

**CETESB**

*desse*

**MANUAL DE ORIENTAÇÃO PARA A ELABORAÇÃO  
DE ESTUDOS DE ANÁLISE DE RISCOS**

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez  
Av. Prof. Frederico Hermann Júnior, 345 - Finhoteq  
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

ARQUIVO TECNICO

1994

0200  
C157m(RCET)  
032295



04016  
032295

## Sumário

	<b>Pág.</b>
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. ESTRUTURA DE ESTUDOS DE ANÁLISE DE RISCOS	2
3.1 Caracterização do Empreendimento e da Região	4
3.2 Classificação do Perigo Potencial	5
3.2.1 Índice Dow de Incêndio e Explosão	6
3.2.2 Índice Mond de Incêndio, Explosão e Toxicidade	6
3.2.3 Diretriz de Seveso	7
3.3 Identificação de Perigos	8
3.3.1 Análise Crítica do Empreendimento	9
3.3.2 Análise Histórica de Acidentes	10
3.3.3 Aplicação de Técnicas para Identificação de Perigos	11
3.3.3.1 Listas de Verificação - Checklists	12
3.3.3.2 Análise "E se ... ?" - "What If ... ?"	13
3.3.3.3 APP - Análise Preliminar de Perigos	13
3.3.3.4 AMFEC - Análise de Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade	14
3.3.3.5 HazOp - Estudos de Perigos e Operabilidade	16
3.3.4 Definição de Hipóteses Acidentais	17
3.4 Análise de Consequências e Avaliação de Vulnerabilidade	18
3.4.1 AAE - Análise de Árvore de Eventos	18
3.4.2 Análise de Consequências	19
3.4.3 Avaliação de Vulnerabilidade	20
3.4.4 Redução das Consequências	21
3.5 Estimativa das Frequências	22
3.5.1 AAF - Análise de Árvore de Falhas	22
3.5.2 Redução das Frequências	23

	<b>Pág.</b>	
3.6	Avaliação dos Riscos	24
3.6.1	Definições	27
3.6.2	Formas de Expressão	27
3.6.3	Critérios Internacionais	28
3.6.3.1	Holanda	28
3.6.3.2	Dinamarca	29
3.6.3.3	Inglaterra	31
3.6.3.4	Brasil	33
3.7	Gerenciamento dos Riscos	33
3.7.1	Plano de Emergência	34
4.	<b>BENEFÍCIOS DA ANÁLISE DE RISCOS</b>	36
5.	<b>EQUIPE TÉCNICA</b>	37
6.	<b>ANEXOS</b>	38
6.1	Anexo I - Exemplos de Planilhas e Tabelas de Técnicas para Identificação de Perigos	39
6.2	Anexo II - Definições	45
6.3	Anexo III - Referências Bibliográficas	52

## 1. INTRODUÇÃO

Os constantes acidentes envolvendo o setor industrial nas áreas relacionadas ao transporte, armazenamento e processamento de substâncias químicas e petroquímicas, têm sido fonte permanente de preocupação dos profissionais ligados à segurança, saúde e meio ambiente, na busca de instrumentos cada vez mais eficazes para a prevenção e controle desses eventos.

O gerenciamento dos riscos de um empreendimento requer o desenvolvimento de estudos específicos, através da utilização de técnicas estruturadas, com o objetivo de identificar e analisar perigos e avaliar os riscos de acidentes e seus efeitos sobre o meio ambiente e a saúde pública, visando a implementação de medidas mitigadoras para o controle dessas situações.

De maneira geral, o *Risco* pode ser definido como função da probabilidade de ocorrência de um evento indesejado e das consequências ocasionadas pelo mesmo, em termos de danos ao homem, perdas financeiras e/ou impactos ao meio ambiente.

A existência de técnicas avançadas para a avaliação de riscos tem proporcionado ao governo e às indústrias a possibilidade de, em conjunto, gerenciarem soluções técnicas para a administração dos mesmos. Tais técnicas são importantes instrumentos para a previsão do comportamento de plantas industriais complexas, possibilitando a identificação de anomalias no funcionamento de seus sistemas, propiciando assim os subsídios necessários para a definição de alternativas para compatibilizar os aspectos de segurança e do meio ambiente com os objetivos de produção.

Desta forma, a CETESB, com base na experiência adquirida ao longo dos últimos anos na área de *Prevenção e Gerenciamento de Riscos*, desenvolveu este manual, procurando colocar à disposição dos interessados ou envolvidos com o assunto, um material técnico de teor informativo, contemplando as informações básicas para a elaboração de estudos de análise de riscos em atividades industriais.

Deve-se ressaltar que o material aqui apresentado não pretende esgotar o assunto, carecendo portanto de aperfeiçoamento, que só virá com a experiência e o conhecimento adquiridos ao longo do tempo e que está diretamente relacionado às condições específicas e peculiaridades dos sistemas a serem estudados, bem como das diferentes regiões onde os mesmos estiverem localizados.

CETESB - COMANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

## 2. OBJETIVO

O presente manual tem por objetivo fornecer as orientações básicas para a elaboração de estudos de análise de riscos em atividades industriais, propiciando um entendimento geral sobre o tema, e ainda, apresentar a visão da CETESB no tocante à interpretação e avaliação desses estudos.

Desta forma, a avaliação dos riscos por parte da CETESB ficará restrita aos danos à população e ao meio ambiente *externos* ao empreendimento em análise, não contemplando, por exemplo, riscos à saúde e à segurança dos trabalhadores ou danos aos bens patrimoniais das instalações analisadas.

Entende-se por consequências externas, os danos causados às pessoas (mortes e lesões) e os impactos ao meio ambiente nas áreas circunvizinhas, situadas além dos limites físicos da instalação envolvida.

O roteiro aqui proposto tem como base um termo de referência único, que poderá ser adotado independentemente do estágio em que se encontra um determinado empreendimento perante ao atual sistema de licenciamento ambiental vigente no Estado de São Paulo.

Deve-se ressaltar que, de acordo com as características do empreendimento, esse termo de referência poderá sofrer eventuais alterações em termos de detalhamento do estudo.

Cabe ainda lembrar que este manual não deve ser utilizado como um guia obrigatório a ser adotado quando da elaboração desses estudos, uma vez que cada empreendimento deve ser analisado de forma específica. Assim, um determinado estudo poderá ser elaborado através de uma outra estrutura e com a aplicação de técnicas diferenciadas, independentemente do proposto neste documento, o qual, como já comentado, deve ser utilizado como um manual básico de orientação.

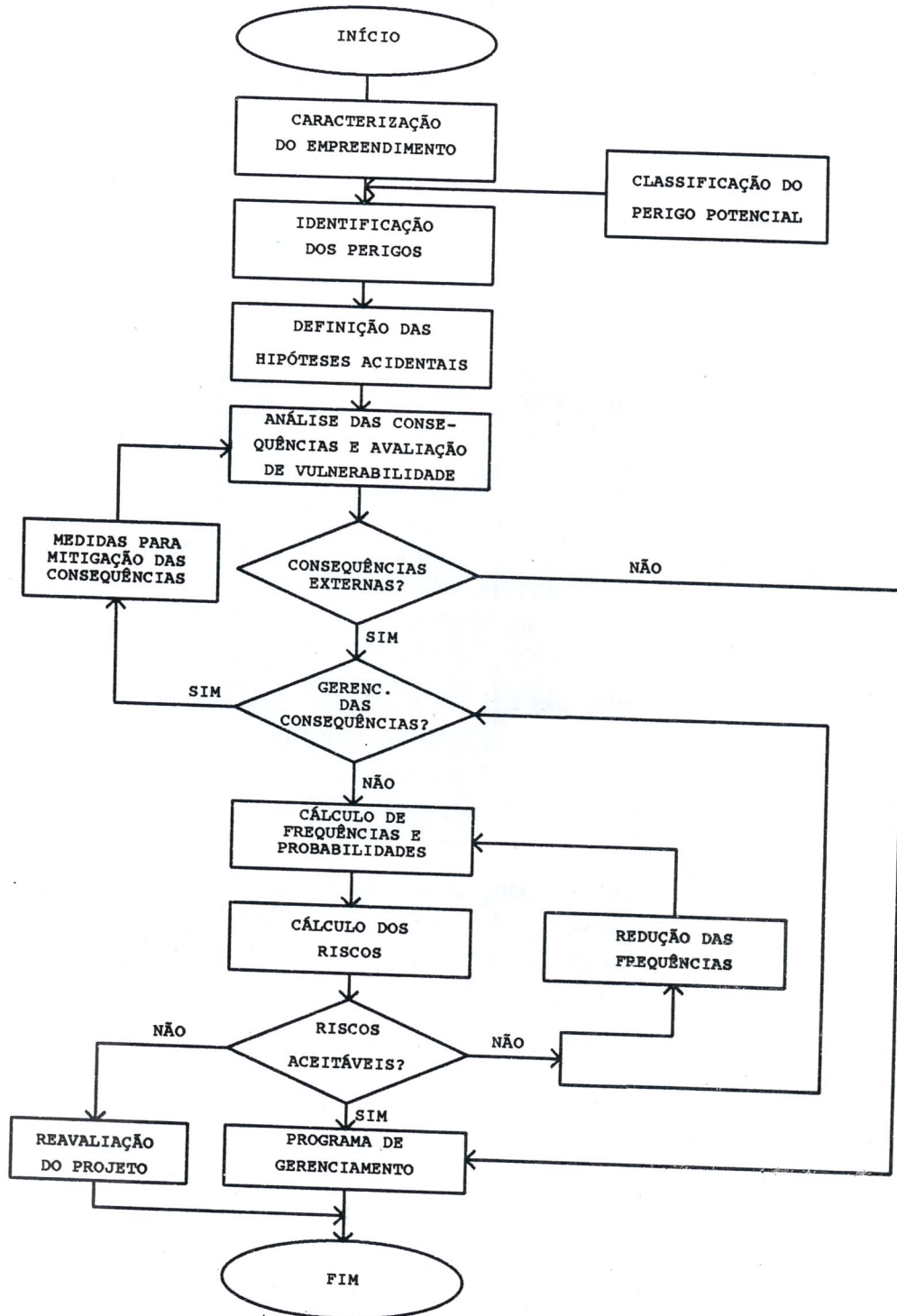
## 3. ESTRUTURA DE ESTUDOS DE ANÁLISE DE RISCOS

Em geral, os estudos de análise de riscos, constituem-se de seis etapas, a saber:

- a) Caracterização do Empreendimento;
- b) Classificação do Perigo Potencial;
- c) Identificação de Perigos;
- d) Análise de Consequências e Avaliação de Vulnerabilidade;

- e) Estimativa de Frequências;
- f) Avaliação e Gerenciamento de Riscos.

A Figura 1, que segue, apresenta a seqüência de desenvolvimento dessas etapas.  
Figura 1 - Etapas para a Elaboração de um Estudo de Análise de Riscos



CETESB - COMANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

### 3.1 Caracterização do Empreendimento e da Região

O primeiro passo para a realização de um estudo de análise de riscos é a compilação de dados relativos às características do empreendimento necessários para o desenvolvimento do trabalho.

Estes dados são de especial importância para que seja possível caracterizar o empreendimento, contemplando seus aspectos construtivos e operacionais, além das peculiaridades da região onde o mesmo se encontra ou será instalado.

A caracterização do empreendimento deverá incluir o levantamento dos seguintes dados:

- a) Localização e descrição física e geográfica da região, incluindo a proximidade a mananciais, áreas litorâneas, sistemas viários, cruzamentos e/ou interferências com outros sistemas existentes, etc;
- b) Distribuição populacional da região;
- c) Características climáticas e meteorológicas da região;
- d) Descrição física, lay-out da instalação;
- f) Substâncias envolvidas, incluindo quantidades, formas de movimentação e de manipulação, formas e condições de armazenamento, características físico-químicas e toxicológicas. Devem ser consideradas como *substâncias envolvidas* as matérias-primas, os produtos auxiliares, intermediários e finais, bem como os resíduos, insumos e utilidades.
- g) Descrição das operações, incluindo as rotinas operacionais, de manutenção e de segurança, bem como a apresentação de plantas baixas das unidades e fluxogramas de processos, de instrumentação e de tubulações.

Em se tratando de transporte, como por exemplo através de sistemas de dutos, uma vez que estes percorrem distâncias variadas, as interferências existentes no trajeto, bem como as características das áreas sob sua influência, deverão ser identificadas e descritas ao longo de todo o percurso.

### 3.2 Classificação do Perigo Potencial

A classificação do perigo potencial constitui a segunda etapa para a realização do estudo e tem por finalidade classificar o nível de periculosidade do empreendimento ou da atividade a ser estudado.

Vale ressaltar que a realização desta etapa não é obrigatória em todos os estudos desse tipo, uma vez que, independentemente de uma avaliação prévia do perigo potencial do empreendimento, outros critérios podem nortear o escopo do estudo a ser elaborado.

Existem diversas metodologias para a classificação do potencial de geração de acidentes. Os métodos utilizados permitem graduar o nível de perigo, a partir dos principais fatores que intervêm no sistema, tais como:

a) Substâncias envolvidas, considerando:

- toxicidade;
- inflamabilidade;
- explosividade;
- reatividade;
- quantidades manipuladas, etc.

b) Condições de processo e/ou armazenamento:

- vazão;
- pressão;
- temperatura, etc.

c) Vulnerabilidade das áreas circunvizinhas.

A partir da determinação do nível de perigo do empreendimento, torna-se possível estabelecer a abrangência e o tipo de estudo a ser realizado.

Entre os diversos métodos existentes para a caracterização do perigo potencial de um empreendimento pode-se destacar três internacionalmente reconhecidos:

### 3.2.1 Índice Dow de Incêndio e Explosão

O Índice Dow de Incêndio e Explosão fornece uma classificação relativa do perigo do empreendimento.

A base do método consiste na subdivisão das plantas em unidades, consideradas como partes de todo o processo, nas quais são aplicados determinados fatores para obtenção do Índice de Incêndio e Explosão.

Esse índice é obtido determinando-se primeiramente o Fator de Material. Esse fator é uma medida da intensidade da energia liberada por uma substância química ou mistura de substâncias, levando-se em consideração os riscos de inflamabilidade e de reatividade do material.

Tendo sido determinado o Fator de Material, o passo seguinte é calcular o Fator de Risco da Unidade, que é obtido através dos Riscos Gerais e dos Riscos Específicos do Processo.

Os Riscos Gerais do Processo relacionam-se com o tipo de processo, mais especificamente à operação química que é executada na unidade em análise, como tratamentos e mudanças de fase, reações contínuas ou descontínuas, multiplicidade de reações, etc.

Os Riscos Específicos do Processo relacionam-se com as condições particulares do processo, como pressão, temperatura, concentração, velocidade de reação, quantidade de combustível, etc.

O Índice de Incêndio e Explosão é então obtido através do produto entre o Fator de Risco da Unidade e o Fator de Material, fornecendo também o Raio de Exposição, ou seja, a área provável de exposição a um incêndio ou a uma explosão.

Com base no valor do Índice de Incêndio e Explosão é então possível classificar o empreendimento de acordo com o seu perigo potencial em cinco níveis: pequeno; moderado; intermediário; grande e severo.

### 3.2.2 Índice Mond de Incêndio, Explosão e Toxicidade

O Índice Mond está intimamente relacionado ao Índice Dow de Incêndio e Explosão, uma vez que é uma extensão deste. A diferença básica entre os dois métodos é que o

Índice Mond inclui, além dos fatores inflamabilidade, de reatividade e a toxicidade da substância manipulada na unidade em análise.

O Índice Mond pode ser aplicado a todos os tipos de operações de processo (excluindo a fabricação de explosivos), além de terminais de estocagem e atividades similares. É particularmente aplicável às operações de carga e descarga e também pode ser utilizado para avaliar os perigos potenciais associados a falhas no transporte ou na transferência de substâncias por tubulações.

O primeiro passo para a determinação do índice é dividir a planta ou instalação em unidades.

Cada unidade é então examinada, a fim de se identificar todas as substâncias presentes e as operações realizadas.

Também devem ser selecionadas todas as substâncias ou misturas de substâncias que apresentam um perigo potencial, baseado nos graus de inflamabilidade e nas quantidades presentes.

A partir daí, uma substância é eleita como *substância-chave*, de acordo com sua potencialidade em gerar um perigo maior.

Os fatores inicialmente observados são: fator de material, perigos especiais dos materiais, perigos gerais do processo, perigos especiais do processo, quantidade da substância-chave, perigos relativos ao layout e à toxicidade.

Em seguida, uma série de fatores de compensação são avaliados, tomando-se por base as medidas de segurança existentes ou previstas para a unidade, bem como as rotinas de operação e de manutenção realizadas.

A combinação desses fatores de compensação com a quantificação inicial do risco permite uma avaliação representativa do potencial de perigo da unidade.

### 3.2.3 Diretriz de Seveso

A Diretriz Européia 82/501/CEE, conhecida como Diretriz de Seveso, é composta de 21 artigos e foi elaborada após a ocorrência de alguns acidentes industriais na Europa, dentre os quais pode-se destacar o de Flixborough (1974, Inglaterra) e o de Seveso (1976, Itália).

O critério básico da Diretriz de Seveso para a classificação do perigo potencial de uma instalação é a presença, na mesma, de substâncias tóxicas, inflamáveis e explosivas, em quantidades superiores a níveis pré-estabelecidos.

A Diretriz fornece uma lista de 178 substâncias e suas respectivas quantidades. Essas quantidades foram estabelecidas segundo um critério isotraumático, ou seja, baseado em danos equivalentes. Isto significa que, quanto mais uma substância for, por exemplo, tóxica, tanto menor deverá ser a quantidade a ser manipulada.

O Artigo 5 da Diretriz contém as informações que deverão ser obtidas para a sua aplicação, tais como: informações relativas às substâncias; dados da unidade em estudo e referentes a eventuais acidentes relevantes.

Nos anexos 1, 2, 3 e 4 da Diretriz encontram-se especificadas as instalações onde a mesma se aplica, bem como estão definidos os critérios para classificação da periculosidade das substâncias e as quantidades associadas a cada uma destas, a partir da qual uma instalação configura um alto perigo potencial.

Assim, a partir da aplicação de metodologias como os Índices Dow e Mond e a Diretriz de Seveso ou de outras similares, é possível classificar o potencial de perigo do empreendimento a ser estudado, possibilitando a definição da metodologia a ser utilizada no estudo.

### 3.3 Identificação de Perigos

A Identificação de Perigos é a terceira etapa a ser desenvolvida para a elaboração de um estudo de análise de riscos. Esta etapa consiste na aplicação de técnicas estruturadas para a identificação das possíveis sequências de acidentes, de forma que possam ser definidas as hipóteses acidentais mais significativas a serem estudadas detalhadamente.

Muitos são os métodos e técnicas disponíveis e, dependendo do empreendimento a ser analisado e do detalhamento necessário, deve-se utilizar as metodologias mais adequadas para o caso em estudo.

Esta etapa poderá ser elaborada de quatro formas, distintas ou integradas, de acordo com a necessidade apresentada e a complexidade do empreendimento em análise. São elas:

### **a) Análise Crítica do Empreendimento**

Consiste na realização de levantamentos em campo e na análise de normas e projetos, de modo que a equipe de trabalho se familiarize com a instalação a ser estudada, bem como com a estrutura organizacional do empreendimento, além de avaliar os procedimentos operacionais, de manutenção e de segurança, a fim de identificar os principais focos geradores de acidentes nas rotinas de trabalho.

### **b) Análise Histórica de Acidentes**

Consiste na associação dos perigos identificados na análise crítica com os resultados de uma análise da casuística de acidentes ocorridos em instalações similares, normalmente desenvolvida através de consulta a banco de dados de acidentes ou a referências bibliográficas específicas.

### **c) Aplicação de Técnicas para Identificação de Perigos**

Consiste na elaboração de um estudo analítico da instalação, através de técnicas estruturadas para a detecção de falhas e de eventos indesejados, que poderão ocorrer na instalação.

### **d) Definição de Hipóteses Acidentais**

Consiste na associação dos perigos identificados quando da aplicação das técnicas estruturadas aos resultados obtidos na análise histórica de acidentes, de modo que possam ser definidos os principais eventos geradores de acidentes na instalação.

## **3.3.1 Análise Crítica do Empreendimento**

A análise crítica do empreendimento compreende o entendimento de todos os processos de uma instalação, sua interdependência, os inventários e condições dos materiais. Esta análise deve descrever a instalação como ela realmente opera e pode ser obtida através de entrevistas com o pessoal operacional e de manutenção, bem como através de inspeções locais. Dessa forma, ela se aplica unicamente às instalações existentes.

A análise crítica é de fundamental importância, uma vez que orienta a equipe responsável pela elaboração do estudo para um conhecimento completo da instalação a ser analisada.

As informações geralmente levantadas nessa análise constituem-se de:

- Normas de projeto;
- Química do processo: incluindo a sua descrição, parâmetros operacionais específicos e reações sob condições normais e anormais;
- Utilidades (vapor, refrigeração, ar de instrumentação e outros);
- Especificação de equipamentos, instrumentação e tubulações;
- Sistemas de tratamento de efluentes e resíduos;
- Sistemas de drenagem e de água para combate a incêndios;
- Normas e instruções de operação;
- Sistemas de operação (níveis dos inventários, esquemas de operação, partida e parada, treinamento de operadores e política de segurança);
- Equipamentos de segurança (proteção contra incêndios, alívios de emergência, sistemas de intertravamentos e alarmes, entre outros);
- Filosofia e programas de manutenção;
- Fontes de ignição (chamas abertas, fontes elétricas, superfícies quentes, efeitos de atritos, decomposições rápidas de materiais instáveis).

### 3.3.2 Análise Histórica de Acidentes

A Análise Histórica de Acidentes constitui-se numa avaliação da casuística de acidentes ocorridos na própria instalação em estudo ou em instalações similares.

A análise deve ser realizada através de consulta, a nível nacional e internacional, à literatura especializada e/ou a banco de dados específicos, contemplando a avaliação de acidentes em instalações congêneres.

Em muitos casos, a Análise Histórica de Acidentes é uma *ferramenta* importante para a identificação dos perigos, já que pode fornecer informações sobre:

- Acidentes envolvendo condições operacionais que levaram à perdas totais ou parciais do sistema;
- Acidentes com consequências relevantes, como danos às pessoas dentro ou fora da instalação e/ou danos ao meio ambiente.

Uma Análise Histórica de acidentes tem por objetivo:

- Identificar os perigos em atividades industriais;
- Identificar as causas básicas dos acidentes;
- Levantar tendências históricas e probabilidades de ocorrência de acidentes;
- Aferir os resultados de simulações de modelos de cálculos;
- Auxiliar no desenvolvimento de árvores de eventos.

Da Análise Histórica poderão ser extraídas:

- As tipologias dos acidentes;
- As causas dos acidentes;
- A magnitude das consequências.

Os resultados obtidos deverão ser trabalhados estatisticamente, fornecendo como resultado final uma lista dos principais eventos iniciadores de acidentes.

É importante que o universo dos acidentes pesquisados seja o mais recente possível e, de preferência, abrangendo um período mínimo de dez anos, sendo relevante o fornecimento das fontes consultadas, bem como o critério adotado para a seleção dos acidentes considerados.

### **3.3.3 Aplicação de Técnicas para Identificação de Perigos**

Várias são as técnicas e métodos que podem ser utilizados para a Identificação de Perigos. Cabe lembrar que cada caso deverá ser analisado de forma específica, razão pela qual esta etapa poderá ser realizada através das técnicas aqui apresentadas ou com

base em outras metodologias; ou ainda, através de combinações destas.

As técnicas normalmente utilizadas para a identificação de perigos são:

- Listas de Verificação (Checklists);
- Análise "E Se ... ?" ("What If ... ?");
- Análise Preliminar de Perigos (APP)
- Análise de Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade (AMFEC);
- Estudos de Perigos e Operabilidade (HazOp).

Essas técnicas serão sucintamente apresentadas nesse manual, razão pela qual, para um melhor entendimento sobre a aplicação das mesmas, deverão ser consultadas bibliografias específicas.

### **3.3.3.1 Listas de Verificação - Checklists**

As Listas de Verificação ou Checklists consistem na elaboração de uma sequência lógica de perguntas, a fim de se avaliar as condições de segurança de um sistema, através das suas condições físicas e das rotinas praticadas.

O Checklist é útil em auditorias e pode ser usado em todas as fases de um projeto para uma identificação simples e rápida dos perigos envolvidos, bem como durante a fase de construção, para assegurar a qualidade do trabalho e a concordância com as especificações de projeto.

O método é particularmente útil para o acompanhamento dos procedimentos de partida e de parada de um sistema, e também para avaliar as condições em que se encontram instalações, equipamentos, materiais, matérias-primas ou produtos acabados.

A Lista de Verificação deve ser aplicada através da utilização de formulários elaborados especificamente para os fins a que se destinam. Tais formulários devem ser claros e ordenados, contendo perguntas objetivas, de modo a estimular o raciocínio de quem os está utilizando.

O Anexo I apresenta um exemplo de uma Lista de Verificação (Checklist).

### 3.3.3.2 Análise "E Se ... ? " - "What If ... ?"

A Análise "E Se ... ?" tem por objetivo analisar criteriosamente a ocorrência de eventos inesperados que possam resultar em consequências adversas.

O método contempla o exame de possíveis anomalias no projeto, na construção, em alterações ou operações, através de perguntas que se iniciam pelo termo "E Se ... ". As perguntas sugerem, basicamente, um evento inicial, como por exemplo uma falha, a partir da qual uma sequência de eventos indesejáveis possa ocorrer. Como exemplo, a seguinte pergunta pode ser formulada:

"E se a matéria-prima for adicionada na concentração errada ?"

A equipe deverá então determinar como o processo responderá e, a partir da resposta, sugerir a adoção de medidas de controle ou de proteção.

As perguntas podem referir-se a qualquer anomalia relacionada à planta e não apenas às falhas de componentes ou variações do processo.

A análise "E Se ... ?" pode ser empregada em plantas existentes, durante a fase de desenvolvimento de um processo ou na fase de pré-partida. Uma aplicação comum dessa análise refere-se às mudanças em plantas existentes.

O Anexo I apresenta um exemplo da planilha utilizada na Análise "E Se ... ?".

### 3.3.3.3 APP - Análise Preliminar de Perigos

A APP - Análise Preliminar de Perigos (PHA - Preliminary Hazard Analysis) é um método qualitativo para identificação de perigos que teve origem e que, ainda hoje, faz parte do programa de segurança militar do Departamento de Defesa dos EUA.

Trata-se de um procedimento que tem por objetivo realizar uma identificação prévia dos perigos de um empreendimento, durante as fases de desenvolvimento, implantação e operação.

A APP deve focalizar os materiais perigosos e os principais elementos do sistema, desde que estejam disponíveis alguns detalhes do projeto.

O método deve ser considerado como uma análise preliminar de uma avaliação mais

detalhada a ser realizada posteriormente.

Assim, enquanto o projeto se desenvolve, os principais perigos podem ser identificados, eliminados, minimizados ou controlados praticamente desde o início.

Os resultados da APP são registrados numa planilha padrão (Anexo I) onde são apontados os perigos identificados, suas causas e seus respectivos efeitos, bem como as categorias de perigo correspondentes e eventuais medidas preventivas ou corretivas sugeridas.

As categorias de perigo normalmente utilizadas são apresentadas na Tabela I que segue:

Tabela I - APP - Categorias de Perigo

GRAU	CATEGORIA	EFEITOS
I	Desprezível	Falha que não irá resultar na degradação do sistema, nem irá produzir danos ou lesões aos funcionários.
II	Marginal ou Limítrofe	Falha que irá degradar o sistema numa certa extensão, porém sem comprometê-lo seriamente, nem causar lesões graves (danos controláveis).
III	Crítica	Falha que causará danos substanciais ao sistema, provocando lesões e resultando em risco inaceitável (ações preventivas e corretivas imediatas são requeridas).
IV	Catastrófica	Falha que produzirá severa degradação do sistema, resultando em sua perda total, ou ainda, em lesões graves e mortes (ações preventivas e corretivas imediatas são requeridas).

### 3.3.3.4 AMFEC - Análise de Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade

A AMFEC (FMECA - Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) é uma técnica desenvolvida para a análise de falhas de componentes. Permite analisar como podem falhar os componentes de um equipamento ou de um sistema, determinando os efeitos que poderão advir dessas falhas e, conseqüentemente, estabelecer as mudanças que deverão ser feitas para aumentar a probabilidade de que o sistema ou equipamento funcione de maneira satisfatória.

Trata-se de uma técnica de análise do tipo indutiva, consistindo na identificação de uma falha hipotética de um componente para avaliação do efeito resultante sobre o sistema em análise.

As informações geradas são, normalmente, apresentadas em forma de tabela (Anexo I), contendo uma descrição do componente, do modo de falha, suas causas e os efeitos sobre o sistema, bem como a classificação da criticidade dos efeitos gerados. Na Tabela II é apresentada a classificação de criticidade para a AMFEC.

A criticidade dos efeitos produzidos pelas falhas normalmente variam de *baixa*, para falhas que produzem um efeito não desejado que não esteja relacionado com a segurança, até *extrema*, para falhas que produzem efeitos que possam levar à consequências mais graves.

Tabela II - AMFEC - Classificação de Criticidade

CRITICIDADE	EFEITOS
1	Nenhum.
2	Falhas pequenas no processo, perigos não significativos à planta e às pessoas. Não necessária a paralisação do sistema.
3	Falhas maiores no processo, perigos significativos à planta e às pessoas. Necessária a paralisação da operação.
4	Perigo imediato à planta e às pessoas; necessária paralisação de emergência.

A natureza dos resultados obtidos na AMFEC é qualitativa, podendo também ser quantitativa, caso os dados de taxas de falhas estejam disponíveis.

A estimativa das taxas de falha é, em geral, feita através de consultas a bancos de dados de confiabilidade desenvolvidos a partir de testes realizados pelos fabricantes dos componentes ou pela comparação com equipamentos ou sistemas similares.

Frequentemente, surgem vários modos de falha para um único componente, sendo que uns poderão gerar acidentes, enquanto que outros não. A probabilidade de falha do sistema deverá então ser definida considerando a probabilidade total, ou seja, de todos os modos de falha identificados.

### 3.3.3.5 HazOp - Estudo de Perigos e Operabilidade

A palavra HazOp origina-se do inglês Hazard and Operability Study. É uma técnica para identificação de perigos projetada para estudar possíveis desvios (anomalias) de projeto ou na operação de uma instalação.

O HazOp consiste na realização de uma revisão da instalação, a fim de identificar perigos potenciais e/ou problemas de operabilidade por meio de uma série de reuniões, durante as quais uma equipe multidisciplinar discute metodicamente o projeto da planta. O líder da equipe orienta o grupo através de um conjunto de **palavras-guias** que focalizam os desvios dos **parâmetros** estabelecidos no processo ou na operação.

O estudo HazOp requer a divisão da planta em pontos de estudo (nós) entre os quais encontram-se seus componentes, como bombas, vasos, trocadores de calor, etc.

A equipe deve começar o estudo pelo início do processo, prosseguindo a análise no sentido do seu fluxo natural, aplicando as palavras-guias em cada nó de estudo, de forma a identificar os problemas potenciais nesses pontos.

A equipe deve identificar as causas de cada desvio e, caso surja uma consequência de interesse, devem ser avaliados os sistemas de proteção para determinar se estes são suficientes. A técnica é repetida até que cada seção do processo e equipamento de interesse tenha sido analisado.

Em novos empreendimentos o HazOp deve ser aplicado na fase em que o projeto se encontra razoavelmente consolidado, pois o método requer consultas a desenhos de fabricação, P&ID's e plantas de disposição física da instalação, entre outros documentos.

Alguns exemplos de palavras-guias, parâmetros de processo e desvios, estão apresentados na Tabela III.

Tabela III - Palavras-Guias, Parâmetros e Desvios de Processo

Palavra-Guia	Parâmetro	Desvio
mais	pressão	mais pressão
menos	temperatura	menor temperatura
nenhum	fluxo	nenhum fluxo

O Anexo I apresenta um exemplo de planilha para aplicação de HazOp.

### 3.3.4 Definição de Hipóteses Acidentais

A partir da aplicação das técnicas para identificação de perigos é possível obter-se um número razoável de eventos indesejáveis, passíveis de ocorrerem no empreendimento em estudo. Tais eventos podem ser divididos em:

- Eventos menores, que produzem efeitos localizados, restritos à uma área específica do empreendimento;
- Eventos significativos, que produzem efeitos consideráveis em uma ou mais partes do empreendimento, porém restritos aos limites deste;
- Eventos maiores, que produzem efeitos graves, externos ao empreendimento, atingindo a comunidade e o meio ambiente.

De maneira geral, grande parte dos eventos identificados não têm um valor significativo em termos de consequências, não necessitando assim de uma avaliação posterior.

Desta forma, a definição das hipóteses acidentais auxilia na redução do tempo e, conseqüentemente, dos gastos, uma vez que consiste em selecionar os eventos identificados limitando-os a um número adequado para a realização das avaliações posteriores.

A definição das hipóteses acidentais se dá através da revisão de todos os eventos anteriormente listados, a fim de identificar aqueles que, por suas características, não necessitam ser avaliados detalhadamente. Da mesma forma, eventos redundantes ou muito similares devem ser reduzidos à uma única hipótese acidental. Através dessa triagem e comparando os eventos selecionados com os dados obtidos na análise histórica de acidentes, é possível elaborar uma segunda lista reduzida de hipóteses, porém significativa.

Vale ressaltar que, embora alguns eventos possam parecer insignificantes, estes devem ser avaliados quanto ao eventual desencadeamento de outros eventos maiores, que possam acarretar a ocorrência de reações em cadeia do tipo *Efeito Dominó*. Portanto, eventos desta espécie deverão também ser definidos como hipóteses acidentais.

### 3.4 Análise de Consequências e Avaliação de Vulnerabilidade

Esta etapa tem por objetivo analisar as possíveis consequências decorrentes das hipóteses acidentais identificadas na etapa anterior.

Para a identificação das sequências acidentais e definição das tipologias dos acidentes, normalmente emprega-se a técnica Análise de Árvore de Eventos.

Também a utilização de modelos que simulem as consequências de liberações acidentais de produtos químicos no meio ambiente é condição fundamental para uma adequada avaliação dos danos.

Os resultados obtidos são então analisados em termos de vulnerabilidade da área circunvizinha à instalação, observados fatores como, população, tipos de edificações e proximidade a corpos d'água, entre outros.

Assim, esta avaliação deverá ser realizada de três formas distintas, conforme segue:

#### 3.4.1 AAE - Análise de Árvore de Eventos

A Análise de Árvore de Eventos é uma técnica indutiva utilizada para avaliar as sequências acidentais (vazamentos, incêndios, explosões) de um evento denominado *Evento Inicial*, que pode ser gerado devido a uma falha específica num equipamento de um sistema, no colapso de um processo ou mesmo devido a erros operacionais.

A técnica pode ser utilizada na fase de projeto para avaliar um acidente potencial resultante de um evento inicial postulado. Também pode ser aplicada durante a fase de operação para a avaliação da eficiência dos sistemas de segurança existentes.

As Árvores de Eventos descrevem a sequência dos fatos que se desenvolvem a partir do evento inicial escolhido, prevendo situações de *sucesso* ou *falha*, de acordo com as interferências existentes, até a conclusão da mesma com a determinação das possíveis consequências. As interferências referem-se às ações, situações ou mesmo equipamentos existentes no sistema, as quais se relacionam com o evento inicial, podendo acarretar diferentes *caminhos* para o desenvolvimento da ocorrência, gerando portanto diferentes consequências.

É importante ressaltar que a Árvore de Eventos não deverá ser desenvolvida isoladamente, uma vez que a mesma utiliza dados de entrada de etapas anteriores de um estudo de análise de riscos e produz como resultados informações que deverão ser

analisadas posteriormente.

Para o desenvolvimento de uma Árvore de Eventos, quatro estágios devem ser desenvolvidos, a saber:

- a. Identificação do Evento Inicial;
- b. Identificação das Interferências;
- c. Construção da Árvore;
- d. Descrição das Consequências.

Os resultados fornecidos pela árvore de eventos são, em geral, qualitativos, podendo, no entanto serem quantitativos, caso os dados probabilísticos estejam disponíveis. A quantificação da árvore é útil para a determinação das frequências de ocorrência das consequências.

Deve-se ressaltar que, como em cada ramificação da árvore só existem duas possibilidades, *sucesso* ou *falha*, as probabilidades de cada ramo são sempre complementares, isto é, somam 1.0 (100%).

Em geral, as Árvores de Eventos conduzem a caminhos bastante precisos entre o evento inicial e os eventos finais, analisando as diversas interferências ou contribuições existentes ao longo dos diferentes percursos.

No Anexo I está apresentado um exemplo de Árvore de Eventos.

### 3.4.2 Análise de Consequências

A Análise de Consequências consiste na aplicação de modelos matemáticos para a representação dos fenômenos decorrentes das hipóteses acidentais definidas na etapa anterior.

Os modelos utilizados devem simular a ocorrência de incêndios, explosões ou liberações de substâncias tóxicas e/ou inflamáveis, quando do vazamento de uma substância química no ambiente, de acordo com as possíveis tipologias acidentais.

Para avaliar as consequências de uma hipótese acidental, seja de um produto inflamável ou tóxico, é fundamental o conhecimento das condições nas quais a mesma ocorre, tais como:

- a) Tipo de vazamento (líquido, gasoso ou bifásico);
- b) Duração do vazamento (contínuo ou instantâneo);
- c) Quantidade de produto envolvida;
- d) Condições climatológicas da região;
- e) Características do produto envolvido;
- f) Condições de transporte, processo ou armazenamento.

O estudo deverá conter, de maneira clara, todos os pressupostos assumidos; tais como, o tempo de ocorrência do fenômeno em função dos sistemas de controle e segurança existentes ou previstos, além de parâmetros como a massa e/ou energia liberadas e as premissas utilizadas para a determinação destas, devendo também ser estudada a possibilidade de ocorrência de *Efeito Dominó*.

### 3.4.3 Avaliação de Vulnerabilidade

Os danos ao homem e às propriedades dependem das consequências físicas dos acidentes e da capacidade de resistência dos corpos expostos.

Desta forma, deverá ser realizada uma avaliação dos efeitos das hipóteses acidentais simuladas pelos modelos de consequências, devendo os resultados serem apresentados na forma de mapeamentos, contendo:

- a) Intensidades das radiações térmicas de incêndios;
- b) Intensidades das sobrepressões decorrentes de explosões;
- c) Intensidades das concentrações de vazamentos tóxicos;
- d) Níveis de concentração de poluentes no solo e na água.

Deverão também ser aplicados modelos e padrões de referência, como por exemplo funções probabilísticas do tipo *PROBIT*, considerando a real situação de distribuição populacional, instalações físicas, direção e velocidades de ventos, além de outros fatores peculiares a cada cenário.

Os resultados deverão ser mapeados na forma de curvas concêntricas, a partir do epicentro do evento estudado.

Além dos impactos causados ao homem, deverão também ser analisados os ecossistemas envolvidos, em termos de poluição do ar, do solo e da água.

### 3.4.4 Redução das Consequências

As consequências de um acidente com substâncias químicas variam de acordo com a intensidade, podendo gerar não só prejuízos internos ao empreendimento, como também prejuízos externos, como destruição de casas ou de outras instalações, mortes ou ferimentos na população, além de impactos ao meio ambiente.

Desta forma, além de uma previsão dos tipos das consequências, deve-se também adotar medidas para reduzi-las.

Para efeito deste manual, de acordo com a visão da CETESB, deverão ser consideradas de interesse as consequências que extrapolem os limites do empreendimento, seja por efeito direto ou através de *Efeito Dominó*.

A redução dos efeitos causados por um evento acidental pode ser conseguida através de medidas que se apliquem para a redução do impacto físico e para a proteção da população exposta.

Assim, dentre outras medidas, podem ser listadas as que seguem:

- Redução das quantidades das substâncias envolvidas;
- Eliminação ou minimização de *Efeitos Dominó*, como por exemplo através de alterações das distâncias relativas entre instalações;
- Previsão de sistemas de contenção e limitação dos danos provocados por incêndios, explosões ou vazamentos de gases tóxicos, como por exemplo através de confinamento e revestimento térmico, entre outros;
- Reforço de estruturas;
- Definição de distâncias suficientemente seguras de agrupamentos urbanos, estradas, ferrovias, portos ou outras áreas vulneráveis.

Cabe lembrar que, definidas as medidas para redução das consequências, os cálculos para a quantificação destas deverão ser revisados, a fim de se comprovar que, após a adoção de tais medidas, as consequências ficarão restritas aos limites do empreendimento e são plenamente controláveis.

Caso as consequências continuem extrapolando os limites do empreendimento, as hipóteses acidentais deverão ser analisadas em termos de suas frequências de

ocorrência.

CETESSB - CIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

### 3.5 Estimativa das Frequências

Para aquelas hipóteses acidentais cujas consequências tenham sido consideradas relevantes e extrapolem os limites do empreendimento, deverão ser estimadas suas frequências de ocorrência.

Em alguns casos, a informação necessária quanto à frequência de ocorrência de um evento poderá ser obtida diretamente da análise histórica, onde o número de eventos registrados pode ser dividido pelo tempo de exposição (por exemplo: anos de uma planta, km/ano de uma tubulação, etc).

Em geral, uma técnica bastante utilizada para o cálculo das frequências das hipóteses é a Análise de Árvore de Falhas; já, para a estimativa das frequências das diferentes seqüências acidentais, utiliza-se a Árvore de Eventos quantificada.

Os resultados obtidos poderão ser em termos de unidades de frequência ou probabilidades. As unidades de frequência constituem o número de eventos esperados por unidade de tempo. Já as probabilidades são adimensionais e são utilizadas para descrever a possibilidade de um evento ocorrer.

#### 3.5.1 AAF - Análise de Árvore de Falhas

A Análise de Árvore de Falhas é uma técnica dedutiva que permite identificar as causas potenciais de acidentes e de falhas num determinado sistema, além de possibilitar também a estimativa da frequência com que uma determinada falha pode ocorrer.

A técnica pode ser aplicada tanto durante a fase de projeto, como durante a operação de uma instalação.

Deve-se construir uma Árvore de Falhas individual para cada falha específica do sistema a ser analisado.

Para iniciar o desenvolvimento de uma árvore de falhas deve ser escolhido um evento indesejado (hipótese acidental considerada), a ser denominado de *evento-topo*, por localizar-se na parte superior do diagrama.

A partir daí deverão ser analisadas as falhas dos equipamentos, sistemas de controle ou

procedimentos inseguros, procedendo-se no sentido descendente da árvore, utilizando-se a lógica dedutiva até que todas as *causas básicas* contribuintes para a ocorrência do evento-topo tenham sido identificadas.

O resultado dessa análise é uma representação gráfica de todas as possíveis causas básicas e os modos pelos quais elas podem se combinar para gerar o evento-topo.

Para a quantificação das árvores deverão ser empregadas taxas de falhas ou probabilidades em seus diferentes ramos para que possam ser estabelecidas relações matemáticas, de modo a se obter a frequência de ocorrência final do evento-topo, fazendo-se assim necessário o uso das relações de *Álgebra Booleana*.

Os técnicos que forem realizar a análise devem ter um conhecimento profundo da instalação, das modalidades de falha dos equipamentos e dos dados de taxas de falha, além de dispor de diversas informações técnicas, como especificações de equipamentos, procedimentos operacionais, fluxogramas de processo, diagramas de instrumentação, etc.

As Árvores de Falhas são *ferramentas* analíticas úteis porque auxiliam na identificação das diversas maneiras pelas quais pode ocorrer uma falha num sistema; auxiliam no processamento dos dados de falha dos componentes para produzir uma estimativa quantitativa das probabilidades de ocorrerem falhas específicas no sistema; e auxiliam também na determinação dos efeitos que a mudança ou adição de componentes a um sistema causam no seu desempenho global.

O Anexo I apresenta um exemplo de Árvore de Falhas.

### 3.5.2 Redução das Frequências

A partir dos cálculos das frequências de ocorrência das hipóteses acidentais cujas consequências externas aos limites do empreendimento foram consideradas inaceitáveis, o passo seguinte é a análise do valor obtido, objetivando a redução.

De modo geral, a frequência de ocorrência de uma hipótese acidental está diretamente ligada às taxas de falhas de cada componente do sistema.

Muitos são os fatores que influenciam nas taxas de falhas e, em geral, tais fatores já são previstos no projeto, fabricação, instalação, partida, operação e manutenção, de forma que suas influências sejam controladas ou eliminadas.

Vários são os procedimentos que podem ser efetuados para a redução das frequências.

Entre eles poderão ser considerados:

- Melhoria da configuração dos sistemas, por exemplo, através da introdução de redundâncias;
- Melhoria da qualidade dos componentes individuais do sistema;
- Melhoria da disponibilidade dos sistemas de proteção;
- Inclusão de equipamentos de segurança e de proteção (sprinklers, válvulas de bloqueio, etc);
- Aumento da frequência de inspeções;
- Melhoria da qualidade dos serviços de manutenção;
- Aperfeiçoamento do treinamento de operadores;
- Instalação de sistemas de supervisão e controle de operações críticas.

### 3.6 Avaliação dos Riscos

A avaliação dos riscos de um empreendimento depende de uma série de variáveis pouco conhecidas e cujo resultado apresenta um nível razoável de incerteza. Este fato decorre principalmente de que não se pode determinar todos os riscos existentes ou possíveis de ocorrer numa instalação e também da escassez de informações neste campo.

De acordo com a visão da CETESB, os riscos a serem avaliados devem contemplar o levantamento de possíveis vítimas fatais, bem como os danos à saúde da comunidade existente nas circunvizinhanças do empreendimento, além dos impactos agudos causados ao meio ambiente.

A partir da definição de *risco*, o qual deve ser entendido como uma função matemática que relaciona as frequências de ocorrências das hipóteses acidentais identificadas e suas respectivas consequências, em termos de danos ao homem, pode-se, com base nos resultados quantificados das etapas anteriores do estudo, calcular o risco de um empreendimento, expresso na forma de vítimas fatais por ano, forma esta que não se aplica para a quantificação de impactos ao meio ambiente (solo, ar, água, fauna e flora).

Assim, o risco de ocorrência de vítimas/ano, pode ser calculado conforme segue:

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

$$R = \sum_{\substack{i=1,n \\ j=1,m}} f_i \cdot C_j$$

R = risco (mortes/ano);

$f_i$  = frequência de ocorrência do evento acidental i (ano<sup>-1</sup>);

$C_j$  = consequência(s) gerada(s) pelo evento i (mortes).

Dessa forma, considerando somente os danos ao homem, pode-se obter uma estimativa numérica que permita, através de análise adequada comparar diferentes situações de risco, subsidiando a tomada de decisão quando da implantação de um novo empreendimento ou mesmo para o gerenciamento dos riscos decorrentes de uma instalação existente.

A análise comparativa de riscos implica necessariamente no estabelecimento de níveis de riscos (limites aceitáveis ou não), como referências que permitam comparar situações diferenciadas.

O estabelecimento desses limites para os riscos envolve também a discussão da aceitabilidade desses riscos, que depende muito de um julgamento, muitas vezes subjetivo e pessoal, envolvendo temas complexos, como por exemplo, a percepção de riscos, que varia consideravelmente de indivíduo para indivíduo, razão pela qual vem sendo objeto há algum tempo de vários estudos acadêmicos.

Apesar dessas dificuldades e da complexidade dos assuntos envolvidos, bem como da necessidade de obtenção de dados e informações básicas para a definição dos indicadores requeridos para o estabelecimento de critérios de aceitabilidade, sua definição é importante na medida em que com isto evitar-se-á discussões exaustivas entre os responsáveis pela avaliação dos estudos de análise de riscos, o interessado pelo empreendimento e a comunidade envolvida, causadas exatamente pela inexistência de um critério que possa ser utilizado como orientador.

Internacionalmente, os critérios de aceitabilidade foram propostos a partir da comparação

de indicadores determinados com base em valores conhecidos para diferentes atividades, industriais ou não, obtidas de estatísticas existentes sobre fatalidades por acidentes rodoviários, doenças, catástrofes naturais e outros. Estes indicadores em alguns países como a Inglaterra, Holanda e Dinamarca são disponíveis e já permitiram o estabelecimento de critérios para a aceitabilidade de riscos. Os limites indicados diferem de país para país; pois, na realidade, refletem as características de cada população no entendimento de assuntos como segurança industrial, meio ambiente e valores culturais, entre outros.

Os critérios de aceitabilidade de riscos ao público, adotados por esses países, foram desenvolvidos com bases em limites (níveis) fixados para **Risco Individual** e/ou **Risco Social**. O primeiro representa a chance anual de perda para um indivíduo médio da população, enquanto que o segundo representa a chance anual de perdas para a sociedade como um todo, constituindo portanto uma perda coletiva ou social.

A utilização do **Risco Individual** como base para o desenvolvimento de um critério permite fazer comparações entre o risco estimado para um determinado empreendimento com valores de riscos aos quais o público está normalmente exposto e familiarizado.

Já, o uso do **Risco Social** como indicador é mais complexo, pois envolve fatalidades múltiplas decorrentes de eventos perigosos, que apresentam baixa frequência de ocorrência, mas, com consequências, numericamente, altas. Esses eventos (raros) são também conhecidos como **riscos maiores**.

Assim, o **Risco Social**, na sua forma mais simples, pode ser comparado ao número de mortes ou feridos num ano, numa determinada área ou numa comunidade em particular. Além disso, pode incluir uma estimativa de desagregação social, tais como o número de pessoas que devem deixar suas moradias e as perdas econômicas, devido à destruição de propriedades e paradas de produção. Portanto, a avaliação dos riscos sociais deve ser realizada através de análises abrangentes de diversos fatores, os quais devem contemplar diferentes ponderações em circunstâncias diversas.

### 3.6.1 Definições

#### Risco Individual

- a) É a probabilidade anual que um indivíduo tem de morte após um determinado acidente;

- b) É o risco do indivíduo nas proximidades de uma instalação industrial. O valor desse risco será o produto do cálculo das consequências acidentais sobre o o homem nesse local e as probabilidades de ocorrência dos acidentes correlacionados.

### Risco Social

É o risco à população presente na zona de influência de um acidente. O *Risco Social* indica o grau do dano catastrófico e é normalmente representado através de Diagramas F - N, frequência acumulada ou ocorrências acidentais versus o número de vítimas (fatalidades).

#### 3.6.2 Formas de expressão

$$\text{Risco Social} = f[f(i), C(i,j)] \quad \text{ou} \quad R = \sum_{\substack{i=1,n \\ j=1,m}} f_i \cdot C_j$$

$$\text{Risco Individual} = \frac{\text{Risco Social}}{\text{N}^\circ \text{ Pessoas Expostas}} = \frac{\text{Mortes / ano}}{\text{N}^\circ \text{ Pessoas Expostas}}$$

(Chance anual de morte para um indivíduo médio da população exposta ao acidente em questão)

#### 3.6.3 Critérios Internacionais

##### 3.6.3.1 Holanda

Os critérios descritos a seguir constam do documento *Premises for Risk Management - Risk Limits in the Context for Environmental Policy* - 1988-1989, elaborado pelo governo holandês. Tratam de riscos ao homem e são aplicados quando da implantação de novas plantas industriais junto a áreas residenciais e outras regiões igualmente vulneráveis.

##### a) Risco Individual por Atividade

Esse risco é calculado para uma pessoa que está sujeita a um risco maior numa

dada localização. Na prática, se refere a um indivíduo presente num local determinado, nas proximidades de uma zona industrial, 24 horas por dia.

O nível máximo aceitável (permissível) é definido como  $10^{-6}/\text{ano}$ .

O nível insignificante (negligenciável) é definido como  $10^{-8}/\text{ano}$ .

Deve-se ressaltar que  $10^{-6}/\text{ano}$  significa que a probabilidade anual de ocorrer uma fatalidade é de 1 em 1 milhão; já  $10^{-8}/\text{ano}$  significa que a probabilidade anual de ocorrer 1 fatalidade é de 1 em 100 milhões. Entre esses dois limites o risco deve ser reduzido.

#### b) **Risco Individual para Atividades Combinadas**

O *Risco Individual* para atividades combinadas considera como nível máximo aceitável  $10^{-5}/\text{ano}$ ; já, o risco insignificante é de  $10^{-7}/\text{ano}$ .

#### c) **Risco Social por Atividade**

Representado pelo Diagrama F - N da Figura 2, que foi elaborado através da plotagem em escala logarítmica da frequência acumulada de eventos que causam N ou mais mortes, versus N (número de mortes).

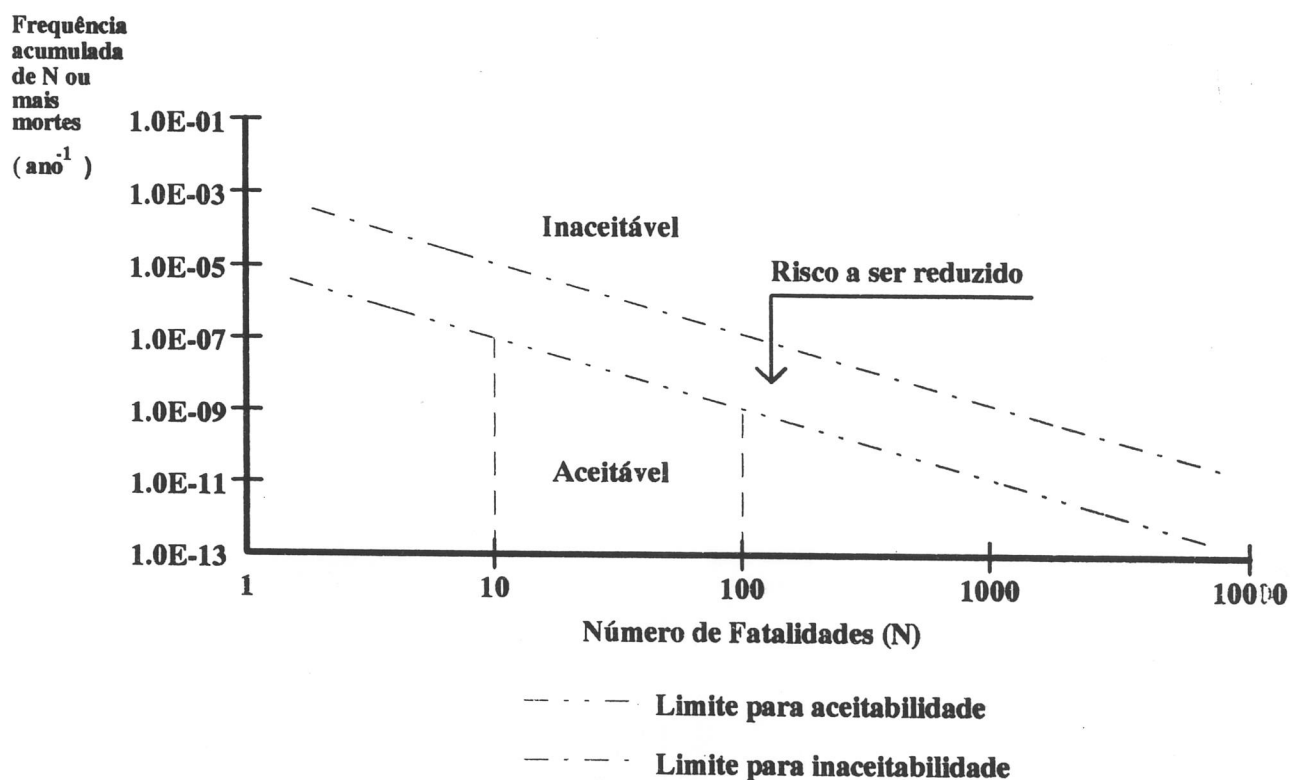
O mencionado diagrama considera que um acréscimo no número de mortes pela multiplicação de um fator N, somente é aceitável se a probabilidade desse evento ocorrer for  $N^2$  menor, para os dois níveis fixados.

Os limites escolhidos para o *Risco Social* na Holanda especificam que a probabilidade de um acidente com dez vítimas ocorrer, não deve exceder a  $10^{-5}/\text{ano}$ . Tal limite visa evitar distúrbios sociais.

O valor de referência de inaceitabilidade é de  $F = 10^{-5}/\text{ano}$  para  $N = 10$  mortes ou mais e  $F = 10^{-7}/\text{ano}$  para  $N = 100$  ou mais mortes.

O valor de referência para aceitabilidade (níveis insignificantes) tem uma frequência com duas ordens de grandezas inferiores, isto é  $F = 10^{-7}/\text{ano}$  para  $N = 10$  ou mais mortes e  $F = 10^{-9}/\text{ano}$  para  $N = 100$  ou mais mortes.

Figura 2 - Limites de Risco Social para Acidentes Maiores na Holanda



### 3.6.3.2 Dinamarca

O critério da Agência do Meio Ambiente da Dinamarca (1989) define limites para o *Risco Social*.

As curvas do diagrama F - N (Figura 3) são idênticas às da Holanda; porém, deslocadas, para cima, numa ordem de grandeza. Assim, tem-se:

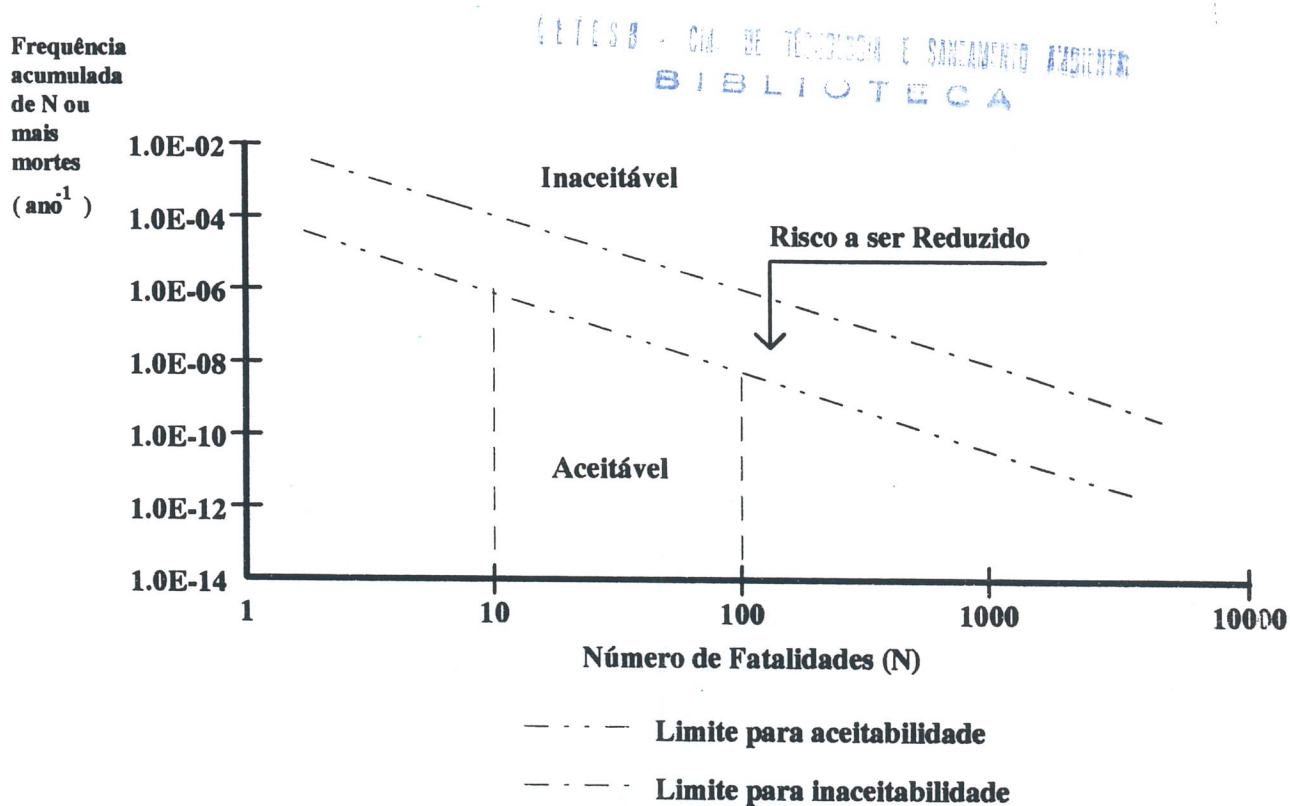
a) Valores de referência para inaceitabilidade:

$F = 10^{-4}/\text{ano}$  para  $N = 10$  ou mais mortes; e,  
 $F = 10^{-6}/\text{ano}$  para  $N = 100$  ou mais mortes.

b) Valores de referência para aceitabilidade (níveis insignificantes):

$F = 10^{-6}/\text{ano}$  para  $N = 10$  mortes ou mais; e,  
 $F = 10^{-8}/\text{ano}$  para  $N = 100$  mortes ou mais.

Figura 3 - Limites para Risco Social para Acidentes Maiores na Dinamarca



### 3.6.3.3 Inglaterra

O governo britânico estabeleceu nos documentos apresentados abaixo, limites para aceitabilidade de risco individual:

- (1) Risk Assessment - Report to a Royal Society Study Group, London: The Royal Society, 1983;
- (2) Health and Safety Executive - HSE. The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations, London: HMSO, 1988.
- (3) Health and Safety Executive - HSE. Risk Criteria for Land Use Planning in the Vicinity of Major Industrial Hazardous. A Discussion Document, London: HMSO, 1989.

(4) Health and Safety Commission - HSC. Major Aspects of the Transport of Dangerous Substances, Report and Appendices.

Nestes documentos são citados os seguintes valores para Risco Individual:

$1.10^{-3}$ /ano - limite máximo tolerável (ocupacional) para trabalhadores , (1) e (2).

$1.10^{-4}$ /ano - limite máximo tolerável, para um indivíduo do público exposto ao risco,(2).

$1.10^{-6}$  a  $1.10^{-7}$ /ano - risco aceitável (insignificante), (1).

Entre os dois níveis ( $1.10^{-3}/1.10^{-4}\text{ano}^{-1}$  e  $1.10^{-6}/1.10^{-7}\text{ano}^{-1}$ ) os riscos deverão ser reduzidos tanto quanto possível, através da aplicação do princípio **ALARP** (As Low as Reasonably Practicable).

No documento (1) foi considerado que um risco de morte de um em mil por ano ( $1.10^{-3}\text{ano}^{-1}$ ) seria um valor de risco intolerável. Este mesmo valor foi recomendado pelo HSE, no documento (2), como limite para risco ocupacional.

Trabalhos posteriores indicaram que uma grandeza menor ( $1.10^{-4}\text{ano}^{-1}$ ) seria o risco máximo tolerável para um indivíduo do público, exposto ao risco maior 24 horas/dia.

Este valor vem sendo aceito e citado em documento publicado mais recentemente (4), no qual também são mencionados estudos onde foram propostos valores de riscos ainda mais baixos para um indivíduo do público exposto aos riscos, variando de  $0.3.10^{-4}\text{ano}^{-1}$  a  $0.2.10^{-4}\text{ano}^{-1}$ . Estes valores estão mais próximos dos adotados por outros países ( $1.10^{-5}\text{ano}^{-1}$ ), como a Holanda, Austrália e Hong Kong.

O documento (3) apresenta critérios propostos para a instalação de empreendimentos nas vizinhanças de instalações químicas perigosas. Estes critérios formam uma matriz de três dimensões (Tabela IV), contemplando as zonas de risco e as categorias dos empreendimentos; que, sob certos aspectos, refletem as expectativas do público, implícitas nos critérios propostos anteriormente, além de envolverem também alguns elementos da percepção quanto à vulnerabilidade da população mais sensível que poderia estar exposta ao risco.

Tabela IV - Matriz de Decisão para Planejamento do Uso do Solo

Categoria do Empreendimento	Zona I	Zona II	Zona III
A (Habitação)	Não aceitável	Talvez	Normalmente Aceitável
B (Comércio/Indústria)	Aceitável	Aceitável	Aceitável
C (Comércio/Lazer)	Talvez	Talvez	Aceitável
D (Empreendimento Vulnerável)	Não Aceitável	Não aceitável	Talvez

Os limites das zonas acima descritas foram fixados com base nas seguintes curvas de iso-risco:

- Zona I: Riscos maiores que  $1.10^{-5}$ ano<sup>-1</sup>;
- Zona II: Riscos situados entre  $1.10^{-6}$  e  $1.10^{-5}$ ano<sup>-1</sup>;
- Zona III: Riscos situados entre  $3.1.10^{-7}$  e  $1.10^{-6}$ ano<sup>-1</sup>.

Estas curvas de iso-risco foram determinadas para níveis de probabilidade de receber uma dose perigosa.

A dose perigosa (calor, sobre pressão ou gás tóxico) foi estabelecida para um nível no qual os seguintes efeitos na população exposta podem ser esperados:

- ansiedade intensa para quase todos;
- uma fração significativa necessitará atendimento médico;
- alguns ferimentos graves necessitarão tratamento prolongados;
- algumas pessoas altamente vulneráveis poderão morrer.

Vale lembrar que o critério considera tanto o *Risco Individual* como o *Social*, mas foram estabelecidos valores numéricos somente para o *Risco Individual*, já que o HSE concluiu que ainda era cedo (1990) para definir um critério numérico para o *Risco Social*. Portanto, no presente contexto, o governo britânico não utiliza critérios para *Risco Social* nos processos de licenciamento.

### 3.6.3.4 Brasil

No Brasil, os estudos no sentido do estabelecimento de critérios para a aceitabilidade de

portanto, levar-se-á algum tempo para que tais dados estejam disponíveis.

No Estado de São Paulo, os estudos de análise e avaliação de riscos vêm sendo solicitados, desde 1988, durante o processo de licenciamento, para fontes potencialmente geradoras de riscos ambientais, sendo que a avaliação é feita caso a caso, tomando-se por base os critérios internacionais disponíveis.

Outros riscos significativos ao meio ambiente, incluindo eventos relevantes de danos à saúde da comunidade circunvizinha, cujas consequências não são indicadas como vítimas/ano, deverão também ser contemplados no estudo e serão objetos de análises específicas.

### 3.7 Gerenciamento dos Riscos

O *Gerenciamento dos Riscos* pode ser considerado como a formulação e implantação de medidas e procedimentos técnicos e administrativos, que têm por objetivo prevenir, controlar e reduzir riscos; e ainda, manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados aceitáveis. Ele constitui a última etapa de um estudo de análise de riscos.

As medidas adotadas para redução das consequências e das frequências são consideradas parte integrante do gerenciamento dos riscos; entretanto, a adoção dessas medidas não terá sentido se um extenso e permanente programa de inspeção, manutenção e supervisão, além da formação e do treinamento dos trabalhadores, não for efetivamente implantado no empreendimento. Dessa forma, o gerenciamento dos riscos é uma etapa obrigatória em todos os estudos e deverá contemplar os seguintes procedimentos:

- a) Inspeções periódicas para verificação das condições de funcionamento de todos os componentes e sistemas de segurança;
- b) Programas de manutenção, preventiva e corretiva, para assegurar o nível especificado em projeto dos sistemas ou equipamentos;
- c) Capacitação dos trabalhadores para assegurar o conhecimento global de todas as operações que sejam efetuadas na instalação, tanto em situações de rotina, como em emergências;
- d) Atualização permanente da documentação técnica;
- e) Auditorias periódicas, para verificação dos procedimentos de operação, manuten-

ção, segurança e treinamento, além de permitir a identificação de procedimentos inseguros;

- f) Implantação de sistemática para a elaboração de estudos para a avaliação dos riscos antes da realização de reformas, alterações, ampliações ou mudanças nos procedimentos operacionais.

Cabe lembrar que, para esta etapa, deverão ser listadas todas as medidas mitigadoras e sistemas de segurança apresentados no estudo, com o respectivo cronograma de implantação.

Quanto à proteção da população exposta, esta poderá ser conseguida, através da implantação de um Plano de Emergência.

### 3.7.1 Plano de Emergência

O *Plano de Emergência* tem por finalidade fornecer um conjunto de diretrizes e informações para a adoção de procedimentos lógicos, técnicos e administrativos, estruturados para serem desencadeados rapidamente em situações emergenciais, para a minimização dos impactos à população e ao meio ambiente.

O plano deverá ser desenvolvido com base nos resultados obtidos no estudo de análise de riscos, contemplando ações específicas para controle das emergências geradas pelas hipóteses acidentais estudadas.

O plano deverá incluir a mobilização de recursos humanos e materiais, realização de treinamentos, implantação de sistemas de plantão, de sinalização, de alarme e de comunicação, e deverá estar integrado a outros planos, prevendo assim, a participação de outras entidades que poderão auxiliar no atendimento a acidentes.

Assim sendo, o plano deverá contemplar, entre outros, os seguintes itens:

- Estrutura organizacional;
- Área de abrangência;
- Hipóteses acidentais;
- Atribuições e responsabilidades;
- Relação e localização em pontos estratégicos dos equipamentos de proteção individual, de monitoramento e combate a incêndio, além de equipamentos para contenção, remoção, neutralização ou abatimento de produtos químicos;
- Sistemas de comunicação, de sinalização e de alarme;

- Sistemas alternativos de geração e distribuição de energia;
- Sistemas de monitoramento meteorológico;
- Meios de transporte;
- Relação dos recursos de outras entidades que poderão prestar auxílio, além de acordos de cooperação para utilização de recursos de terceiros, de modo que os mesmos sejam rapidamente mobilizados, quando necessário;
- Rotinas de combate específicas para cada um dos possíveis acidentes previstos no plano;
- Procedimentos de abandono de áreas e evacuação de pessoas nas áreas internas e externas às instalações, contemplando os recursos disponíveis, as pessoas responsáveis, pontos de encontro e rotas de fuga.

Outro aspecto a ser ressaltado é o treinamento, que é de suma importância para o desencadeamento das ações de emergência. Assim, as pessoas envolvidas no plano deverão ser treinadas periodicamente dentro de suas atribuições, além de permanecerem atualizadas quanto à eventuais alterações de pessoas, telefones, etc.

A implantação do plano de emergência deverá estar associada a um cronograma de atividades onde constem todas as etapas necessárias para tal, incluindo exercícios e treinamentos práticos, internos e externos.

Finalmente, após a implantação do programa de gerenciamento de riscos, o empreendedor deverá prever a sua revisão, no mínimo, a cada cinco anos.

#### 4. BENEFÍCIOS DA ANÁLISE DE RISCOS

Embora o estabelecimento de uma política de *Gerenciamento de Riscos* esteja voltado para a segurança da população e do meio ambiente, deve-se ressaltar sua importância quanto ao aspecto do controle de perdas e seguros, visando a administração dos riscos empresariais.

Não existem dúvidas em relação à importância econômica do controle dos riscos, já que alguns custos aumentam devido a erros na escolha das medidas apropriadas para esse controle ou pela falta de informações, resultando na adoção de medidas desnecessárias e dispendiosas.

Também é sabido que a prevenção dos riscos requer esforços consideráveis no gerenciamento geral, na pesquisa e identificação dos riscos no processo, nos procedimentos e nos equipamentos.

Dessa forma, sendo os investimentos nestas áreas inevitáveis, o objetivo da *Análise de Riscos* é avaliar como devem ser direcionados estes recursos.

No entanto, deve-se enfatizar que não é correto assumir que um aumento de segurança necessariamente envolve um aumento no investimento. É sem dúvida verdade que, despesas de segurança baseadas em respostas a acidentes, podem ser muito dispendiosas, mas a experiência tem demonstrado que boas práticas, normalmente, custam tanto quanto as práticas ruins e, ao mesmo tempo, aumentam a segurança, além de reduzir ou evitar custos futuros adicionais.

Um fator importante, decorrente de uma adequada análise de riscos, está relacionado, por exemplo, com a economia de processo. Considerações em termos de segurança devem ser realizadas no desenvolvimento do processo, ou seja, com relação às reações químicas básicas e na definição dos limites de operação quanto à pressão, temperatura, concentração, entre outros. Obviamente, esses fatores são fundamentais para a economia do processo.

Além disso, a economia de processo é também muito afetada pela localização do empreendimento e do seu lay-out. A localização mais atrativa pode não ser a melhor em termos de segurança. Um lay-out que requiera grandes distâncias, por exemplo, pode tornar-se economicamente inviável.

Em termos gerais, um adequado gerenciamento de riscos não só vem a favorecer a segurança da comunidade e a preservação do meio ambiente, mas também, outros aspectos de interesse do empreendimento em áreas como mercado, imagem, faturamento, controle de perdas, transferência de riscos, exigências legais, segurança patrimonial, segurança e higiene do trabalho e controle ambiental.

Assim, pode-se concluir que, embora na maioria das vezes a probabilidade de ocorrer uma catástrofe possa parecer insignificante, existe cada vez mais a necessidade de se investir em *Programas de Gerenciamento de Riscos*, com o objetivo de garantir uma melhoria do nível de segurança, tanto para os empresários, como para os trabalhadores, para a comunidade e para o meio ambiente.

## **5. EQUIPE TÉCNICA**

### **5.1 Departamento de Tecnologia de Proteção e Recuperação Ambiental**

Marcos Antonio Veiga de Campos

### **5.2 Divisão de Tecnologia de Riscos Ambientais**

⇒ Ricardo Rodrigues Serpa

### **5.3 Setor de Análise de Riscos**

Déborah Oliveira de Souza e Silva  
José Carlos de Moura Xavier  
Maria Cecilia de Oliveira  
Michico Ishihara  
Ofélia Maria Simões de Matos Makaron  
Ruth Zugman  
Vivienne Maria Minniti

### **5.4 Digitação**

Vera Helena Mangini

## 6. ANEXOS

## **6.1 ANEXO I**

### **Exemplos de Planilhas e Tabelas de Técnicas para Identificação de Perigos**

## Exemplo 1: Lista de Verificação (Checklist)

### Materiais

- **Inflamabilidade**
  - Qual é a temperatura de auto-ignição ?
  - Qual é o ponto de fulgor ?
  - Como um incêndio poderá ser extinto ?
- **Explosividade**
  - Quais são os limites inferior e superior de explosividade ?
  - O material se decompõe explosivamente ?
- **Disposição**
  - O gases podem ser liberados diretamente para a atmosfera ?
  - Os efluentes líquidos podem ser lançados diretamente para o esgoto ?
  - Existe um suprimento disponível de gás inerte para purga ?
  - Como um vazamento seria detectado ?
- **Armazenamento**
  - Qualquer vazamento será contido ?
  - O material é estável durante o armazenamento ?
- **Toxicidade**
  - 
  - 
  -

**Exemplo 2: Planilha - Análise "E Se ... ?" ("What If ... ?")**

<b>E Se...?</b>	<b>Consequências</b>	<b>Recomendações</b>

**Exemplo 3: Planilha - Análise Preliminar de Perigos (APP)**

<b>PERIGO</b>	<b>CAUSA</b>	<b>EFEITO</b>	<b>CATEGORIA DE PERIGO</b>	<b>MEDIDAS PREVENTIVAS OU CORRETIVAS</b>

### Exemplo 4: Planilha - Análise de Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade (AMFEC)

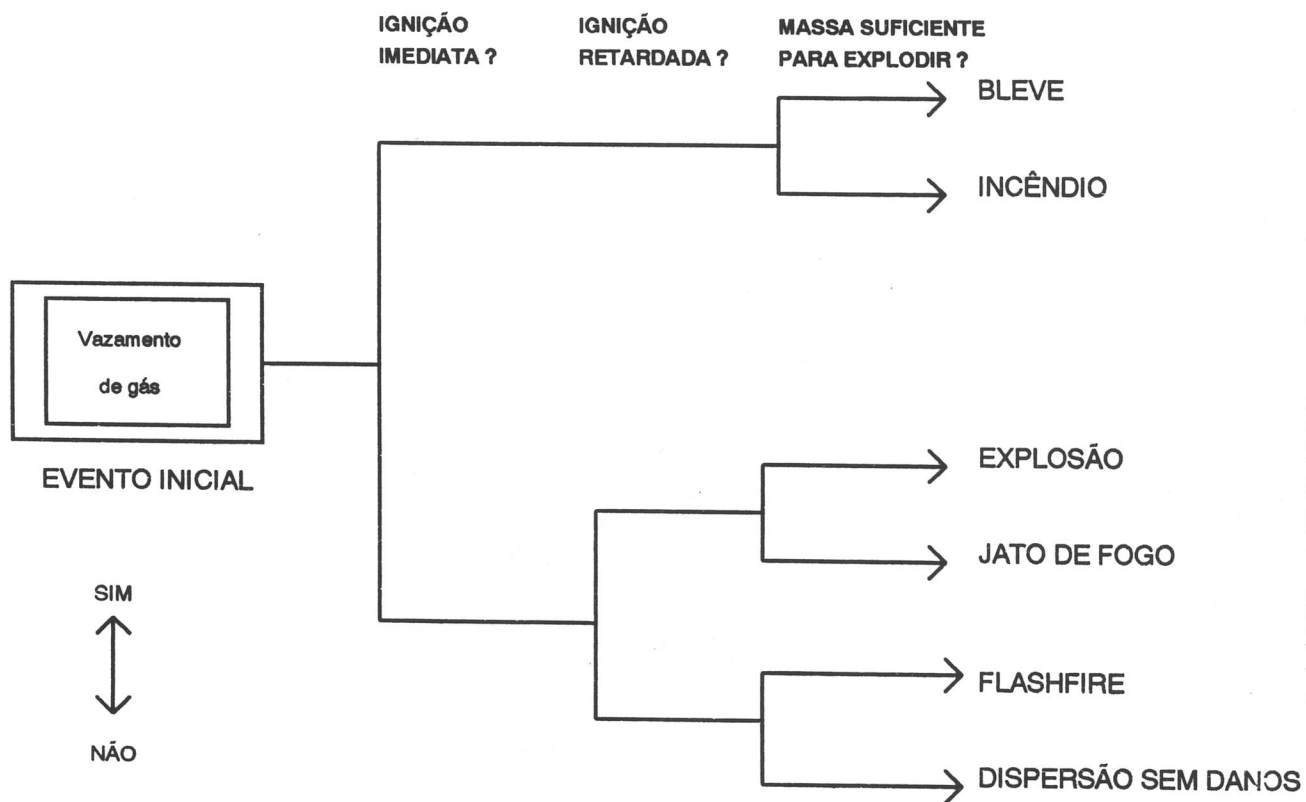
Item	Componente	Modos de Falha	Efeitos em Outros Componentes	Efeitos em Todo Sistema	Classificação Criticidade	Recomendações

### Exemplo 5: Planilha - Estudo de Perigos e Operabilidade (HazOp)

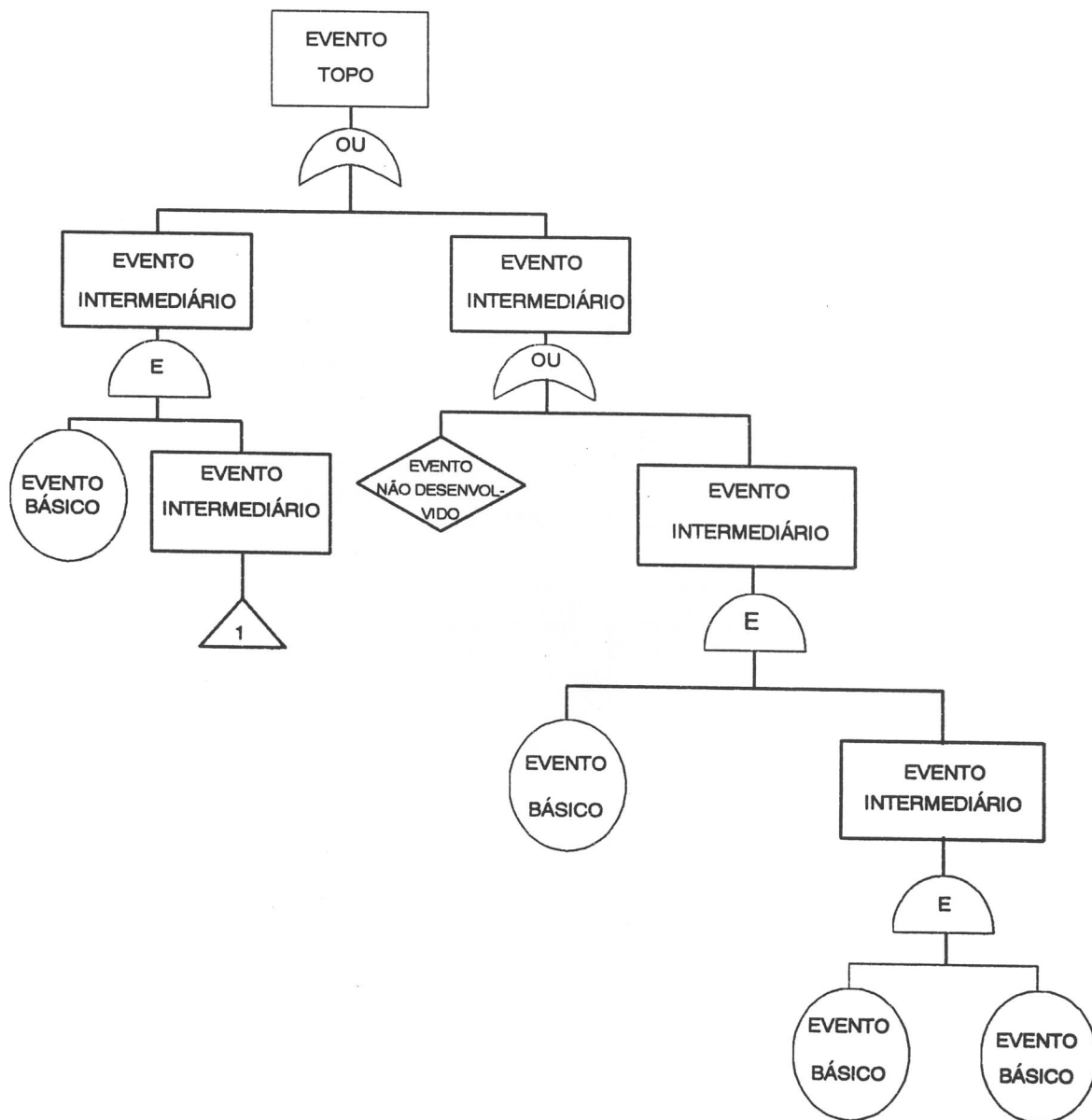
Palavra-Guia	Parâmetro	Desvio	Consequências	Causas	Ações Sugeridas

CETESB - CIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
 BIBLIOTECA

## Exemplo 6: Árvore de Eventos



## Exemplo 7: Árvore de Falhas



CETESB - COM. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

## **6.2 ANEXO II**

### **Definições**

## **Acidente**

É um evento específico não planejado, ou uma sequência de eventos, que gera consequências indesejáveis.

## **Álgebra Booleana**

É um conjunto de regras que permite a manipulação matemática de afirmações para formar equações lógicas. É utilizada na teoria dos conjuntos, incluindo algumas propriedades, tais como: comutativa, associativa, distributiva e outras.

## **Análise de Riscos**

É a identificação metódica de elementos e situações numa instalação ou atividade que possam gerar condições de risco.

## **Análise de Riscos Qualitativa**

É a aplicação de técnicas para análise de riscos, sem contemplar as frequências de ocorrências de eventos geradores de acidentes com repercussões ambientais.

## **Análise de Riscos Quantitativa**

É a aplicação de técnicas para análise e avaliação de riscos, obtendo-se resultados numéricos relativos aos valores de frequências e consequências das hipóteses acidentais estudadas.

## **Auditoria**

É a atividade pela qual pode-se verificar, periodicamente, a conformidade dos procedimentos de operação, de manutenção, de segurança e treinamento, a fim de se identificar riscos, condições ou procedimentos inseguros, para verificar se a instalação atende aos códigos e práticas normais de operação e segurança. É normalmente realizada através da utilização de *Checklists*, podendo ser feita previamente programada ou não.

## **Avaliação dos Riscos**

É a utilização de técnicas de caráter experimental e/ou matemático, as quais têm por finalidade prever, quantitativamente, as frequências de ocorrências e as consequências da materialização de um perigo.

## **BLEVE**

Do inglês *Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*, é o fenômeno de explosão catastrófica de um reservatório com projeção de fragmentos e de expansão adiabática, quando um líquido nele contido atinge uma temperatura bem acima da sua temperatura de ebulição à pressão atmosférica.

## **Bola de Fogo (Fireball)**

É o fenômeno que se verifica quando o volume de vapor inflamável, inicialmente comprimido num recipiente, escapa repentinamente para a atmosfera e, devido à depressurização, forma um volume esférico de gás, cuja superfície externa queima, enquanto a massa inteira se eleva por efeito da redução da densidade provocada pelo superaquecimento.

## **Confiabilidade**

É a probabilidade de um equipamento ou sistema de desempenhar satisfatoriamente as funções para qual foi projetado, no decorrer de um intervalo de tempo específico, sob um dado conjunto de condições de operação.

## **Diagrama F - N**

É a plotagem das frequências acumuladas de acidentes versus as respectivas consequências expressas em número de fatalidades.

## **Duto**

Qualquer tubulação, incluindo seus equipamentos e acessórios, destinada ao transporte de petróleo, derivados ou de outras substâncias químicas, situada fora dos limites de áreas industriais.

## **Diagrama de Instrumentação e Tubulações (P & ID's)**

É a representação esquemática de todas as tubulações, vasos, válvulas, filtros, bombas, compressores, etc, do processo. Os P & ID's mostram todas as linhas de processo, linhas de utilidades e suas dimensões, além de indicar também o tamanho e especificação das tubulações e válvulas, incluindo toda a instrumentação da instalação.

## **Efeito Dominó**

É um evento decorrente da sucessão de outros eventos parciais indesejáveis, cuja magnitude global é a somatória dos eventos individuais.

## **Empreendimento**

É o conjunto de ações, procedimentos, técnicas e benfeitorias que permitem a construção de uma instalação.

## **Explosão de Nuvem de Vapor Não-Confinado (UVCE)**

A Explosão de Nuvem de Vapor Não Confinado (UVCE-Unconfined Vapour Cloud Explosion) é a rápida combustão de uma nuvem de vapor inflamável no ar livre, seguida de uma grande perda de conteúdo, gerada a partir de uma fonte de ignição. Neste caso, somente uma parte da energia total irá se desenvolver sobre a forma de ondas de pressão e a maior parte na forma de radiação térmica.

## **Explosão de Vapor Confinado (CVE)**

CVE - Confined Vapour Explosion é o fenômeno causado pela combustão de uma mistura inflamável num ambiente fechado, com aumento na temperatura e na pressão internas, gerando uma explosão. Esse tipo de explosão pode ocorrer com gases, vapores

e pós. Neste caso, grande parte da energia se manifesta na forma de ondas de choque e quase nada na forma de energia térmica.

### **Flashfire**

É o incêndio de uma nuvem de vapor onde a massa envolvida não é suficiente para atingir o estado de explosão. É um fogo extremamente rápido onde todas as pessoas que se encontram na nuvem recebem queimaduras letais.

### **Fluxograma de Processo**

É a representação esquemática do fluxo seguido no manuseio ou na transformação de matérias-primas em produtos intermediários e acabados. É constituída de equipamentos de caldeiraria (tanques, torres, vasos, reatores, etc); máquinas (bombas, compressores, etc); tubulações, válvulas e instrumentos principais, onde devem ser apresentados dados de pressão, temperatura, vazões, balanços de massa e de energia e demais variáveis de processo.

### **Frequência**

É o número de ocorrências de um evento por unidade de tempo.

### **Incêndio de Poça (Pool Fire)**

É o incêndio que ocorre numa poça de produto, a partir de um furo ou rompimento de um tanque, de uma esfera, de uma tubulação, etc; onde o produto estocado é lançado ao solo, formando uma poça que, sob determinadas condições, se incendeia.

### **Instalação**

É o conjunto de equipamentos e sistemas que permitem o processamento, armazenamento e/ou transporte de insumos, matérias-primas ou produtos. Para fins deste manual, o termo é definido como a materialização de um determinado empreendimento.

### **Jato de Fogo (Jet Fire)**

É o fenômeno que ocorre quando um gás inflamável escoar a alta velocidade e encontra uma fonte de ignição próxima ao ponto de vazamento.

### **Perigo**

É uma característica inerente a uma substância, a uma instalação, a sua atividade ou a um procedimento, que representa um potencial para causar danos.

### **Planta**

É o conjunto de unidades de processo e/ou armazenamento com finalidade comum.

### **Probabilidade**

É a chance de um evento específico ocorrer ou de uma condição especial existir. A probabilidade é expressa numericamente na forma de fração ou de porcentagem.

### **Risco**

É a probabilidade de um perigo se materializar causando danos. O risco é função da probabilidade de ocorrência de um evento indesejado e dos danos resultantes desse evento.

### **Rotina de Manutenção**

É o conjunto de medidas que assegura a manutenção de uma instalação ou equipamento ao nível de projeto, pela minimização de falhas por desgaste, substituição de componentes falhos ou defeituosos, e pela avaliação de ambientes capazes de degradarem a instalação.

## **Rotina Operacional**

É o conjunto de medidas e orientações que compõe uma sequência de procedimentos que devem ser seguidos pelos operadores de uma determinada instalação.

## **Rotina de Segurança**

É o conjunto de normas e procedimentos preventivos que deve ser adotado quando da realização de ações que possam gerar situações de risco.

## **Sistema**

É um arranjo ordenado de componentes que estão interrelacionados e que atuam e interatuam com outros sistemas, para cumprir uma tarefa ou função num determinado ambiente.

## **Substância**

Espécie da matéria que tem composição definida.

## **Taxa de Falha**

É a probabilidade que uma falha ocorra, num certo intervalo de tempo. É medida pelo número de falhas após uma determinada unidade de tempo, ou pelo número de operações do sistema.

## **Unidade**

É o conjunto de equipamentos com finalidade de armazenar (unidade de armazenamento) ou de provocar uma transformação física e/ou química nas substâncias envolvidas (unidade de processo).

## **6.3 ANEXO III**

### **Referências Bibliográficas**

Existe um grande número de publicações sobre *Análise de Riscos*. Tais publicações contêm, em geral, a descrição dos métodos de análise e avaliação de riscos, exemplos de aplicação e estudos de casos, e poderão ser consultadas para um maior esclarecimento sobre o assunto.

A seguir estão apresentadas algumas das principais publicações sobre o tema. São elas:

1. American Institute of Chemical Engineers (AIChE). *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*. New York, 1985.
2. ----. *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. New York, 1989.
3. ----. *Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide*. 5th Edition. New York, 1981.
4. Chemical Industries Association. *A Guide to Hazard and Operability Studies*. London, 1987.
5. CONCAWE. *Methodologies for Hazard Analysis and Risk Assessment in the Petroleum Refining and Storage Industry*. Report N° 10, 1982.
6. CONWAY, Richard A. *Environmental Risk Analysis for Chemicals*. West Virginia. Van Nostrand Reinhold Co, 1982.
7. De CICCIO Francesco M.G.A.F & FANTAZZINI, Mario Luiz, *Introdução à Engenharia de Segurança de Sistemas*. 3 ed. S.P, FUNDACENTRO, 1979, 113p.
8. DOW Chemical Company. *Process Safety Manual*. Chemical Engineering Process, 1966.
9. GOW, H.B.F. & Key, R.W. *Emergency Planning for Industrial Hazards*. London, Elsevier Applied Science, 1988.
10. KLETZ, Trevor A. *Hazop And Hazan: Identifying and Assessing Process Industry Hazards*. 3<sup>rd</sup> ed. London, Institution of Chemical Engineers, 1992, 2V.
11. LEES, Frank P. *Loss Prevention in the Process Industries*. London, Butterworths, 1986.

12. LEWIS, D.J. *The Mond Fire and Explosion Index Applied to Plant Layout and Spacing*. 13<sup>th</sup> Loss Prevention Symposium, 1979.
- 13.----. *Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijmond Area, a Pilot Study*. Holland, D. Reidel Publishing Company, 1982.
- 14.----. *Management of Process Hazards*, American Petroleum Institute. Washington, DC, 1<sup>st</sup> ed., 1990.
15. The World Bank. *Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques*. Washington, DC Office of Environment and Scientific Affairs, 1985.
- 16.-----. *I Seminário Internacional de Engenharia e Análise de Riscos em Indústrias Químicas e Petroquímicas* - ABGR e UFBA. Salvador - Brasil, 1987.
17. Mendes, R.F. *Risco Ambiental e seus Fatores de Avaliação 1n: III Encontro Técnico sobre Engenharia da Confiabilidade*, Rio de Janeiro, 1991. Rio de Janeiro, 1991, p. 232.
19. Bello, G.C. & Menicucci, D.S. *A Comprehensive Evaluation of the Risks Associated with a Large Industrial Area Including Cavern Storage of LPG; Chemical Plants and Sea/Road/Train/Pipe, Transportation Harzadous Goods*. In III Encontro Técnico sobre Engenharia da Confiabilidade, Rio de Janeiro, 1991. Rio de Janeiro, 1991, pg. 001.
20. CETESB. *Metodologia para Classificação, Avaliação e Gerenciamento dos Riscos de Acidentes Ambientais em Fontes Industriais*. São Paulo, 1988, pg. 15.1 - 15.13.
21. Frutuoso, P.F. Modelos de Consequências. In - *Técnicas de Análise de Risco*. São Paulo, CETESB, 1989.
- 22.----. *Premises for Risk Management: Risk Limits in the Context of Environmental Policy*. Annex to the Dutch National Environmental Policy Plan Kiezen of Verliezer. Second Chamben of the States General, Session 1988 - 1989, 21137, n°s 1-2 Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. The Netherlands.