

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E EXPLOÇÃO
PARA PREVENÇÃO DE ACIDENTES INDUSTRIAIS AMPLIADOS
OU PARA REDUÇÃO DE SUAS CONSEQUÊNCIAS

por

Diohrge Ronan Vieira Sousa

Orientador:
Claudio Alberto Hanssen

Porto Alegre, fevereiro de 2013

SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E EXPLOSÃO
PARA PREVENÇÃO DE ACIDENTES INDUSTRIAIS AMPLIADOS
OU PARA REDUÇÃO DE SUAS CONSEQUÊNCIAS

por

Diohrge Ronan Vieira Sousa
Engenheiro Mecânico

Monografia submetida ao Corpo Docente do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, do Departamento de Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Especialista

Orientador: Prof. Eng. Cláudio Alberto Hanssen

Prof. Dr. Sergio Viçosa Möller
Coordenador do Curso de Especialização em
Engenharia de Segurança do Trabalho

Porto Alegre, 20 de fevereiro de 2013.

"It has become appallingly obvious that
our technology has exceeded our humanity."

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho apresenta um roteiro com recomendações sobre aspectos que devem ser considerados no cumprimento da NR-20 e das regulamentações locais para proteção contra incêndio e que tem por finalidade garantir o controle adequado dos processos com grandes quantidades de substâncias inflamáveis. Para a prevenção de acidentes ampliados envolvendo incêndios e explosões deve ser realizada uma análise de quais fenômenos poderão ser desencadeados na instalação e qual a extensão dos danos, bem como estabelecer um layout com distâncias seguras entre as estruturas e do complexo industrial para regiões povoadas. Na prevenção também cabe a especificação de sistemas capazes de detectar desvios operacionais e falhas de contenção, bem como isolar os componentes de uma combustão através da ausência de comburente ou da eliminação de fontes de ignição. Enquanto a redução de consequências de um evento catastrófico deve ser feita através de um plano de emergências elaborado de acordo com a estrutura disponível para o combate às chamas e para o resfriamento de tanques. Esta estrutura deve ser projetada para os cenários mais desfavoráveis e ser composta por alarmes, detectores, reservatórios, bombas e tubulações bem distribuídas. A utilização de equipamentos automáticos para o combate ao incêndio nestas instalações é essencial, contudo também deve ser treinada uma equipe para efetuar a evacuação e auxiliar no controle das chamas em locais que estes equipamentos não alcançam. O plano de emergência deve estipular ações que deverão ser tomadas para os mais diversos tipos de situações e conter um programa de treinamentos e simulados que permita uma execução eficaz destas ações. Embora a NR-20 apresente deficiências que podem comprometer sua eficácia, trata-se de um avanço nas ações do poder público para evitar a ocorrência de Acidentes Industriais Ampliados. Se os empregadores interpretarem a norma com responsabilidade e cumprirem os requisitos mínimos, além de garantir a segurança e a saúde de seus empregados, estarão também reduzindo o risco de expor a sociedade e o meio ambiente a um evento de consequências devastadoras.

ABSTRACT

FIRE AND EXPLOSION PROTECTION SYSTEMS FOR PREVENTION OF MAJOR INDUSTRIAL ACCIDENTS AND FOR REDUCTION OF ITS CONSEQUENCES

This paper presents a guide with recommendations on aspects that should be considered in compliance with the NR-20 and local regulations for fire protection and aims to ensure adequate control of processes with large quantities of flammable substances. To prevent major industrial accidents involving fires and explosions should be performed an analysis of phenomenons which can happen in the industrial facilities and the extend of its damages, and to establish a layout with safe distances between structures and between the industrial complex and villages. In preventing is also necessary to specify systems able to detect operational deviations and containment failures, as well as to isolate combustion components from by absence of oxygen or elimination of ignition sources. While reducing the consequences of a catastrophic event must be made through a emergency plane prepared according to the structures available to combat the flames and to cool tanks. This structure must be projected for worst case scenarios and be composed of alarms, detectors, water reservoirs, pumps and pipes properly distributed. The use of automatic equipments for fire control in process industries is essential, however it is also necessary to criate a team to carry out the evacuation and to help in control of flames in places that equipments can not reach. The emergency plan should to stipulate actions to be taken for different types of situations and to contain a program of trainings and simulations enabling efficient execution of these actions. Although the NR-20 presents deficiencies that can compromise its effectiveness, it is a breakthrough in the actions of the government to prevent occurrences of major industrial accidents. If employers to interpret the standard with responsibility and to observe the minimum requirements, beyond ensure the safety and health of its employees, will also to reduce the risk of exposing the society and the environment to a devastating event.

ÍNDICE

	Pág.
1. Introdução	1
2. Acidente Industrial Ampliado e a Convenção OIT n.º 174	2
3 Norma Regulamentadora n.º 20	6
3.1 Gestão dos Riscos	6
3.2 Aspectos Construtivos da Instalação	6
3.3 Aspectos Operacionais da Instalação	6
4 Prevenção de Acidentes Ampliados	7
4.1 Análise dos Cenários Possíveis	7
4.1.1 Jato de Incêndio (Jet Fire)	7
4.1.2 Incêndio em nuvem de vapor (Flash Fire)	8
4.1.3 Explosão de Nuvem de Vapor (Vapour Cloud Explosion)	9
4.1.4 Incêndio de Poça (Pool Fire)	9
4.1.5 Explosão por Expansão do Vapor de Líquido em Ebulição (BLEVE)	10
4.2 Controle dos Componentes da Combustão	12
4.2.1 Controle da Relação entre Combustível e Comburente	12
4.2.2 Controle das Fontes de Energia de Ativação	14
4.2.3 Sistemas de Detecção de Vazamentos	18
4.3 Outras Considerações de Caráter Preventivo	20
4.3.1 Seleção de Materias	20
4.3.2 Adoção de Ferramentas de Gestão	22
5. Redução das Consequências de Grandes Incêndios e Explosões	23
5.1 Alarmes e Controles de Vazamentos	24
5.2 Detecção de Incêndio	25
5.3 Combate ao Incêndio	26
5.3.1 Sistema de Reservação, Pressurização, Comando e Distribuição	27
5.3.2 Sistemas Automáticos de Combate a Incêndios	29
5.3.3 Equipe de Combate a Incêndios	30

6.	Plano de Emergência	31
6.1	Responsáveis pela Elaboração	31
6.2	Avaliação de Riscos e Capacidades de Ação	31
6.3	Desenvolvimento do Plano	32
6.4	Implantação do Plano	33
6.5	Gerenciamento da Resposta à Emergência	35
7.	Conclusão	37
8.	Referências Bibliográficas	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.	TÍTULO	Pág.
4.1	Representação da inclinação da chama pela ação do vento	8
4.2	Etapas de Incêndio em Nuvem	8
4.3	Desenvolvimento da onda choque gerada por uma explosão	9
4.4	Esquema para colapso estrutural em decorrência de BLEVE	10
4.5	Prováveis danos e mortes conforme exposição à radiação térmica	11
4.6	Classificação das Zonas de Perigo em Tanque de Armazenamento	13
4.7	Energia de ignição para diferentes concentrações de Propano e Hidrogênio	14
4.8	Sistema de Instalação por Cabos com Conexão Direta	17
4.9	Sistema de Instalação por Cabos com Conexão Indireta	17
4.10	Circuito da Ponte de Wheatstone	19
5.1	Estágios no desenvolvimento e decaimento de um incêndio	23
5.2	Funcionamento do sistema de combate a incêndio	27

ÍNDICE DE TABELAS

Tab.	TÍTULO	Pág.
1.	Acidentes Industriais Ampliados ocorridos até 1984 com mais de 20 óbitos	3
2.	Limites Inferior e Superior de explosividade de algumas substâncias	12
3.	Grupos de Equipamentos Elétricos Recomendados	14
4.	Classes de Temperatura para Equipamentos e Dispositivos Elétricos	15

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do último século, para atender os anseios de consumo da população mundial, houve uma grande evolução nos processos industriais e a complexidade de alguns destes exige que as dimensões dos mesmos sejam muito amplas para conferir rentabilidade aos investidores, pois a viabilidade econômica de muitas atividades somente se dá devido a uma grande quantidade de produção. Por este motivo, tornou-se bastante comum as empresas armazenarem e manipularem grandes quantidades de substâncias consideradas perigosas.

Em razão das propriedades químicas ou físicas, algumas substâncias representam grande perigo devido à probabilidade de ocorrer algum dano ao serem expostas a determinadas condições ou se misturadas com outras. Entre os danos mais preocupantes, podem ser citados acidentes que envolvam intoxicação de seres humanos, contaminação do meio ambiente, incêndios e explosões. Geralmente, estes danos são proporcionais à quantidade da substância perigosa exposta a uma situação não controlada.

Substâncias tóxicas ou inflamáveis devem sempre estar contidas em receptáculos adequadamente projetados para suas respectivas propriedades e todos os processos aos quais serão submetidas deverão ser analisados criteriosamente quanto à probabilidade de ocorrer algum vazamento ou alguma reação com liberação de energia ou de subprodutos tóxicos.

Quando a substância liberada de forma não controlada é inflamável, o perigo está associado ao aumento significativo da probabilidade de ocorrer incêndios ou explosões. Sabe-se que o fogo inicia sempre que uma mistura ideal de combustível e comburente entra em contato com uma fonte de ignição e se mantém através de uma reação em cadeia que dependerá da presença desta mistura ideal e de outras que irão se formar com os subprodutos da combustão. Considerando que ar é formado por aproximadamente 21% do gás oxigênio, a maioria dos ambientes terá comburente em abundância e a dispersão de uma substância que está vazando irá formar misturas com o ar que poderão estar numa concentração considerada ideal e que poderão entrar em contato com uma fonte de ignição. Considerando as quantidades de substâncias inflamáveis que usualmente são armazenadas ou manuseadas em diversas atividades econômicas, um incêndio pode gerar um acidente de consequências desastrosas.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo elencar os aspectos que devem ser analisados para o efetivo gerenciamento dos riscos de incêndio e explosão em plantas industriais que possuam potencial para gerar um acidente de grandes proporções. Pretende-se, também, demonstrar soluções empregadas para a proteção destes estabelecimentos, contextualizando com as atuais ferramentas de gestão de segurança de processos e a legislação.

2. ACIDENTE INDUSTRIAL AMPLIADO E A CONVENÇÃO OIT N.º 174

O Acidente Industrial Ampliado, também conhecido como Acidente Maior, é um evento que resulta em grandes danos à saúde dos trabalhadores e da população, ao meio ambiente ou ao patrimônio que são expostos aos efeitos de uma ou mais substâncias perigosas liberadas de forma repentina e sem controle em decorrência de falhas na operação de uma instalação industrial [Fundacentro, 2002].

A abrangência e a magnitude dos danos dependerão das características das substâncias liberadas. Quando uma substância tóxica é liberada, os danos patrimoniais normalmente são irrelevantes, mas o comprometimento da saúde dos trabalhadores, da vizinhança ou a degradação do meio ambiente acarretarão em um relevante dano à imagem da empresa. Quando a substância vazada é inflamável, podem ocorrer incêndios e explosões com danos patrimoniais severos e com potencial significativo de comprometimento da saúde das pessoas mais próximas ao evento, seja pela alta liberação de energia térmica, por ondas de choque ou, ainda, intoxicação pela fumaça. Diante destes dois cenários, é possível constatar a necessidade de ações similares para a prevenção de acidentes, pois a falha na contenção é a causa primária de ambos. Contudo, após a ocorrência do vazamento, as ações para reduzir os efeitos são bem distintas [Filipe, 2001].

Apesar do número expressivo de óbitos que ambas situações podem causar, a ocorrência de grandes acidentes que envolvem incêndios ou explosões é superior ao número dos que envolvem vazamentos de produtos tóxicos. Abaixo, na Tabela 1, está a relação dos grandes acidentes ocorridos até o vazamento que ocorreu em Bhopal, no ano 1984.

Tabela 1 - Acidentes Industriais Ampliados ocorridos até 1984 com mais de 20 óbitos

Ano	País	Tipo de Acidente	Substâncias	Mortes
1921	Alemanha	Explosão em Fábrica	Nitrato	>500
1926	Estados Unidos	Vazamento de Tanques	Cloro	40
1926	Estados Unidos	Explosão em Depósito de Munições	Trinitrotoluol	21
1929	Estados Unidos	Incêndio (com Gases Tóxicos)	Nitrogênio, Monóxido e Dióxido de Carbono	119
1930	Bélgica	Vazamentos de Gases Tóxicos	Fluoreto de Hidrogênio, Ácido e Dióxido Sulfúrico	92
1933	Alemanha	Explosão em Fundição	Gases	65
1934	China	Incêndio em Gasômetro	Gases	42
1935	Alemanha	Explosão em Fábrica de Explosivos	Dinitrotoluol e trinitrotoluol	82
1939	Romênia	Vazamento em Indústria	Cloro	60
1942	Bélgica	Explosão	Nitrato de Amônia	60-80
1943	Alemanha	Explosão em Caminhão	Butadieno	60-80
1944	Estados Unidos	Explosão de Nuvem de Gás	GLN	130
1947	França	Explosão de Navio	Nitrato de Amônia	21
1947	Estados Unidos	Explosão de Navio	Nitrato de Amônia	552

Fonte: adaptado da Revista de Saúde Pública (1995, p. 506)

(Continuação) Tabela 1 - Acidentes Industriais Ampliados ocorridos até 1984 com mais de 20 óbitos

Ano	País	Tipo de Acidente	Substâncias	Mortes
1948	Alemanha	Explosão de Caminhão	Éter Dimetílico	209
1948	Alemanha	Explosão em Metalúrgica	Poeira de Carvão	50
1950	México	Vazamento em Indústria	Sulfeto de Hidrogênio	22
1959	Estados Unidos	Explosão de Caminhão	GLP	26
1966	França	Explosão em Refinaria	Propano e Butano	21
1968	Alemanha	Explosão em Indústria	-	24
1968	Japão	Contaminação da água	Cádmio	100
1970	Japão	Explosão	Gás	92
1972	Estados Unidos	Explosão de Coqueria	Propano	21
1972	Japão	Vazamento em seis fábricas	-	76
1972	Brasil	Explosão em Refinaria	Propano	38
1973	Estados Unidos	Incêndio em Indústria	GLP	40
1974	Inglaterra	Explosão em Indústria	Ciclohexano	28
1976	Finlândia	Explosão	Explosivos	43
1977	Coréia do Sul	Explosão de Trem	Explosivos	56
1977	Colômbia	Vazamento em Indústria	Amônia, Nitrato e Carbamida	30
1978	Espanha	Acidente de Transporte Rodoviário	Propileno	216
1978	México	Explosão	Butano	100
1978	México	Explosão de Gasoduto	Gás	58
1978	-	Explosão de um Vagão Tanque	GLP	25
1979	Rússia	Vazamento em Indústria	-	300
1979	Irlanda	Explosão de Tanque	Petróleo	50
1979	Turquia	Explosão de Transporte Marítimo	Petróleo	55
1979	China	Naufrágio de Navio	Petróleo	72
1979	Estados Unidos	Incêndio e Explosão em Tanques	Petróleo	32
1980	Índia	Explosão em duas fábricas	Explosivos	120
1980	Irã	Explosão em Depósito de Armamento	Nitroglicerina	80
1980	Espanha	Explosão	Explosivos	51
1980	Tailândia	Explosão de Armamentos	Explosivos	54
1981	Venezuela	Explosão	Hidrocarbonetos	145
1981	México	Descarrilamento de Trem	Cloro	28
1982	Canadá	Naufrágio de Navio	Petróleo	84
1982	Estados Unidos	Incêndio em Navio	Petróleo	51
1982	Noruega	Naufrágio de Navio	Petróleo	123
1982	Espanha	Explosão	Explosivos	51
1983	Brasil	Explosão de Trem	Diesel	45
1984	Brasil	Explosão de Oleoduto	Gasolina	508
1984	Brasil	Explosão de Plataforma	Petróleo	40
1984	México	Explosão de Reservatório	GLP	550
1984	Paquistão	Explosão de Gasoduto	Gás Natural	60
1984	Romênia	Explosão em Fábrica	-	100
1984	Índia	Transporte Rodoviário	Petróleo	60
1984	Índia	Vazamento em Indústria	Metil-Isocianato	>2.500

Fonte: adaptado da Revista de Saúde Pública (1995, p. 506)

Os dados supracitados permitem diversas correlações e interpretações, contudo é perceptível que o número de grandes acidentes envolvendo inflamáveis é bem superior ao que envolve apenas tóxicos. Além do armazenamento e da manipulação de inflamáveis serem mais frequentes nas empresas, outra justificativa para esta diferença no número de ocorrências é que os inflamáveis nem sempre estão associados ao processo produtivo principal e o conhecimento sobre os processos auxiliares nem sempre é suficiente para a realização de ações adequadas em situações não rotineiras. Outra preocupação usual com acidentes que envolvem fogo é o colapso

das estruturas da instalação, pois este poderá comprometer a capacidade de contenção de outras substâncias perigosas armazenadas ou manipuladas nas proximidades do evento.

Na década de 80, considerando o número expressivo de acidentes ampliados registrados no mundo, países e organizações internacionais começaram a estabelecer medidas normativas para reduzir o número de ocorrência e a gravidade de ocorrências.

Embora a *Diretiva Seveso*, publicada pela Comunidade Européia (atual União Européia) em 1982, seja a primeira norma internacional para a prevenção de acidentes maiores e se mantém válida após revisões, a Convenção nº 174 da OIT - Organização Internacional do Trabalho - é norma internacional com maior importância neste tema. Elaborada em 1993, a norma tem por finalidade a prevenção de acidentes maiores que envolvam substâncias perigosas através da redução dos riscos e das consequências destes eventos [Costa, Godini e Rocha Jr., 2006].

Embora a preocupação com acidentes ampliados seja baseada em efeitos que não se limitam pelas cercas de uma planta industrial, os trabalhadores são os primeiros expostos aos danos ocasionados por estes eventos. Portanto, além das recomendações institucionais quanto ao que os países membros da OIT devem dispor para a prevenção de acidentes maiores, os deveres e ações recaem sobre responsabilidade dos empregadores, que deverão criar e manter um sistema documentado de controle de risco que preveja:

- a) Identificação e estudo dos perigos com avaliação dos riscos, considerando inclusive possíveis interações entre substâncias;
- b) Medidas técnicas que compreendam projeto, sistemas de segurança, construção, seleção de substâncias químicas, operação, manutenção e inspeção sistemática da instalação;
- c) Medidas organizacionais que estimulam formação e instrução dos trabalhadores, fornecimento de equipamentos de segurança, definição de responsabilidades e controle das empresas externas e dos trabalhadores temporários no local da instalação;
- d) Planos de emergência que compreendam:
 - Preparação de procedimentos eficazes para emergências no local, inclusive atendimento médico emergencial, a serem aplicados no caso de acidentes maiores ou de ameaça de acidente, com avaliações e testes periódicos de sua eficácia, bem como revisões quando necessárias;
 - Fornecimento de informações sobre possíveis acidentes e planos internos de emergência às autoridades e aos órgãos responsáveis pela preparação de planos e procedimentos de emergência para proteção do público e do meio ambiente fora da instalação; e

- Todas as medidas sugeridas por essas autoridades para que os procedimentos possam ser realizados em cooperação.

e) Medidas para reduzir as consequências de um acidente maior;

f) Consulta com os trabalhadores e seus representantes;

g) Melhoria contínua do sistema, incluindo medidas para a coleta de informações e análise de acidentes ou “quase-acidentes”. As experiências assim adquiridas deverão ser debatidas com trabalhadores e seus representantes e registradas de conformidade com a legislação e a prática nacionais.

Considerando que esta convenção foi aprovada pelo Congresso Nacional e está em vigência no Brasil desde agosto de 2002. Para o cumprimento do que é determinado pela mesma, o Ministério do Trabalho e Emprego - MTE - providenciou a reformulação da NR-20.

3. NORMA REGULAMENTADORA N.º 20

Nesta reformulação da NR-20, diversos aspectos foram incorporados para que as atividades que envolvam substâncias inflamáveis sejam realizadas com o menor risco possível à saúde e à segurança dos trabalhadores, cabendo destacar os seguintes tópicos:

3.1 GESTÃO DOS RISCOS

Ao incluir o termo “gestão”, a NR-20 amplia as formas de abordagem dos riscos e permite que os requisitos mínimos elencados sejam explorados de acordo com a percepção de uma equipe multiprofissional coordenada por um profissional habilitado. Este processo de gerenciamento dos riscos deve ser documentado através de um Prontuário da Instalação que será formado pelo projeto da instalação, pelos procedimentos de operação, pelos planos de inspeção e manutenção, pelas análises de riscos e de acidentes, pela comprovação de que treinamentos foram realizados e pelas estratégias de ação em situação de emergência que podem incluir prevenção e controle de vazamentos, incêndios e explosões.

3.2 ASPECTOS CONSTRUTIVOS DA INSTALAÇÃO

O novo texto da NR-20 também menciona que os aspectos de segurança estejam incorporados ao projeto da instalação e que estes sejam elaborados atendendo todas as determinações legais e considerando as normas de boas práticas. Paralelamente, a construção ou a montagem da instalação precisam ser fiéis ao projeto e devem ser seguidas por inspeções e testes que garantam condições seguras de operação.

3.3 ASPECTOS OPERACIONAIS DA INSTALAÇÃO

Também está previsto que a operação de uma instalação que armazena ou manipula substâncias inflamáveis precisa do controle adequado de todos os procedimentos rotineiros ou eventuais, sendo que estes devem conter todas as informações necessárias para a execução das tarefas de forma segura e dever ser constantemente revisados e repassados através de treinamentos aos empregados e terceirizados. A realização destes procedimentos sem graves desvios também depende diretamente do planejamento da inspeção e da manutenção de cada componente da instalação, ao longo de sua vida útil até a desativação.

4. PREVENÇÃO DE ACIDENTES AMPLIADOS

Considerando o que estabelece a NR-20, de que os aspectos de segurança devem estar presentes desde o projeto da instalação, a prevenção inicia na definição do layout do processamento de uma substância inflamável. Cada estrutura projetada possui uma probabilidade de falha e um potencial de dano que são característicos da sua função no processo e da quantidade de substância envolvida, portanto a distribuição destas estruturas deve ser realizada procurando evitar que a ocorrência de um evento possa atingir outras estruturas da planta industrial e causar uma cadeia de eventos. Portanto, é imprescindível verificar quais eventos poderão ser desencadeados com a ocorrência das falhas mais prováveis e estimar os potenciais danos, desta forma também será possível especificar sistemas eficazes para a prevenção e o combate aos incêndios e explosões.

4.1 ANÁLISE DOS CENÁRIOS POSSÍVEIS

Embora os eventos envolvendo incêndios e explosões possam apresentar diferentes formas de ocorrência e de evolução, normalmente poderão ser descritos com uma das seguintes caracterizações:

4.1.1 - JATO DE INCÊNDIO (*JET FIRE*)

Evento proporcionado pelo vazamento contínuo de um gás inflamável pressurizado e uma fonte de ignição próxima. Neste tipo de evento considera-se que não há um acúmulo significativo de gás no ambiente e que a ignição é imediata.

A origem do vazamento que propicia o jato de incêndio é uma perfuração ou uma ruptura com área reduzida e que, devido a pressurização, apresenta uma vazão contínua da substância inflamável. Normalmente, na região bem próxima à origem do vazamento, não há combustão porque a mistura ainda é rica, ou seja, a concentração da substância no ar está acima do limite superior de inflamabilidade. Esta característica impede que, enquanto o gás estiver pressurizado, o incêndio seja propagado para o interior da tubulação ou do tanque de armazenamento. Portanto, o poder de devastação está associado apenas ao alcance das chamas e ao calor que é gerado durante a combustão. A prevenção ocorre através da eliminação das fontes de ignição e do afastamento de superfícies inflamáveis e de estruturas do processo que poderão absorver calor e causar outro tipo de evento. Este afastamento pode ser determinado através do cálculo do

comprimento máximo que uma chama pode alcançar ou através da quantidade máxima de calor que a outra estrutura pode receber sem que ocorra outro evento.

Conforme Figura 4.1, outro fator que pode influenciar na estimativa do comprimento da chama é a ação do vento sobre a mesma, que causará sua inclinação.

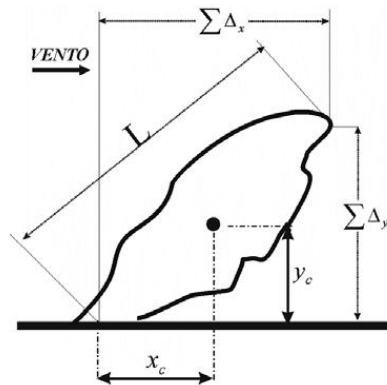


Figura 4.1 - Representação da inclinação da chama pela ação do vento. Fonte: API, 1994.

4.1.2 - INCÊNDIO EM NUVEM DE VAPOR (*FLASH FIRE*)

Evento proporcionado pelo vazamento de um gás ou vapor inflamável que vai dispersando lentamente (causando um acúmulo ao redor da instalação) e, posteriormente, uma mistura ideal desta substância com o ar encontra uma fonte de ignição. Portanto, este tipo de evento caracteriza-se por uma grande quantidade de gás ou vapor acumulada e pela ignição retardada. Normalmente, o acúmulo se dá devido a um vazamento de pequenas proporções e que apresenta dificuldade de detecção, propiciando que uma grande quantidade de substância inflamável seja liberada no ambiente e se acumule sem que seja percebida. Quando uma região do ambiente apresenta uma mistura com concentração entre os limites de inflamabilidade e há uma fonte de ignição, inicia-se a queima e uma grande liberação de energia que irá afetar as condições de concentração nas regiões vizinhas e estas, quase que instantaneamente, atingirão a concentração ideal para propagar o incêndio, aumentando assim o potencial de dano do evento, conforme pode ser observado na sequência da Figura 4.2.



Figura 4.2 - Etapas de Incêndio em Nuvem. Fonte: Venart, 2007.

Quanto maior a densidade destes gases e vapores, maior a probabilidade de gerar este cenário, pois a dificuldade de dispersão destes permitirá que uma grande parte dos gases vazados fique retida em regiões do terreno que estão abaixo do nível operacional (canaletas, bacia de contenção,...) ou cercados por barreira não permeável (muros, paredes,...). É um evento que ocorre em ambientes abertos e o dano é provocado pela quantidade de calor gerada quase que instantaneamente.

4.1.3 - EXPLOSÃO DE NUVEM DE VAPOR (*VAPOUR CLOUD EXPLOSION*)

Evento com características muito semelhantes ao descrito anteriormente, contudo ocorre em ambientes parcialmente ou totalmente fechados. Esta diferenciação faz com que a sobrepressão gerada no ambiente pela expansão dos gases ao serem aquecidos seja uma preocupação adicional. Este efeito também é conhecido como onda de choque.

A ignição de uma nuvem de vapor geralmente resulta em uma propagação das ondas inicialmente de forma hemisférica em que o deslocamento ocorre numa velocidade supersônica de forma radial a partir do centro da explosão, conforme demonstrado na Figura 4.3.

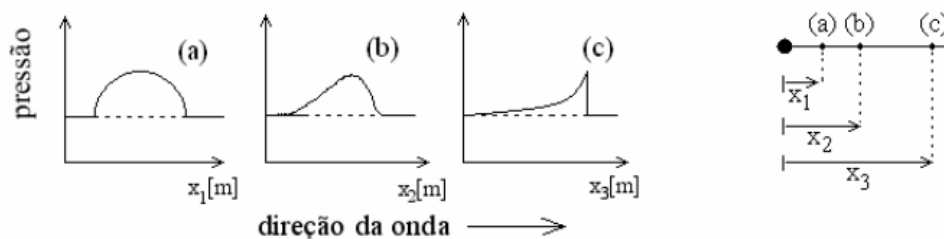


Figura 4.3 - Desenvolvimento da onda choque gerada por uma explosão. Fonte: Kinney e Graham, 1985.

Os danos estruturais de uma instalação submetida a este tipo de evento são decorrentes da pressão máxima atingida e do tempo de interação entre a onda de choque e as estruturas. Estes fatores dependem por sua vez de outras variáveis:

- a) reatividade do combustível;
- b) confinamento e ventilação (localização e tamanho do ambiente);
- c) tipo e localização da fonte de ignição; e
- d) tamanho, localização e forma dos obstáculos e a proporção dos bloqueios.

4.1.4 - INCÊNDIO DE POÇA (*POOL FIRE*)

Evento relacionado ao vazamento de um líquido que se acumula sobre uma superfície. Os vapores gerados sobre toda a área da poça estarão formando uma mistura ideal de combustível e comburente bem próxima à superfície. Se houver uma fonte de ignição, toda a superfície será

incendiada e o calor gerado pela combustão irá acelerar o processo de evaporação do líquido, aumentando o volume de vapor disponível. Embora o vazamento de líquidos seja de mais fácil detecção, pode haver dificuldades de eliminar o vazamento, seja pelo volume que está sendo derramado ou pela restrição de acesso ao mesmo.

Uma variação bastante preocupante deste cenário se dá quando ocorrem grandes vazamentos de líquidos inflamáveis sobre grandes superfícies de água. Se o líquido for menos denso que a água, este será espalhado pela superfície e os vapores do mesmo ficarão sujeitos à ignição. Este tipo de incêndio pode dificultar o resgate de vítimas de embarcações ou plataformas petrolíferas.

Outra situação de grande risco é o incêndio de líquido inflamável que se acumula em bacias de contenção, podendo gerar o evento que será descrito a seguir.

4.1.5 - EXPLOSÃO POR EXPANSÃO DO VAPOR DE LÍQUIDO EM EBULIÇÃO

O *BLEVE* (sigla de *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*) é um evento onde um reservatório com líquido sofre um colapso estrutural devido ao aumento da pressão interna. Normalmente, este aumento de pressão é consequência do aumento de temperatura, que por sua vez é decorrente de aquecimento externo ou de reação exotérmica.

Um cenário de *BLEVE* bastante comum é o vazamento de um líquido inflamável em uma bacia de contenção que, ao sofrer ignição, gera um incêndio de poça. Sem o devido controle, o incêndio de poça aquece o reservatório. Normalmente, este tipo reservatório possui válvulas de alívio de pressão, que se abrem quando é atingida a pressão de ajuste (conforme a ASME, este valor seria 25% sobre a Pressão Máxima de Trabalho Admissível - PMTA, para líquidos). Se a válvula de alívio não for suficiente para liberar a quantidade de vapor que está sendo gerada pelo aquecimento da estrutura, haverá uma ruptura catastrófica, conforme a Figura 4.4.

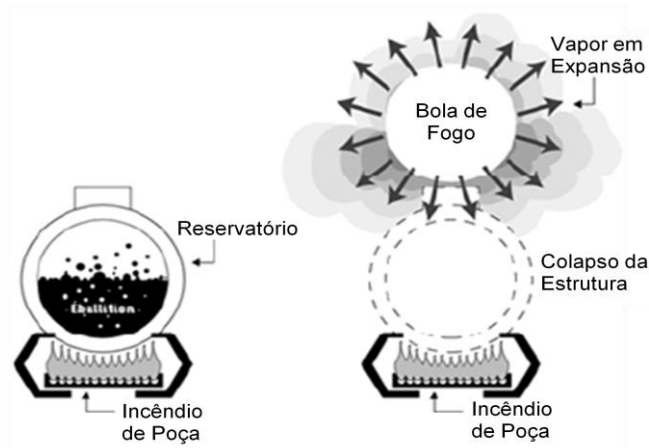


Figura 4.4 - Esquema para colapso estrutural em decorrência de BLEVE. Fonte: BARPI, 2006.

Além do arremesso de fragmentos da estrutura do reservatório, se o líquido contido é inflamável, o vapor liberado formará (com o ar) uma grande quantidade de mistura ideal que, em contato com o calor ou as chamas, geralmente abundantes neste cenário, terá ignição e formará uma bola de fogo (*fireball*).

Ambos os efeitos são muito danosos, o arremesso de fragmentos aquecidos pode atingir grandes distâncias, oferecendo riscos à equipe que está combatendo o incêndio, à vizinhança e aos reservatórios que estão próximos. Embora a exposição normalmente seja bastante rápida, dependendo da distância em que se está da bola de fogo, a radiação térmica pode ser fatal, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 4.5.

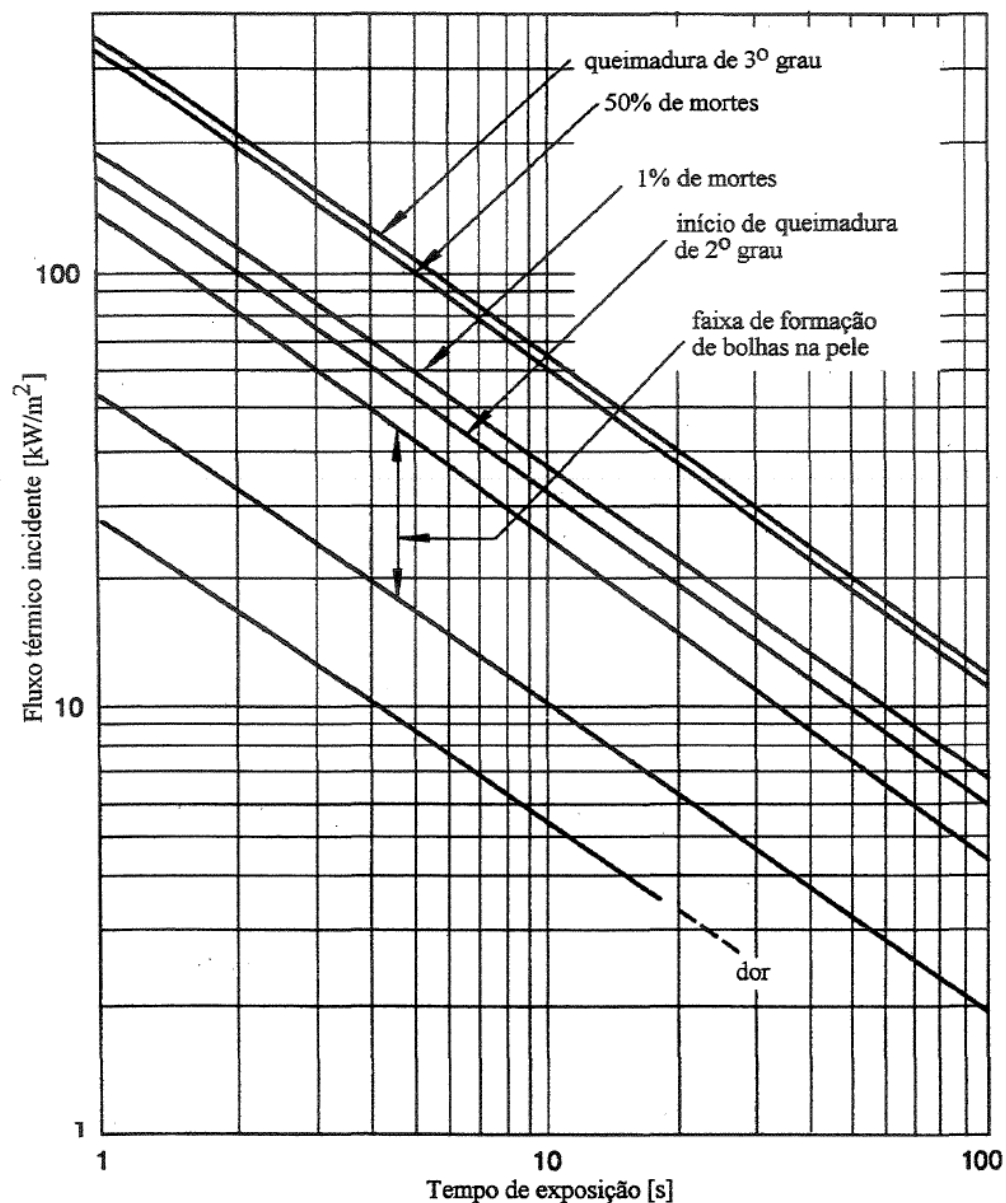


Figura 4.5 - Prováveis danos e mortes conforme exposição à radiação térmica. Fonte: AIChE, 1994.

4.2 CONTROLE DOS COMPONENTES DA COMBUSTÃO

“Triângulo do Fogo” era uma teoria utilizada para explicar que o fogo pode ser extinto através da retirada de um dos três componentes que devem coexistir para que ele seja iniciado e se mantenha: o combustível, o comburente e o calor. Posteriormente, com a descoberta do agente extintor “halon”, a teoria passou a se chamar “Tetraedro do Fogo” para incluir um novo componente: a reação em cadeia [SEITO, 2008].

Em instalações em que haverá armazenamento e manipulação de substâncias inflamáveis, cada componente da combustão deve ser avaliado sobre a viabilidade de ser efetuado algum tipo de controle com a finalidade de eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrência de uma combustão não prevista.

4.2.1 - CONTROLE DA RELAÇÃO ENTRE COMBUSTÍVEL E COMBURENTE

Uma das formas mais eficientes de impedir a combustão de um inflamável. Embora, existam outras substâncias comburentes para situações específicas, a mais comum é o oxigênio.

Cada substância considerada inflamável possui uma faixa ideal em que sua proporção, na mistura com o oxigênio, irá efetivamente torná-la inflamável. Esta faixa é compreendida entre o limite inferior (LIE) e o limite superior de explosividade (LSE) e varia de acordo com a substância, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 - Limites Inferior e Superior de Explosividade de algumas substâncias

Substância	LIE (% do volume)	LSE (% do volume)
Acetona - CH ₃ COCH ₃	2,6	12,8
Acetonitrila - CH ₃ CN	4,4	16
Benzeno - C ₆ H ₆	1,3	7,1
Butano - C ₄ H ₁₀	1,9	8,5
Dissulfeto de carbono - CS ₂	1,3	50,0
Ciclohexano - C ₆ H ₁₂	1,3	8,0
Etano - C ₂ H ₆	3,0	12,5
Etanol - C ₂ H ₅ OH	3,3	19,0
Éter - (C ₂ H ₅) ₂ O	1,1	5,9
Gás Natural	3,8	13,0
Gasolina	1,4	7,6
Metano - CH ₄	5,0	15,0
Metanol - CH ₂ OH	6,7	36,0
Nafta	0,9	6,0
Pentano - C ₅ H ₁₂	1,5	7,8
Propano - C ₃ H ₈	2,2	9,5
Querosene	0,7	5,0
Tolueno - C ₆ H ₅ CH ₃	1,2	7,1

Fonte: Seito (2008, p. 38)

Para manter as substâncias inflamáveis fora da faixa ideal, os processos ou o armazenamento podem ser projetados para não ter a presença de ar, esta redução na concentração de oxigênio é conhecida como “Inertização”. Embora, o nitrogênio seja utilizado na maioria destas situações, outros gases podem ser utilizados por oferecer menor risco de reagir com o produto do processo.

Em situações em que a inertização é considerada inviável, deve-se efetuar a classificação das áreas da instalação conforme a concentração de gases e vapores inflamáveis. De acordo com a ABNT NBR IEC 60079-10, as áreas perigosas são divididas nas três zonas relacionadas abaixo:

- a) Zona 0 - Área na qual uma atmosfera inflamável, formada por gases ou vapores, está presente continuamente ou presente por longos períodos;
- b) Zona 1 - Área na qual uma atmosfera inflamável, formada por gases ou vapores, pode ocorrer durante operação normal; e
- c) Zona 2 - Área na qual uma atmosfera inflamável, formada por gases ou vapores, dificilmente ocorrerá durante operação normal, e se ocorrer persistirá por um curto período.

Quando a atmosfera inflamável somente ocorrerá em circunstâncias catastróficas, é adotada a designação de zona não perigosa. A classificação das zonas de perigo é feita de acordo com as propriedades da substância e com a geometria da instalação, conforme demonstrado na Figura 4.6. Esta classificação é um método de análise para detectar onde atmosferas explosivas gasosas poderão ocorrer e desta forma a permitir a seleção e a instalação de equipamentos elétricos adequados. Contudo, também pode ser utilizada para projetos de ventilação diluidora.

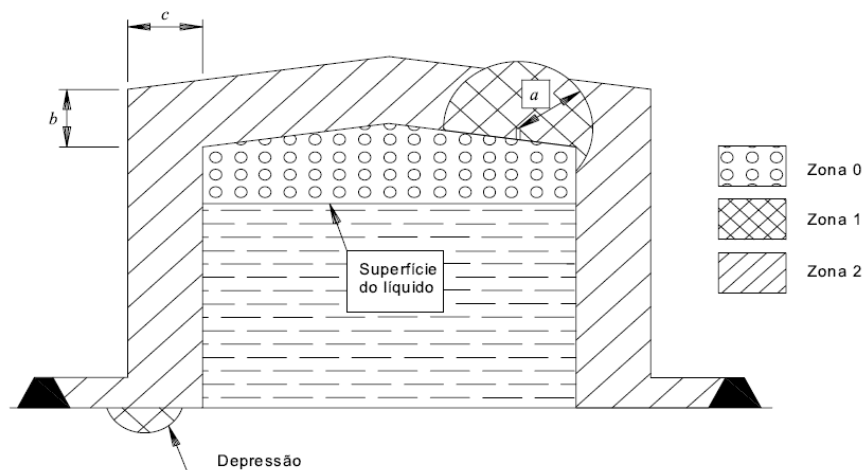


Figura 4.6 - Classificação das Zonas de Perigo em Tanque de Armazenamento. Fonte: ABNT, 2006.

4.2.2 - CONTROLE DAS FONTES DE ENERGIA DE ATIVAÇÃO

A combustão somente é iniciada se a mistura inflamável entra em contato com uma energia de ativação, que pode ser uma centelha ou uma chama. A ativação se dá pela propriedade da mistura que é denominada energia mínima de ignição, esta varia de acordo com a concentração da mesma, conforme exemplificado na Figura 4.7.

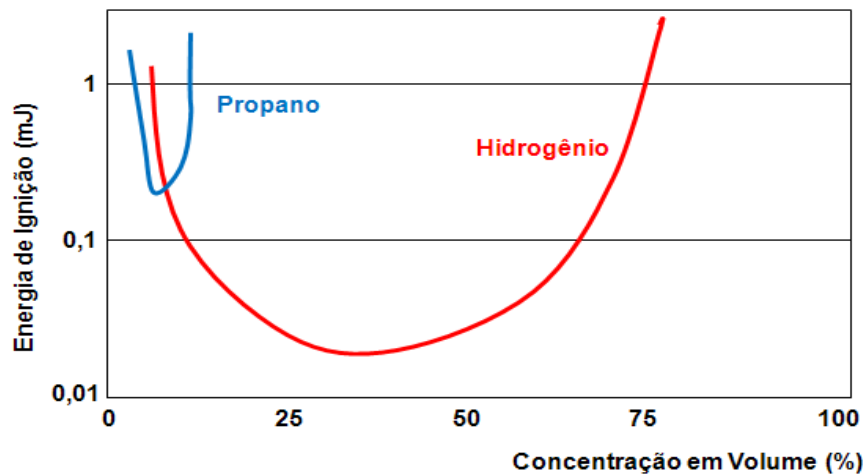


Figura 4.7 - Energia de ignição para diferentes concentrações de Propano e Hidrogênio. Fonte: Seito, 2008.

Equipamentos e instalações elétricas constituem a principal fonte de ignição em áreas com atmosferas explosivas, tanto pelo centelhamento normal decorrente da abertura e fechamento de contatos, quanto pelo calor gerado pelo fenômeno conhecido como efeito Joule. Desta forma, a seleção destes equipamentos deverá ser realizada de acordo com as substâncias que serão manipuladas ou armazenadas na área, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Grupos de Equipamentos Elétricos Recomendados

Grupos	Equipamentos	Substâncias
I	Para operação em mineração subterrânea suscetíveis a exalação de grisú	Metano (grisú) e pó de carvão.
II-A	Para operação em instalações de superfície onde pode existir perigo devido ao grupo do propano.	Acetona, Acetaldeído, Monóxido de Carbono, Álcool, Amônia, Benzeno, Benzol, Butano, Gasolina, Hexano, Metano, Nafta, Gás Natural, Propano e Vapores de Vernizes.
II-B	Para operação em instalações de superfície onde pode existir perigo devido ao grupo do etileno.	Acroleína, Óxido de Eteno, Butadieno, Óxido de Propileno, Ciclopropano, Éter, Etilico, Etileno e Sulfeto de Hidrogênio.
II-C	Para operação em instalações de superfície onde pode existir perigo devido aos grupos do hidrogênio e acetileno.	Acetileno, Hidrogênio e Dissulfeto de Carbono.

Fonte: Adaptação da Norma IEC 79-12 (1978, p. 12-19)

No processo de seleção, também é necessário considerar a temperatura mínima de autoignição da mistura, esta propriedade determina a ativação de uma combustão sem a necessidade de uma fonte externa de energia. Para equipamentos elétricos do Grupo I, a temperatura máxima de superfície não deve exceder as seguintes temperaturas:

- a) 150 °C sobre qualquer superfície onde possa ser formada uma camada de pó de carvão; ou
- b) 450 °C quando o risco acima é evitado através de vedação contra poeira ou por ventilação.

Para equipamentos elétricos do Grupo II, a classificação da Tabela 4 identifica a máxima temperatura de superfície que uma parte qualquer do equipamento pode atingir em operação normal, em situação de sobrecarga prevista, considerando a temperatura ambiente máxima igual a 40°C, ou em caso de defeito. Essas classes de temperatura devem ser inferiores à temperatura de ignição dos gases e vapores do meio circundante ao equipamento.

Tabela 4 - Classes de Temperatura para Equipamentos e Dispositivos Elétricos

Classe de Temperatura	Temperatura Máxima de Superfície
T1	450 °C
T2	300 °C
T3	200 °C
T4	135 °C
T5	100 °C
T6	85 °C

Fonte: ABNT NBR IEC 60079-0 (2006, p. 13)

Outra consideração importante para a seleção refere-se ao tipo de proteção, que denota o nível de segurança para o equipamento, podendo ser:

- a) Equipamento à prova de explosão: dispõe de um sistema suficientemente resistente e vedado para não propagar uma explosão, e cuja temperatura superficial não provoca a ignição de uma atmosfera explosiva. Isto implica numa construção robusta, com tampas roscadas ou parafusadas. Esses invólucros são construídos para resistir mecanicamente à pressão, ocorrendo a ignição de uma mistura dentro dele, impedindo que a explosão se propague para o meio externo. Pode ser utilizado nas zonas 1 e 2.
- b) Equipamento de segurança aumentada: não produz arcs, faíscas ou aquecimento suficiente para causar ignição da atmosfera explosiva para a qual foi projetado, e no qual são tomadas as medidas adicionais durante a construção, de modo a evitar com maior segurança que tais fenômenos ocorram em condições de operação e de

sobrecarga previstas. Equipamentos típicos com segurança aumentada são os motores de gaiola, transformadores de potência e de medição, luminárias e caixas de distribuição e de ligação. Pode ser utilizado nas zonas 1 e 2.

- c) Equipamento elétrico imerso em óleo: a imersão impede que a atmosfera acima do líquido ou a parte externa do invólucro possa ser inflamada. Este tipo de proteção é aplicável somente para equipamentos fixos. Pode ser utilizado nas zonas 1 e 2.
- d) Equipamentos pressurizados: a pressão interna é mantida acima da pressão externa, evitando a penetração de uma atmosfera explosiva que venha a existir ao redor do equipamento. Pode ser utilizado nas zonas 1 e 2.
- e) Equipamentos imersos em areia: o material de enchimento impede a penetração de uma atmosfera explosiva que venha a existir ao redor do equipamento. Este tipo de proteção só se aplica a equipamentos com corrente nominal menor ou igual a 16A, que consumam potência menor ou igual a 1000VA e cuja tensão de alimentação não seja superior a 1000V. Pode ser utilizado nas zonas 1 e 2.
- f) Equipamento elétrico encapsulado: há utilização de uma resina para envolver as partes podem causar ignição de uma atmosfera explosiva. Pode ser utilizado nas zonas 1 e 2.
- g) Equipamentos de segurança intrínseca: não liberam energia suficiente para inflamar a atmosfera explosiva. São classificados em duas categorias: os “*ia*” são incapazes de causar uma ignição em operação normal e mesmo com aplicação de duas falhas evidentes mais as falhas não evidentes; e os “*ib*” são incapazes de causar uma ignição em operação normal e com a aplicação de uma falha evidente mais a aplicação das falhas não evidentes. Ambos podem ser utilizados nas zonas 1 e 2 e o “*ia*” também pode ser utilizado na zona 0.
- h) Equipamento elétrico não acendível: não causa a ignição da atmosfera explosiva referente à substância existente no ambiente. Somente poderá ser utilizada na zona 2.
- i) Equipamento com proteção especial: projetado para circunstâncias específicas.

Cabe ainda destacar que são previstos os três métodos de instalação abaixo:

- a) Sistema por eletrodutos: só admite fiação contida em eletrodutos rígidos metálicos roscados ou na forma de cabos com isolamento mineral. Implicando no uso de equipamentos à prova de explosão. Cada invólucro alojando um equipamento deve ser estanque com relação ao eletroduto de conexão. Todas as conexões devem ter no mínimo cinco fios de rosca perfeitamente encaixados.

- b) **Conexão Direta de Cabos:** os cabos são introduzidos diretamente nos invólucros à prova de explosão através de um prensa-cabos também à prova de explosão. A seleção e a instalação dos prensa-cabos deverá ser feita cuidadosamente, visto que é necessário ajustar adequadamente ao tipo e diâmetro do cabo utilizado, uma vez que a junta à prova de explosão é formada pelo anel de vedação em conjunto com a capa externa do cabo, conforme figura 4.8.

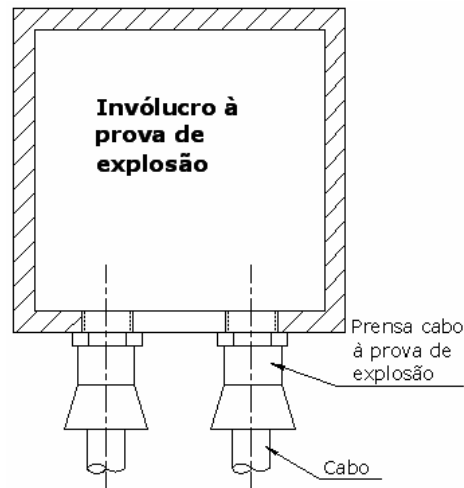


Figura 4.8 - Sistema de Instalação por Cabos com Conexão Direta. Fonte: ABNT, 2006.

- c) **Conexão Indireta de Cabos:** os cabos são conectados indiretamente ao compartimento à prova de explosão e empregam-se equipamentos à prova de explosão que também possuem segurança aumentada, conforme a figura 4.9.

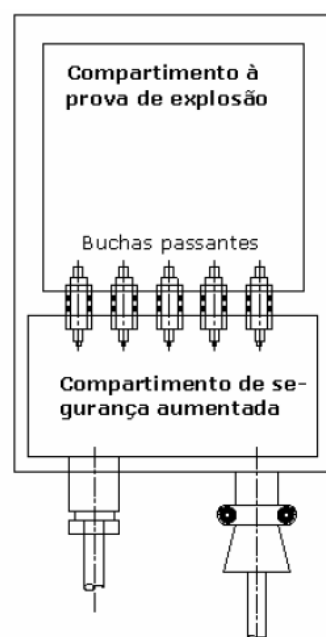


Figura 4.9 - Sistema de Instalação por Cabos com Conexão Indireta. Fonte: ABNT, 2006.

Por último, outra fonte de ignição que deve ser controlada é eletricidade estática gerada pelo contato e pela separação de duas superfícies heterogêneas, resultando na transferência de elétrons ou íons de uma superfície para outra. Embora a diferença de potencial entre as duas superfícies de contato seja pequena (1V, aproximadamente), após a separação, o potencial dos materiais aumenta rapidamente na proporção da distância entre as mesmas. Este fenômeno pode gerar energia suficiente para ativar a combustão de uma mistura, através de centelhamento.

A eletricidade estática ocorre tanto com materiais eletricamente condutores quanto com os não condutores, mas o acúmulo de níveis perigosos de carga requer que pelo menos um elemento seja não condutor. O deslocamento de um líquido inflamável por uma tubulação pode gerar eletricidade estática, pois é uma situação de movimento relativo entre materiais. Esta energia pode ser suficiente para iniciar a combustão de uma mistura com os vapores deste líquido inflamável.

Uma das técnicas para evitar a ocorrência de acidentes com esta causa é a classificação dos líquidos inflamáveis em condutivo, semicondutivo ou não condutivo. Sendo que o projeto das instalações podem prever o material adequado da tubulação. Posteriormente, esta situação ainda pode ser contornada através da adição de solventes antiestáticos, com a finalidade de aumentar a condutividade do líquido que será transportado pela tubulação.

4.2.3 - SISTEMAS DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS

Atualmente, há diversas opções no mercado para equipamentos especialmente fabricados para medir os limites de concentrações de gases ou vapores inflamáveis misturados no ar. Além de equipamentos portáteis que possuem apenas um sensor que pode ser deslocado para qualquer área da planta que há suspeitas de vazamento, também é possível instalar um sistema com inúmeros sensores fixos e que serão monitorados de forma contínua.

Os indicadores de gás combustível possuem uma câmara interna, a qual contém um filamento que provoca a combustão do gás inflamável. Para facilitar a combustão, o filamento é aquecido a uma alta temperatura ou é revestido com um agente catalítico de platina ou paládio, ou de ambos. Estes equipamentos não detectam neblinas explosivas, inflamáveis ou atomizadas, tais como neblinas de óleos lubrificantes e poeiras explosivas, uma vez que as mesmas são retidas em um filtro de algodão localizado antes do sensor, o qual impede que essas misturas cheguem até o filamento e contaminem o agente catalítico. O filamento é parte de um circuito resistor balanceado, conhecido como Ponte de Wheatstone, o qual é mostrado na Figura 4.10.

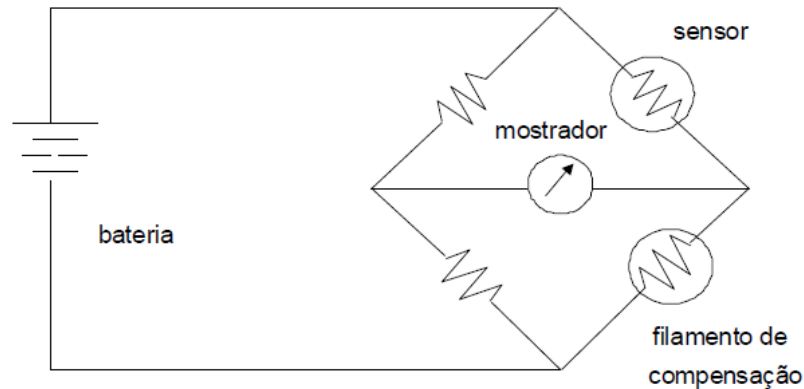


Figura 4.10 - Circuito da Ponte de Wheatstone. Fonte: Gouveia, Pioli e Vasconcellos.

Em um dos lados da ponte, o ar da amostra passa sobre o filamento aquecido, se contiver um gás ou um vapor inflamável, o filamento causa a sua combustão e um calor adicional é liberado, aumentando a resistência elétrica do filamento. No outro lado da ponte existe um outro filamento, semelhante ao anterior, selado e aquecido de forma idêntica, com a finalidade de anular todas as mudanças na corrente elétrica devido às variações da temperatura ambiente. A variação da corrente elétrica que ocorre quando há passagem de uma amostra com presença de gases ou de vapores combustíveis, é transformada em informação através da deflexão de um ponteiro no mostrador ou transmitida como um sinal que irá ter conotação de alarme na central de monitoramento.

A quantidade de sensores e as posições dos mesmos deverão ser definidas através de um estudo do deslocamento da massa de ar pelas instalações e da diluição dos gases ou vapores nos cenários mais prováveis de vazamento. Para a seleção, cabe considerar os seguintes aspectos:

- a) Estabilidade em zero: como as grandezas elétricas envolvidas possuem intensidades muito pequenas, mínimas variações de tensão ou induções eletromagnéticas podem provocar flutuações de corrente que são enviadas ao controlador, podendo ser interpretadas como presença de mistura explosiva, provocando alarmes falsos. Conseqüentemente, estes provocam prejuízos com paradas inoportunas ou com efeitos negativos para a cultura de segurança. Um bom detector deve prever que o sinal advindo do eletrodo da célula sensora deve ser prioritário, reconhecendo como inapropriado o aumento de corrente que deles não provenha, mantendo a estabilidade quando inexistente a presença do gás detectável no ambiente.
- b) Tempo de resposta: o parâmetro que identifica a velocidade com que o detector percebe o gás e envia o sinal à central de controle. Bons detectores possuem

certificado de performance, cabendo destacar que o menor tempo de resposta faz com que as medidas de controle sejam acionadas mais rapidamente.

- c) Repetibilidade: capacidade de realizar a leitura corretamente após ser colocado em operação. Bons detectores são ensaiados repetidamente e deverão apresentar resultados dentro do padrões de calibração em pelo menos 95% dos ensaios.
- d) Linearidade: capacidade do sensor ter variação no resultado proporcional à variação do estímulo. Ao calibrar um sensor com uma mistura de gás que corresponda a 25% de sua escala, e isso promover um aumento de corrente da ordem de 4mA, é de se esperar que a leitura de 50% seja de 8mA, a de 75% seja de 12mA e a de 100% seja de 16mA. Tal característica exige muito investimento. Bons detectores possuem índice variável de linearidade média menor que 5%.
- e) Temperatura de operação: deve ser compatível com os extremos de temperatura alcançadas nos ambientes que serão monitorados.
- f) Umidade relativa: deve oferecer resultados confiáveis mesmo acima de 90%, visto que é comum detectar atmosferas explosivas em ambientes que a umidade relativa é alta.
- g) Imunidade eletromagnética: os resultados não devem ser afetados por equipamentos elétricos de alta potência que podem estar em operação nas proximidades.
- h) normalmente funcionam com baixa energia e, comumente, estão em operação em ambientes onde também

4.3 OUTRAS CONSIDERAÇÕES DE CARÁTER PREVENTIVO

Diversas outras medidas podem contribuir para conferir maior segurança para uma instalação onde há manipulação ou armazenamento de substâncias inflamáveis, cabendo destacar as seguintes:

4.3.1 - SELEÇÃO DE MATERIAIS

Considerando que a causa primária de acidentes industriais ampliados é falta de contenção em alguma etapa do processo, a seleção dos materiais a serem utilizados na construção dos equipamentos será de extrema importância na garantia da confiabilidade dos mesmos em operação. Para o projeto é necessário conhecer não apenas as condições que o equipamento estará sujeito quando em serviço, mas também o comportamento de cada material

em tais condições; de modo que a escolha seja pelo material que possa propiciar uma boa relação entre o custo e os níveis de eficiência e segurança esperados [Jesus, 2012].

Para a seleção de materiais devem ser consideradas as condições e o ambiente de trabalho, a localização da planta industrial, as variáveis envolvidas no processo, as características e propriedades químicas, físicas e mecânicas dos materiais disponíveis e também a viabilidade econômica da sua utilização. Abaixo estão alguns dos fatores que devem ser considerados:

- a) Resistência mecânica: normalmente é inversamente proporcional à temperatura de operação do equipamento. Cabe verificar se o equipamento irá operar em condições de fluência, onde ocorre a deformação do material ao longo do tempo, mesmo que submetido a esforços com valores abaixo do seu limite de escoamento, devido ao aumento de tensões ou temperaturas. Outro fenômeno que deve ser verificado é a falha por fadiga, rupturas das peças em serviço é atribuído que ocorre sob tensões inferiores à resistência do material, em equipamentos expostos a esforços cíclicos.
- b) Temperatura de oxidação: se ultrapassa, há perda de material com conseqüente diminuição da espessura de parede do equipamento e da sua capacidade projetada de resistir a esforços.
- c) Estabilidade térmica: em baixas temperaturas, alguns materiais têm sua resistência ao impacto e ductilidade reduzidas, enquanto que em temperaturas mais elevadas tendem a ser mais maleáveis. A escolha do material deve considerar o fator da estabilidade térmica da liga para a faixa de temperatura de operação.
- d) Expansão térmica: os efeitos da dilatação e da contração térmica dos materiais, mesmo atenuados com a utilização de juntas de expansão, podem causar distorções e aparecimento de trincas em equipamentos que há muita variação de temperatura ou materiais com diferentes coeficientes de dilatação.
- e) Corrosão: independente da temperatura, a exposição a alguns elementos presentes no ambiente ou no processo também podem causar perda de material com conseqüente diminuição da espessura de parede do equipamento e da sua capacidade projetada de resistir a esforços. Há potencialização se estiver associada à fadiga ou à erosão causada por escoamento em alta velocidade de fluídos com elementos abrasivos.
- f) Cavitação: a formação e a ruptura de bolhas de vapor ou gás (em uma fase líquida), provocadas pela diminuição da pressão em uma região do fluído, causam a remoção de material das superfícies internas de tubulações e recipientes.

- g) Alteração das Propriedades Originais: o processo de fabricação ou a união por soldagem pode modificar as propriedades do material, causar a concentração de tensões ou a fragilização (trincas induzidas pelo hidrogênio).

4.3.2 - ADOÇÃO DE FERRAMENTAS DE GESTÃO

A NR-20, ao estabelecer requisitos mínimos para a gestão de riscos associados aos inflamáveis, menciona quais parâmetros serão exigidos independentemente da ferramenta, método ou programa escolhido pela empresa para o gerenciamento dos riscos associados às suas respectivas atividades. Desta forma, cabe destacar que a adoção de uma ferramenta é algo que tem por finalidade facilitar o cumprimento das obrigações e proporcionar um ambiente de trabalho seguro e que traz benefícios à imagem da empresa.

Como exemplo, pode ser citado o programa Process Safety Management (PSM), criado pela Occupational Safety and Health Administration (OSHA), que aborda de forma sistemática diversos aspectos que envolvem os processos industriais com substâncias perigosas, tais como:

- a) Política da empresa que reflita o comprometimento com a segurança;
- b) Acesso às informações que garantam a identificação e o entendimento dos riscos relacionados a cada processo;
- c) Desenvolvimento de técnicas para efetuar a análise dos riscos;
- d) Controle dos procedimentos operacionais;
- e) Fornecimento de informação de segurança aos empregados e aos terceirizados;
- f) Critérios para capacitação;
- g) Garantia de integridade dos equipamentos através de programas de manutenção;
- h) Verificação de todos os equipamentos envolvidos antes do início de um processo;
- i) Permissão de trabalho para realização de tarefas com maior complexidade;
- j) Gerenciamento de mudanças para garantir que modificações não afetem as condições de segurança;
- k) Controle de perdas através do monitoramento e avaliação periódica dos acidentes, incidentes e desvios operacionais;
- l) Preparação para emergências;
- m) Avaliação de desempenho dos processos e das práticas de gestão;
- n) Auditorias interna e externa;
- o) Designação de responsabilidades e tarefas referentes às práticas de gestão; e
- p) Análise crítica visando a melhoria contínua.

5 REDUÇÃO DAS CONSEQUÊNCIAS DE GRANDES INCÊNDIOS E EXPLOSÕES

A redução de consequências de um grande acidente industrial ampliado envolvendo fogo está associada à estratégia de incêndio adotada pela empresa, que deve prever ações efetivas para os cenários mais prováveis de acidente. As ações somente serão efetivas se a instalação oferecer suporte para a execução das mesmas [Pannoni e Silva, 2008].

Se o sistema de detecção acusar o vazamento de uma substância inflamável, a primeira ação é efetuar um alerta inicial para que nenhuma fonte de ignição se aproxime do local e que as pessoas não envolvidas no controle deste vazamento se afastem da área sujeita aos efeitos de uma explosão. Em seguida, devem ser iniciadas as medidas para controle do vazamento.

Nem sempre o vazamento será detectado antes da ignição da substância. Portanto, além do alerta inicial para afastar as pessoas do local, deverá ser feita uma rápida avaliação quanto a capacidade e as formas de combater os focos de incêndio com finalidade de reduzir as consequências. Esta avaliação pode concluir que o combate direto às chamas será ineficiente, cabendo concentrar esforços no resfriamento de estruturas próximas. A maior parte dos incêndios apresentam o desenvolvimento representado na figura 5.1.

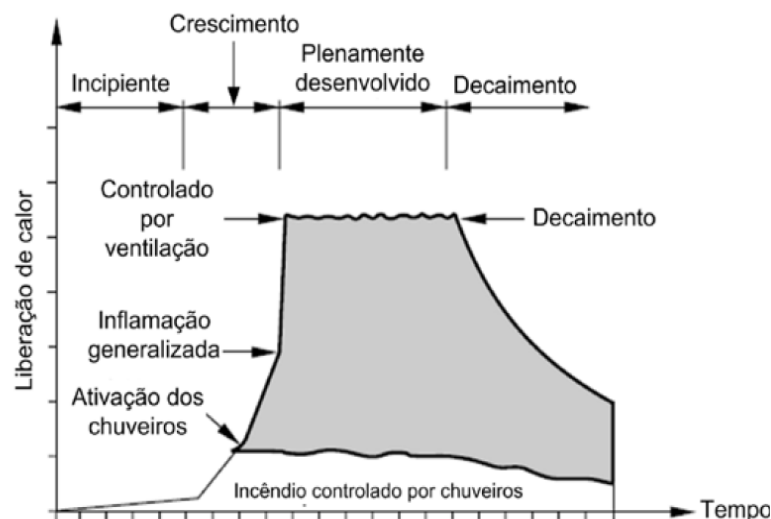


Figura 5.1 - Estágios no desenvolvimento e decaimento de um incêndio. Fonte: Pannoni e Silva, 2008.

Em incêndios que envolvem gases ou vapores inflamáveis, as duas fases iniciais são muito rápidas, sendo que o controle em ambiente externo será dado pela quantidade de mistura disponível. Nestes casos, um sistema automático de extinção (com chuveiros ou canhões) oferecerá resposta rápida, dando tempo para a mobilização da Brigada de Incêndio e Corpo de Bombeiros, aumentando as chances de controle da situação e reduzindo as consequências.

5.1 ALARMES E CONTROLE DE VAZAMENTOS

O alerta de uma situação de perigo pode ser realizado através de indicadores sonoros e visuais. Embora seja necessário que o sistema tenha fácil entendimento por parte de todos os trabalhadores, o alarme poderá ser dado em dois estágios: o intermediário, com a finalidade de mobilizar a atenção e indicar que algumas medidas de segurança devem ser iniciadas, e o geral, com a finalidade de indicar que trata-se uma situação de perigo confirmada e que a evacuação e o plano de emergência devem ser iniciados [Araújo e Silva, 2008].

Considerando que a detecção do vazamento será monitorada pela central, esta decidirá conforme os parâmetros do sinal recebido, o alarme intermediário será acionado ou não. Em alguns casos, onde o sinal indica que a concentração de gases ou vapores é muito próxima do limite inferior de explosividade, o alarme intermediário deverá ser acionado automaticamente. Nos outros casos, onde o sinal indica que a concentração de gases ou vapores está acima do esperado, mas não oferece risco imediato de explosão, o alarme poderá ser acionado somente após uma análise na área do sensor para verificação da real situação.

Deve haver cuidado para que os alarmes sempre sejam acionados em situações de risco real, pois uma sucessão de alarmes falsos poderá ocasionar que o alarme seja desconsiderado pelos trabalhadores numa situação em que a evacuação é imprescindível.

Confirmada uma situação de vazamento com potencial para formação de atmosfera explosiva, devem-se avaliar rapidamente quais ações devem ser feitas antes que esta encontre uma fonte de ignição. Abaixo estão as mais indicadas:

- a) Interromper o vazamento é uma ação muito eficaz, mas nem sempre é possível ou fácil de ser executada, dependendo da origem do mesmo. O controle do vazamento poderá ser dado com o fechamento de válvulas, que deverá ser acompanhado pela interrupção segura das etapas anteriores do processo. Em outras situações onde há dificuldades na paralisação do processo, o fluxo deverá ser desviado.
- b) Destinar a substância vazada para um local seguro (se for um líquido) ou diluí-la (se for um gás) são meios de controle em situações em que o cessamento do vazamento não ocorre rapidamente. Poderá ser uma ação que antecede a anterior, em situações em que o acesso à fonte do vazamento somente será possível se a atmosfera oferecer condições. Em caso de líquidos, a bacia de contenção poderá concentrar o líquido próximo a fonte de vazamento, portanto recomenda-se que uma inclinação que direcione o líquido para longe de tanques. Em caso de gases mais densos que o ar,

haverá mais dificuldades em efetuar a diluição, portanto recomenda-se que a área não ofereça obstáculos físicos para a ventilação e nem tenha cavidades.

Antes da ignição, o alerta geral somente deve ser acionado em situações em que a concentração da substância atinge valores que sua inalação pode causar danos à saúde ou quando há uma probabilidade razoável de que a atmosfera explosiva encontrará fontes de ignição na área em que está sendo formada. Na central de monitoramento, deverão haver recursos para que o alarme geral seja acionado automaticamente quando for detectado princípio de incêndio em algum setor da instalação.

5.2 DETECÇÃO DE INCÊNDIO

Considerando que eventualmente ocorra uma falha no sistema de detecção de vazamentos ou que um incêndio seja causado por uma situação que não envolve as substâncias inflamáveis que estão sendo processadas no ambiente, caberá prover a instalação de um sistema que seja capaz de indicar este cenário ou acionar automaticamente o sistema de extinção de incêndio [Araújo e Silva, 2008].

Para esta finalidade, abaixo estão os dispositivos mais utilizados:

- a) Detector Pontual de Fumaça: existem dois princípios de funcionamento para identificar a presença de fumaça no ambiente. O tipo óptico possui uma câmara escura em que um emissor e um receptor detectam a presença de partículas de fumaça em seu interior, seja por reflexão da luz ou por obscurecimento; são utilizados em ambientes no qual, num princípio de incêndio, haja expectativa de formação de muita fumaça antes da deflagração do incêndio propriamente dito, ou seja, fogo de desenvolvimento lento. Contudo, o mais indicado para ambientes com a presença de inflamáveis, é o tipo iônico, que atua mediante a presença de produtos de combustão visíveis ou invisíveis, pois possuem duas câmaras ionizadas por uma fonte com baixo poder radioativo, sendo uma de referência e outra para análise.
- b) Detector Pontual Térmico: indicado para ambientes que elevação a temperatura é a causa do incêndio ou ambientes em que a temperatura, em caso de incêndio, irá elevar-se rapidamente. Utilizados em salas com geradores e transformadores, casas de máquinas e situações similares.
- c) Detector Pontual Termovelocimétrico: respondendo a uma elevação brusca de temperatura em pouco espaço de tempo ou quando essa temperatura atinge um valor predeterminado, atua por meio de gradiente de temperatura. Sua aplicação está

especificamente indicada para incêndio que se inicia com uma elevação brusca de temperatura e que não é conveniente utilizar detectores de fumaça.

- d) Detector Linear: composto por duas peças básicas, o transmissor que projeta luz infravermelha até um receptor, que converte o feixe de luz em um sinal elétrico. Atuam quando ocorre a presença de partículas ou gases, visíveis ou não, e de produtos de combustão, ou a variação anormal de temperatura ao largo da linha imaginária de detecção. Indicados para ambientes onde não é possível realizar detecção pontual (locais com grandes alturas ou abertos).
- e) Detector de Chama: sensível aos raios ultravioletas da chama do fogo, é capaz de detectar mesmo na presença de luz natural. Bastante indicado para ambientes onde são processadas substâncias inflamáveis, contudo recomenda-se que tenha dispositivo que indique sujeira na lente e a necessidade de realizar a limpeza da mesma.
- f) Detector por Aspiração: atua coletando amostras do ar por meio de tubulação (com furos programados) e as conduzindo até uma câmara para serem analisadas. Um filtro na entrada da câmara não permite que partículas de poeira em suspensão possam causar alarmes falsos. Indicado para salas com equipamentos elétricos.
- g) Acionador Manual: onde a detecção é feita pela percepção humana e o dispositivo é utilizado apenas para a emissão de sinal para a central de monitoramento acionar o sistema de alarmes e iniciar os procedimentos de combate ao incêndio.

5.3 COMBATE AO INCÊNDIO

Apesar de inúmeras substâncias utilizadas atualmente para a extinção de incêndios, a proporção dos eventos estudados inviabiliza a utilização de outra substância que não seja a água, devido à relação custo-benefício. A água é um excelente agente extintor, pois proporciona resfriamento, abafamento e emulsificação [Gonçalves, Guimarães e Oliveira, 2008].

O combate ao incêndio com água é realizado das seguintes formas:

- a) Jato Compacto: produzido à alta pressão por meio de um esguicho com orifício de descarga circular, extingue o incêndio por resfriamento e o seu sucesso na extinção depende, essencialmente, de se conseguir a vaporização da água na imediata proximidade do objeto incendiado.
- b) Neblina: fragmentada em pequeníssimas partículas, de diâmetro quase que microscópico, apresenta o máximo de superfície em relação ao conteúdo líquido que a compõe. Disso resulta a máxima capacidade prática para absorção do calor. A quase totalidade de água

assim empregada no combate a incêndios é transformada em vapor, que continua agindo por abafamento em locais confinados. O efeito de emulsificação é obtido por meio de neblina de alta velocidade, onde o efeito de resfriamento que a água proporciona na superfície de tais líquidos impedirá a liberação de seus vapores inflamáveis. No caso de alguns líquidos viscosos, a emulsificação apresenta-se na forma de uma espuma, que também retarda a liberação de vapores.

- c) Espuma mecânica: trata-se de um agregado de bolhas cheias de ar, geradas por meios puramente mecânicos a partir de soluções aquosas contendo um concentrado de origem animal, sintética ou vegetal. Não é considerada um agente adequado para incêndios em gases. Contudo, sua densidade é menor que as dos líquidos inflamáveis e permite que seja usada principalmente para formar uma cobertura flutuante, extinguindo, cobrindo e resfriando o combustível de forma a interromper a evaporação dos vapores e impedir a sua mistura com o oxigênio do ar.

5.3.1 - SISTEMA DE RESERVAÇÃO, PRESSURIZAÇÃO, COMANDO E DISTRIBUIÇÃO

Para o combate a grandes incêndios com água, é necessário que a instalação possua um sistema adequadamente projetado para esta finalidade. Abaixo, a figura 5.2 demonstra de forma simplificada como este sistema deve funcionar.

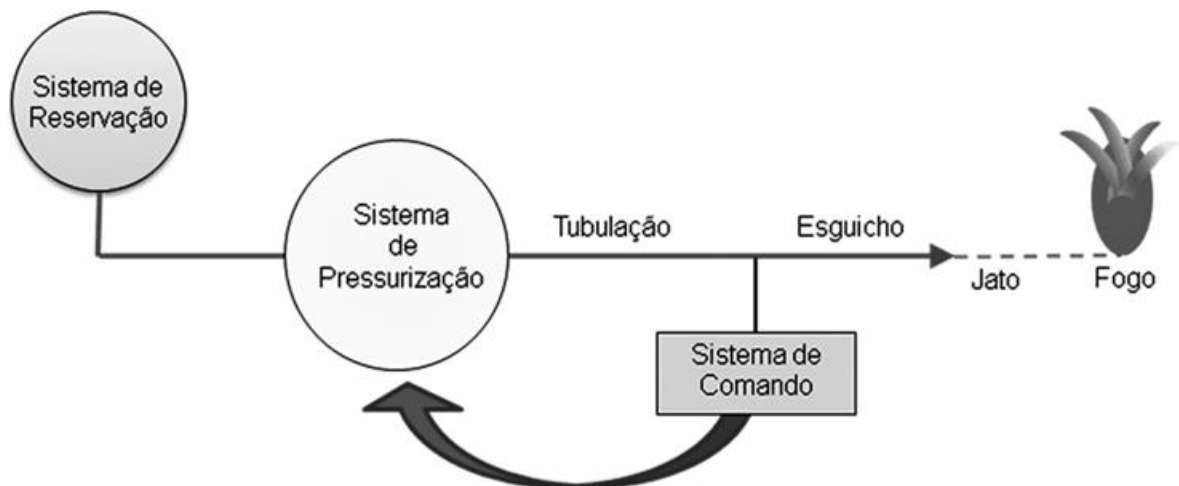


Figura 5.2 - Funcionamento do sistema de combate a incêndio. Fonte: Gonçalves, Guimarães e Oliveira, 2008.

A reservação de água deve ser prevista para permitir o primeiro combate, durante um determinado tempo. Após esse tempo, considera-se que o Corpo de Bombeiros mais próximo auxiliará no combate, utilizando-se da rede pública de abastecimento de água ou de fontes

naturais (açudes, lagos, rios,...). As águas provenientes de fontes naturais para utilização no sistema de hidrantes e de mangotinhos são aceitas, porém devem ser observadas as exigências quanto às características construtivas de captação da água para os sistemas conforme recomendações da NBR 13714. Em situações onde há restrição de acesso à rede pública ou à fonte natural, a reservação deverá ser suficiente para todo o combate.

A pressurização do sistema tem a finalidade de fornecer energia para o transporte da água pelo sistema de distribuição e para que ela seja arremessada a uma determinada distância (até o material em combustão) com vazão e pressão adequada para a extinção do fogo; e ocorrerá por ação da gravidade, de bombas ou de tanques de pressão. O sistema operado por bombas tem a finalidade de recalcar a água de um reservatório para os hidrantes ou mangotinhos. O acionamento das bombas é feito durante o incêndio por motor elétrico ou à explosão. No sistema operado por tanques de pressão, a bomba tem a finalidade de recalcar água para o tanque e mantê-lo pressurizado, enquanto ele alimenta a rede de distribuição.

O comando é a parte do sistema responsável pelo acionamento da bomba de incêndio, pode ser manual, por meio de botoeira do tipo liga e desliga, ou automático. O acionamento automático, mais recomendado, pode ser feito através de uma chave de fluxo, que é acionada pelo deslocamento de água proporcionado pela abertura de um hidrante, ou de um pressostato, que é acionado pela variação de pressão hidráulica na tubulação.

A distribuição é a parte do sistema que tem por finalidade conduzir a água do reservatório até o foco de incêndio. É composto pelos seguintes elementos:

- a) Tubulação com material capaz de resistir aos efeitos do calor, mantendo o seu funcionamento com estanqueidade e estabilidade mecânica. Cabe salientar que tanto os tubos, quanto as conexões e outros componentes hidráulicos deverão resistir à pressão interna do sistema.
- b) Os hidrantes são os pontos de tomada de água no qual há uma ou duas saídas, cada uma contém uma válvula com a função de controlar e bloquear o fluxo de água no interior da tubulação. É imprescindível que as conexões sejam do tipo engate rápido.
- c) A mangueira é um tubo flexível, com uniões também do tipo engate rápido, fabricado com fios naturais ou artificiais e utilizado para conduzir a água no trecho compreendido entre a válvula angular e o esguicho.
- d) O esguicho é um componente metálico, adaptado na extremidade da mangueira, que tem uma regulagem para dar forma, direção e controle ao jato de água.

5.3.2 - SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE COMBATE A INCÊNDIOS

Em ambientes fechados, o combate ao incêndio pode ser dado pelo acionamento de chuveiros automáticos, enquanto em ambientes abertos, o combate pode ser realizado através de canhões monitores.

O chuveiro automático é um dispositivo com um sensor térmico que, ao atingir uma determinada temperatura, permite que uma válvula seja aberta e libere água sobre uma área específica. Conforme a NBR 10897, os sistemas de chuveiros automáticos podem ser classificados da seguinte forma:

- a) Sistema de Tubo Molhado: os chuveiros automáticos estão conectados aos ramais de uma tubulação fixa contendo água sob pressão.
- b) Sistema de Tubo Seco: os chuveiros automáticos estão conectados aos ramais de uma tubulação fixa contendo ar comprimido ou nitrogênio sob pressão. Quando o gás é liberado, uma válvula libera a água do reservatório para a tubulação.
- c) Sistema de Ação Prévia: idêntico ao anterior com o acréscimo de uma válvula especial (acionada por detector de incêndio muito sensível) que permite a liberação da água na tubulação mesmo sem o acionamento de um chuveiro.
- d) Sistema Dilúvio: chuveiros abertos (que não elementos termos-sensíveis) estão conectados aos ramais de uma tubulação seca. Uma válvula instalada na entrada da rede de tubulação é acionada pelo sistema de detecção de incêndio e permite a entrada de água na rede e o seu descarregamento através dos chuveiros abertos. Em casos especiais, o acionamento da válvula-dilúvio pode ser feito por meio de um sistema de detecção de gases específicos.

Para o combate de incêndios com substâncias inflamáveis em áreas abertas, utilizam-se sistemas de resfriamento com aspersores e canhões-monitores. Aspersores são esguichos instalados no topo de tanques e, quando acionados, devem liberar água (ou espuma) suficiente para formar uma lâmina junto à superfície das paredes. Canhões monitores são esguicho que oferecem recursos mecânicos para facilitar o controle da grande vazão de água que proporcionam. Normalmente, são operados com pressões de 560 kPa (80 psi) para jatos sólidos e a 700 kPa (100psi) para jatos de neblina, podendo variar conforme o fabricante. A vazão utilizada geralmente está acima de 1200 lpm, podendo chegar até a 19000 lpm. A NBR 7505 recomenda que deve haver pelo menos dois canhões monitores posicionados de tal forma que a o lançamento seja de duas posições distintas e que estes podem ser fixos ou portáteis. Quando utilizados para proteção de uma bacia de contenção, devem ser instalados externamente ao dique.

5.3.3 - EQUIPE DE COMBATE A INCÊNDIOS

Além de equipamentos adequadamente projetados, instalados e mantidos em condições para seu uso a qualquer instante, o combate somente será eficiente se houver pessoal treinado para operá-los de forma rápida e eficiente. Desta forma, a existência de brigadas é de extrema importância na redução das consequências de grandes acidentes, pois serão os responsáveis pela organização da evacuação, do primeiro combate às chamas e do resfriamento de estruturas [Camillo Jr. e Leite, 2008].

Normalmente, estes grupos de salvamento são classificados da seguinte forma:

- a) Brigada de Incêndios: composta de funcionários de diversos setores treinados para combater princípios de incêndios nas instalações.
- b) Brigada de Abandono: composta de funcionários de diversos setores treinados para realizar a retirada da população das instalações e que não fazem parte da brigada de incêndio, pois, em uma situação de emergência, devem deixar o local junto com a população.
- c) Brigada de Emergência: aquela que, além de combater princípios de incêndios, atua também na ocorrência de outros sinistros que possam ocorrer nas instalações.

Apesar da NBR 14276 estabelecer os requisitos mínimos para composição, formação, implantação e reciclagem de brigadas de incêndio; caberá ao responsável pelo treinamento de cada brigada determinar quais os treinamentos específicos a que os brigadistas deverão ser submetidos, considerando os aspectos envolvendo a produção, a ocupação, o armazenamento e os riscos da instalação. Esses treinamentos deverão estar especificados e detalhados no Programa de Treinamento da Brigada e, quando das vistorias pelos órgãos competentes, deverão ser apresentados para possíveis esclarecimentos e orientações.

Em situações onde a atividade oferece risco elevado, a NBR 14608 recomenda que os estabelecimentos também disponham de bombeiros profissionais civis. Para dimensionar a quantidade necessária por turno, deve-se levar em conta a classe da edificação, o risco a proteger e a área total construída. Estes profissionais podem ser funcionários da própria empresa ou de uma empresa especializada terceirizada, e devem ter dedicação exclusiva para a prestação serviços de prevenção de incêndio e atendimento de emergências. O curso de qualificação do bombeiro profissional civil deve ter carga horária de 56 horas, sendo 40 horas de teoria e 16 de exercícios práticos; com reciclagem anual de 28 horas.

6. PLANO DE EMERGÊNCIA

Embora a NBR 15219 estabeleça os requisitos mínimos para a elaboração, implantação, manutenção e revisão de um plano de emergência contra incêndio, cabe destacar alguns aspectos abordados na publicação *Emergency Management Guide for Business and Industry* que poderão facilitar o atendimento dos requisitos mínimos [Gill e Leite, 2008].

6.1 RESPONSÁVEIS PELA ELABORAÇÃO

Embora a NBR 15219 indique que o plano de emergência seja elaborado por um profissional habilitado, a utilização de uma equipe multidisciplinar poderá oferecer melhor resultado devido a melhoria das informações e ao aumento de visibilidade proporcionados pelo envolvimento de mais pessoas com o processo de elaboração do plano. Para que a equipe funcione, serão necessárias as seguintes ações:

- a) Estabelecer autoridade: o grupo deve ter uma linha de autoridade entre os membros do grupo e o líder (maior cargo de chefia presente ou o gerente), embora sejam necessários cuidados com o exercício da autoridade para que as pessoas manifestem livremente suas idéias.
- b) Declarar a missão: o propósito do plano deverá ser claro, preciso e precisará envolver todos os setores da organização, bem como deve definir a autoridade e a estrutura do grupo de planejamento.
- c) Estabelecer um programa e orçamento: sem a devida alocação de recursos, o plano de emergência não será colocado em prática. É necessário estabelecer prazos, que poderão ser mudados conforme as prioridades fiquem mais claramente definidas, e desenvolver um orçamento inicial para gastos com itens como: pesquisa, impressão, seminários, serviços de consultoria e outras despesas que podem ser necessárias durante o processo de desenvolvimento do plano.

6.2 AVALIAÇÃO DE RISCOS E CAPACIDADES DE AÇÃO

Trata-se de uma etapa em que os responsáveis precisarão coletar informações relevantes para a elaboração do plano no que se refere aos seguintes tópicos:

- a) Sincronia com políticas e programas internos pré-existentes;
- b) Cooperação com grupos externos;

- c) Atendimento aos códigos e regulamentos existentes;
- d) Identificação de pontos críticos no processo ou em alguns serviços;
- e) Identificação dos recursos humanos e materiais;
- f) Identificação dos recursos externos que poderão ser necessários;
- g) Análise da cobertura do seguro; e
- h) Análise de vulnerabilidade e classificação das emergências com base em avaliação de probabilidade dos eventos e os seus impactos potenciais.

6.3 DESENVOLVIMENTO DO PLANO

Trata-se da descrição dos procedimentos que deverão ser seguidos em situações de emergência, determinando as ações necessárias para:

- a) avaliar a situação;
- b) proteger empregados, clientes, visitantes, equipamentos, registros vitais, e outros valores; e
- c) manter a empresa funcionando através de planos alternativos.

Deverão ser previstos procedimentos específicos para diferentes situações como falta de água ou energia elétrica, inundações, acidentes de trânsito, ameaça de bomba, sempre de modo coerente e proporcional às ameaças e vulnerabilidades locais. Em uma situação de emergência, o coordenador precisará ter rápido acesso a muitas informações e por isso o plano deve incluir os seguintes documentos de apoio:

- a) Listas com todas as pessoas do local e de fora que possam ser acionadas em uma emergência, suas atribuições e seus telefones disponíveis nas 24 horas;
- b) Plantas e mapas das instalações indicando todos os aspectos que poderão ser necessários ao controle da situação: posição dos hidrantes, linhas de gás e combustíveis, rotas de fuga, áreas restritas, localização de produtos tóxicos e de bens de alto valor; e
- c) Documentos para acionar o recebimento de auxílio de outras empresas ou órgãos governamentais.

Antes de uma versão final do plano, será necessário revisar as minutas elaboradas e programar simulados, onde a resposta à emergência pode ser avaliada com emprego de teatralização, jogos de mesa, programas de computadores ou dinâmicas em salas de aula. Em seguida, cabe designar pessoas ou um departamento para realização do programa de treinamentos referente ao plano de emergências e de simulacros, onde a resposta à emergência

deve ser simulada com profissionais do setor em atividades de campo e com todos os recursos disponíveis para uma situação real de emergência.

A coordenação com organizações externas pode ter bastante utilidade, tanto no que se refere a troca de experiências, quanto na mobilização de ajuda. Cabe incorporar as formas de comunicação e relato de emergências às exigências legais da região e estabelecer um protocolo para que o auxílio de órgãos externos ocorra com eficiência e rapidez, também recomenda-se criar uma metodologia para fornecer informações à população através dos meios de comunicação disponíveis.

A versão final deve ser aprovada pelo mais alto nível da chefia administrativa e deve ser distribuída, mediante a confirmação de seu recebimento, para:

- a) o nível mais alto da chefia administrativa;
- b) os gerentes de todos os setores;
- c) os membros-chave do gerenciamento de resposta a emergências;
- d) a matriz da empresa; e
- e) órgãos de emergência da comunidade.

Cabe ainda informar aos empregados sobre a aprovação do plano de emergência e a programação de treinamentos.

6.4 IMPLANTAÇÃO DO PLANO

Todo o plano de emergência é realizado com base em cenários e pode haver dificuldade em adaptá-lo uma situação real de emergência, portanto sua execução de forma eficiente dependerá da capacidade de resposta desenvolvida através da realização das recomendações feitas durante a análise de vulnerabilidade e dos treinamentos.

O plano de emergência deve ser atualizado constantemente de acordo com as mudanças nos processos e na cultura de segurança da segurança, oportunizando o teste dos procedimentos em novos cenários e o envolvimento do maior número possível de pessoas. Este envolvimento pode considerar algum tipo de avaliação realizada pelos empregados sobre os treinamentos recebidos e as medidas adotadas em algum simulado, fomentando o espaço para sugestões e a detecção de eventuais falhas nos procedimentos. Também é interessante divulgar as informações sobre a preparação para emergências por meio impresso: jornais da empresa, manuais dos empregados, cartazes ou folders com instruções para ou visitantes.

Embora conversas e os diálogos periódicos com os empregados sobre os procedimentos de emergência sejam bastante úteis para integral o plano à cultura da empresa, os treinamentos

para o uso de equipamentos pelas equipes de resposta, treinamentos de evacuação e exercícios em escala real são imprescindíveis para lograr êxito em uma situação real de emergência. Portanto, o plano deve conter um programa de treinamentos para o período de um ano. Sendo avaliado, revisado e renovado no final do período. O programa deve especificar quem será treinado, quem será treinador, os tipos de treinamento que serão desenvolvidos, quando e onde ocorrerão, bem como a forma que será avaliada e documentada. Podem ser adotadas as seguintes forma de abordagem:

- a) Sessões de orientação e educação, com discussões programadas regularmente para dar novas informações, esclarecer dúvidas e identificar preocupações e necessidades.
- b) Simulados do tipo “jogo de mesa” onde os gerentes de emergência se reúnem para discutir suas responsabilidades e como eles coordenariam as ações em determinados cenários.
- c) Simulacros com treinamento *walkthrough* onde os gerentes de emergência e as equipes de resposta realmente desempenham suas funções em campo.
- d) Simulacros com exercícios funcionais, onde funções específicas de resposta são testadas, embora não necessariamente todos ao mesmo tempo.
- e) Treinamento de evacuação, onde os trabalhadores percorrem o trajeto entre os seus respectivos postos de trabalho e o local designado como seguro para determinado cenário. Além de aferir o tempo necessário para a evacuação total, devem ser observadas eventuais obstruções à circulação que poderão ocorrer.
- f) Simulacros em escala real, onde todos os trabalhadores e recursos são mobilizados para testar o plano de forma global.

Através destes treinamentos, cada empregado deverá adquirir conhecimentos sobre o seu papel e sua responsabilidade, os perigos que estão expostos, as ações para proteção de sua saúde, as ações que deverão tomadas quanto houver sinais de alerta e como utilizar equipamentos de proteção que poderão ser fornecidos para sua sobrevivência.

Recomenda-se que seja feita, pelo menos, uma auditoria formal no plano de emergência por ano. E que as avaliações e modificações sejam realizadas não apenas após as auditorias, mas também nas seguintes situações:

- a) após cada exercício ou treinamento;
- b) após cada emergência;
- c) após significativas no quadro de chefia ou quando houver aumento significativo no número de empregados;
- d) após mudanças no layout da planta ou em algum processo; e

e) após mudanças na política da empresa.

As mudanças e as atualizações do plano de emergência deverão ser amplamente divulgadas entre todos os interessados.

6.5 GERENCIAMENTO DA RESPOSTA À EMERGÊNCIA

Numa situação real de emergência é necessária a presença de uma ou mais pessoas capazes de assumir o comando das operações e gerenciar as ações previstas no plano. A pessoa apta a assumir a posição de Comandante do Incidente (CI), ao ter conhecimento de um evento diferente das condições normais de operação, deverá apresentar-se no local estipulado como Central de Operações para Emergências (COE) e executar as seguintes ações:

- a) Informar que está assumindo o comando e solicitar todas as informações disponíveis;
- b) Avaliar a situação e designar as ações que cada integrante da Equipe de Gerenciamento da Emergência (EGE) deverá realizar;
- c) Estabelecer comunicação com todos que poderão auxiliar na a redução de consequências;
- d) Identificar a estratégia adequada e designar as primeiras ações de combate e as respectivas equipes que irão executá-las;
- e) Designar o local para onde serão direcionados os funcionários evacuados e onde será realizado o primeiro atendimento aos feridos;
- f) Analisar e avaliar a efetividade das primeiras ações de combate e, se necessário, definir outras ações que possam ser mais eficazes conforme a evolução do cenário;
- g) Se a emergência for controlada, encerrar o comando e iniciar o protocolo para retomar as atividades normais. Se a emergência se prolongar, o comando poderá ser transferido para outra pessoas com a mesma capacidade de dar continuidade ao gerenciamento da resposta à emergência.

A EGE é responsável por monitorar o quadro geral da situação e manter o CI informado para a tomada de decisões necessárias para o controle da emergência propriamente dita, devendo ser composta por gerentes com conhecimento e autoridade para:

- a) Avaliar os efeitos de curto e longo prazo da emergência;
- b) Ordenar a evacuação de setores;
- c) Ordenar quais ações técnicas no processo poderão ser executadas para auxiliar o controle da emergência;
- d) Estabelecer contato com as autoridades, a comunidade e a mídia; e

e) Divulgação dos comunicados oficiais.

O COE deve ser um local previsto no plano de emergências como uma área de fácil acesso e que provavelmente não estaria envolvida em um incidente. Contudo, cabe a previsão de um local alternativo para o caso do primeiro local não ser utilizável. O local ideal deverá contar com equipamento de comunicação, materiais de consulta, diários de atividade, e todo o material necessário para responder rapidamente e apropriadamente a uma emergência.

O isolamento da cena do incidente deverá ser iniciado logo após a descoberta da emergência pelo próprio descobridor, desde que este se posicione em um local que não ofereça riscos à sua saúde e que possibilite evitar o acesso de pessoas que não estão treinadas e adequadamente protegidas para as ações de combate e controle do evento. Posteriormente, é plausível a utilização de barreiras temporárias com a sinalização adequada.

Normalmente, o comando das operações deve ser passado para a autoridade pública presente no local acompanhado de um relatório completo da situação, onde deve constar quais estruturas estão sendo utilizadas para a resposta e como as ações estão sendo coordenadas, com a finalidade de evitar confusões e otimizar a resposta externa .

7. CONCLUSÃO

Considerando que a NR-20 tem por finalidade complementar o texto vigente da Consolidação das Leis do Trabalho (Decreto-Lei nº 5.452) sobre as atividades que proporcionam risco acentuado ao trabalhador em virtude de sua exposição permanente a inflamáveis, ela apenas aponta os requisitos mínimos que devem ser observados para que estas atividades sejam realizadas de forma segura. Apesar de incorporar aspectos discutidos e aceitos internacionalmente através da Convenção nº 174 da OIT e efetivamente representar uma evolução sobre a necessidade de gerenciar os riscos, a NR-20 apresenta deficiências na sua estruturação, permitindo situações em que uma fiscalização burocrática não será capaz de distinguir fraudes técnicas de documentos que indicam as reais condições da instalação.

Ao apresentar um conjunto de ações que poderão estar presentes desde a concepção do projeto de uma planta industrial para o processamento ou o armazenamento de uma substância inflamável, foi desenvolvida uma metodologia em que a segurança é incorporada como uma condição essencial do processo e não apenas como um ajuste. Cada novo elemento que é agregado às características do produto final ou ao processo, bem como cada procedimento adicionado rotina de operação ou qualquer mudança do arranjo físico da planta industrial, caberão decisões conscientes sobre aceitar o risco ou não.

Se houver como reduzir a probabilidade de ocorrência de um acidente ampliado ou a magnitude de seus danos, será mais fácil aceitar os riscos de uma atividade econômica. Quando esta atividade envolve substâncias inflamáveis, a prevenção contra incêndios (incluindo a detecção de vazamentos) é o que irá reduzir a probabilidade de ocorrência, enquanto a capacidade de combater o incêndio é o que irá reduzir a magnitude do dano. Logo, é importante que os sistemas de prevenção e combate a incêndios sejam atualizados e repensados a cada modificação, mesmo que pequena.

Acidentes ampliados geram transtornos que abalam as estruturas da sociedade, portanto evitá-los ou conseguir reduzir suas consequências são ações indispensáveis e que as empresas e o poder público precisam adotar de forma conjunta. Às empresas, cabe agir de forma responsável ao explorar uma atividade econômica, dando atenção a todos os aspectos de segurança necessários para a proteção de seus trabalhadores e para o bom funcionamento de suas instalações. Ao poder público, cabe tornar as regulamentações mais claras e as fiscalizações mais rígidas, cabe também não se omitir e punir severamente os empresários que não desenvolvam suas respectivas atividades com zelo e seriedade.

8. REFERÊNCIAS

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Center for Process Safety. **Guidelines for evaluation the characteristics of vapour cloud explosions, flash fires and BLEVEs**. New York: AIChE, 1994.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API Recommended Practice P 521 - Guide for Pressure Relieving and Depressuring Systems**. 4th ed. Washington: API, 1994.

ARAÚJO, C. H.; SILVA, A. A. **Detecção e Alarme de Incêndio**. In: SEITO, A. I. (coord.) et al. *A Segurança Contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 201-213.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7505-4 - Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis. Parte 4: Proteção contra incêndio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10897 - Proteção contra incêndio por chuveiros automáticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13714 - Sistema de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14276 - Brigada de incêndio - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14608 - Bombeiro profissional civil**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15219 - Plano de emergência contra incêndio - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60079-0 - Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas. Parte 0: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60079-10 - Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas. Parte 10: Classificação de áreas.** Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60079-14 - Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas. Parte 14: Instalação elétrica em áreas classificadas (exceto minas).** Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

BRASIL. **Decreto n.º 4085**, de 15 de janeiro de 2002, Promulga a Convenção n.º 174 da OIT e a Recomendação n.º 181 sobre a Prevenção de Acidentes Industriais Maiores. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ano 139, n. 11, p. 2 - 4, 16 jan. 2002. Seção 1, pt. 1.

BRASIL. **Decreto-Lei n.º 5452**, de 1º de maio de 1943, Aprova a Consolidação das Leis do Trabalho. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del5452.htm. Acesso em: 05 fev. 2013.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria n.º 308**, de 29 de fevereiro de 2012, Altera a Norma Regulamentadora n.º 20 - Líquidos Combustíveis e Inflamáveis, aprovada pela Portaria MTb n.º 3.214, de 8 de junho de 1978. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ano 149, n. 45, p. 209 - 213, 06 mar. 2012. Seção 1, pt. 1.

BUREAU FOR ANALYSIS OF INDUSTRIAL RISKS AND POLLUTIONS. The ARIA Database. **BLEVE dans un dépôt de GPL en raffinerie.** Paris: BARPI, 2006.

CAMILLO JR., A. B.; LEITE, W. C. **Brigadas de Incêndio.** In: SEITO, A. I. (coord.) et al. A Segurança Contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 287-296.

COSTA, M. R. M; GODINI, M. D.; ROCHA JR., E. **Acidentes Ampliados e as Normas Internacionais: “Diretiva de Seveso” e a Convenção n.º 174 da Organização Internacional do Trabalho - OIT.** São Paulo: SENAC, 2006.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. **FEMA 141: Emergency Management Guide for Business and Industry.** Washington: FEMA, 1993.

FILIPE, J. L. C. **Acidentes Industriais Graves e Planejamento de Territórios**. 2001. 220f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Projeto do Ambiente Urbano) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade do Porto, Porto. 2001.

FREITAS, C. M.; PORTE, M. F. ; GOMEZ, C. M. **Acidentes químicos ampliados: um desafio para a saúde pública**. Revista de Saúde Pública, São Paulo, v.29, n.6, p. 50-514, dez. 1995.

GILL, A. A.; LEAL, O. L. **Processo de Elaboração de Plano de Emergência**. In: SEITO, A. I. (coord.) et al. A Segurança Contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 287-296.

GONÇALVES, O. M.; GUIMARÃES, A. P.; OLIVEIRA, L. H. **Sistemas de Combate a Incêndio com Água**. In: SEITO, A. I. (coord.) et al. A Segurança Contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 233-255.

GOUVEIA, J. L. N; PIOLI, A.; VASCONCELLOS, A. R. **Equipamentos Portáteis de Detecção**. Disponível em: http://www.bvsde.paho.org/cursode/p/modulos/modulo_3.2.pdf. Acesso em: 23 de jan. 2013.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 79-12: Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres – Classification of Mixtures of gases or vapour with according to their maximum experimental safe gaps and minimum igniting currents**. 1st ed. Genève: IEC, 1978.

INTERNACIONAL LABOUR ORGANIZATION. **Prevenção de Acidentes Industriais Maiores**. Tradução da FUNDACENTRO. São Paulo, 2002.

JESUS, E. R. B. **Materiais para fabricação de equipamentos de processo**. Revista Iluminart, ano 4, n. 9, nov. 2012, p. 9-27.

KINNEY, G. F.; GRAHAM, K. J. **Explosive Shocks in Air**. 2th ed. Springer-Verlag, 1985.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **OSHA 3132: Process Safety Management**. Washington: OSHA, 2000.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **OSHA 3133: Process Safety Management Guidelines for Compliance**. Washington: OSHA, 1994.

PANNONI, F. D.; SILVA, V. P. **Engenharia de Segurança Contra Incêndio**. In: SEITO, A. I. (coord.) et al. *A Segurança Contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 411-446.

SEITO, A. I. **Fundamentos de Fogo e Incêndio**. In: SEITO, A. I. (coord.) et al. *A Segurança Contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 35-54.

VENART, J. E. S. **Flixborough: A final footnote**. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 20, jul-nov. 2007, p. 621–643.