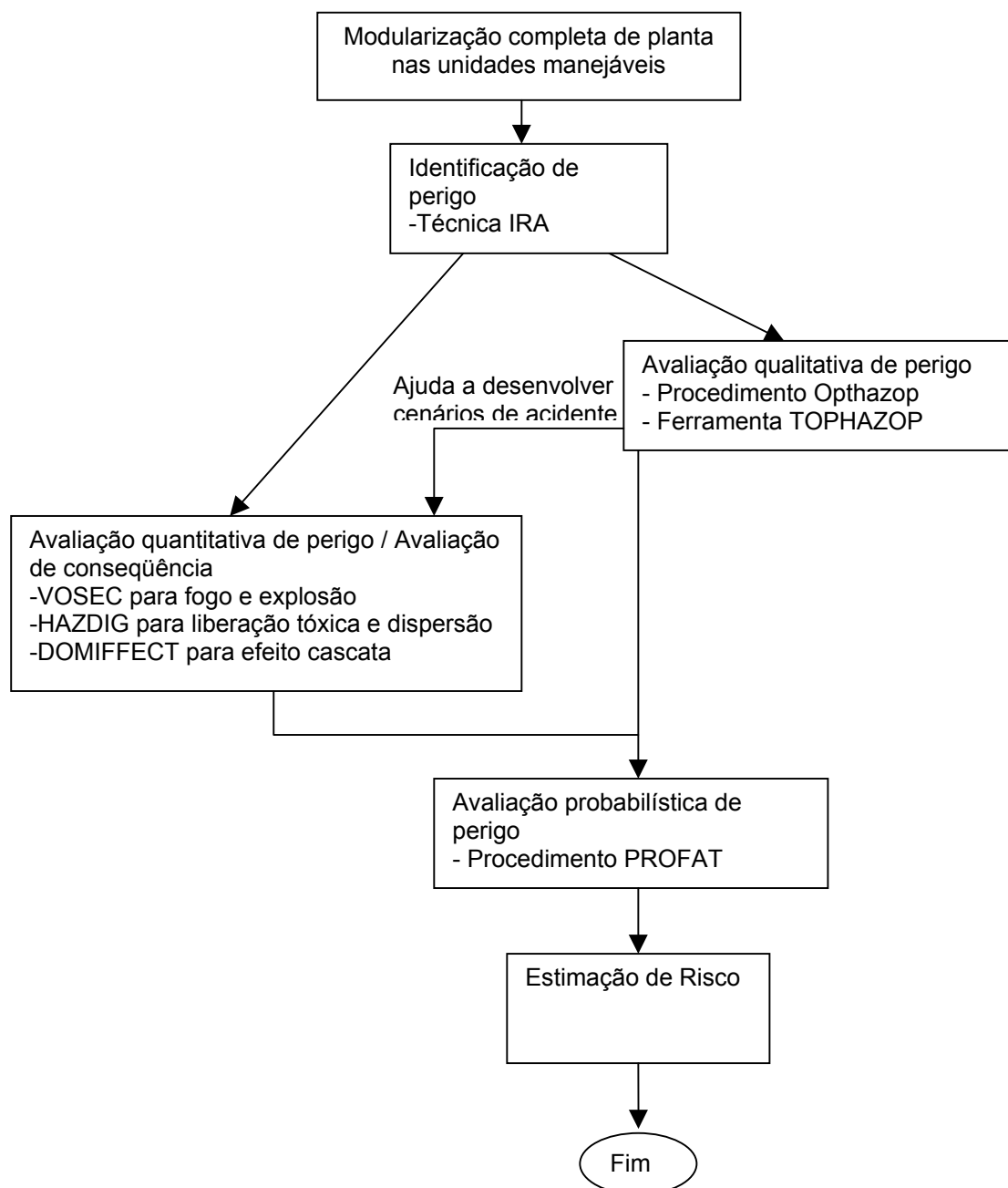
d) Bucareste (Hungria), em janeiro de 2000 ocorreu um grande vazamento de 368 mil litros de solução de cianeto em Baia Mare, a 650 quilômetros de para os afluentes do rio Danúbio que cortam a Hungria, a Romênia e a Sérvia. Tal catástrofe resultou numa grande mortandade de peixes onde os teores de cianeto foram 700 vezes maiores que os valores permitidos pelas normas ambientais (Mainier, 2001 p.14).

Como cada vez mais indústrias são instaladas, mais acidentes vêm ocorrendo, fazendo-se com que haja maiores preocupações por parte das mesmas e de órgãos governamentais em se evitar danos e prejuízos. Os aspectos de acidentes em indústrias de processo químico são tratados durante uma Avaliação de Risco. Para uma avaliação de risco os itens a serem levados em consideração, são:

- 1- Desenvolvimento de técnicas e ferramentas para prevenção de acidentes, com a finalidade de evitar danos, indicando problemas de mão-de-obra e de materiais (entre os quais: falta de treinamento, trabalho em excesso, fadiga de materiais, corrosão, vazamentos). A Figura 7 é um diagrama de bloco simplificado que apresenta várias etapas de técnicas e/ou ferramentas para condução a uma análise de risco;
- 2- Desenvolvimento de técnicas e ferramentas para análise de conseqüências de prováveis acidentes, que tem por base dois objetivos:
  - a) a localização das indústrias e gerenciamento dos locais minimizando-se os danos de acidentes que pudessem ocorrer,
  - b) prover realimentação para outros estudos de prevenção e gerenciamento de desastres;
- 3- Desenvolvimento de estratégias administrativas para prevenção de emergência e minimização de dano.

**Figura 7** - Diagrama de bloco simplificado apresentando várias etapas de técnicas e/ou ferramentas para condução a uma análise de risco

Fonte: Khan, S.A. Abbasi (2001, p. 45)



Além dos perigos de explosão, incêndio e contaminação, existe um outro grande problema que vem a ser o barulho das indústrias, que podem produzir



surdez, com o rompimento de tímpanos. Em casos de explosões, além de perda de vida, existem ainda traumas psicológicos e outros fatores que prejudicam a saúde.

Para se conduzir uma avaliação de risco e desenvolver estratégias para prevenção de acidentes ou falhas nas medidas preventivas, deve-se analisar os impactos adversos. Khan e Abbasi (2001, p.43) sugerem que as etapas seguintes devem ser seguidas na avaliação de risco:

- 1- Identificar pontos dos lugares vulneráveis ou de alto risco em uma indústria;
- 2- Simulação de acidentes e avaliação do dano que eles podem produzir;
- 3- Utilização de resultados prévios [histórico de acidentes formado em Banco de Dados que armazenam centenas de acidentes onde são identificados locais, respectivas causas, tipos de processos que servem como indicadores de advertência (Sonnemans e Körvers, 2005 p.6)<sup>7</sup>, identificando as áreas de prioridade onde as medidas preventivas seriam necessárias;
- 4- Desenvolvimento de planejamento de gerenciamento de desastre baseado nos itens 1 e 2 acima.

Ioannidis *et al* (1999 p.2) sugere a formação de um Sistema de Informações Espaciais (*Spatial Information System - SIS*) tendo em vista que existem outros fatores de acidentes que não só tenham a influência ampla de acidentes industriais diretos, mas também na periferia da indústria particularmente e existe grande possibilidade de espalhar o desastre para áreas muito mais abrangentes. Como as conseqüências se referem a vítimas humanas e destruição material da indústria e a infra-estrutura circundante existente (rede de transporte, utilidades, outras construções), as informações relacionadas se referem ao total das atividades físicas, sociais e financeiras da área. Os parâmetros críticos que devem ser registrados são:

- . A topografia da área;
- . A rede hidráulica;

---

<sup>7</sup> Acidentes são analisados e informados um banco de dados denominado *FACTS* mantido e atualizado pela *The Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO)*, *Department of Industrial Safety*. Contém informações sobre mais de 18,000 acidentes em processos industriais mundiais, envolvendo substâncias de risco (Sonnemans e Körvers, 2005 p.6).

- . A habitação e as áreas industriais;
- . As redes de transporte;
- . Serviços e instalações públicos, etc.

Estas informações combinam dados geométricos e cartográficos com dados descritos e qualitativos. Conseqüentemente, a capacidade e a estrutura de um Sistema de Informações Espaciais (*Spatial Information System - SIS*) são consideradas como necessárias. O sistema pode fornecer a facilidade de coleccionar, manipular e visualizar um grande volume de dados, que podem ser derivados da análise das informações que descrevem a possibilidade do acontecimento de um acidente industrial, de sua propagação e suas conseqüências. Pode fornecer a ferramenta para coordenação de todos envolvidos que devem tomar as medidas necessárias para defesa contra um desastre de tal tamanho, e também o lugar exato, contagem de tempo e modo de realização destas medidas (serve para um planeamento de Planos de Contingência). Usando o SIS como uma interface de sistema de usuário, um Sistema de Decisão Sustentável (*Decision Support System - DSS*) pode ser estabelecido. O SAD é uma ferramenta poderosa avançada para controle e decisão. Então, o sistema combina, em tempo real, as características de espaços disponíveis com todas as outras informações críticas; isso pode mudar as condições de manter ou expandir um acidente industrial contribuindo para a decisão na tomada de medidas mais adequadas.

#### **4.2. Breve apresentação de técnicas científicas de avaliação de risco disponíveis**

Segundo Khan e Abbasi (2001, p.44), nos últimos vinte anos algumas técnicas foram propostas para estudo de segurança e risco, mas não são tão abrangentes.

Estas técnicas podem estar amplamente caracterizadas em três grupos principais:

- 1- Técnicas qualitativas como Estudo de Operabilidade e Perigo - HAZOP; Tipo de Fracasso e Análise de Efeito;
- 2- Técnicas quantitativas como Análise de Acidente de Máximo Acreditável; Avaliação Quantitativa de Risco; Análise de Risco - HAZAN; e Análise de Conseqüência; e,

- 3- Técnicas probabilísticas como Análise Probabilística de Segurança - PSA e Análise Probabilística de Risco - PRA.

Estas técnicas foram propostas para algumas aplicações específicas, mas não lidam com o resto das etapas necessárias em uma análise de risco completa. Por exemplo, a Análise de Conseqüência efetua uma avaliação detalhada das conseqüências de um acidente, mas não dá quaisquer informações relativas à forma de ocorrência, suas causas e probabilidade de ocorrência de tais acidentes.

#### **4.3. Análise Ótima de Risco (ORA)**

Tendo em vista que a evolução de análises efetuadas em vários tipos de estudos e procedimentos na área de avaliação de risco nas indústrias químicas, Khan e Abbasi (2001, p.44) propõem uma nova metodologia chamada ORA – Análise Ótima de Risco (*Optimum Risk Analysis*) que envolve quatro etapas:

- 1- Identificação do risco e triagem;
- 2- Avaliação de risco (qualitativa e probabilística);
- 3- Quantificação de perigo ou análise de conseqüência; e,
- 4- Estimção de Risco.

Estas etapas de ORA e metodologias correspondentes usadas em cada passo são apresentadas em termos de algoritmo. A metodologia Análise Ótima de Risco possui determinadas vantagens em relação às demais metodologias que vinham sendo aplicadas nas indústrias, sendo elas: baixo custo de implementação, demanda pouco tempo de cálculos, e é precisa como outras metodologias existentes. A metodologia visa identificar e avaliar perigos e estimar os fatores de risco devido a qualquer acidente ou infortúnio na indústria de processo químico. A estrutura de ORA permite modelagem de prováveis acidentes baseados na substância química e características de processo, avaliação da forma de ocorrência destes acidentes, estimção detalhada de conseqüências e, finalmente, predição de fatores de risco.

#### **4.4. Identificação de risco**

Para o desenvolvimento da análise de risco, que envolve identificação de risco e classificação, os autores Khan e Abbasi (2001 p.44) propuseram uma técnica denominada por Identificação de Risco e Análise de Classificação – (*Hazard Identification and Ranking Analysis - HIRA*). O objetivo desta análise é identificar as

substâncias químicas e unidades de operações que constituem perigo potencial. HIRA é baseada em um atributo múltiplo de identificação de risco e método de classificação detalhado. São considerados potenciais de perigo em uma unidade como uma função do material químico, capacidade, tipo da unidade operacional, condições de operação, e ambiente (localização de outras unidades perigosas). Os resultados de HIRA fornecem dois índices: índice de dano de fogo e explosão, e índice de dano tóxico - lançamento tóxico e perigo de dispersão.

A metodologia HIRA é de simples implementação, modular em estrutura e pode ser facilmente automatizada para reduzir tempo de especialista. Suas características maiores são:

- 1- Levam em consideração os impactos de várias operações de processo, e os parâmetros associados para identificação de risco;
- 2- Prevê resultados quantitativos com boa confiabilidade;
- 3- Os resultados, em sua a maior parte, são obtidos com a utilização de teste de modelos de termodinâmica, fenômenos de transporte, transferência de calor e dinâmica de fluidos;
- 4- Pode ser usada para identificação rápida de risco.

## **4.5. Avaliações de risco**

### **4.5.1. Avaliação qualitativa de risco**

A avaliação qualitativa de risco é parte detalhada da análise de risco nas indústrias de processo químico e também um estudo sobre perigo e operabilidade denominado HAZOP - é a melhor técnica para executar esta avaliação. É um estudo sistemático conduzido por equipe de peritos de diferentes especialidades que tem por finalidade identificar e avaliar perigos (Khan e Abbasi, 2001, p.44).

### **4.5.2. Avaliação probabilística de risco - software PROFAT**

A análise de árvore de falha envolve identificação de causas de um acidente, frequência de ocorrência, e contribuição de cada causa para o acidente. É uma metodologia útil, mas possui algumas limitações encontradas em outras metodologias como: necessidade de grandes volumes de dados e utiliza muito tempo

de especialista. Khan, Husain e Abbasi (2002 p.134) combinaram métodos analíticos e técnicas de simulação de Monte Carlo e desenvolveram um *software* intitulado PROFAT (Análise Probabilística de Árvore de Falha). Esta metodologia foi desenvolvida para conduzir a Análise Probabilística de Árvore de Falha durante avaliações de risco nas indústrias de processo químico. A metodologia é baseada em um sistema que envolve:

- 1- Desenvolvimento de uma árvore de falha;
- 2- Determinação do menor caminho que leva do início de eventos para o evento máximo (acidente maior);
- 3- Análise de probabilidade.

O *software* PROFAT facilita o especialista em descobrir em uma indústria:

- 1- O início de eventos que podem eventualmente ocorrer, do mais simples para um acidente grave;
- 2- Uma série inicial de mínimos acidentes que podem eventualmente ocorrer, do mais simples para um acidente grave;
- 3- As probabilidades de ocorrência de início de tais eventos;
- 4- Contribuição relativa de cada acidente no início de tais eventos; e,
- 5- Identificação do início de eventos com maiores potenciais para causar um evento superior (acidente maior) de forma que estratégias de prevenção de acidente e planos de preparação de emergência podem ser enfocadas neles.

Os atributos notáveis do sistema são: poder de recuperação para falta de precisão dos dados básicos, processo rápido com requisitos moderados de capacidade de computação (sofisticação de computadores), facilidade de uso, e podendo ser diretamente utilizado na produção.

#### **4.5.3. Análise de consequência**

A análise de consequência envolve avaliação de prováveis consequências se um cenário de acidente se materializa. As consequências são quantificadas em termos de raios de dano (o raio da área em que o dano prontamente aconteceria), danos à propriedade (quebra de vidraças,

desmoronamento de edifícios, perda de equipamentos) e efeitos tóxicos (toxidade aguda ou crônica, mortalidade).

A avaliação de consequência envolve uma variedade ampla de modelos matemáticos. Por exemplo, modelos de fonte de materiais são usados para prever a taxa de lançamento de material perigoso, o ponto de fulgor, e a taxa de evaporação.

Os modelos para explosões e incêndios são usados para prever as características dos mesmos. Os modelos de intensidade de impacto são usados para prever as zonas de dano devido a fogo, explosão e carga tóxica, e, finalmente, os modelos de gás tóxico são usados para prever reação humana a diferentes níveis de exposições ao ser submetido a substâncias químicas tóxicas (Khan e Abbasi, 2001, p.49).

#### **4.5.4. MOSEC - Modelagem e simulação de fogo e explosão**

O *software* MOSEC (*Modeling and simulation of fires and explosions in chemical process industries*) foi desenvolvido especificamente para estimar os impactos de acidentes em indústrias de processo químico envolvendo explosão e/ou fogo Khan e Abbasi (2001 p.49). MOSEC compreende o estado da arte da geração de modelos para lidar com vários tipos de fogo; Fagulhas que produzem fogo; Bola de fogo; Jato de fogo; Explosões de vapor expandido de líquido fervendo (submetido a altas temperaturas) – “*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions*” (BLEVE); Explosão de nuvem de vapor químico confinado; Explosão de nuvem de vapor químico não confinado; e, Explosão proveniente de vazamento.

#### **4.5.5. HAZDIG - Dispersão de Gases Perigosos**

HAZDIG é um *software* computacional especificamente desenvolvido para estimar as consequências (danos potenciais e riscos) devido a lançamento de químicas tóxicas, acidentalmente ou voluntariamente Khan e Abbasi (2001 p.49). A estrutura modular de HAZDIG (desenvolvido em um ambiente computacional orientado a objeto) permite rápido processamento de dados, incorpora modelos mais recentes de estimativa de estabilidade atmosférica e dispersão. Os pormenores necessários para criação dos modelos são fáceis de se obter: propriedades

químicas, condições operacionais, temperatura ambiente, e alguns parâmetros meteorológicos estão comumente disponíveis. Uma base de dados foi construída em um sistema contendo várias constantes proporcionais e dados empíricos complexos. É capaz de manejar vários tipos de cenários de liberação, fraca e forte dispersão de gás para o ambiente. A opção de gráficos permite ao usuário desenhar limites de abrangência em qualquer área industrial, à mão livre ou usando qualquer ferramenta de desenho. A opção de desenho de contorno possui facilidade de se desenhar vários contornos de danos e risco acerca de desastre.

#### 4.5.6. DOMIFFFECT - Análise de Efeito Dominó

A maior parte das metodologias de análise de risco lida com acidentes em uma única indústria e, principalmente, muito mais em uma das unidades de uma indústria. Mas é sempre possível que um acidente maior em uma unidade — uma explosão ou fogo — pode causar um acidente secundário em uma unidade próxima que, por sua vez, pode ativar um acidente terciário e assim sucessivamente Khan e Abbasi (2001 p.49). A probabilidade de tal efeito dominó ou ocorrência de efeitos em cascata ocorre hoje em dia com a instalação de mais novas indústrias sendo construídas em áreas industriais já congestionadas. Os autores desenvolveram uma metodologia automatizada de computador DOMIFFFECT - Efeito Dominó (*DOMino EFFect Analysis*) - onde se consegue saber:

- a) se efeitos dominó são prováveis de ocorrer em uma dada instalação;
- b) se eles produziram o que seriam os prováveis cenários de acidente; e,
- c) o que produziram os prováveis impactos de cenários diferentes. Finalmente, a ferramenta orienta para estratégias necessárias para se prevenir efeitos dominó.

DOMIFFFECT é um menu dirigido e interativo capaz de indicar:

1. A estimativa de todos os perigos possíveis de lançamento tóxicos para produzir explosão;
2. Manipulação de interação por meio de eventos acidentais diferentes (geração de cenários de acidente que produzem efeito dominó ou cascata);

3. Estimação de probabilidade de efeito dominó;
4. Estimação de conseqüências de efeito dominó.

#### 4.5.7 Estimação de Risco

Os resultados de avaliação de risco são representados na forma de dois fatores de risco diferentes. Estes fatores de risco são, por sua vez, representados em duas formas: como curvas de F-N (frequência de ocorrência versus números de fatalidade) e contornos de risco em cima da área. As curvas F-N, também conhecidas como perfis de risco, são as curvas de vários potenciais de estimação de risco representado em um diagrama XY, onde o eixo Y representa a frequência cumulativa de ocorrência de um evento e o eixo X representa o grau de dano em termos de número de fatalidades. As curvas de perfis de risco F-N são principalmente usadas para mostrar a variação de risco e critérios aceitáveis de risco social. Esta apresentação é especialmente benéfica para desenvolvimento de estratégias de planejamento de controle (Milazzo et al., 2002 p.354, Christou e Porter, 1999 p.21, Jonkman et al, 2002 p.13).

Os contornos de risco são o modo mais comum e significativo de representar o risco. Diferentes níveis de círculos de risco são traçados em termos de contornos sobre o local. Uma planta do local com contornos de riscos desenhados fornece uma visão clara das áreas sob risco. Esta representação é particularmente benéfica quando são executados estudos de complexos industriais cercados por diferentes tipos de locais e indústrias. Esta representação também dá uma idéia direta do efeito dominó ou cascata Khan e Abbasi (2001 p.49).

O procedimento ORA, acima descrito, foi usado para se estudar uma planta típica de fábrica química de fabricação de sulfoleno. A indústria foi instalada em um complexo industrial mais ou menos a 25 km de Thane, Maharastra, Índia. A indústria é cercada por aldeias densamente povoadas: Bandukhadi, Balramkhadi, e Ramnagar, e várias outras indústrias (Figura 8). O sulfoleno é usado como solvente para a extração de benzeno, tolueno, e xileno, e também usado como matéria-prima para muitas indústrias de processo de substâncias químicas. O estudo efetuado por Khan e Abbasi (2001 p.43) teve os seguintes objetivos:

1. Identificar o tipo de perigos presentes em cada local ou unidades da fábrica;



2. Identificar as causas principais básicas de tais perigos;
3. Quantificar os perigos em termos de dano provável;
4. Quantificar a probabilidade de ocorrência de tais perigos; e,
5. Quantificar fatores de risco.

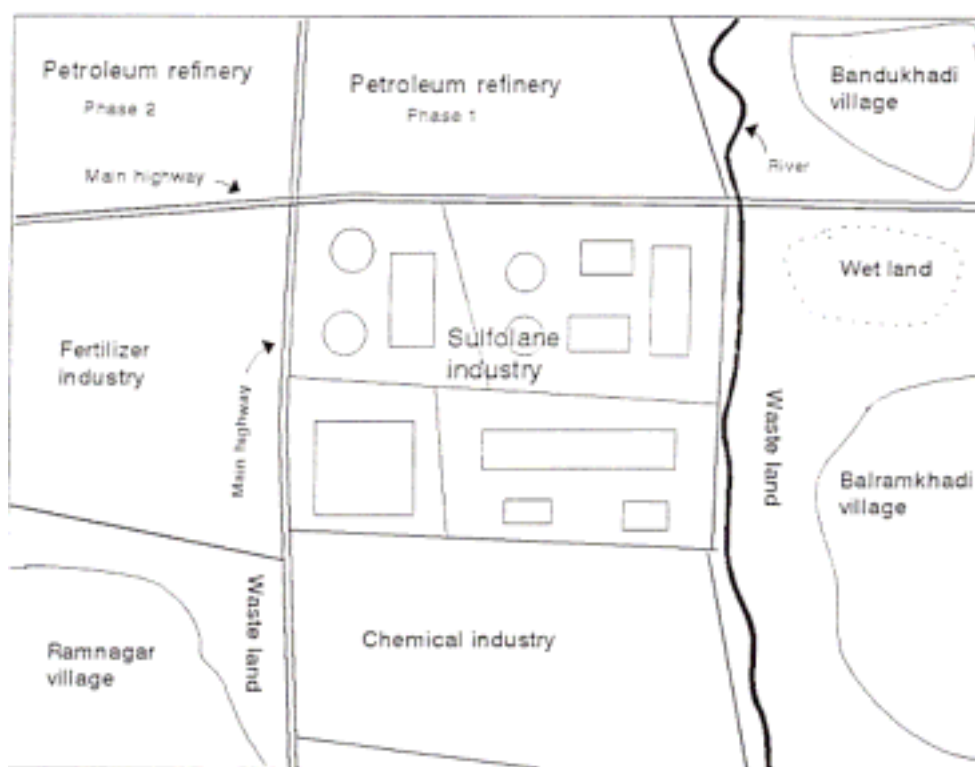
A planta da fábrica de sulfoleno foi dividida em seis unidades diferentes de acordo com o processo / operação envolvidos, sendo: a) armazenamento, b) reator 1 (*enxofre*), c) unidade de transferência de massa, d) unidade de bomba compressora, e) reator 2 (hidrogênio), e f) unidade de transporte. As substâncias químicas mais comumente usadas nestas unidades de risco são; i) butadieno, ii) dióxido de enxofre, iii) hidrogênio, e iv) sulfoleno.

A identificação e a classificação técnica de perigo (HIRA) foi aplicada nas diferentes unidades da fábrica. Foram calculados para cada unidade: índices de fogo, índice de dano de explosão e índice de dano tóxico.

Os resultados de índices de HIRA para as diferentes unidades da fábrica são apresentados na Tabela 4. É evidente que unidades de armazenamento, reator 1 (*enxofre*), reator 2 (hidrogênio), evaporador, e linhas de tubo números 11 e 19 têm potencial de dano alto e precisa de um estudo detalhado.

**Figura 8** – Desenho ambiental da planta e seus ambientes

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p. 50)



As unidades que constituem risco em estudo foram sujeitas à avaliação de perigo. A metodologia optHAZOP foi usada para avaliação de perigo qualitativo, enquanto que uma técnica de análise de árvore de falha modificada (MFTA) foi usada para avaliação probabilística de risco, para estimar a frequência de ocorrência de situações não desejadas, e a relativa contribuição de cada causa principal para as situações não desejadas. Uma nota breve nos resultados de cada estudo é apresentada abaixo Khan e Abbasi (2001 p.52).

#### a) Metodologia optHAZOP

A metodologia optHAZOP Khan e Abbasi (2001 p.52) foi aplicada a todo componente de unidades de risco selecionadas. Os objetivos deste estudo eram identificar e avaliar os perigos qualitativamente, achar as causas e principais conseqüências de tais perigos e, se possível, fornecer recomendações para controlar e/ou mitigar estes perigos. O resultado do estudo optHAZOP para reator 1 revela que altas temperaturas, mudança da pressão normais de operação e mudança da relação de reagentes são as divergências mais vulneráveis para o reator. Qualquer uma destas divergências pode produzir uma reação descontrolada que pode levar a explosão do mesmo. Semelhantemente, para o evaporador foi observada uma alta

temperatura que possibilita incêndio ou, devido a altas taxas de pressão na unidade pode levar a qualquer momento (de modo explosivo) lançamento de substância química.

O estudo optHAZOP para o reator 2 (hidrogênio) revelou que alta pressão e presença de impureza (dióxido de enxofre) são as divergências mais vulneráveis. Estas divergências têm uma alta probabilidade de causar uma reação descontrolada que pode lançar hidrogênio altamente inflamável, que, em reunião a uma fonte de ignição, causaria explosão de nuvem de vapor e/ou fogo.

#### **b) Avaliação qualitativa de perigo**

O estudo de avaliação qualitativa de perigo para as linhas de tubo (números da linha de tubo 11 e 19) revelou que pressão baixa e temperatura alta produzem as divergências mais vulneráveis. Estas divergências são produzidas pela mudança da fase da substância química que pode produzir desenvolvimento de alta pressão excessiva na linha. Esta alta pressão pode levar ao lançamento imediato de substância química e/ou continuamente, dependendo do material da construção dos tubos, confiabilidade das juntas e do grau de alta pressão na linha. Semelhantemente, o armazenamento de butadieno é suscetível à alta temperatura e alta pressão, enquanto o armazenamento de dióxido de enxofre é suscetível para baixa pressão e alta temperatura. Quaisquer destas ocorrências causariam grandes conseqüências de longo alcance (longa distância), sendo que a capacidade química e as condições de armazenamento são severamente suficientes para causar eventos catastróficos (armazenamento de líquido sob alta pressão e temperatura ambiente).

#### **c) Análise de árvore de falha**

A técnica de análise de árvore de falha foi usada para quantificar perigos em termos de probabilidade de ocorrências e identificar os eventos básicos e sua contribuição, pré-identificando aqueles que causam perigo (identificados em etapas prévias). A árvore de falha é resolvida por um algoritmo chamado que MFTA recentemente proposta por Khan e Abbasi (2001 p.54).

O procedimento MFTA começa com o desenvolvimento de uma árvore de falha para cada unidade, para se descobrir o corte mínimo, levando-se ao evento superior (situação não desejada ou um acidente). Nas etapas subseqüentes, a

probabilidade de um evento maior é calculada, usando-se conceito de probabilidade espacial e dados confiáveis de eventos básicos. Os dados de confiabilidade de vários componentes básicos foram adotados com base na literatura científica.

Na Tabela 5 estão presentes as probabilidades de ocorrência de eventos indesejáveis em várias unidades pré-identificadas de risco na planta da fábrica. É evidente na Tabela 5 que linhas de números 11 e 19, evaporador, e bombas de números 2, 5 e 7 têm alta probabilidade de causar acidentes.

A contribuição de eventos básicos para produzir eventos maiores (situação não desejada na unidade) tem sido analisado e estimado o Índice de Melhoria - IM. O IM dá clara identificação dos eventos mais vulneráveis (variáveis) para segurança do sistema, e contribui para causar eventos superiores (explosão, fogo, lançamento tóxico e/ou uma combinação destes). O maior Índice de Melhoria para um evento médio, significa uma maior contribuição para o sistema de falha.

Para a unidade de sulfureto (Reator 1) a lista do Índice de Melhoria para diferentes eventos básicos é mostrada na Tabela 6. O estudo da probabilidade de avaliação de risco da unidade de sulfureto prediz a relação de controle de falha do sistema de emergência, e erro na medida de temperatura máxima contribui para causar uma explosão no reator. Semelhantemente, para tanques de armazenamento (falha em sistema de troca de calor, erro em medidas de temperatura e transmissão, e falha em válvulas de segurança) tem contribuição máxima em falhas de tanques (lançamento e explosão de substância química tóxica). Para o Reator 2 (hidrogênio) o máximo do Índice de Melhoria foi observado falha em vazamento no controlador da linha e de fluxo. As unidades separadas de processamento têm sido adicionadas para estimar as conseqüências de dano e conseqüentes fatores de risco para vários cenários prováveis de acidentes. As conseqüências de dano são estimadas usando-se modelos padrões de fogo, explosão, lançamento tóxico e dispersão. No presente estudo, cada unidade foi sujeita a todos os prováveis perigos como: Fogo; Explosão; e, Lançamento e dispersão de gás e/ou líquidos tóxicos. Os potenciais de dano estimados (usando *software* MOSEC e HAZDIG) estão, subseqüentemente, convertidos na porcentagem de letalidade acima da área usando modelos de vulnerabilidade.

#### **d) Análise de conseqüência**

O processo de análise de consequência Khan e Abbasi (2001 p.49) começa com o desenvolvimento de cenário de acidente, subsequente, estimando o potencial de dano destes cenários e, finalmente, calculando os fatores de risco. Os resultados dos passos da análise de consequência são discutidos nas seções abaixo.

Os cenários de acidente foram desenvolvidos para cada unidade considerando-se o tipo de perigo presente, processo operacional, substâncias químicas envolvidas na unidade e condições operacionais.

O cenário de acidente para o Reator 1 (enxofre) é visualizado como: explosão devido a desenvolvimento excessivo de pressão no reator (reação descontrolada) que causa lançamento de substâncias químicas tóxicas e inflamáveis (dióxido de enxofre, butadieno, e butadieno sulfúrico). As substâncias químicas lançadas (combustão química inflamável - butadieno e butadieno sulfúrico) em fontes de ignição reunidas que podem produzir fogo (lançamento de fogo).

O cenário de acidente para o Reator 2 é antecipado como explosão de nuvem de vapor confinado seguido por bola de fogo. Este cenário é explicado como uma excessiva alta pressão no reator levando à explosão do reator e à combustão no lançamento de substância química (hidrogênio com butadieno sulfúrico) em reunião a uma fonte de ignição formando uma bola de fogo.

Os cenários de acidentes visualizados para diferentes unidades de armazenamento (butadieno e dióxido de enxofre) são compostos de explosão de nuvem de vapor líquido fervendo (BLEVE)<sup>8</sup> seguido por fogo (lançamento de fogo) para unidade de armazenamento de butadieno e seguido por dispersão de dióxido de enxofre.

O cenário de acidente para as linhas de tubo número 11 foi concebido como lançamento contínuo de butadieno seguido de lançamento instantâneo seguido por bola de fogo no caso da linha de tubo número 19. A diferença em ambos os cenários são devidos a diferenças nas propriedades das substâncias químicas e condições de transporte. O hidrogênio é um gás altamente inflamável que em ignição produz uma bola de fogo, considerando que o butadieno é comparativamente menos

---

<sup>8</sup> **BLEVE** - explosão de nuvem de vapor líquido fervendo - tem sido visualizado para ambas unidades porque estas são unidades de armazenamento e operadas com alta pressão (estado liquefeito), consequentemente, um lançamento instantâneo de substâncias químicas causa BLEVE. Este cenário tem sido verificado com estudos históricos de unidades de armazenamento semelhante.

inflamável e tendo mais chance de lançamento contínuo que leva a um ou outro jato de fogo, ou faísca de fogo, considerando-se que faísca de fogo tem mais probabilidade de ocorrência.

O cenário de acidente para o evaporador é visualizado como lançamento contínuo de substâncias químicas (dióxido de enxofre e butadieno sulfúrico) seguidas por dispersão. É porque a unidade do evaporador trabalha sob condições ambientais e, conseqüentemente, a substância química tem mais possibilidade de escapar continuamente por qualquer uma das válvulas de segurança ou de alívio, ou por vazamentos de juntas, soldas, flanges, que são seguidos por dispersão.

Os resultados da análise de conseqüência para o Reator 1 (enxofre) são apresentados nas Tabelas 7 e 8. É evidente que nas Tabelas uma área de aproximadamente 700 m de raio seria exposta a toxicidade letal, alta pressão e grande quantidade de calor (mais que 50% de probabilidade de letalidade). Os resultados para o Reator 2 estão apresentados nas Tabelas 9 e 10, e revelam alta pressão (50% de probabilidade de letalidade) e seria observada letalidade acima de uma área de 500 m de raio, enquanto a carga de calor letal seria persistente acima de uma área de aproximadamente 300 m de raio.

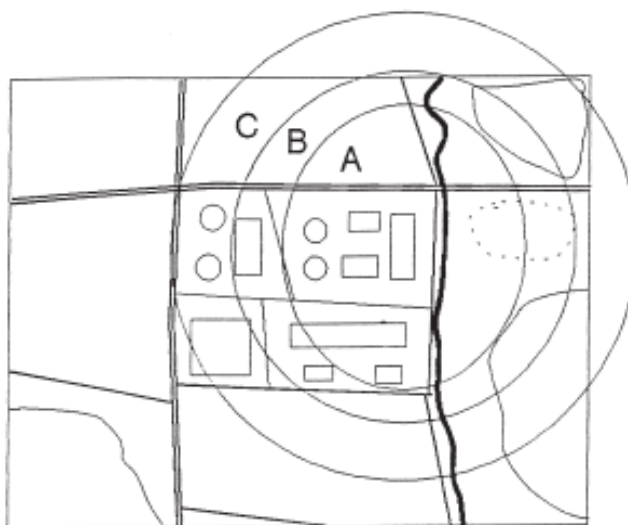
Os acidentes prováveis em tanques de armazenamento (butadieno - esferas de aço - e dióxido de enxofre) revelam potencial de dano severo devido a fogo, explosão e carga tóxica. Os danos potenciais de diferentes eventos acidentais para estas unidades são apresentados na Tabelas 8 e 9. Foi observado nas Tabelas que 50% da condição de letalidade persistiria em uma área acima de mais de 1000 m de raio. Os resultados da análise de conseqüência para as linhas de tubo números 11 e 19 (Tabelas 13 e 14) revelam alta carga de calor letal que seria observada em uma área acima de aproximadamente 300 m de raio. Os resultados de outras unidades mostram perigos comparativamente mais baixos que no caso descrito para o Reator 2. Usando os resultados obtidos nas análises de conseqüências, e as probabilidades de avaliação de risco (probabilidade de ocorrência dos cenários de acidente), os fatores de risco individuais têm sido estimados. O fator de risco individual é uma representação direta da probabilidade de fatalidades individuais em uma área (levando em consideração ambas potências de perigo - dano - e a probabilidade de ocorrência). O fator de risco individual pode ser caracterizado por

três tipos de grupos essenciais: risco severo (possui valor superior acima de  $1 \times 10^{-3}$ ), grande risco ( $1 \times 10^{-4}$ ) e risco moderado ( $1 \times 10^{-5}$ ).

Na seqüência, uma rápida visualização dos cenários de acidentes, estes riscos podem ser descritos em termos de contorno em cima da área em estudo (Figuras 7 a 10). É visto na Figura 9 (cenário de acidente para o Reator 1) que uma área em torno de acidente com aproximadamente 600 metros de raio está sob um risco severo (A) enquanto que o risco moderado (C) tem seu contorno estendido a aproximadamente 850 metros. O contorno de risco severo (A) para um acidente no Reator 2 (Figura 10) é circundado em uma área de aproximadamente 400 metros de raio, enquanto que um potencial moderado (C) é estendido a aproximadamente 650 metros de raio.

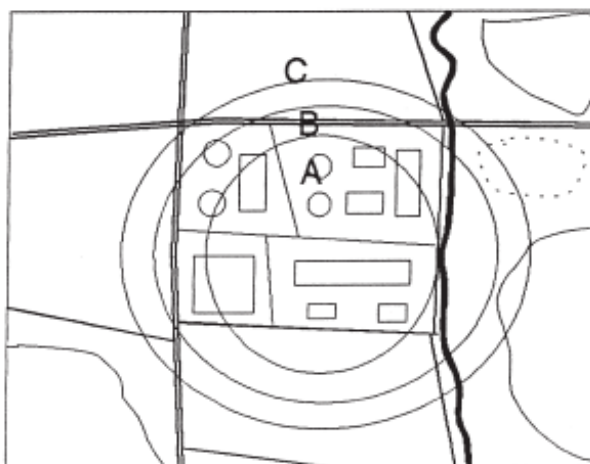
**Figura 9** – Contornos de risco indicando áreas de impacto para um acidente ocorrendo no Reator 1 (Enxofre) devido a risco severo (A), alto risco (B) e risco moderado (C).

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p. 57)



**Figura 10** – Contornos de risco indicando áreas de impacto para um acidente ocorrendo no Reator 2 (Hidrogênio) devido a risco severo (A), alto risco (B) e risco moderado (C).

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p. 57)

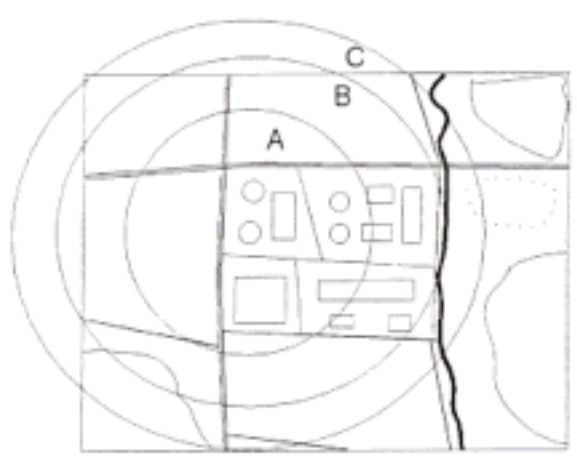


O contorno de risco severo para um cenário de acidente em uma unidade de armazenamento (butadieno e/ou dióxido de enxofre) pode ser estendido para uma área de aproximadamente 800 metros, qualquer área densamente habitada pode ser envolvida, e, ao mesmo tempo, um risco moderado atingirá a população que estiver no raio de aproximadamente 1.120 metros (Figura 11).



**Figura 11** – Contornos de risco indicando áreas de impacto para um acidente ocorrendo em tanques de armazenamento devido a risco severo (A), alto risco (B) e risco moderado (C).

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p. 58)

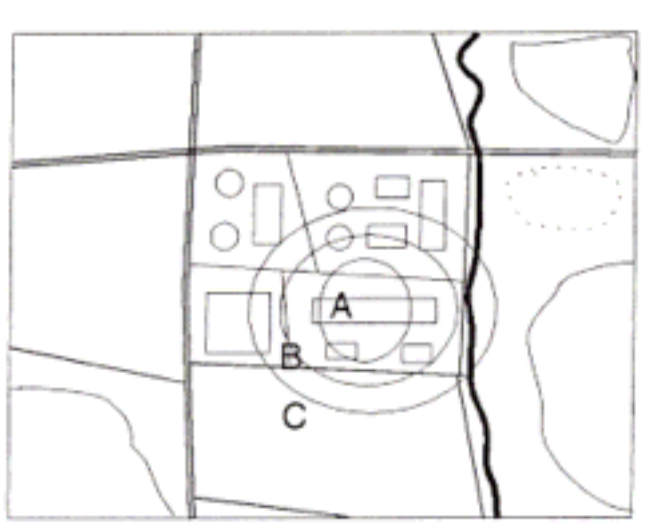


O contorno de risco severo para linhas de tubos será estendido a apenas uma distância de aproximadamente 200 metros, enquanto que para o contorno de risco moderado a distância é de aproximadamente 400 metros. A área de contorno de risco é envolvida de várias potencialidades para prováveis acidentes, mas em outras unidades são reduzidas (**Figura 12**).

Pode-se perceber que os contornos de risco para acidentes em tanques de armazenamento e Reator 1 são estendidos além dos limites da indústria e envolve outras indústrias e áreas populacionais vizinhas. Considerando-se que o contorno de risco para acidentes em outras unidades são confinados no campo da planta de sulfeno e os contornos de risco para acidente no reator de hidrogênio (Reator 2) prolonga-se a outras unidades na planta (**Figura 9**). Acidentes secundários e seus impactos podem ser observados além dos limites da planta industrial.

**Figura 12** – Contornos de risco indicando áreas de impacto para um acidente ocorrendo em tanques de armazenamento devido a risco severo (A), alto risco (B) e risco moderado (C).

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p. 58)



#### e) Conclusão da estimacão de risco

O estudo de identificacão de risco para uma planta de producao de sulfoleno, tanques de armazenamento, Reator 1 e 2, evaporador, e tubos de linha nmeros 11 e 19, sã unidades que possuem maiores riscos. Um estudo detalhado deve ser recomendado para outras unidades que possuam alta temperatura, baixa pressã, presenca de impureza, vazamento nas unidades e linhas de transporte de produtos, que sã sensíveis a desvios na maior parte das unidades. Estes desvios possuem alta probabilidade de causar acidentes nas unidades. Uma análise probabilística sugerida para falhas de bombas e linhas de tubos é comparar com equipamentos quaisquer de outras unidades industriais.

O estudo de análise de conseqüências (Khan e Abbasi, 2001) revela que o potencial de dano devido à explosão em tanque de armazenamento é local de alta pressã e envolve áreas populacionais, enquanto que para o Reator 1 (sulfureto) é próximo das unidades perigosas. O contorno de risco severo destas unidades atinge limites além da fronteira da planta industrial e envolve áreas populacionais circunvizinhas.

Os estudos acima concluem que uma indústria de alto risco, com unidades de risco severo, e acidentes, se causados, podem ser sérios. Devem-se

tomar medidas de mitigação e para se reduzir um risco. Uma série de sugestões é expressa abaixo:

1. Em vez de um ou dois tanques de grande armazenagem, deve-se construir vários tanques de menor capacidade para serem usados;
2. Criar espaço separador adequado para manutenção de tanques de armazenagem, diminuindo o impacto de conseqüências adversas de falha em um deles e não causar outros acidentes secundários ou superiores de outra ordem (evita-se o efeito cascata);
3. Instalação de dispositivos sensíveis de detenção de gases inflamáveis e gases tóxicos; devem ser instalados nas áreas de estocagem e outras unidades;
4. Deve-se efetuar inspeções regulares nos equipamentos de controle eletrônico seguidos de meticolosas manutenções;
5. Devem ser produzidas quantidades suficientes de gases inertes que possam diluir concentrações de gases tóxicos ou inflamáveis que porventura escapam na atmosfera;
6. Preparo de estratégias de emergência para conter danos produzidos em acidentes.

#### **4.8. Características de acidentes industriais**

Segundo Ioannidis *et al* (1999 p.2), todos os acidentes industriais maiores envolvem características comuns que podem ser resumidas como abaixo:

- Ocasionar grande número de vítimas (mortas ou feridas) principalmente devido a queimaduras superficiais ou profundas (que exigem tratamento especial nas unidades de tratamento médico de queimadura);
- O alto nível de probabilidade para iniciar acidentes químicos industriais produzindo efeito dominó, podendo afetar unidades de armazenamento ou outras instalações industriais, ou, ainda, indústrias próximas;

- Grande período de duração da ocorrência de acidentes, em muitos casos permaneceria dias (Por exemplo, um incêndio em uma refinaria de petróleo que, dependendo das condições atmosféricas, do atendimento ao incêndio, de outros fatores correlatos, pode permanecer por alguns dias. Pode-se citar incêndio em um poço de petróleo, a equipe de atendimento não conseguir debelá-lo, contrata em caso de emergência empresa especializada que pode levar muitas horas, ou mesmo dias, para o deslocamento da equipe de atendimento);
- Conseqüências severas além do espaço da unidade industrial (danos em materiais, equipamentos, ou até vítimas), grande redes de estrada que estão dentro das zonas de conseqüências;
- Em vários casos a evacuação da população de uma grande área residencial além dos limites da indústria é difícil (devido a perigos de acidente de efeito dominó, difícil acesso às ruas e estradas).

## CAPÍTULO 5 - GRANDES ACIDENTES INDUSTRIAIS

### 5.1. Poluição química ambiental

Uma das preocupações de diversos países é a poluição química que afeta a saúde humana e o meio ambiente. Um dos principais documentos aprovados na ECO/RIO 92 foi a Agenda 21 (OECD, 2001 p. 103). O Capítulo 19 dessa Agenda é exclusivamente dedicado aos problemas de contaminação em grande escala gerado pelas substâncias químicas. O crescimento de produtos químicos produzidos, muitos dos quais não são encontrados na natureza, tem resultado em alterações na composição química da água, da atmosfera, do solo, e dos sistemas biológicos do planeta (Freitas et al, 2001 p.260). Esses danos têm levado os países a repensarem o assunto, inclusive sobre os grandes problemas que são causados pelos acidentes na área de produtos petroquímicos e químicos.

Na Conferência realizada em Genebra, no dia 22 de junho de 1993, a Organização Internacional do Trabalho (OIT) adotou a Convenção de número 174 versando sobre a Prevenção de Grandes Acidentes Industriais que envolvem substâncias perigosas, cujas conseqüências resultem na exposição de trabalhadores, população e meio ambiente, a riscos imediatos, de médio e longo prazo. A Convenção OIT 174 foi sancionada pelo Governo Brasileiro, por meio do Decreto Presidencial nº 4085, de janeiro de 2002 e, atualmente, as discussões em torno do tema Segurança Química têm sido realizadas, integrando também tópicos não abrangidos pela Convenção, como o transporte de produtos perigosos e os acidentes químicos de efeitos não ampliados.

O desenvolvimento industrial a partir da II Guerra Mundial tem sido acelerado e a mudança tecnológica vem possibilitando expansão da capacidade de produção, armazenamento, circulação e de consumo de substâncias químicas. Pode-se destacar o crescimento da comercialização de substâncias orgânicas, em nível global, passando de sete milhões de toneladas em 1950, para 63 milhões de toneladas em 1970, 250 milhões em 1985 e 300 milhões em 1990, em um intervalo de 40 anos, representando um crescimento de 4.286% (Korte e Coulston, 1994, apud Freitas et al, 2001 p.260). Nos anos 60, uma planta industrial para craquear nafta e produzir 50.000 toneladas/ano de etileno era considerada de grande porte. A partir dos anos 80, plantas para a produção de etileno e propileno ultrapassaram a escala

de um milhão de toneladas/ano. O transporte e o armazenamento, por sua vez, seguiram o mesmo ritmo. A capacidade dos petroleiros no pós-guerra cresceu de 40.000 toneladas para 500.000 toneladas e a de armazenagem de gás de 10.000 m<sup>3</sup> para 120.000/150.000 m<sup>3</sup> (Freitas et al, 1995 p.504).

O processo de crescimento e interdependência tem levado a descobertas de produtos químicos a cada ano na ordem de 1.000 a 2.000 novas substâncias. Segundo o Programa Internacional de Segurança Química, há mais de 750.000 substâncias conhecidas no meio ambiente. O resultado do processo de crescimento vem conduzindo a uma divisão internacional de riscos e benefícios. Freitas et al (2001 p.261) citam que 20% da população mundial situada nos países ricos consomem 80% dos bens produzidos, enquanto que os restantes 80%, situados nos países pobres, consomem apenas 20%.

Segundo Freitas et al (2001 p.261), na atualidade, os países do antigo Leste Europeu, da África, da Ásia e da América Latina são os que enfrentam os principais problemas relacionados com os resíduos perigosos, exportados pelos países industrializados ou mesmo abandonados por indústrias multinacionais e nacionais.

Os acidentes químicos são capazes de produzir múltiplos danos num único evento, possuindo também o potencial de provocarem efeitos que se estendem para além dos locais de sua ocorrência. Existe muita dificuldade de se avaliar as conseqüências que, por vezes, são extremamente complexos.

O crescimento das atividades de produção, armazenamento e transporte de substâncias químicas provocaram um aumento no número de pessoas expostas aos seus riscos – trabalhadores e comunidades -; contudo, observa-se nas estatísticas um aumento considerável na freqüência e gravidade dos acidentes químicos nessas atividades principalmente na área da petroquímica.

Os acidentes com cinco óbitos ou mais são considerados muitos severos<sup>9</sup>, e passaram de 20 (média de 70 óbitos por acidente) entre 1945 e 1951,

---

<sup>9</sup> De acordo com Drogaris, em Freitas al (1995), são atualmente propostos seis índices de gravidade (negligenciável, digno de nota, importante, severo, muito severo e catastrófico) em basicamente três grupos de parâmetros (potencial de perigo em função do tipo e quantidade da substância envolvida, conseqüências – saúde, meio ambiente e materiais – e extensão das medidas externas de intervenção e segurança) para os acidentes químicos ampliados ocorridos nas Comunidades Européias. Um dos índices empregados no grupo de parâmetros das conseqüências é o número de óbitos, sendo classificados com “importante” (entre 1 e 4), “severos” (entre 5 e 19), “muito severos” (entre 20 e 49) e catastróficos (mais de 50).

para 66 (média de 142 óbitos por acidente) entre 1980 e 1986 (Freitas et al, 1995 p.502).

Tendo em vista que a problemática dos acidentes químicos tem crescido em números razoáveis, entidades governamentais envolvidas em saúde pública e trabalho (Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, a Organização Internacional do Trabalho - OIT e o Ministério do Trabalho) tem-se preocupado com formulação de políticas, de estratégias de controle e prevenção de acidentes. No Setor Químico, o órgão orientador de indústrias no Brasil, a ABQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química, associa empresas do ramo. Em 1998, o Ministério do Trabalho e Emprego formou a Comissão Tripartite para Análise da Convenção OIT 174 e da Recomendação OIT 181 sobre Prevenção de Acidentes Industriais Maiores, da qual a ABIQUIM foi uma das componentes da Comissão.

Essa Comissão concluiu a análise com parecer favorável à ratificação da Convenção e recomendando também a criação de um Grupo de Estudos Tripartite – GET 174, para formular propostas para uma Política Nacional sobre Prevenção de Acidentes Industriais Maiores.

A ABIQUIM desenvolveu em 2002 o Diagnóstico e Recomendações para a implantação da Convenção OIT 174 – Prevenção de Acidentes Industriais Maiores, onde são abordados os seguintes itens: Ética, Princípios, Objetivos e Códigos de Práticas do Programa Atuação Responsável, além de indicar ações para a Indústria Química na Prevenção de Acidentes Maiores – Interfaces com o Programa de Gerenciamento de Risco – PGR e o Gerenciamento da Emergência (Abiquim, 2002 p.4).

## **5.2. Acidentes químicos ampliados**

A nomenclatura desses tipos de acidentes não se encontra consolidada. Normalmente é chamada por “*major accidents*” (Inglês), “*accidents majeurs*” (França) ou “*acidentes industriais graves*” (Portugal) e “*Störfall*” (Alemanha) que seria algo como acidente de perturbação. Segundo Freitas et al (1995 p.504), acidentes químicos ampliados se restringe somente aos que envolvem substâncias e produtos químicos, que expressam a possibilidade de ampliação no espaço e no tempo das conseqüências dos mesmos sobre as populações e o meio ambiente expostos.

A Convenção 174 define como acidente maior:

*“Designa todo evento inesperado, como uma emissão, um incêndio ou uma explosão de grande magnitude, no curso de uma atividade dentro de uma instalação exposta a riscos de acidentes maiores, envolvendo uma ou mais substâncias perigosas e que exponha os trabalhadores, a população ou o meio ambiente a perigo de conseqüências imediatas ou de médio e longo prazo”.*

Segundo a Diretiva de Seveso de 1982, revisto em 1996, do Conselho das Comunidades Européias, esses tipos de acidentes provêm de uma ocorrência, tal como uma emissão, incêndio ou explosão envolvendo uma ou mais substâncias químicas perigosas, resultando de um desenvolvimento incontrollável no curso da atividade industrial, conduzindo a sérios perigos para o homem e o meio ambiente, imediatos ou em longo prazo, internamente e externamente ao estabelecimento envolvendo uma ou mais substâncias.

Na base internacional de dados MHIDAS (*Major Hazard Incident Data Service*) criado, desenvolvido e mantido por SRD – Diretório de Segurança e Confiabilidade - (*Safety and Reliability Directorate*) pertencente ao HSE BRITÂNICO (*Health and Safety Executive*) [Freitas et al (1995 p.504) e Carol et al (2002 p.517)] são considerados incidentes/acidentes<sup>i</sup> ampliados, não só os situados no processo de produção industrial, mas também os de transporte e armazenagem de produtos químicos que resultem em potencial de perigo para a comunidade.

Os acidentes químicos ampliados são considerados eventos agudos, graves, tais como explosões, incêndios e emissões, individualmente ou combinados, envolvendo uma ou mais substâncias perigosas podendo causar, concomitantemente, múltiplos danos à saúde e ao meio ambiente expostos nas áreas adjacentes. O potencial desses incidentes/acidentes é a gravidade e extensão dos seus efeitos ultrapassarem os seus limites espaciais – de bairros, cidades e países – e temporais – como a teratogênese, carcinogênese e danos a órgãos humanos específicos (Freitas et al, 1995 p.505).

Khan, Husain e Abbasi (2002 p.130), comprovam que existe potencial de alta periculosidade nesses tipos de acidentes. Indicam que nos Estados Unidos, entre 1993 a 1995 aconteceram mais de 23.000 acidentes relacionados ao



lançamento de nuvens tóxicas. Além disso, aproximadamente 25% das instalações industriais que produzem substâncias químicas potencialmente perigosas, podem criar uma zona de dano e morte estendendo-se por mais de oito quilômetros da instalação. Mais de 20% destas instalações criam zonas vulneráveis de mais de dezesseis quilômetros.

O Comitê Nacional de Leis Ambientais do Estados Unidos analisou o potencial de piores desastres por setor de indústria e verificou que os relativos a substâncias químicas e petroquímicas são os mais vulneráveis. Apesar de haver controle na geração das últimas instalações de equipamentos, um aumento no número de tais incidentes como também seu dano potencial é uma fonte importante de preocupação. A frequência de acidentes em outros países é consideravelmente maior que nos Estados Unidos. Conseqüentemente, estas indústrias não só têm perdas financeiras altas, mas também perdem credibilidade. Indicam ainda, que é então urgente analisar os acidentes possíveis e suas causas básicas, e desenvolver planos e estratégias para se evitar tais situações.

Khan, Husain e Abbasi (2002 p.131) destacam uma necessidade para se desenvolver uma metodologia sistemática e completa para avaliação de risco e de segurança. Estes autores concordam que tem havido trabalho significativo no desenvolvimento de metodologias para avaliação de risco efetivo e confiável. Em seu trabalho de pesquisa, desenvolveram uma metodologia denominada de “SCAP” (*Safety, Credible Accidents, and Probabilistic Fault Tree Analysis*) - Segurança, Prováveis Acidentes e Árvore de Análise Probabilística de Falhas, que se baseia nas seguintes etapas:

Etapa 1 – Identificação de perigo e categorização usando *SWeHI* (*Safety Weighted Hazard Index*) – Indexador ponderado de perigo, desenvolvido anteriormente pelos autores em 2001, para identificação e classificação dos acidentes.

Etapa 2 – Avaliação quantitativa de perigo – Análise de credibilidade de acidente máximo (ampliado), que é dividida em duas sub-etapas: 1 – Previsão de cenários de acidentes; e, 2 – Estimação de danos para previsão de cenários de acidentes.

Etapa 3 – Avaliação probabilística – Metodologia de simulação analítica.

Etapa 4 – Quantificação de risco e medida (capacidade) de segurança.

### 5.3. Características de acidentes químicos ampliados

Várias formas de ocorrências de acidentes químicos podem ser destacadas: explosões, incêndios, emissões de substâncias tóxicas perigosas (líquidas ou gasosas) no solo, na atmosfera, na água, havendo a possibilidade de lançamento de fragmentos<sup>10</sup>. Os acidentes são conhecidos principalmente pelos seus impactos na planta da fábrica e os trabalhadores são as principais vítimas fatais, e as não-fatais predominam na população externa. Em estudos realizados no MARS<sup>11</sup>, estes tipos de eventos relacionados foram registrados 121 acidentes entre 1980 e 1991, 49,6% tiveram vítimas. Do total de 878 vítimas, 44,3% corresponderam aos trabalhadores das próprias indústrias e 52,8% pessoas externas, sendo que o restante de 2,8% não foi identificado (Freitas et al, 1995 p.505). As explosões são os eventos que ocorrem com maior frequência de grande número de óbitos – Tabela 15 - porém, as emissões acidentais e os incêndios não são menos perigosos. A súbita liberação de energia provocada pelas explosões pode tomar formas diversas. Os efeitos das explosões físicas tendem a ser local, enquanto que as químicas podem ter amplas repercussões, resultando em incêndios e emissões de substâncias tóxicas perigosas. Além dos danos patrimoniais que ocorrem, alguns tem resultados em mortes (trabalhadores e comunidades próximas), provocadas por queimaduras, traumatismos e sufocações de gases liberados, bem como lesões para um número maior de pessoas.

No incêndio do depósito de produtos químicos da Sandoz em 1986, localizado em Schweizerhalle/Suíça, estimou-se que houve uma produção de 15.000 produtos que podem ter sido gerados na combustão de agrotóxicos organofosforados e compostos de mercúrio orgânico, em função da irradiação de calor da combustão de PVC. Há emissão de múltiplos gases e fumaças tóxicas atingindo áreas distantes. As águas residuais contaminadas dos combates a incêndios químicos são outra fonte de riscos, para as equipes de emergência como para as populações que obtém água para consumo dos rios atingidos, ocorrendo mortes de peixes em extensão muito grandes, podendo atingir algumas centenas de quilômetros. As incertezas quanto

---

<sup>10</sup> Experiência vivida pelo autor na Refinaria Duque de Caxias, da Petrobrás, em 1972, quando da explosão de três esferas de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), pedaços das mesmas foram deslocados em função de altíssima pressão no seu interior, produzidas pelo calor excessivo, indo parar a distâncias de mais de 500 metros.

<sup>11</sup>MARS (*Major Accidents Report System*) é um sistema de informação desenvolvido para as Comunidades Europeias baseado na Diretivo 96/82/EC ("Seveso II") e consiste na catalogação de grandes acidentes industriais envolvendo substâncias perigosas dos Estados-Membros da União Europeia (Kirchsteiger, 2001).

aos efeitos à saúde humana e ao meio ambiente também provocam sentimentos de medo, insegurança e mesmo pânico e instabilidade social nas regiões afetadas. No combate ao incêndio da Sandoz, estimou-se que entre 10 e 30 toneladas de contaminantes foram lançadas no rio Reno através das águas residuais. Houve morte de grande número de peixes numa extensão de 250km enquanto que se colocou em risco de saúde a população em torno de 12 milhões de habitantes distribuídos por cidades e vilas ao longo desse rio na França, Alemanha e Holanda (Freitas et al, 1995 p.507).

No estudo da severidade de acidentes industriais com substâncias de risco por análise histórica realizada por Carol et al (2002 p.517), foi utilizada a base de dados MHIDAS, versão de julho de 2001, que contém 11.729 relatórios em 10.252 incidentes. Foram considerados registros de acidentes após o ano de 1974, em instalações permanentes (não o transporte) para número de fatalidades conhecidas ( $N > 0$ ) nos cálculos estatísticos, tendo em vista que os de anos anteriores a este, os incidentes aconteceram em um ambiente de diferenças tecnológicas, onde medidas de segurança e de planejamento em prevenção de risco não eram comparáveis com o que atualmente se estuda na prática.

Depois de aplicar critérios de seleção, 1.694 acidentes estavam disponíveis para análise (793 com  $N \geq 1$ ), do qual 1.254 estava divulgado por SRD e o restante por outras tecnologias. Dos 22 campos disponíveis para cada relatório no banco de dados, só quatro forneceram informações sobre a severidade de acidentes: número de fatalidades, número de danos, número das pessoas evacuadas, e dano à propriedade. Os acidentes considerados neste estudo, mais de 100 fatalidades, dão valores estatísticos mostrados na Tabela 16. Deve ser notado que algumas discrepâncias consideráveis foram achadas entre diferentes fontes ao se estabelecer conseqüências de certos incidentes. Por exemplo, no MHIDAS encontra-se registrado 2001 fatalidades no acidente de Bhopal, enquanto outros relatórios e fontes indicam de 2.500 e 2.800 óbitos (estes são fatalidades “imediatas”; o número acumulado das mortes para este o acidente, acredita-se, que é realmente muito mais alto) Carol et al (2002 p.518). Observa-se que em função do número de acidentes (1694), a média de óbitos é de cinco pessoas, porém, o maior número observado de óbitos foi de 2001, com desvio padrão de 51,91. Os danos materiais máximos ficaram em torno de 857 bilhões de dólares.

Na Tabela 17 pode-se observar que acidentes envolvendo substâncias explosivas são mais severos que aqueles relativos a material inflamável ou substâncias tóxicas (Carol et al, 2002 p.518).

Khan, Husain e Abbasi (2002 p.129) comentam que as refinarias de petróleo e indústrias petroquímicas trabalham com grandes quantidades de substâncias químicas altamente de risco e freqüentemente sob condições extremas de temperatura e pressão (exemplos: em refinaria de petróleo<sup>12</sup>, para o craqueamento catalítico a temperatura chega a 1200° Celsius, e Fábrica de Metanol - pressões em torno de 140 kg/cm<sup>2</sup> e temperaturas da mesma magnitude).

Carol et al (2002 p.520), concluem que os acidentes envolvendo substâncias perigosas podem ter quantificado os números prováveis de fatalidades como função dos seguintes fatores: o tipo de perigo (explosivo, produto inflamável ou substâncias tóxicas), a quantidade de substância envolvida, o tipo de acidente (explosão, fogo, nuvem de gás, derramamento do produto ou lançamento no solo, na água e/ou no ar), e até a extensão do país o qual se desenvolveu tecnologicamente. Os resultados mostram que acidentes envolvendo explosivos são mais severos que aqueles envolvendo produtos inflamáveis ou substâncias tóxicas. As explosões produzem então os mais sérios eventos, seguidos por fogo e lançamento de líquidos e gases tóxicos. Indicam também que em países subdesenvolvidos ou países em desenvolvimento, os acidentes são mais severos que aqueles que ocorrem em países tecnologicamente mais avançados.

#### **5.4. Agravamento dos acidentes ampliados no Brasil**

O petróleo como matriz energética associada ao rápido avanço na tecnologia de sínteses químicas e de processos industriais, possibilitou o aumento no número e na capacidade de produção das refinarias de petróleo, que oferecem inúmeros e graves riscos em todas as suas atividades, não só nas áreas de produção como também nos armazenamentos e transportes.

No Brasil, segundo Souza e Freitas (2002 p.577) o caráter perigoso da atividade do refino do petróleo produz muitos acidentes envolvendo trabalhadores como: 1972, REDUC, Duque de Caxias (RJ), 38 óbitos e afetando principalmente

---

<sup>12</sup> Experiência vivida pelo Autor no período de março de 1965 a junho de 1972 na Refinaria Duque de Caxias – Petrobrás, e na Fábrica de Metanol anexo à Refinaria de Manginhos em 1971, Rio de Janeiro.

membros de uma brigada de emergência; 1982, REVAP, São José dos Campos (SP), 11 óbitos; 1998, REGAP, Betim (MG), seis óbitos. Embora não se constituam em refinarias, mas também envolvam a produção e o armazenamento de petróleo, podem-se citar os acidentes que ocorreram em plataformas de petróleo da Bacia de Campos (RJ), tais como o de 1984 na PCE, que resultou em 38 óbitos, e o da P-36, em março de 2001, que resultou em 11 óbitos. Outros tipos de acidentes estão relacionados na Tabela 18.

## CAPÍTULO 6 - BHOPAL – MAIOR ACIDENTE DA HISTÓRIA

### 6.1. Análise *ex-ant* do acidente em Bhopal

Nos países com alta densidade demográfica, os níveis de acidentes em indústrias químicas também ocorrem com muita frequência envolvendo grande número de acidentados, haja vista que o custo da terra é menor, a mão-de-obra é bem mais barata, legislação trabalhista deficitária e fraca fiscalização governamental no cumprimento das leis e de regulamentos ambientais fazem com que as indústrias estrangeiras explorem esses países.

Na Índia, país com alta densidade demográfica, a Union Carbide (UCIL) instalou uma fábrica de produtos químicos que entrou em operação em 1969 destinando-se inicialmente à formulação de agrotóxicos. Em 1974 a firma recebeu autorização do governo indiano, para sintetizar agrotóxico a partir do MIC. Inicialmente o MIC era importado da matriz e a partir de 1980 começou a ser produzido na própria planta industrial. Um aspecto importante deste caso é que no nível municipal, os responsáveis pelo projeto de desenvolvimento da cidade, aprovaram para a zona industrial, apenas a exploração industrial leve, não prevendo a implantação de complexos industriais tão perigosos como o da UCIL. Como a UCIL, tratava-se de uma empresa poderosa e influente na Índia, na qual trabalhavam em nível relativamente alto, antigos representantes oficiais do governo e familiares de funcionários do alto escalão, o governo central e do estado de *Madhya Pradesh*, aprovaram a expansão das instalações desta empresa (LLORY, 1999) apud Rezende (2005 p.22).

### 6.2. Abrangência do acidente em Bhopal

O acidente químico ampliado em Bhopal, com população de 900.000 habitantes em 1984, cidade capital de *Madhya Pradesh* (Dhara e Dhara, 2002, p.391) foi considerado muito grave, e ocorreu na noite de 2 de dezembro deste ano, onde teve início com um vazamento de gás Isocianato de Metila (MIC), altamente tóxico, em um tanque de armazenamento da indústria química americana Union Carbide (Tanque 610), contendo cerca de 41 toneladas de Isocianato de Metila (MIC).

Segundo Freitas et al (1995 p.508) e Evan e Manion, (2002 p.67), as conseqüências deste acidente sobre a população vizinha a aquela indústria ainda são objeto de dúvidas, controvérsias e muito abrangentes, com conseqüências que até hoje são observadas por intermédio de doenças crônicas. Os sobreviventes e suas crianças ainda sofrem de problemas de saúde como câncer, tuberculose ou defeitos de nascimento (Greenpeace, 2004).

Mainier (2001 p.14) menciona que a tragédia chegou a ter conseqüências nefastas e fatais incluindo-se a morte de 2.800 pessoas que viviam nas cercanias e, além disto, trouxe problemas oftalmológicos e respiratórios a mais de 200.000 pessoas.

Evan e Manion (2002 p.17) relatam que o acidente causou a morte de aproximadamente 14.000 pessoas, além de mais de 30.000 danos permanentes (inclusive cegueira), 20.000 danos temporários, e 150.000 danos secundários são reportados. As estimativas de fatalidades humanas variam de 1.400 até 14.000. O número oficial do governo indiano, a partir de junho de 1985, foi de 1.762 pessoas - baseadas em certidões de óbito - indubitavelmente menospreza informações porque muitas pessoas fugiram da cidade e morreram em regiões periféricas. As mortes aconteceram desproporcionalmente entre as pessoas que vivem nas cercanias, ocorrendo, por sua vez, a minimização no número de fatalidades registradas.

Carol *et al* (2002 p.518), mencionam que no banco de dados MHIDAS (*Major Hazard Incident Data Service*) encontram-se registrados: 2001 fatalidades, enquanto outras fontes reportam em 2.500 e 2.800 fatalidades; e, de fato, estas são as fatalidades imediatas; e o número acumulado das mortes para este acidente é realmente muito maior.

Pode-se verificar que discrepâncias consideráveis em relação ao número de envolvidos na tragédia foram registradas entre diferentes fontes científicas ao se estabelecer as conseqüências e números deste incidente. É indicador da falta de registros (estatísticas) oficiais.

### **6.3. Principais falhas ocorridas**

Segundo o *Project Management Group* (2004), na fábrica da Union Carbide, em Bhopal, em 1984, houve um vazamento causado pelo rompimento de uma válvula de alívio (segurança) em um tanque de armazenamento propiciando um

lançamento de 30 toneladas de Isocianato de Metila na planta industrial. A causa principal foi uma reação exotérmica causada pelo contato de água com o produto químico propiciando aumento na temperatura e, conseqüentemente, na pressão do tanque de armazenamento.

Segundo Fthenakis (2001 p.2), a reação acelerada do contato do Isocianato de Metila com a água, aumentou a corrosão do tanque (já existia uma contaminação secundária antiga) e, finalmente, a formou-se alta pressão (acima de 90,000 lb) estourando o disco da linha da válvula de alívio que já estava aberta por duas horas. O sistema de refrigeração do reservatório não estava funcionando por medida de economia. A válvula de segurança do reservatório abriu, mas o sistema de lavagem de gases, que deveria absorver os vapores de Isocianato de Metila liberados pela válvula, era sub-dimensionado, e o sistema de "flare" (queima do gás na torre de labareda) que deveria ter queimado qualquer vapor residual que atravessasse o sistema de lavagem, estava com defeito e fora de serviço há três meses, para substituição de um tubo corroído (Gupta, 2002, p.2). Outrossim, o sistema de cortina de lançamento de água pulverizada que serviria para baixar os gases tóxicos, não atingiu a altura de 33 metros (onde a válvula de segurança estava instalada). Para a ocorrência do acidente, também é atribuída falta de prática em gerenciamento de segurança, frágil sistema de alarme e medidas de economia, anulando-se preocupações com segurança.

Em contra-partida, no *site* da Union Carbide é enfatizado que a conseqüência do acidente foi sabotagem; lê-se: Pergunta: Existiam preocupações de segurança na planta da fábrica antes da tragédia? Resposta: As investigações sugerem que somente um empregado com habilidades e conhecimento apropriados do local podia ter operado o tanque.

A extensão do dano causado também pode ser parcialmente atribuída à falta de preparo, em caso de emergência, por meio de treinamentos de evacuação da comunidade (grande número de pessoas) que habitava nas proximidades da fábrica. Segundo Evan e Manion (2002 p.65), na Índia, a terra é escassa e a população freqüentemente gravita em torno de áreas que contêm instalações industriais; isto é, as pessoas tendem a viver próximo às fábricas, e foi o que propiciou a grande extensão do acidente.



Segundo Fantazzini e Silva (1995), apud Maffei (2001, p.21), as principais falhas que ocorreram na planta industrial de Bhopal foram as seguintes:

- *“A planta industrial foi instalada numa área com alta concentração populacional;*
- *Os procedimentos de preparação e atendimento a emergências externas à fábrica, principalmente ao tocante no caso de abandono de áreas eram inadequados;*
- *Não foram tomadas medidas corretivas após diversas recomendações de segurança realizadas na planta industrial, através de inspeções relacionadas à mesma;*
- *Pessoal pouco qualificado e experiente nas atividades de operação e supervisão;*
- *Armazenamento de Isocianato de Metila em quantidades 10 vezes superior à demanda diária;*
- *Falta de adequação da planta industrial quanto às medidas de segurança com relação ao armazenamento em grande quantidade de Isocianato de Metila;*
- *O superintendente da unidade industrial não tinha formação específica;*
- *O sistema de refrigeração estava fora de serviço“.*

Segundo Evan e Manion (2002 p.12) houve negligência nos controles governamentais quanto à fiscalização da indústria Union Carbide. Da parte desta, houve incompetência dos operadores, faltando treinamento prestado aos mesmos, preparação inadequada de emergência e educação da comunidade. Além do projeto da planta ser desazado (desleixado) em função da depreciação em relação à vida na Índia, a fábrica que possuía equipamentos de segurança e preparo de evacuação da população era menos adequada que uma planta semelhante à instalada pela Union Carbide em West Virginia nos Estados Unidos da América do Norte.

Por sua vez, Kalelkar e Little (1998 p.3), apud Maffei (2001, p.21), comentam que duas investigações principais foram realizadas em Bhopal, uma pelo Governo da Índia através do Conselho de Pesquisa Científica e Industrial e outra pela Union Carbide, de maneira independente entre si. Além disso, a Agência Central de Investigação da Índia realizou a sua própria investigação. As investigações apresentaram algumas importantes considerações:

- *Foi imposta proibição à Union Carbide por parte da Agência Central de Investigação da Índia de entrevistar os funcionários da planta industrial por mais de um ano;*
- *Dificuldades ocasionadas à Union Carbide de acesso a informações por parte do governo indiano, principalmente pela ameaça de responsabilidade criminal que pesava sobre os empregados da planta industrial;*
- *A investigação criminal desenvolvida pela Agência Central de Investigação da Índia proporcionou aos empregados da planta fabril encobrir fatos relevantes para a elucidação do acidente;*
- *Em dezembro de 1985 o Conselho de Pesquisa Científica e Industrial, em um relatório público sobre o acidente, concluiu que o mesmo foi causado pela entrada de uma grande quantidade de água no tanque 610 de Isocianato de Metila;*
- *Um magistrado norte americano ordenou que o governo indiano liberasse o acesso da Union Carbide aos registros da planta;*
- *Em janeiro de 1986 a Union Carbide começou a entrevistar os empregados da planta. Foram entrevistados mais de 70 empregados num período de 18 meses;*
- *Muitas pessoas falaram de maneira aberta e clara e outras estavam pouco dispostas a colaborar ou se recusaram a responder às perguntas da equipe de investigação da Union Carbide;*
- *A investigação da Union Carbide concluiu que o acidente foi ocasionado por uma grande entrada de água (conexão) de maneira direta no tanque número 610 de Isocianato de Metila;*
- *Tanto a Union Carbide quanto o Conselho de Pesquisa Científica e Industrial da Índia, mesmo trabalhando durante vários meses e com equipes totalmente independentes entre si, chegaram a uma mesma conclusão, ou seja, determinaram cientificamente que a entrada direta de água no tanque 610 foi a responsável pelo acidente de Bhopal.*

#### **6.4. Análises de Risco aplicáveis em Bhopal**

Segundo Evan e Manion (2002 p.65), a planta de Bhopal experimentou seis acidentes - pelo menos três dos quais envolvidos com o lançamento de MIC entre 1981 e 1984. Estes acidentes escassamente pressagiaram o catastrófico lançamento de 1984, mas eles seguramente podiam ter apontado para problemas de segurança na planta. Um vazamento matou um trabalhador em 26 de dezembro de 1981, gerando uma investigação oficial e dois oficiais perderam seus vínculos trabalhistas por terem falhado nas recomendações do relatório de segurança.

De acordo com Nethconsult (2002), na noite do desastre, as medidas de segurança criadas para impedir vazamentos de gás fracassaram – devido à falhas em seu funcionamento, por estarem desligadas ou por serem ineficientes. Além disso, a sirene de segurança, que servia para alertar a comunidade em casos de acidente, estava desligada.

Fthenakis (2001 p.1) observa que o acidente foi ocasionado por determinadas falhas de processo, sendo elas: grande quantidade armazenada de substância química tóxica, falta de instrumentos, sistemas inadequados relativos a procedimentos de operação e manutenção, adiamento de datas de manutenção, eliminação do sistema de refrigeração, redução da mão-de-obra. As advertências e recomendações de segurança instituídas na fábrica ora existentes foram ignoradas. Várias opções de ações administrativas e de engenharia podiam ter prevenido ou mitigado este incidente. O número de vítimas dependeria da taxa de concentração e duração do período de lançamento do MIC, as condições do tempo, a densidade da população da região afetada e a resposta das autoridades cívicas para empreender uma autorização de operação de salvamento (Gupta, 2002, p.2).

#### **6.5. Análise de Risco ex-post do grande acidente de Bhopal**

**Evento principal:** Lançamento de Isocianato de Metila (MIC) na atmosfera, suas conseqüências e atitudes que poderiam ser tomadas.

##### **6.5.1. Análise de Risco: HazOp (*Hazard and Operability Study*)**

**Aplicação em:** Fábricas químicas

**Tipo de Análise:** Qualitativa

**Em que se aplica** (Descrição sucinta dos Métodos)

HAZOP - Análise de Perigos e Operabilidade - é um método utilizado para identificar início de eventos potenciais de acidentes (Khan, 2001 p.56; Fthenakis, 2001 p.3; Souza, 1995 p.36). Método sistemático de análise de riscos que aborda técnicas e análises qualitativas – efetuando-se um levantamento completo dos fatores operacionais que possam provocar falhas no sistema.

### **Fatores Operacionais do Incidente em Bhopal - Conseqüências e procedimentos**

Lançamento de água em grande quantidade: 500 litros, produzindo reações químicas e termodinâmicas de risco. Houve um aumento substancial de temperatura e, conseqüentemente, de pressão, fazendo com que a válvula de segurança, que estava sub-dimensionada, abrisse, mas foi insuficiente para a vazão da sobrecarga de pressão. Na planta da fábrica o pessoal não monitorou o tanque no recebimento de dosagens de clorofórmio por seis semanas antes do acidente, embora sendo exigido monitoramento diariamente – isto fez com que houvesse uma reação química produzindo corrosão excessiva no tanque. Existiam advertências prévias. Hendershot & Ness (2004) relatam que no cenário do acidente não era estudado pelo Método HazOP há anos.

De dezembro de 1981 até outubro de 1982, ocorreram pelo menos cinco incidentes, alguns resultando em danos. Em maio de 1982, uma equipe de peritos americanos da Union Carbide inspecionou a planta e verificaram que era extremamente crítica sua operação. Parece que as recomendações da equipe não eram implementadas Fthenakis (2001 p.4). Outrossim, em OECD (2001) encontra-se registrado que, de fato, trabalhadores declarados que experimentando irritação nos olhos (um sintoma associado com níveis baixos de MIC aerotransportado) não era um fenômeno incomum, mas estas advertências foram despercebidas.

Opções administrativas e de engenharia utilizadas para prevenir um acidente ao início de um evento (p.ex. entrada da água no tanque) inclui procedimentos operacionais, treinamento dos trabalhadores, manutenção, inspeções periódicas, testes, controle de qualidade, e proteções contra contaminação dos produtos e nos processos [Fthenakis (2001 p.4)].

**6.5.2. Análise de Risco: Procedimento global de uma Análise de Risco - Análise de acidente de máximo confiável (MCAA - *maximum credible accident analysis*) e análise de risco quantitativo (QRA - *quantitative risk analysis*)**

**Aplicação em:** Fábricas químicas

**Tipo de Análise:** Qualitativa e Quantitativa

**Em que se aplica (Descrição sucinta dos Métodos)**

Informa o que pode acontecer e analisam-se métodos de prevenir ou minimizar a possibilidade de ocorrência de um evento.

**Fatores Operacionais do Incidente em Bhopal - Conseqüências e procedimentos**

A indústria química Union Carbide sabia exatamente a toxicidade do produto químico a processar: Isocianato de Metila, que é altamente letal. Poderia ser cautelosa em termos de treinamento dos operadores e supervisores. Poderia também efetuar treinamento de evacuação da população vizinha à fábrica, com falta de planejamento adequado para preparação de planos de ação de emergência do local (imediações) e resposta (Fthenakis, 2001 p.4).

É também importante notar que a Union Carbide podia operar sua fábrica em estado de deterioração porque a segurança industrial, leis e regulamentos ambientais eram carentes ou não eram estritamente obrigados a cumpri-los pelo estado de Madhya Pradesh ou pelo governo indiano, fazendo com que, indiretamente, os responsáveis pela tragédia em Bhopal não se preocupassem com algum acidente (Wikipedia, 2005).

**6.5.3. Análise de Risco: ORA - Análise Ótima de Risco**

**Aplicação em:** Fábricas químicas

**Tipo de Análise:** Qualitativa e Quantitativa

**Em que se aplica (Descrição sucinta dos Métodos)**

Envolve quatro etapas: a) Identificação do risco e triagem: identificar as substâncias químicas e unidades de operações que constituem perigo potencial; b) Avaliação de risco (quantitativa e probabilística); c) Quantificação de perigo ou análise de conseqüência; e, d) Estimação de risco. Visa identificar e avaliar perigos e

estimar os fatores de risco devido a qualquer acidente ou infortúnio na indústria de processo químico.

### **Fatores Operacionais do Incidente em Bhopal - Conseqüências e procedimentos**

i – São considerados potenciais de perigo em uma unidade como uma função do material químico, capacidade, tipo da unidade operacional, condições de operação, e ambiente. O Isocianato de Metila é um produto altamente tóxico; o armazenamento no tanque atingiu pressões altíssimas em função da reação em cadeia da mistura da água com o Isocianato de Metila que produziu aumento da temperatura.

ii - É um estudo sistemático que tem por finalidade identificar e avaliar perigos. Utiliza-se o Método HazOp discutido acima.

iii - A análise de conseqüência envolve avaliação de prováveis conseqüências se um cenário de acidente se materializa. As conseqüências são quantificadas em termos de raios de dano (o raio da área em que o dano prontamente aconteceria), danos à propriedade (quebra de vidraças, desmoronamento de edifícios, perda de equipamentos) e efeitos tóxicos (toxidade aguda ou crônica, mortalidade).

Neste caso, houve conseqüências drásticas, chegando a atingir um raio de oito quilômetros da planta industrial (Souza Jr. 2000 p.492), ocasionando contaminação tóxica imediata e permanente até 20 anos após o acidente. Segundo Kania et al (p.2, 2002), o vazamento do tanque soltou mais de 37.000 kg de MIC e 12.800 kg de produtos da reação do MIC com a água, por um período de 40 minutos [Gupta (2002, p.2) menciona vazamento por mais de duas horas]. O gás atingiu uma área de 40 km<sup>2</sup> a 60 km<sup>2</sup> por três horas, expondo mais de 320.000 pessoas ao gás tóxico.

iv – Estimação de risco. Verifica-se que poderia ter sido realizada uma análise de estimacão de risco com os indicadores de acidentes prévios. Gupta (2002, p.2) menciona que aconteceram numerosos acidentes antes da tragédia 1984. Estes acidentes estavam advertindo com indicações de que outros poderiam ocorrer e foram ignorados. Pelo menos seis acidentes sérios aconteceram nos quatro anos precedendo 1984, inclusive um em 1982 que resultou na morte de um trabalhador.

Após várias advertências em jornais de que poderia ocorrer um desastre iminente no local, nem o gerenciamento da empresa e nem os responsáveis do governo tomaram ações para analisar a situação e realizar medidas pró-ativas contra quaisquer acidentes futuros. Seus atos eram: suprimir as informações e ignorar os relatórios de advertências.

Grandes indicadores de risco são mencionados na literatura sobre o acidente: redução na mão-de-obra de 450 para 150 trabalhadores, falta de gerenciamento e de treinamento especializado, sérios problemas de corrosão nos equipamentos, grande armazenamento do produto, problemas nos instrumentos críticos instalados para indicar pressão, temperatura, alarmes de nível alto e baixo no tanque estava funcionando mal por mais de um ano. Conseqüentemente, a subida da pressão foi ignorada até que o som gerado pela explosão do tanque foi ouvido. Era muito tarde e o tanque rachou lançando o mortal MIC (Gupta, 2002, p.2).

#### **6.5.4. Análise de Risco: Avaliação probabilística de risco - análise modificada da árvore de falha (MFTA - *Modified Fault Tree Analysis*)**

**Aplicação em:** Fábricas químicas

**Tipo de Análise:** Qualitativa e Quantitativa

**Em que se aplica** (Descrição sucinta dos Métodos)

A árvore de falha é resolvida por um algoritmo chamado que MFTA recentemente proposta por Khan e Abbasi (2001 p.54). Quantificar perigos em termos de probabilidade de ocorrências e identificar os eventos básicos e sua contribuição, pré-identificando aqueles que causam perigo (identificados em etapas prévias).

#### **Fatores Operacionais do Incidente em Bhopal - Conseqüências e procedimentos**

Tomando-se como base o lançamento de produtos tóxicos com probabilidade de ocorrência de perigo/ano do evento explosão de um tanque de sulfoleno:  $5.5 \cdot 10^{-5}$ , a ocorrência do acidente na planta de Isocianato de Metila excedeu em muito a expectativa de ocorrência, tendo em vista uma série de acidentes que ocorreram nos últimos quatro anos anteriores. Outros indicadores de perigo na formação da árvore de falhas existiram e não foram levados em consideração.

Na estimação potencial de dano, os acidentes prováveis em tanques de armazenamento, por exemplo: butadieno - esferas de aço - e dióxido de enxofre, revelam potencial de dano severo devido a fogo, explosão e carga tóxica. Os danos potenciais de eventos acidentais para estas unidades são apresentados nas Tabelas 8 e 9 (Capítulo 3). Foi observado que 50% da condição de letalidade persistiria em uma área acima de mais de 1000 m de raio. Verifica-se que o efeito do lançamento atingiu uma área de 60 km<sup>2</sup> com raio de aproximadamente de 4,7 quilômetros.

### **6.5.5 – Análise de Risco: Análise de Efeito Dominó (*Domino Effect Analysis*)**

**Aplicação em:** Fábricas químicas

**Tipo de Análise:** Qualitativa e Quantitativa

**Em que se aplica (Descrição sucinta dos Métodos)**

É sempre possível que um acidente maior em uma unidade — uma explosão ou fogo — pode causar um acidente secundário em uma unidade próxima que, por sua vez, pode ativar um acidente terciário e assim sucessivamente (Khan e Abbasi, 1998).

### **Fatores Operacionais do Incidente em Bhopal - Conseqüências e procedimentos**

Os resultados de avaliação de risco são representados na forma de dois fatores de risco diferentes. Estes fatores são, por sua vez, representados em duas formas: como curvas de F-N (frequência de ocorrência versus números de fatalidade) (Khan e Abbasi, 2001; Christou e Porter, 1999 p.21; Jonkman et al, 2002 p.13) e contornos de risco em cima da área. As curvas de perfis de risco F-N são principalmente usadas para mostrar a variação de risco e critérios aceitáveis de risco social. Esta apresentação é especialmente benéfica para desenvolvimento de estratégias de planejamento de controle.

O acidente de Bhopal mostra claramente que na instalação de indústrias químicas em determinadas regiões, órgãos governamentais devem criar políticas públicas no sentido de impedir que a população venha a formar cidades em torno da fábrica. Como indicador de diminuição de acidentados em catástrofes, Fthenakis (2001 p.4), faz um estudo comparativo sobre o acidente de Bogalusa, Louisiana, Estados Unidos da América do Norte, que se assemelhou ao ocorrido em



Bhopal. “Em 23 de outubro 1984 em uma instalação química em Louisiana, um tanque explodiu e rompeu, lançando uma grande massa de vapores de tetroxina de nitrogênio ( $N_2O_4$ ), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), e ácido nítrico ( $HNO_3$ ) na atmosfera. O lançamento de  $N_2O_4$  foi similar em tamanho e causação ao catastrófico lançamento de MIC em Bhopal”. O risco social não foi maior pelo fato de que não existiam pessoas nas ruas em torno da planta quando o lançamento aconteceu, prevenindo, com isso, fatalidades.

#### **6.6. Avaliação econômica *ex-post* do grande acidente de Bhopal**

Uma empresa que produz seus produtos finais e que tenha suas instalações em perfeito funcionamento, sem poluir, que possua mecanismos de prevenção de acidentes, que treine adequadamente seus colaboradores não só na operação da fábrica, mas também em segurança, estabelecendo padrões de excelência, é a empresa ideal para o país que tem suas instalações industriais produzindo. No entanto, a realidade é diferente. Muitas empresas agem de forma a não atender regulamentações ambientais tornando-se displicentes quanto ao funcionamento de uma fábrica produzindo externalidades. Com o decorrer do tempo, as instalações vão-se deteriorando, pequenos acidentes ocorrem, podendo-se chegar a possíveis acidentes maiores, trazendo custos altíssimos, tanto financeiros quanto sociais e, neste caso, ocasionando perda de vidas, da diversidade, problemas de governo e emocionais. Segundo Sonnemans e Körvers (2005, p.5), deve-se analisar a raiz das causas de cada acidente, que são tipos gerais de deficiências organizacionais de níveis gerenciais menores. Se pequenos acidentes são controlados, eles nunca teriam tido uma chance de causar um evento em um grande acidente.

Pelo fato de as empresas terem este tipo de comportamento, elas incorrem em alto risco financeiro tendo em vista a disposição a pagar (DAP) quando da existência de pequenos acidentes e, principalmente, um grande acidente. Com isso, entidades governamentais devem agir da forma mais rigorosa possível, aplicando Instrumentos Econômicos, tais como: Estudos de Impacto Ambiental, Instrumento de Licenciamentos que possuem caráter preventivo, estabelecendo padrões de uso e exploração de recursos naturais, e Controles Diretos, regulamentando limites de emissões de poluentes, fiscalizando suas instalações,

equipamentos ou processos produtivos quando da implantação. Periodicamente, entidades governamentais devem, criar mecanismos de controle durante a produção para acompanhamento de pequenos acidentes que deverão ser reportados a equipes especializadas, pois esses são indicadores de possíveis e graves acidentes.

Em relação ao acidente de Bhopal, os custos foram altos, porém, segundo Evan e Manion (2002), em outubro de 1991 o Supremo Tribunal da Índia julgou unanimemente uma determinação prévia exigindo que a Union Carbide deveria pagar 470 milhões de dólares para as vítimas e suas famílias pela morte e destruição que causou com o vazamento de toneladas do gás mortal de sua planta em Bhopal. O julgamento original de 1989 achou que a firma estava absolutamente sujeita a pagar pelos danos do acidente que foi causado por negligência ou sabotagem. Por outro lado, o governo indiano, na realidade, enfraqueceu as reivindicações das vítimas fazendo um acordo com a Union Carbide, sem a participação do Supremo Tribunal, que cobriu só uma fração dos danos reais. O valor de 470 milhões de dólares seria pagar mais de 550.000 pretendentes, inclusive por morte e reivindicações relacionadas por dano, cabendo mais ou menos \$855.00 por vítima, que dificilmente seria suficiente para cobrir despesas médicas e fúnebres.

Após o acidente em Bhopal, os custos financeiros de indenizações, perdas de vida, etc., continuaram a ocorrer na Índia, haja vista que outros acidentes aconteceram. Segundo a empresa de consultoria Nethconsult (2002) registraram-se os seguintes acidentes:

Data	Local	Tipo de acidente	Acidentados
01.nov.85	Padaval	Incêndio provocado por gasolina	Mais de 43 mortes e 82 feridos
04.dez.85	Nova Delhi	Lançamento de ácido sulfúrico	Uma morte e ferimento em 340 pessoas
24.jun.87	Bhopal	Vazamento de amônia	Atingiu 200.000 pessoas
29.abr.92	Nova Delhi	Explosão em depósito de produtos químicos	43 mortes e 20 feridos
04.out.94	<i>Madhya Pradesh</i>	Explosão em torre de craqueamento (Refinaria)	30 mortes e 100 feridos
14.set.97	Wish-Akhaptnam	Fogo em refinaria de petróleo	34 mortes, 31 feridos e evacuação de 150.000 pessoas

## **CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO DO TRABALHO - RECOMENDAÇÕES**

Na Conferência Internacional do 20º Aniversário da Tragédia de Gás de Bhopal realizada pelo Instituto Indiano de Tecnologia, Kanpur, em 2004, foram discutidas determinadas recomendações (adaptadas pelo autor e resumidas abaixo) para indústrias que fabricam e lidam com substâncias químicas e materiais relacionados a estas, comunidades, governos e outras organizações de influência com a finalidade de se prevenir tragédias futuras daquela magnitude.

### **7.1. Recomendações gerais acerca do acidente analisado**

- As informações sobre a tragédia de Bhopal devem ser tornadas a público. Isto inclui informações sobre as causas da raiz do desastre como também detalhes das causas relativas às mortes e danos ocorridos em 1984, nas semanas, meses e anos seguintes ao acidente.

- As organizações nacionais e internacionais devem colaborar fornecendo ajuda no tratamento das vítimas e limpeza total do local contaminado.

- Um marco apropriado deveria ser construído no local para lembrar ao mundo sobre as lições de Bhopal. Deveria incluir um museu mostrando detalhes sobre a tragédia, o tratamento médico e a reabilitação, as lições aprendidas, as fotografias das vítimas, de forma que estudiosos e gerações futuras possam usar para pesquisa adicional em acidentes trágicos.

- Uma visita à planta da fábrica, ao marco comemorativo e ao museu deveria ser estimulada a engenheiros, médicos e pessoas de negócios. Aos alunos de economia, engenharia, medicina, e nos cursos de especialização deveriam ser ensinadas as lições de Bhopal para ajudá-los a tomar decisões certas em sua vida profissional.

### **7.2. Recomendações aplicáveis para Governos**

Muitos países implementaram seguranças, regulamentos ambientais e Instrumentos Econômicos com resultado de Bhopal. Então:

- Os países que têm fraca execução destes regulamentos ambientais devem implementá-los com maior dedicação às execuções, preocupando-se para criação de Instrumentos de Comando e Controle e Instrumentos Econômicos;

- Os países sem regulamentos suficientes deviam implementá-los e obrigar tais regulamentos serem apropriados às empresas;
- As organizações governamentais e não-governamentais internacionais deveriam ajudar a dar consistência aos regulamentos nos demais países;
- Dar publicidade a investigações de acidentes e sugerir ações para prevenir suas causas. A constituição da “*US Chemical Safety Board*” - Segurança Química Americana é um modelo que pode ser considerada.

### **7.3 - Recomendações aplicáveis para indústria**

- Demonstrar compromisso com segurança em todos níveis de liderança;
- Implementar sistemas de gerenciamento de segurança apropriados;
- Trabalhar para uma meta de acidente “zero”. Assegurar número adequado de pessoal completamente treinado em todos os níveis de trabalho;
- Preparar plano de contingência para evacuação da população moradora nas cercanias da fábrica. Um planejamento de contingência pode melhorar drasticamente as chances de se reduzir danos quando um desastre atingir proporções dantescas;
- Informar às comunidades locais sobre as respostas adequadas sobre lançamento de substância química com citações, inclusive implantando plano de gerenciamento de emergência local;
- Considerar participação dos colaboradores em práticas de programas como “Cuidado Responsável”, e boa prática de engenharia, compartilhando a responsabilidade com organizações de processos químicos (*Center for Chemical Process Safety and the European Process Safety Center*);
- Estimular pesquisas e desenvolvimento de projetos inerentemente mais seguro em novas plantas e expansão dos já existentes.

### **7.4. Recomendações aplicáveis às comunidades**

- Estar ciente de perigos potenciais da indústria local e familiarizar-se com práticas de respostas adequadas para emergências.

### **7.5. Recomendações aplicáveis para engenharia e universidades de negócios**

- Assegurar àqueles alunos a receberem educação básica necessária de engenharia e de negócios para ter uma carreira futura administrando seguramente perigos industriais;
- Estimular pesquisas em novas tecnologias e práticas de gerenciamento para sustentar futuras melhorias de segurança.

### **7.6. Recomendações aplicáveis para mídia**

- Dar cobertura equilibrada de boas práticas padronizadas relacionadas à segurança em indústria;
- Ajudar a educar o público sobre ações adequadas para enfrentar eventos em uma emergência.

### **7.7. Recomendações aplicáveis para todos**

- Estar atento para informações de parte sobre métodos para prevenção e resposta de acidentes;
- Aprender sobre de acidentes;
- Seguir regulamentos e boas práticas de segurança em todas as atividades;
- Promover treinamento, ensino e pesquisa”.

### **7.8. Recomendações às empresas que pretendem instalar e/ou ampliar suas indústrias**

É claro que acidentes continuarão a acontecer no futuro, porém, podem-se minimizar muitos acidentes preventivamente e os riscos existentes para pessoas e o meio ambiente poderão ser reduzidos a um “nível tolerável”.

Com isso, é aconselhável estudar adequadamente cada indústria, e aplicar as recomendações indicadas nos seguintes organismos internacionais e nacionais: Diretivas Seveso II, do Conselho das Comunidades Europeias; OECD – *Organization for Economic Co-Operation and Development* (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico); USA *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA); Convenção OIT 174 – Prevenção de Acidentes Industriais

Maiores; ABQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química; Ministério da Saúde, por intermédio da Fundação Nacional de Saúde.

Quanto aos procedimentos que devem ser adotados com as Análises de Riscos e devidas orientações, fazem-se necessária uma determinação política da firma em aplicá-las, com enfoque de investimento em segurança industrial, de seus equipamentos e, conseqüentemente, com relação aos colaboradores treinando-os e conscientizando-os quanto à magnitude das conseqüências de acidentes, incentivos às universidades a desenvolverem Pesquisa e Desenvolvimento - P&D.

As empresas devem levar em consideração, principalmente, a aplicação de políticas ambientais e espaciais, matrizes de urbanização, além de técnicas de localização de empresas. Estes assuntos não foram levados em consideração na presente dissertação, por não se tratar de análise econômica e de riscos.

## TABELAS

Tabela 1 - Classificação de Metodologias de Análise de Risco

Metodologias de Análise de Risco				
	Num	Qualitativo	Num	Quantitativo
Determinístico	1	Análise de Ações de Erros AEA	31	Análise de Risco de Acidente AHI
	2	Checklist <b>Khan &amp; Abassi</b>	32	Anexo 6 de <b>SEVESO II</b> Diretivo
	3	Conceito de Análise de Risco	33	Índice de Perigo de Reação Química Descontrolada
	4	Revisão de Conceitos de Segurança	34	<b>(Dow's)</b> Índice de Exposição Química
	5	Análise de Efeitos de Modos de Falhas	35	<b>(Dow's)</b> Índice de Fogo e Explosão
	6	Análise de Orientação de Falhas de Metas	36	Índice de Dano de Explosão e Fogo
	7	Perigo e Operacionalidade ( <b>HazOp</b> )	37	Identificação e Classificação de Perigo
	8	Perigo Humano e Operacionalidade Humana	38	Índice de Perda Fracionada Instantânea
	9	Envolvimento de Seguradora em Processo de Redução de Risco	39	Metodologia de Análise de <b>Efeito Dominó</b> (Seqüência de Danos)
	10	Gerenciamento	40	Métodos de Determinação de Potencial de Risco e Avaliação
	11	Perigo Ótimo e Operacionalidade	41	Índice de Explosão, fogo e Toxicidade
	12	Análise do Nível de Segurança na Planta Industrial	42	Metodologia SAATY
	13	Identificação de Potencial <b>Efeito Dominó</b>		
	14	Análise de Risco Preliminar		
	15	Gerência de Auditoria de Processo de Risco		
	16	Análise de Desvio de Contorno (Profile Deviation Analysis)		
	17	Questões relatadas de segurança por computador controlando plantas (industriais)	43	Índice de Dano Tóxico
	18	(Seqhaz) Mapeamento seqüencial de risco		
	19	(Sneak Analysis) Análise de tarefas		
	20	(Sneak Analysis) Análise de tarefas		
	21	Análise: E se? (What if?)		
	22	Organização Mundial de Saúde		

Fonte: Tixier et al. (2002 p.293) Continua

continuação

**Tabela 1 - Classificação de Metodologias de Análise de Risco**

Probabilístico	23	Seqüências precursoras de acidentes	44	Método Delphi
	24	Técnica Delphi	45	Análise de três eventos
	25	Segurança de tremor de terra em estruturas e instalações em indústrias químicas	46	Análise de três negligências
			47	Análise de Manutenção
			48	Atalho de Avaliação de Risco
			49	Modelo de Análise de Processo de Trabalho
	26	Análise de Crédito Máximo de Acidentes	50	AVRIM2
27	Diagrama de bloco de confiabilidade	51	Revisão de facilidade de risco	
Determinístico e Probabilístico	28	Análise de segurança	52	Análise crítica de modo de efeitos de falhas
	29	Cultura de segurança de perigo e operação	53	IDEF 3
	30	Análise estrutural de confiabilidade	54	Grupo de estudos internacionais de análise de risco
			55	“IPO Risco Berekening Methodick”
			56	Método de organização sistemática de análise de risco
			57	Avaliação Ótima de Risco
			58	Análise Probabilística de Segurança
			59	Avaliação Quantitativa de Risco
			60	Classificação Rápida
			61	Análise Rápida de Risco Baseada em Desenho
62	Indicadores de Nível de Risco			

Fonte: Tixier et al. (2002p.294)



Tabela 2 - Conexões entre dados de entrada e metodologias

Tipos	Entrada de Dados	Metodologias <sup>a</sup>		
		Determinístico	Probabilístico	Determinístico e Probabilístico
Planta e Diagrama	Local	Qualitativo	2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 13, 23	26, 27, 30
	Unidades de Instalação		14, 15, 18, 19, 21, 22	
	Redes de Gás ou Fluidos Funcionando	Quantitativo	31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 45, 46, 47	50, 51, 52, 53, 56, 57, 59, 61, 62
	Barreiras de Segurança, Armazenagem		40, 41, 42, 43	
Processos e Reações	Descrição das Operações, de Tarefas. Aspectos de Reações Físicas e Químicas; Características de Processo	Qualitativo	2, 3, 7, 8, 10, 11, 14, 16, 19, 20, 21	
	Parâmetros Cinéticos e Calorímetros	Quantitativo	33, 35, 36, 37, 40, 41, 42, 43	54
	Condições de Funcionamento Normal e de Operação			
Produtos	Tipos de produtos, propriedades físicas e químicas	Qualitativo	11, 12, 13, 14, 16	26
	Dados de quantidades toxicológicas	Quantitativo	31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 40, 41, 42, 43	51, 54, 55, 56, 58
Probabilidades e Freqüências	Tipo e Probabilidade de Falha, Inicialização e Freqüências de Falha	Qualitativo	1, 12, 23, 24 25	26, 27, 28, 29, 30
	Falhas Humanas, Categorias de Falhas, Probabilidade de Exposição	Quantitativo		44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 58, 59, 60
Política e Gerenciamento	Manutenção, Organização, Política de Segurança, SMS	Qualitativo	2, 9, 10, 15, 17	29
	Gerenciamento de Transportes, Custos de Equipamentos	Quantitativo	36, 42	51, 55
Ambiente	Local do ambiente	Qualitativo	11, 19	
	Dados topográficos e densidade populacional, Padrões	Quantitativo	31, 43, 36, 37, 42	51
		Qualitativo	4, 5, 13, 14, 18	
Textos e Conhecimentos Históricos	Regulamentos e Documentos Conhecimentos Históricos	Quantitativo	31, 35, 39, 41, 42	51, 52, 59, 61

Fonte: Tixier et al. (2002 p.295)

<sup>a</sup> O número se refere às metodologias presentes na Tabela 1.

**Tabela 3 - Análise Determinística de Risco**

<b>(a) Categorias de probabilidade Categoria de Severidade (frequências)</b>	<b>Definição qualitativa</b>	<b>Definição quantitativa fundamental (vezes por ano)</b>
A	<b>Provável uma vez no próximo ano</b>	<b>0,3 – 3</b>
B	<b>Possível, mas não provável</b>	<b>0,03 – 0,3</b>
C	<b>Improvável</b>	<b>0,003 – 0,03</b>
D	<b>Muito improvável</b>	<b>0,0003 – 0,003</b>
E	<b>Remoto</b>	<b>0,00003 – 0,0003</b>
<b>(b) Conseqüências de Categorias Categoria de Severidade (frequências)</b>	<b>Definição qualitativa</b>	<b>Definição semiquantitativa fundamental</b>
1	<b>Catastrófico</b>	<b>Múltiplas fatalidades</b>
2	<b>Importante</b>	<b>Fatalidade única, danos múltiplos</b>
3	<b>Muito Sério</b>	<b>Dano permanentemente incapacitado</b>
4	<b>Sério</b>	<b>Dano sério, ausência pequena do trabalho</b>
5	<b>Secundário</b>	<b>Dano de tempo perdido, ausência pequena do trabalho</b>

Fonte: Kirchsteiger (1999)

**Tabela 4 - Valores de danos e risco para diferentes plantas industriais de unidades de sulfoleno**

<b>Unidades</b>	<b>Químicas</b>	<b>Tipos de danos</b>	<b>Indexador de dano por fogo ou explosão (A)</b>	<b>Indexador de dano tóxico (B)</b>
Reator 1	Butadieno	Fogo e explosão	511,50	56,78
Reator 2	Dióxido Sulfúrico	Liberação tóxica	432,12	100,00
Reator 3	Hidrogênio	Fogo e explosão	377,12	100,00
Linha 11	Butadieno	Fogo e explosão	243,20	25,67
Linha 12	Dióxido Sulfúrico	Liberação tóxica	154,67	87,10
Linha 14	Sulfoleno	Fogo e Liberação tóxica	138,74	57,60
Linha19	Hidrogênio	Fogo, Explosão e Liberação tóxica	341,78	95,67
Reator 1	Butadieno Sulfuroso	Fogo, Explosão e Liberação tóxica	467,34	85,67
Reator 2	Hidrogênio, Sulfoleno	Fogo, Explosão e Liberação tóxica	415,30	76,67
Evaporador	Dióxido Sulfúrico, Sulfoleno	Fogo, Explosão e Liberação tóxica	338,34	87,30
Bomba 3	Dióxido Sulfúrico	Liberação tóxica	67,57	87,56
Bomba 5	Butadieno	Fogo e Explosão	63,62	35,41
Bomba 7	Hidrogênio	Fogo e Explosão	58,51	21,23

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p.52)

A – Indexador de Fogo e Explosão representa raio de danos em metros;

B – Indexador de dano tóxico que representa em percentagem o que uma pessoa pode ser afetada em uma área de 500 metros de raio;

**Tabela 5** - Probabilidade de ocorrência de diferentes eventos acidentais em várias unidades em plantas de fábrica de sulfoleno

Unidades	Tipo de Risco	Frequência de Perigo /ano
Armazenamento 1	Fogo e explosão	$8.1 \cdot E^{-06}$
Armazenamento 2	Lançamento tóxico	$5.5 \cdot E^{-05}$
Armazenamento 3	Fogo, explosão e lançamento tóxico	$3.34 \cdot E^{-05}$
Linha 11	Fogo e explosão	$1.2 \cdot E^{-03}$
Linha 12	Lançamento tóxico	$3.2 \cdot E^{-03}$
Linha 14	Fogo, explosão e lançamento tóxico	$5.4 \cdot E^{-04}$
Linha 19	Fogo, explosão e lançamento tóxico	$7.05 \cdot E^{-04}$
Reator 1	Fogo e explosão	$3.2 \cdot E^{-05}$
Reator 2	Fogo, explosão e lançamento tóxico	$1.5 \cdot E^{-05}$
Bomba 2	Lançamento tóxico	$2.5 \cdot E^{-03}$
Bomba 5	Fogo e explosão	$3.6 \cdot E^{-03}$
Bomba 7	Fogo, explosão e lançamento tóxico	$3.8 \cdot E^{-03}$

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p.54)

**Tabela 6** - Lista de importantes eventos iniciais (eventos básicos) que podem levar a uma explosão de reator de produção de sulfureto com Índice de Melhoria – IM

<b>Eventos iniciais</b>	<b>Índice de Melhoria</b>
1. Fracasso do controlador de proporção	15,21
2. Válvula V-1 emperrada	0,05
3. Válvula V-2 emperrada	0,175
4. Falha no Controlador de fluxo FC1	1,23
5. Falha no Controlador de fluxo FC2	0,85
6. Falha no Controlador de fluxo FC3	0,05
7. Falha no Controlador de temperatura TC-1	1,75
8. Falha no Controlador de temperatura TC-2	2,35
9. Temperatura T1 é alta	5,15
10. Resfriamento de colisão em Jaqueta	3,25
11. Válvula V-3 emperrada	1,75
12. Quantidade suficiente de líquido de refrigeração	1,95
13. Falha na bomba PC1	1,87
14. Vazamento na linha - L11	0,50
15. Vazamento na linha - L12	0,75
16. PC (Controlador de Pressão) na linha - L11	0,075
17. PC (Controlador de Pressão) na linha - L12	0,10
18. Bomba 1 não está trabalhando	0,06
19. Bomba 2 não está trabalhando	0,06
20. Falha no motor agitador	2,52
21. Falha no controle da velocidade do sistema de agitação	1,05
22. Eixo do agitador quebrado	0,05
23. Falha no sensor de temperatura do reator	7,53
24. Falha no Controlador e Registrador de Temperatura - TRC	10,55
25. Sistema de emergência não funciona	25,65
26. Butadieno impuro	1,15
27. SO <sub>2</sub> impuro	2,15
28. Concentração de solvente abaixo do limite permissível	1,50

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p.54)

**Tabela 7** - Resultado de análises de consequência para acidente em reator de produção de sulfureto (Reator 1)

Eventos que danificam	Distância (metros)			
	200	500	700	1000
Cenário de acidentes: Lançamento tóxico, seguido por dispersão, faísca e fogo				
Calor intenso (kW/m <sup>2</sup> )	3,59	1,62	0,22	0,06
Pico de alta pressão (kPa)	334,10	165,75	51,24	25,16
Onda de choque (m/s)	485,13	365,72	165,45	78,95
Efeito de projétil				
Efeito de velocidade (m/s)	433,14	251,65	78,88	34,15
Energia cinética de projétil (kJ/m <sup>2</sup> )	627,34	314,18	198,45	72,34
Fogo: faísca de fogo				
Aquecimento intenso (kJ/m <sup>2</sup> )	532,45	334,38	192,55	76,69
Lançamento tóxico e dispersão				
Carga tóxica (ppm)	2277,00	1198,00	477,00	165,00

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p.56)

**Tabela 8** - Efeito letal de várias potencialidades sobre a área devido a um acidente em reator de sulfureto (Reator 1)

Efeitos letais	Distância (metros)			
	200	500	700	1000
(%) Chances de efeitos particulares				
100% letal por radiação	100	91	76	42
50% dano devido a onda de choque	100	72	55	32
100% letal devido a gás tóxico	100	100	73	45
100% chances de dano devido a projétil	100	85	31	19

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p.57)

**Tabela 9** - Resultado de análises de consequência para acidente em reator de hidrogênio (Reator 2)

Efeitos perigosos	Distância (metros)			
	200	500	700	1000
Cenário de acidentes: Lançamento de bola de fogo				
Calor intenso ( $\text{kW/m}^2$ )	2,18	0,98	0,14	0,044
Pico de alta pressão (kPa)	193,12	146,76	39,56	18,64
Onda de choque (m/s)	428,41	326,23	131,45	56,45
Efeito de projétil				
Efeito de velocidade (m/s)	355,34	198,41	65,24	26,413
Energia cinética de projétil ( $\text{kJ/m}^2$ )	574,21	245,86	110,34	35,67
Fogo: faísca de fogo				
Aquecimento intenso ( $\text{kJ/m}^2$ )	471,20	301,30	115,34	56,30

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p. 56)

**Tabela 10** - Efeito letal de várias potencialidades sobre a área devido a um acidente em reator de hidrogênio (Reator 2)

Efeitos letais	Distância (metros)			
	200	500	700	1000
(% ) Chances de efeitos particulares				
100% letal por radiação	100	85	63	25
50% dano devido a onda de choque	87	61	34	18
100% letal devido a gás tóxico	87	61	34	18
100% chances de dano devido a projétil	82	55	23	06

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p.56)

**Tabela 11** - Resultado de análises de consequência para acidente em unidades de estocagem (butadieno e dióxido de enxofre)

Eventos que danificam	Distância (metros)			
	200	500	700	1000
Cenário de acidentes: Lançamento tóxico, seguido por dispersão, faísca e fogo				
Calor intenso ( $k/m^2$ )	5,23	4,21	3,19	1,97
Pico de alta pressão (kPa)	535,63	405,23	324,21	157,45
Onda de choque (m/s)	765,34	573,34	302,65	187,23
Efeito de projétil				
Efeito de velocidade (m/s)	611,73	487,45	333,23	189,23
Energia cinética de projétil ( $kJ/m^2$ )	874,45	613,34	435,67	284,75
Fogo: faísca de fogo				
Aquecimento intenso ( $kJ/m^2$ )	671,23	413,45	298,23	179,45
Lançamento tóxico e dispersão				
Carga tóxica (ppm)	3774,00	2011,00	987,00	245,00

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p.56)

**Tabela 12** - Efeito letal de várias potencialidades sobre a área devido a um acidente em unidades de estocagem (butadieno e dióxido de enxofre)

Efeitos letais	Distância (metros)			
	200	500	700	1000
(%) Chances de efeitos particulares				
100% letal por radiação	100	100	93	71
50% dano devido a onde de choque	100	100	81	65
100% letal devido a gás tóxico	100	100	100	100
100% chances de dano devido a projétil	100	100	78	54

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p.57)



**Tabela 13** - Resultado de análises de consequência para acidente em linhas de tubo

Efeitos perigosos	Distância (metros)			
	200	500	700	1000
Linha de tubo número 11 contendo butadieno				
Cenário de acidente: lançamento contínuo seguido de faísca e fogo				
Fogo: faísca de fogo				
Calor intenso ( $\text{kW/m}^2$ )	312,45	176,67	98,56	34,78
Linha de tubo número 19 contendo hidrogênio				
Cenário de acidente: lançamento instantâneo e contínuo seguido de bola de fogo				
Fogo: faísca de fogo				
Aquecimento intenso ( $\text{kJ/m}^2$ )	413,56	225,47	108,45	35,56

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p.57)

**Tabela 14** - Efeito letal de várias potencialidades sobre a área devido a um acidente em linhas de tubo

Efeitos letais	Distância (metros)			
	200	500	700	1000
(%) Chances de efeitos particulares				
100% letal por radiação	87	65	21	09
50% dano devido a onda de choque	-	-	-	-
100% letal devido a gás tóxico	-	-	-	-
100% chances de dano devido a projétil	-	-	-	-

Fonte: Khan e Abbasi (2001 p.57)

**Tabela 15 – Acidentes químicos ampliados - nível global com mais de 20 óbitos de 1970 a 1984**

Ano	País	Tipo de Acidente	Substância	Mortes
1970	Japão	Explosão	Gás	92
1972	EUA	Explosão em coqueria	Propano	21
	Japão	Vazamento de 6 indústrias	Desconhecido	76
	Brasil	Explosão em refinaria	Propano e GLP	38
1973	EUA	Incêndio em refinaria	GLP	40
1974	Inglaterra	Vazamento seguido de Explosão	Ciclohexano	28
1976	Finlândia	Explosão	Explosivos	43
1977	Coréia do Sul	Explosão de trem	Explosivos	56
	Colômbia	Vazamento em indústria	Amônia, Nitrato e Carbamida	30
1978	Espanha	Acidente de transporte Rodoviário	Propileno	216
	México	Explosão	Butano	100
	México	Explosão de gasoduto	Gás	58
1979	U.R.S.S.	Acidente em fábrica	Produtos químicos	300
	Irlanda	Explosão em tanque de óleo	Óleo	50
	Turquia	Explosão de transporte marítimo	Óleo	55
	China	Naufrágio de navio de Óleo	Óleo	72
	EUA	Explosão e incêndio em tanque	Óleo cru	32
1980	Índia	Explosão em 2 fábricas	Explosivos	40 + 80
	Irã	Explosão em depósito de explosivos	Nitroglicerina	80
	Espanha	Explosão	Explosivos	51
	Tailândia	Explosão de armamentos	Explosivos	54
1981	Venezuela	Explosão	Hidrocarbureto	145
	México	Descarrilamento de trem	Cloro	28
1982	Canadá	Naufrágio de navio de Óleo	Óleo	84
	EUA	Naufrágio de navio de Óleo	Óleo	51
	Noruega	Naufrágio de navio de Óleo	Óleo	123
	Espanha	Explosão	Explosivos	51
	Tailândia	Explosão de munições	Explosivos	54
	Venezuela	Explosão	Hidrocarbonos	145
1983	Brasil	Explosão de trem	Diesel e petróleo	45
1984	Brasil	Explosão de oleoduto	Petróleo	508
	Brasil	Explosão de plataforma de petróleo	Petróleo	40
	México	Explosão de reservatório	Gás líquido	550
	Índia - Bhopal	Vazamento em indústria química	Metil-isocianato	> 2500
	Paquistão	Explosão de gasoduto	Gás natural	60
	Romênia	Explosão em fábrica	Não informado	100
	Índia	Transporte rodoviário	Petróleo	60

Fonte: Adaptação de Freitas et al (1995 p.506)

**Tabela 16 - Principais valores estatísticos das variáveis analisadas**

	Nº de mortos	Nº de feridos	Nº de evacuados	Dano material *
Nº acidentes	1.694,00	1.482	554	280
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	2.001,00	10.000	200.001	428,46
Média	5,09	26,6	2.157,7	23,98
Moda	0	0	0	5,469
Mediana	1	3	2	3,845
Desvio Padrão	51,91	280,6	13.932	60,208

Fonte: Carol et al, 2002 p.518

\* Dano material por ano em 2.000 milhões de dólares

**Tabela 17 - Incidentes registrados em MHIDAS após o ano de 1974 que resultaram em mais de 100 mortes**

Nº de Acidentes	Data	Cidade	País	Nº mortes	Substância	Evento
7.861	31/01/96	Shaoyang	Coréia	101	Dynamite	<b>Explosão</b>
7.172	02/11/94	Dronka	Egito	581	Óleo de avião	<b>Fogo</b>
5.219	31/10/91	Pyongyang	Coréia	121	Dynamite	<b>Explosão</b>
5.150	30/10/91	Pyongyang	Coréia	111	Munição	<b>Explosão</b>
1.098	03/12/84	Bhopal	Índia	2.001	Metil isocianeto	Liberção de nuvem de gás, atingindo uma área de 42 Km <sup>2</sup> .
989	19/12/82	Tacoa	Venezuela	154	Óleo combustível	<b>Explosão</b> seguida de fogo.
420	19/11/84	San Juanico	Mexico	501	LPG	<b>BLEVE</b>

Fonte: Carol et al, 2002 p.518

**BLEVE** - Explosões de vapor expandido de líquido fervendo (submetido a altas temperaturas) – “*boiling liquid expanding vapor explosions*”

**Tabela 18 - Incidentes ocorridos no Brasil nos anos de 2000 e 2001**

<b>Ano</b>	<b>Local</b>	<b>Evento</b>
janeiro de 2000	Baía de Guanabara (RJ)	Vazamento de duto – 1,3 milhão de litros de óleo cru (petróleo)
junho de 2000	Ilha do Governador (RJ)	Vazamento em terminal - 380 mil litros de óleo (petróleo)
junho de 2000	Refinaria de Capuava (SP)	Explosão – 35 toneladas de poeira branca
Julho de 2000	Refinaria em Araucária (PR)	Vazamento – 3,9 milhões de litros de óleo
novembro de 2000	Terminal de São Sebastião (SP)	Vazamento de navio – 86 mil litros de óleo
março de 2001	Campos (RJ)	Explosão seguida de naufrágio da Plataforma P-36 (RJ) – 11 mortes
maio de 2001	Tamboré (SP)	Vazamento de duto em condomínio residencial – 200 mil litros de óleo
outubro de 2001	Paranaguá (PR)	Encalhe de navio seguido de vazamento no porto – 400 mil litros de nafta

**Fonte:** (Greenpeace, 2003)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABQUIM – **Associação Brasileira de Indústrias Químicas**. 2002.  
Coletado na Internet em 02 de outubro de 2003.

BATEMAN, I. e TURNER, R. Kerry. ***Valuation of the Environmental. Methods and Technics: The Contingent Valuation Method***. In: Turner R. Kerry. Sustainable Environmental Economics and Management. Principles and Practices. London: Belhaven Press. 1992.

BRAGA, Paola Liziane Silva, ABDALLAH, Patrícia Raggi. **Valoração Contingente - Estudo de Caso: Estação Ecológica Do Taim, RS**. Centro de Estudos em Economia e Meio Ambiente – CEEMA. Departamento de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis – DCEAC. Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG. 2005.

CACCIABUE, Pietro C. ***Human factors impact on risk analysis of complex systems***. *Journal of Hazardous Materials* 71 2000 101–116. Commission of the European Communities, Joint Research Centre, Institute for Systems, Informatics and Safety, Via E. Fermi, 1, Ispra, 21020 Varese, Italy.

CAROL, S., VILCHEZ, J.A., CASAL, J. ***Study of the severity of industrial accidents with hazardous substances by historical analysis***. Centre d'Estudis del Risc Tecnològic (CERTEC), Department of Chemical Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya, ETSEIB. Diagonal 647, 08028 Barcelona, Catalonia, Spain. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 15 (2002) 517–524.

CHRISTOU e PORTER, S. (Editors). ***Guidance On Land Use Planning As Required By Council Directive 96/82/Ec (Seveso II)***. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1999. ISBN 92-828-5899-5. European Communities, 1999. Printed in Italy.

COASE, Ronald. ***The problem of social cost***. *Journal of law and economics*, V. 3, 1- 44. 1960.

COELHO, Carlos Nayro. **A Lei Agrícola Americana de 2002 e o Comércio Mundial**.

CONTADOR, Cláudio R.. **Projetos Sociais – Avaliação e Prática**. Editora Atlas. 4ª Edição. São Paulo. 2000.

DHARA, V. Ramana; DHARA, Rosaline. ***The Union Carbide Disaster in Bhopal: A Review of Health Effects***. Archives of Environmental Health. September/October 2002 [Vol. 57 (No. 5)].

DIESAT - **Departamento Intersindical de Estudos e Pesquisas de Saúde e dos Ambientes de Trabalho**.

DIRETIVA SEVESO II, **Council Directive 96/82/EC (Seveso II)** - Comissão das Comunidades Europeias, 2001.

EPA, US Environmental Protection Agency. **Guidance for performing aggregate exposure and risk assessments. Guiding principles for Monte Carlo analysis.** EPA/630/R-97/001, 1997.

EVAN, William M. e MANION, Mark. **Minding the Machines: Preventing Technological Disasters.** Publicado por Prentice Hall PTR, em 15 de abril de 2002, ISBN 0-13-065646-1.

FANTAZZINI, Mário LUIZ; SILVA, Fernanda Laureti Thomaz da. **Série de Riscos. Proteção**, Novo Hamburgo, n. 39, p. 30-34, março de 1995.

FARIA, Ricardo Coelho. Um Teste Empírico do Modelo *Bidding Game* de Avaliação Contingente. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Economia. Dissertação de Mestrado, 1998, 110p.

FAUCHEUX, S.; NOEL, J.F. **Économie des ressources naturelles et de l'environnement.** Paris: Armand Colin, 1995.

FONTENELE, Raimundo Eduardo Silveira; ARAÚJO, José Carlos de. **Tarifa de Água como Instrumento de Planejamento dos Recursos Hídricos da Bacia do Jaguaribe - CE.** Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 32, n.2 p.234-251, abr-jun. 2001.

FREITAS, Carlos Machado de; PORTO, Marcelo F. S. e GOMEZ, Carlos. **The increase in chemical accidents: a challenge for public health – Acidentes químicos ampliados: um desafio para a saúde pública.** Centro de Estudo da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana. Escola de Saúde Pública (FIOCRUZ) – Rio de Janeiro, Rj. Revista de Saúde Pública, 29(6) 503-514. 1995.

FREITAS, Carlos Machado de; PORTO, Marcelo F. S.; PIVETTA, Fátima; MOREIRA, Josino Costa; MACHADO, Jorge M. H.. **Poluição química ambiental – um problema de todos, que afeta alguns mais do que os outros.** Bahia Análise de Dados, Salvador – Bahia. SEI v. 10 n. 4, p. 260-270. Março de 2001.

FTHENAKIS, V.M. **A release of nitrogen oxides in Bogalusa, Louisiana and similarities of causation to the Bhopal MIC release.** Environmental Sciences Department, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973-5000, USA. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 14 (2001) 245–250.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde. **Controle de Vetores – Procedimentos de Segurança.** Brasil. 2001.

GREENPEACE Brasil - Organização não Governamental.  
Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br>.  
Coletado na Internet em 2 de outubro de 2003.

GREENPEACE: 03-12-2004 - Bhopal (Índia) **Bhopal: 20 anos depois, Dow Química ainda não pagou pelo desastre.**

GUPTA, Jai P. **The Bhopal gas tragedy: could it have happened in a developed country?** Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur,

Kanpur – 208016, India. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 15 (2002) 1–4.

HENDERSHOT Dennis C., NESS, Albert I.. **Some Reactive Chemistry Incidents and How They Could Have Been Prevented.** For presentation at the International Conference on the 20th Anniversary of the Bhopal Gas Tragedy – Bhopal and its Effects on Process Safety Indian Institute of Technology. Kanpur, India. December 1-3, 2004.

**International Conference on the 20th Anniversary of the Bhopal Gas Tragedy,** December 1-3, 2004, Indian Institute of Technology, Kanpur. Conference Statement.

IOANNIDIS, C.; Logothetis, C.; Potsiou, C.; Kiranoudis, C.; Christolis, M.; Markatos, N., **Spatial Information Management for Risk Assessment of Major Industrial accidents.** Paper presented at the FIG Commission 3 Annual Meeting and Seminar. Budapest, Hungary, 1999.

JONKMAN, S.N; Gelder, P.H.A.J.M. van; Vrijling J.K.; **An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage.** *Journal of Hazardous Materials A99* (2003) 1–30. 2002.

KALELKAR, Askok, LITTLE, Arthur. **Investigation of large-magnitude incidents: Bhopal as a case study.** In: Conference on Preventing Major Chemical Accidents London, 1998. Electronic proceedings.

KANIA, John; Smith, Natalie; Work, Lori; and Mezo, Nancy. **Bhopal: A Case Study of the Absence of Integrity.** MCEN 4/5228 – *Environmental Toxicology*. December 6, 2002.

KHAN, Faisal I, ABBASI, S. A. **Risk analysis of a typical industry using ORA procedure.** *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 154 (2001) 43 – 59.

KHAN, Faisal I, Memorial University of Newfoundland. **Use Maximum-Credibile Accident Scenarios for Realistic and Reliable Risk Assessment. Safet.** Posing various possible incidents — rather than just the worst-case one — illuminates those that are really important and are most likely. Such knowledge can enhance safety and planning for emergencies. 2001.

KHAN, Faisal I; Abbasi; S. A. **The World's Worst Industrial Accident of What Happened and the 1990s. What Might Have Been : A Quantitative Study.** Computer Aided Environmental Management Unit, Centre for Pollution Control & Energy Technology, Pondicherry University, Kalapet, Pondicherry - 605 014, India. 1999.

KHAN, Faisal I; Abbasi; S. A. **Risk analysis of a typical chemical industry using ORA procedure.** *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 14 (2001) 43–59.

KHAN, Faisal I, ABBASI, S. A. **A criterion for developing credible accident scenarios for risk assessment.** *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 15 (2002) 467 – 475.

KHAN, Faisal I; Husain, Tahir; Abbasi; S.A.. **Safety Weighted Hazard Index (SWeHI): a new user-friendly tool for swift yet comprehensive hazard identification and safety evaluation in chemical process industries.** *Trans IChemE*, 79 (B), 66-80. Referenciado na publicação de KHAN, Husain e Abbasi (2002).

KHAN, Faisal I; Husain, Tahir; Abbasi; S.A.. (2002). **Design and evaluation of safety measures using a newly proposed methodology "SCAP"**. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 15 (2002) 129–146.

KIRCHSTEIGER, Christian. **On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis.** *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 12 (1999) 399 – 419. European Commission, DG JRC, Systems Modelling and Assessment Unit, Major Accident Hazards Bureau, TP 670, 21020 Ispra (Va), Italy.

KIRCHSTEIGER, C., EC DG-JRC, MAHB. **MARS - Major Accident Reporting System.** *An Electronic Documentation and Analysis System for Industrial Accidents Data. Technical Guideline on Reporting Accidents to the MARS Database.* 2001.

KLETZ, Trevor A. **Eliminação dos riscos oriundos dos processos.** Tradução e adaptação de André Leite Alckmin. São Paulo: APCI, RODHIA S.A. 35 p. Citado por Souza, Evandro Abreu de. Dissertação de Mestrado na Universidade de Santa Catarina.

KNUTH, Kátia Regina. **Gestão Ambiental: Um Estudo de Caso para o Setor Têxtil – S.C.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. 2001.

KONSTANDINIDOU, N., RIGAS, F., CENTOLA P., REGGIO, G. T. **Safety Analysis and Risk Assessment in a New Pesticide Production Line.** *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 16 (2003) 103 – 109.

KORTE, F. COUSTON, F. **Some Considerations of the Impact of Energy and Chemicals on the Environment.** *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, n. 19 p. 219-227. 1994.

LLORY, M. **Acidentes Industriais: o custo do silêncio.** Apud Rezende 2005. Rio de Janeiro: MultiMais Editorial, 1999. 320p.

MAFFEI, José Carlos. **Estudo de Potencialidade da Integração de Sistemas de gestão da qualidade, meio ambiente, segurança e saúde ocupacional.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

MAINIER, Fernando B.. **Os acidentes químicos: um alerta para as disciplinas de processos industriais.** Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Química, GESET - Grupo de Estudos Sobre Ensino Tecnológico. Rio de Janeiro, Rj. 2001.



MARGULIS, Sergio. **A Regulamentação Ambiental: Instrumentos e Implementação**. Texto para Discussão N° 437. Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. ISSN 1415-4765.1996.

MARQUES, João Fernando e Comune, Antônio Evaldo. Quanto Vale o Meio Ambiente: Interpretações sobre o Valor Econômico Ambiental. Anais do XXIII Encontro Nacional de Economia. Salvador: 12 a 15 de dezembro de 1995, p. 633-651.

MILAZZO, M.F.; Lisi, R.; Maschio, G.; Antonioni, G.; Bonvicini, S.; Spadoni, G.. **HazMat transport through Messina town: from risk analysis suggestions for improving territorial safety**. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 15 (2002) 347–356.

MOSCHANDREAS, D.J., Karuchit, S.. **Scenario–Model–Parameter: A New Method of Cumulative Risk Uncertainty Analysis**. Environment International, Volume 28, Issue 4, September 2002, Pages 247-261. 2002.

MUELLER, Charles Curt. **Economia e Meio Ambiente pelo Prisma do Mundo Industrializado: Uma Avaliação da Economia Ambiental Neoclássica**. Brasília: Departamento de Economia da UnB, Texto para Discussão N ° 208, 1995.

MUELLER, Charles Curt. **Manual de Economia do Meio Ambiente. Parte III – A Economia Ambiental Neoclássica**. Departamento de Economia – UnB. Março de 2001.

NETHCONSULT - BKH Consulting Engineers. **Planning for Emergencies Involving Dangerous Substances for Slovenia 360006-23-RP-110, Issue A**. Project: Planning for Emergencies Involving Dangerous Substances for Slovenia, Sub-contractor: Project Management Group. Contract N°: SL-0081.0011.01. Project N°: PM.00.11.01/HZ. Regional Environment Accession Project. Subcontractors: AEA Technology, URS / Dames & Moore. EPCE - Project Management Group. REC Hungary. 28 February 2002.

NOGUEIRA, Jorge Madeira. **Crítérios e Análise Econômicos na Escolha de Políticas Ambientais**. Universidade de Brasília. 1999.

OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development*. **Environmental Outlook for the Chemicals Industry**. France. 2001.

OLIVEIRA, Antonio Carlos Barros de. **Como os organismos certificadores atuam nas auditorias integradas**. In: ECOLATINA, 2000, Belo Horizonte. Anais eletrônicos. Belo Horizonte: IETEC, 2000.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural Resources and Environment**. Harvester Wheatsheaf, London, 1990.

PIGOU, A. C., **The Economics of Welfare**, 4ª ed. (londres: Macmillan).

PINDICK, Robert S., RUBINFELD, Daniel L.. **Microeconomia**. Makron Books e Pearson Education do Brasil. São Paulo. 4ª Edição. ISBN: 85.346.1072-X. 1999.

REZENDE, June Maria Passos. **Caso SHELL/CYANAMID/BASF: epidemiologia e informação para o resgate de uma precaução negada.** Tese de Doutorado apresentada à Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Saúde Coletiva, área de Epidemiologia, 2005.

SANTOS, J.A. M. dos, e SCHIOZER, Denis José. **Quantifying Production Strategy Impact in Risk Analysis of an E&P Project Using Reservoir Simulation.** Society of Petroleum Engineers. SPE 79679. SPE International. 3-5, Fevereiro de 2003.

SANTOS, Robson Ribeiro Rangel dos. **Análise dos Vínculos entre os Certificados Verdes e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – A Perspectiva de Aplicação de Certificados Verdes no Brasil.** Dissertação submetida ao corpo docente da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Planejamento Energético. Abril de 2005.

SEVESO - **Directiva 96/82/CE del Consejo**, de 9 de diciembre de 1996, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

SILVA, Marco Cícero da. **Acidentes de Trabalho e Diferenciais de Salário: Método dos Preços Hedônicos no Estudo do Mercado de Trabalho da Região Sul Brasileira.** Dissertação apresentada como requisito à obtenção do título de Mestre em Economia - Gestão Econômica do Meio Ambiente do Programa de Pós-Graduação em Economia - Departamento de Economia da Universidade de Brasília - UnB. Março de 2005. Brasil.

SILVA, Renato Das Chagas. **Manual de Análise de Riscos Industriais.** Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM. Rio Grande do Sul, Brasil. 2001.

SOARES, Sebastião Roberto. **Nota de aula nº 5: Gestão e Planejamento Ambiental.** Universidade Federal de Santa Catarina - Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental. 2001.

SONNEMANS, Peter J.M., e Körvers, Patrick M.W.. **Accidents in the chemical industry: are they foreseeable?** *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* June 2005. Volume 19, Issue 1, January 2006, Pages 1-12

SOUSA, Maria da Conceição Sampaio de. **Bens Públicos e Externalidades.** 2005.

SOUZA Jr, Álvaro R. de. **Emergency Planning for Hazardous Industrial Areas: A Brazilian Case Study.** *Risk Analysis*, Vol. 20, No. 4. 2000.

SOUZA, Carlos Augusto Vaz de, FREITAS, Carlos Machado de. **Occupational accidents in an oil refinery in Brazil - Perfil dos acidentes de trabalho em refinaria de petróleo.** *Revista de Saúde Pública.* 2002; 36(5): 576-83.

SOUZA, Evandro Abreu de. **O Treinamento e a Gerência de Riscos – uma Proposta de Instrução Programada.** Dissertação submetida à Universidade Federal

de Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre em Engenharia. Florianópolis.1995.

TISDELL, Clement A. ***Economics of Environmental Conservation***. (Londres e Nova York: ELSEVIER, 1991). Apud Nogueira, Jorge Madeira.

TIXIER, J., DUSSERRE, G., SALVI, O., GASTON, D.. ***Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants***. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 15 (2002) 291-303. França.

*Union Carbide – Bhopal Information Center*. Disponível em [www.Bhopal\Bhopal.Frequently Asked Questions.htm](http://www.Bhopal\Bhopal.Frequently Asked Questions.htm). Coletado na Internet em 18 de abril de 2005.

Varian, Hal R..**Microeconomia – Princípios Básicos. Uma Abordagem Moderna**. 5ª Edição Americana. 4ª Tiragem. Editora Campus. ISBN 85-352-040565-9. Ano 2000.

***Wikipedia, the free encyclopedia***. Disponível no site: [http://en.wikipedia.org/wiki/Wikimedia\\_Foundation](http://en.wikipedia.org/wiki/Wikimedia_Foundation) .

---