



# Avaliação de riscos em saúde ambiental: caso de acidentes industriais severos

Profa. Adelaide Cassia Nardocci  
Departamento de Saúde Ambiental  
FSP/USP

## AVALIAÇÃO DE RISCOS DE ACIDENTES EM INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS



ACIDENTE

1. Explosões
2. Incêndios
3. Vazamentos de produtos tóxicos

Efeitos diretos



Pessoas

Efeitos imediatos:

1. Lesões graves
2. Mortes de pessoas

## ACIDENTE:

Acidente é um evento indesejável, não esperado e não intencional que resulta em algum grau de comprometimento, real ou efetivo, do nível de segurança de uma instalação ou empreendimento.

## AVALIAÇÃO DE RISCOS DE ACIDENTES INDUSTRIAIS

CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DO ENTORNO



IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS  
(identificar todos os cenários de acidentes)



AVALIAÇÃO DOS EFEITOS FÍSICOS E VULNERABILIDADE  
(calcular a intensidade dos danos)



CÁLCULO DA FREQUÊNCIA  
(Qual a probabilidade de cada cenário acontecer?)



CÁLCULO DO RISCO  
Individual e social

## CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DO ENTORNO

### 1. EMPREENDIMENTO

Produtos Químicos;  
Atividades e processos;  
Equipamentos e sistemas.

### 2. ENTORNO

Distância e localização dos vizinhos;  
Localização e quantidade de pessoas;  
Vias, acessos, infraestrutura, etc..

## *Identificação de Perigos*



**Aplicação de  
Técnicas para a  
Identificação de  
Perigos**



**Hipóteses  
Acidentais**

## ***Identificação de Perigos***

- **Análise de Procedimentos;**
- **Análise “E se ... ?” (*What If...?*);**
- ***Checklists* (Listas de Verificação);**
- **Técnica de Incidentes Críticos (TIC);**
- **Análise Preliminar de Perigos (APP);**
- **Análise de Modos de Falhas e Efeitos (AMFE);**
- ***Hazard & Operability Analysis (HazOp)*.**

## ***Identificação de Perigos***

### **HIPÓTESES ACIDENTAIS:**

1. INCÊNDIOS
2. EXPLOSÕES
3. VAZAMENTOS DE SUBSTÂNCIAS TÓXICAS

## TIPOS DE INCÊNDIOS

- INCÊNDIO EM TANQUE - *TANK FIRE*
- INCENDIO EM POÇA - *POOL FIRE*
  - JATO DE FOGO - *JET FIRE*
  - BOLA DE FOGO - *FIREBALL*
- INCÊNDIO EM NUVEM - *FLASHFIRE*

## INCÊNDIO EM TANQUE



# INCÊNDIO EM POÇA

Sandia National Laboratories' Open Pool Thermal Test Facility  
Fuel Types: JP-4 and Others by special order  
Maximum Weight: 100-tons



## FATORES QUE INTERFEREM NA FORMAÇÃO

- TAXA DE VAZAMENTO
- CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO
  - SOLO
- OBSTÁCULOS

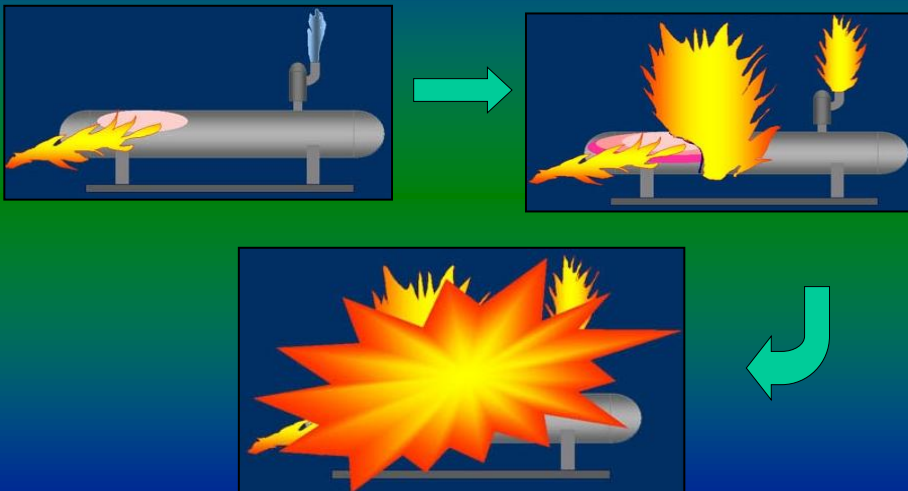
# JATO DE FOGO



## BLEVE - FIREBALL



## BLEVE



## **TIPOS DE EXPLOSÕES**

- **EXPLOSÕES CONFINADAS – efeitos são mais graves**
  
- **EXPLOSÕES NÃO CONFINADAS - áreas abertas**

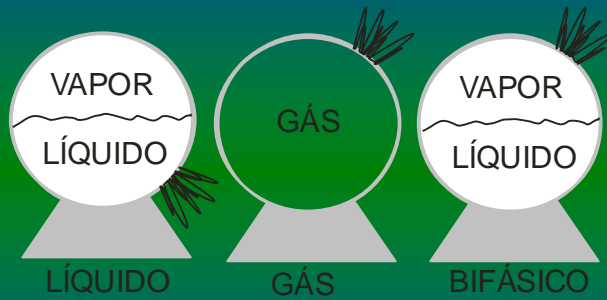
## **DISPERSÃO DE GASES E VAPORES**

### **FATORES DE INFLUÊNCIA**

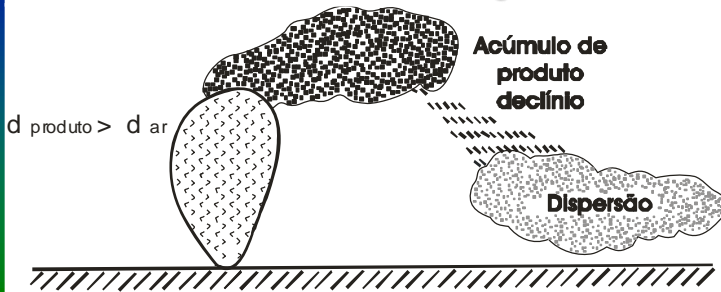
- ✓ **TURBULÊNCIA ATMOSFÉRICA**
- ✓ **ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA**
- ✓ **PRESENÇA DE OBSTÁCULOS**
- ✓ **CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO**
- ✓ **CARACTERÍSTICAS DO VAZAMENTO**



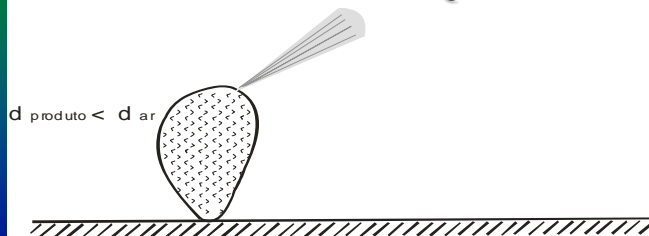
## TIPOS DE VAZAMENTOS



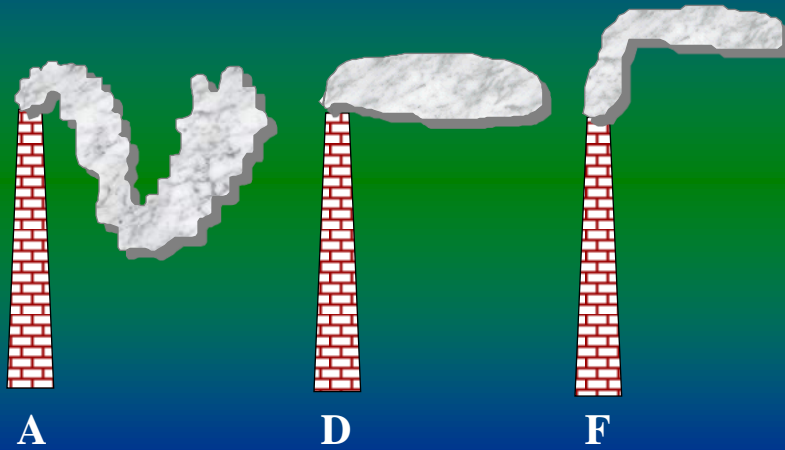
### PRODUTO MAIS PESADO QUE O AR



### PRODUTO MAIS LEVE QUE O AR



# ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA

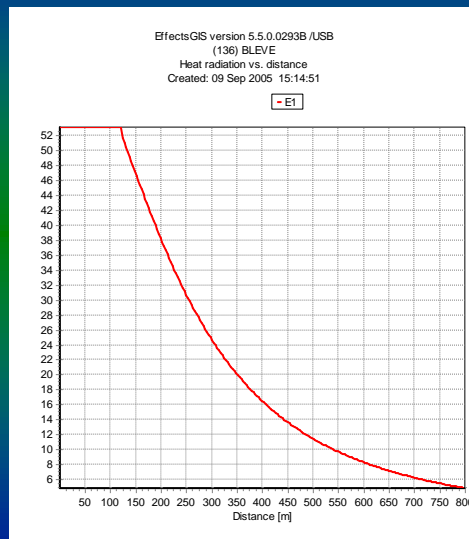


A  
INSTÁVEL

D  
NEUTRA

F  
ESTÁVEL

## EXEMPLO DE SIMULAÇÃO:



## **CÁLCULO DOS EFEITOS FÍSICOS:**

AVALIAR O COMPORTAMENTO DE UM PRODUTO QUANDO DE UMA LIBERAÇÃO ACIDENTAL



## **ANÁLISE DE VULNERABILIDADE**

ESTIMATIVA DOS DANOS GERADOS AO HOMEM, AS ESTRUTURAS E AO MEIO AMBIENTE DEVIDO AS LIBERAÇÕES ACIDENTAIS DE PRODUTOS QUÍMICOS

- RADIAÇÃO TÉRMICA
- SOBREPRESSÃO
- CONCENTRAÇÃO TÓXICA

# VULNERABILIDADE

## FUNÇÃO MATEMÁTICA DE PROBIT

$$Pr = a + b \ln x$$

- Pr REPRESENTA A PROBABILIDADE DE FATALIDADE E/OU FERIDOS;
- a, b CONSTANTES E FUNÇÃO DO PRODUTO E CENÁRIO;
- x VARIÁVEL QUE DESCREVE A MAGNITUDE DO IMPACTO FÍSICO.

## VULNERABILIDADE PARA SUBSTÂNCIA TÓXICA

### Estimativa das Conseqüências

#### Exemplo de Cálculo

<C> para 50% de fatalidade em 30 minutos de exposição à amônia? E ao cloro? Sendo:

Amônia: a = -35,9, b = 1,85 e n = 2,0

Cloro: a = -8,29, b = 0,92 e n = 2,0

Segundo a tabela, o Probit para 50% de fatalidade é de 5,00

Para a amônia:

$$\begin{aligned} \text{Probit} &= a + b \times \ln(c^n \times t) \\ 5,00 &= -35,9 + 1,85 \times \ln(c^{2,0} \times 30) \\ C &= 11.540 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Para o cloro:

$$\begin{aligned} \text{Probit} &= a + b \times \ln(c^n \times t) \\ 5,00 &= -8,29 + 0,92 \times \ln(c^{2,0} \times 30) \\ C &= 250,2 \text{ ppm} \end{aligned}$$

## VULNERABILIDADE A RADIAÇÃO TÉRMICA

Nível de Radiação Térmica (kW/m <sup>2</sup> )	Efeitos Observados
1,0 a 1,6	Radiação suportável sem uso de roupas protetoras.
4,0 a 5,0	Radiação suportável com uso de roupas protetoras. Mal estar.
12,5	Radiação que provoca queimaduras não letais. Perigo à saúde e à vida. Fusão de tubulações plásticas. Ignição de roupas. Ignição
37,5	Radiação que provoca queimaduras letais. Perigo à vida. Danos aos equipamentos industriais. Perigo à vida.

## VULNERABILIDADE A RADIAÇÃO TÉRMICA

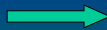
Radiação Térmica (kW/m <sup>2</sup> )	Tempo de Exposição (s)		
	Probabilidade de Fatalidade (%)		
	1	50	99
4,0	150	370	930
12,5	30	80	200
37,5	8	20	50

## VULNERABILIDADE A SOBREPRESSÃO

Sobrepessão (bar)	Efeitos Observados
0,30	Danos graves em prédios, estruturas e equipamentos. Perigo à vida.
0,10	Danos reparáveis em prédios e estruturas. Perigo à saúde e à vida.
0,03	Ruptura total de vidros, podendo causar ferimentos por lançamento de estilhaços. Mal estar à saúde.
0,01	Ruptura de aproximadamente 10 % dos vidros, com pequena probabilidade de causar ferimentos.

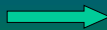
### Análise de Vulnerabilidade

12,5 kW.m<sup>2</sup> ou 0,1 bar

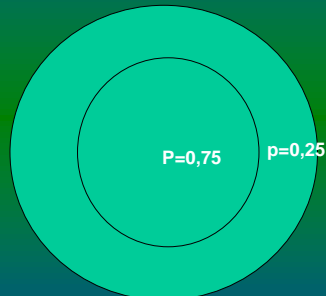
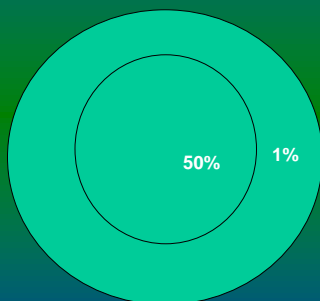


1% de probabilidade de morte

37,5 kW.m<sup>2</sup> ou 0,3 bar



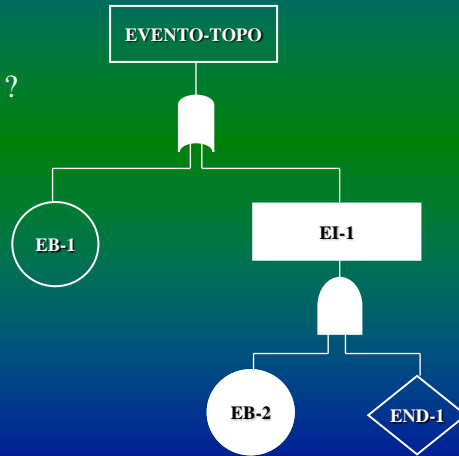
50% de probabilidade de morte



## CÁLCULO DA FREQUÊNCIA

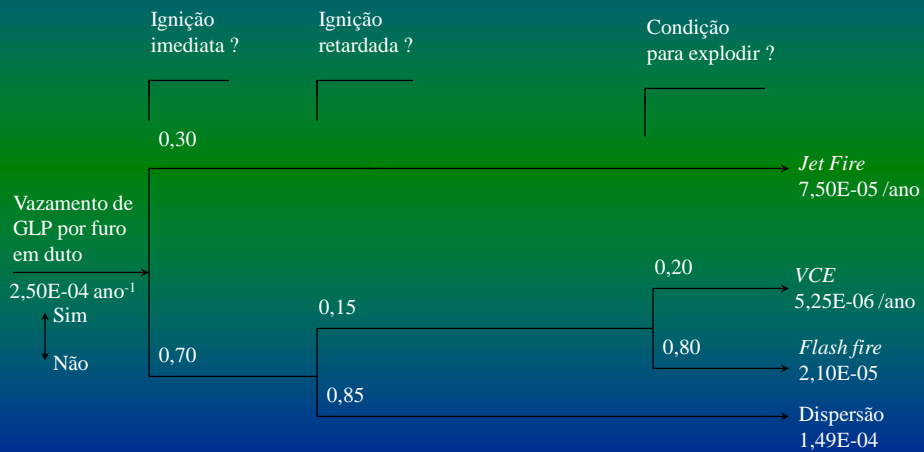
### Análise por Árvores de Falhas (AAF)

- Como isto pode ocorrer ?
- Quais são as causas deste evento ?



## CÁLCULO DA FREQUÊNCIA

### Análise de árvore de eventos - AAE



## Risco Individual

Risco para uma pessoa presente na vizinhança de um perigo, considerando a natureza do dano, a probabilidade de ocorrer o dano e o período de tempo em que o mesmo pode acontecer. Normalmente, o dano é estimado em termos de fatalidade.

## Curvas de Iso-Risco

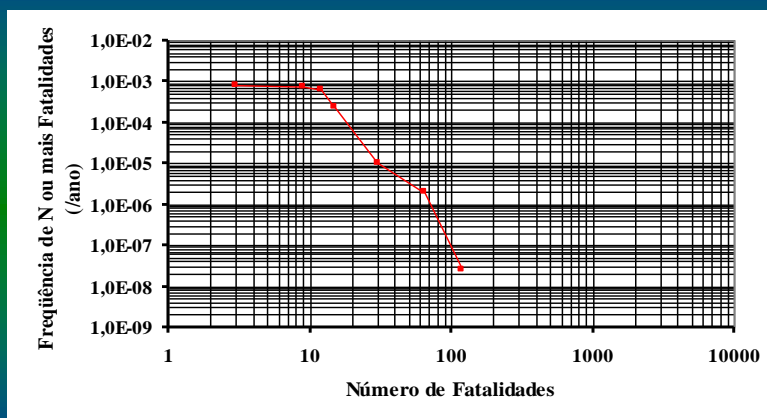




## Risco Social

O Risco Social é a relação entre a frequência e o número de pessoas expostas a um nível de dano específico de uma determinada população, em função da ocorrência de perigos específicos (IChemE, 1992).

## Risco Social – Curva F-N



## Aceitabilidade dos Riscos - Critérios CETESB

### Risco Individual :

Risco máximo tolerável:  $1 \times 10^{-5}$  ano<sup>-1</sup>;

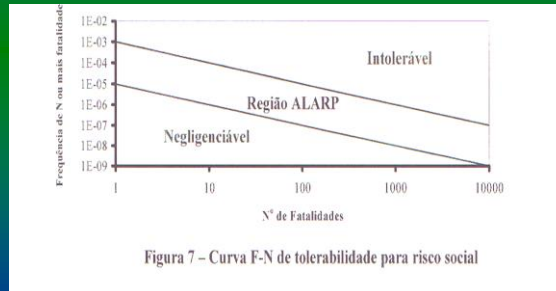
Risco negligenciável:  $< 1 \times 10^{-6}$  ano<sup>-1</sup>;

Para dutos:

Risco máximo tolerável:  $1 \times 10^{-4}$  ano<sup>-1</sup>;

Risco negligenciável:  $< 1 \times 10^{-5}$  ano<sup>-1</sup>;

### Risco Social :



Em caso de acidentes severos, o risco social é critério prioritário.