

CECÍLIO APARECIDO ALOZEN

REGINALDO ROCHA VIDAL

**SISTEMAS FIXOS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO
EM USINAS HIDRELÉTRICAS E TERMELÉTRICAS**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Especialização em Engenharia de
Segurança do Trabalho.

Área de Concentração:
Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo

2007

**CECÍLIO APARECIDO ALOZEN
REGINALDO ROCHA VIDAL**

**SISTEMAS FIXOS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO
EM USINAS HIDRELÉTRICAS E TERMELÉTRICAS**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Especialização em Engenharia de
Segurança do Trabalho.

Área de Concentração:
Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo

2007

DEDICATÓRIA

Aos nossos familiares, que por muitas vezes souberam entender a necessidade do distanciamento do convívio familiar, mesmo em ocasiões importantes.

AGRADECIMENTOS

Aos nossos companheiros de trabalho do dia a dia que nos inspiraram e incentivaram a realização do curso de Engenharia de Segurança do Trabalho. Este trabalho representa nossa gratidão e respeito ao empenho na busca de melhores resultados da equipe e a todos, que direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

EPÍGRAFE

Se ouço, esqueço, se vejo, lembro, se faço
sei.

(Provérbio chinês)

As pessoas influenciam-nos, as vozes
comovem-nos, os livros convencem-nos, os
feitos entusiasmam-nos.

(John Henry Newman)

RESUMO

Atualmente, a matriz de energia elétrica do Brasil demonstra que 70% da produção nacional é obtida através de fontes hídricas (hidrelétricas) e 20% de fontes térmicas (termelétricas). Estas instalações são consideradas vitais para o funcionamento do Sistema de Interligação Nacional (SIN), responsável pela conexão dos vários segmentos do Sistema Elétrico de Potência brasileiro (SEP) desde a geração até a distribuição no consumidor final. Esta monografia faz uma avaliação ao atendimento das exigências legais do estado de São Paulo do sistema fixo automático de proteção contra incêndio com gás carbônico (CO₂) de uma hidrelétrica e outro sistema fixo de proteção com espuma de uma termelétrica. A prática no desenvolvimento de trabalhos de elaboração de projetos de combate a incêndios em hidrelétricas e termelétricas justifica nosso interesse pelo assunto. Como referências principais foram utilizadas além das normas brasileiras, os Decretos Estaduais nº20.811 de 11/03/1983, e nº46.076 de 31/08/2001. A norma NFPA 2001/04 - *Clean Agent Fire Extinguishing Systems* foi consultada no estudo do sistema de extinção de incêndio por gases limpos. Informações técnicas de empresas especializadas em sistemas de prevenção, detecção e combate a incêndio, bem como dados sobre instalação dos sistemas, características dos agentes extintores, suas especificações e aplicações fazem parte desta monografia. Nos comentários, são comparadas as exigências da legislação anterior a 1983 com as atuais. A atualização da legislação referente aos assuntos demonstra uma evolução da segurança com particularidades cada vez mais restritivas, o que denota a necessidade de estudos de verificação dos sistemas de combate a incêndios instalados em usinas geradoras de energia elétrica construídas anteriormente a 1983.

ABSTRACT

The main source of the electric energy in Brazil shows nowdays that 70% of the national production are got by water sources (hydroelectric power plants) and 20% of thermal sources (thermal power plants). These electrics and waterworks are considered vital for the functioning of the System of National integration (SIN), responsible for the connection between some segments of the Electrical System of Brazilian Power (SEP) from the generation to the distribution to the final consumer. This monograph makes an evaluation to the attendance of the legal requirements of the state of Sao Paulo of the automatic steady system of protection against fire with carbonic gas (CO₂) of a hydroelectric power plant and another steady system of protection with foam of thermal power plants. The practice in the development of works for the fire combat projects in hydroelectric power plants and thermal power plants justify our interest in the subject. Besides the Brazilian norms that have been used as the main references, also the State Decrees nº20.811 of 11/03/1983 and nº46.076 of 31/08/2001 have been used. The norm NFPA 2001/04 - Agent Clean Fire Extinguishing Systems has been consulted in the study of the system of fire extinguishing for clean gases. Technical Information of companies specialized in systems of fire prevention, detention and combat, as well as the data on installation of the systems, characteristics of the extinguishing agents, its specifications and applications are part of this monograph. In the comments, the requirements are compared to the laws before 1983 to the current ones. The update of the laws concerning these subjects shows an evolution of the security with more and more restrictive peculiarities, what makes necessary the studies of verification of the fire combat systems installed in electric energy generating plants built before 1983.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	3
1.2 Justificativa	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Usinas de geração de energia elétrica	4
2.2 Sistemas de prevenção, detecção e combate comumente instalados em usinas hidrelétricas e termelétricas	5
2.3 Classes de incêndios	6
2.4 Métodos de extinção do fogo	7
2.4.1 Extinção por isolamento (retirada do material)	7
2.4.2 Extinção por abafamento (retirada do combustível)	7
2.4.3 Extinção por resfriamento (retirada do calor)	7
2.4.4 Extinção por química (quebra da cadeia de reação química)	8
2.5 Sistemas fixos de combate a incêndio por gases	8
2.5.1 Sistema fixo de CO ₂ em geradores de potência	8
2.5.1.1 Propriedades do dióxido de carbono (CO ₂) no sistema fixo de combate a incêndio	9
2.5.1.2 Atuação do sistema fixo de CO ₂	12
2.5.1.3 Sistema de baixa pressão de CO ₂	14
2.5.1.4 Sistema de alta pressão de CO ₂	15

2.5.1.5 Dimensionamento do sistema fixo de CO ₂ para combate a incêndio.	17
2.6 Sistema de proteção por espuma	19
2.7 Sistemas fixos de supressão por agentes limpos em centros de operação e centro de processamento de dados das UHE's e UTE's.....	21
2.7.1 Sistema de supressão por gás limpo HFC-125	23
2.7.1.1 Descrição dos equipamentos e materiais.....	24
2.8 Sistema de detecção, sinalização e alarme de incêndio.....	31
2.8.1 Circuito Classe A	32
2.8.2 Circuito Classe B	32
2.8.3 Central de detecção e alarme.....	33
2.8.4 Painel de controle.....	34
2.8.5 Módulo de relé	34
2.8.6 Detectores de fumaça.....	34
2.8.7 Detectores de temperatura	35
2.8.8 Detectores de fumaça/temperatura	36
2.8.9 Módulo de endereçamento	36
2.8.10 Indicadores visuais de incêndio	36
2.9 Sistema de detecção aspirado de alta sensibilidade a laser.....	36
2.10 Sistema de detecção por tubo sensor.....	38
2.10.1 Sistema térmico linear ADW 511	38
2.10.1.1 Modo de operação	39
2.10.2 Detecção linear por cabo detector	41
2.11 Sistema fixo automático de proteção contra incêndio por água nebulizada.....	41
2.11.1 Descrição do sistema	43
2.11.2 Funcionamento	44

3. METODOLOGIA	45
4. ESTUDO DE CASO	46
4.1 Sistema fixo de CO ₂ instalado em conjunto turbogerador de uma usina hidrelétrica – Verificação ao atendimento das exigências legais.....	46
4.1.1 Descrição do sistema fixo automático de combate a incêndio por CO ₂	46
4.1.2 Cálculo da quantidade requerida de CO ₂	48
4.2 Sistema de proteção por espuma em tanques de armazenamento de óleo combustível de uma usina termelétrica – Verificação ao atendimento das exigências legais.....	50
4.2.1 Descrição do sistema fixo de proteção por espuma existente dos tanques de armazenamento do óleo combustível de uma usina termelétrica.....	51
4.2.2 A mistura do EFE.....	53
4.2.3 Bomba de recalque.....	53
4.2.4 Ejetores de espuma.....	53
4.2.4.1 Câmara de espuma.....	53
4.2.4.2 Ejetores de mangueiras	53
4.2.5 Características do sistema existente de proteção dos tanques de armazenamento de óleos combustíveis	53
4.2.6 Dimensionamento do sistema de espuma – Verificação para atendimento à legislação atual (Decreto Estadual 46.076/01)	54
4.2.6.1 Proteção dos tanques de armazenamento.....	54
4.2.6.2 Tempo mínimo de atuação do sistema	55
4.2.6.3 Quantidade de câmaras de descarga de espuma.....	55
4.2.6.4 Cálculo do volume de suprimento de EFE	57
5. COMENTÁRIOS	60

6. CONCLUSÕES	64
7. ANEXOS	66
8. LISTA DE REFERÊNCIAS	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Grupo de geradores de potência de uma UHE	9
Figura 2 – Apresentação esquemática de um gerador de potência	9
Figura 3 – Difusores de baixa pressão do sistema fixo de CO ₂	11
Figura 4 – Difusores de alta e de baixa pressão do sistema fixo de CO ₂	12
Figura 5 – Baterias de cilindros CO ₂	14
Figura 6 - Sistema de baixa pressão de extinção por CO ₂	15
Figura 7 – Sistema de alta pressão de extinção por CO ₂	16
Figura 8 – Contêineres do sistema de espuma	20
Figura 9 – Centro de Operações de uma usina hidrelétrica	22
Figura 10 – Esquemático do sistema de alta pressão de extinção por HFC-125, onde temos: 1)cilindros de armazenamento, 2) válvulas de controle, 3)atuador solenóide, 4)rede principal, 5)difusor, 6)detector, 7)central de alarme, 8)acionador manual, 9)indicador visual, 10)controle manual, 11)disparador manual	22
Figura 11 – Tipos de cilindros para sistemas de gases limpos	26
Figura 12 – Difusores para aspersão de gases.....	27
Figura 13 – Atuador Solenóide.....	28
Figura 14 – Arranjo para laço do tipo Classe A	32
Figura 15 – Arranjo para laço do tipo Classe B	32
Figura 16 – Figura mostrando as ligações entre os detectores e a resistência de final de linha.....	32
Figura 17 – Alguns modelos de centrais de detecção e alarme disponíveis	33
Figura 18 – Modelos de detectores de fumaça	35
Figura 19 – Modelos de detectores de temperatura.....	35
Figura 20 – Gráfico de atuação de detecção.....	37

Figura 21 – Esquema de operação do sistema aspirado	38
Figura 22 – Esquema do sistema aspirado	38
Figura 23 – Sistema ADW511	39
Figura 24 – Sistema de detecção de incêndio em transformadores por tubo sensor....	40
Figura 25 – Sistema de detecção de incêndio em transformadores por tubo sensor Instalado.....	40
Figura 26 – Sistema de detecção de incêndio em transformadores por tubo sensor instalado.....	40
Figura 27 – Cabo detector.....	41
Figura 28 – Central de detecção de cabo detector.....	41
Figura 29 – Bicos ejetores do sistema mulsyfire	42
Figura 30 – Detalhe de um sistema fixo automático de proteção contra incêndio por água nebulizada	42
Figura 31 – Sistema fixo automático de proteção contra incêndio por água nebulizada em transformador de potência	43
Figura 32 – Teste de funcionamento do sistema fixo automático de proteção contra incêndio por água nebulizada.....	43
Figura 33 – Sistema de Ar-comprimido do tanque hidropneumático do sistema fixo automático de proteção contra incêndio por água nebulizada Mulsyfire	44
Figura 34 – Planta esquemática da usina com a disposição dos turbogeradores.....	46
Figura 35 – Planta esquemática do sistema de espuma.....	51
Figura 36 – Detalhe esquemático do sistema de espuma na casa de preparação de espuma	52
Figura 37 – Câmara de espuma em teste	52
Figura 38 – Hidrante de espuma – treinamento de brigada de incêndio	52

Figura 39 – Gráfico comparativo entre as quantidades de CO2 instalada e requerida por norma..... 60

LISTA DE TABELAS

Tabela I	– Fator de inundação do sistema de CO ₂	19
Tabela II	– Características do gás HFC – 125.....	28
Tabela III	– Fator de correção atmosférica.....	30
Tabela IV	– Comparação entre as exigências legais.....	62
Tabela V	– Cálculo do suprimento de EFE – Tabela comparativa.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	- Acionador Manual
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	- American National Standards Institute
ASTM	- American Society for Testing and Materials
AVCB	- Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros
CB	- Corpo de Bombeiros
CBPMESP	- Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo
CES	- Comité Européen des Assurances
CO ₂	- Gás Carbônico (Dióxido de Carbono)
DF	- Detector de Fumaça
DOT	- US Department of Transportation
DT	- Detector Térmico
DTF	- Detector Térmico e de Fumaça
DTV	- Detector Térmico e Velocimétrico
EFE	- Extrato Formador de Espuma
FM	- Factory Mutual Approvals LLC
HFC – 125	- Pentafluoretano
HP CO ₂	- Sistema de alta pressão de extinção por CO ₂
IT	- Instrução técnica do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo
LP CO ₂	- Sistema de baixa pressão de extinção por CO ₂
NA	- Normalmente Aberto
NBR	- Norma Brasileira

NF	- Normalmente Fechado
NFPA	- National Fire Protection Association
NR	- Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho
PETROBRÁS	-Petróleo Brasileiro S/A.
SEP	- Sistema Elétrico de Potência
SIN	- Sistema de Interligação Nacional
UHE	- Usina Hidrelétrica
UTE	- Usina Termelétrica
UL	- Underwriters Laboratories

LISTA DE SÍMBOLOS

kV	QuiloVolt
%	Porcentagem
Hz	Hertz
MW	MegaWatt
Km	Quilômetro
"	Polegada
Mpa	Mega Pascal
Psi	Pounds per Square Inch
°F	Grau Fahrenheit
°C	Grau Celsius
s	Segundo
Kg/m ²	Quilogramas por metro quadrado
Vcc	Voltagem em corrente contínua
mmHg	Milímetros de mercúrio
A	Ampére
VDC	Volts Direct Current
m	Metro
m ³	Metro cúbico
L/m	Litros por metro
mca	Metros de coluna d'água
rpm	Rotações por minuto
V	Volt
HP	Cavalo de potência (horse power)
n°	Número

L, l	Litro
G	Giga
GW	GigaWatt
k	Quilo
kg	Quilograma
Kg/m ³	Quilogramas por metro cúbico
kVA	Quilo Volt-Ampére
kW	Quilo Watt
M	Mega
m ²	Metro quadrado
mm	Milímetro
mm ²	Milímetro quadrado
mm ³	Milímetro cúbico
Pa	Pascal
Ppm	Partes por milhão

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as concessões para geração, transmissão e distribuição de energia elétrica são de responsabilidade do governo federal, através do Ministério das Minas e Energia. A regulação e a fiscalização são exercidas pela ANEEL – Agência Nacional do Setor Elétrico. O sistema elétrico de potência brasileiro é formado por 3 segmentos: geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, desta forma podemos dizer que o Sistema Elétrico de Potência (SEP) é o conjunto de todas instalações e equipamentos destinados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Segundo estimativas do governo brasileiro, o crescimento do mercado de energia elétrica nacional é da ordem de 4,5% ao ano e deve ultrapassar a produção de 100 mil MW em 2008. Por ser um país de grande extensão territorial com uma ocupação bastante irregular, onde o mercado consumidor é concentrado nas regiões sul e sudeste, localização do centro industrial da nação, e também pelo fato de que o aproveitamento hidráulico depende de pontos naturalmente favoráveis, o sistema elétrico brasileiro apresenta como característica principal as grandes extensões de linhas de transmissão e um parque produtor de geração predominantemente hidráulica, evidentemente também pelo grande potencial hídrico nacional.

A conversão de uma forma qualquer de energia em energia elétrica, é denominada geração ou produção de energia elétrica.

A matriz energética de eletricidade do Brasil demonstra que mais de 70% da produção nacional é obtida de fontes hídricas (ver anexo A) com 607 usinas hidrelétricas instaladas. As termelétricas que produzem energia através da queima do gás, petróleo, biomassa e carvão mineral representam pouco mais de 20% da produção nacional. Uma pequena parcela de 2% é produzida por meios nucleares e eólicos (a partir do vento). A diferença de 8% é importada de países vizinhos na América do Sul (Paraguai, Argentina, Venezuela e Uruguai), conforme informações da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Segundo o órgão, o Brasil possui atualmente 1527 empreendimentos em operação, responsáveis pela geração de 94.194.710 kW de potência. Com estas proporções podemos dizer que as fontes de energia elétrica convencionais são as usinas hidrelétricas de grande porte (com potência acima de 30 MW) e as usinas termelétricas.

Com o desenvolvimento industrial e os avanços tecnológicos, a sociedade como um todo se tornou dependente dos benefícios gerados pela eletricidade. Hoje, seria impossível imaginar uma sociedade desenvolvida sem o uso da eletricidade. Enquanto a ciência é desafiada para descobrir novos meios alternativos de obtenção de energia elétrica, o parque de geração existente deve ser preservado e ampliado. À medida que a demanda de energia aumenta, mais fontes necessitam serem exploradas e novas linhas de transmissão necessitam serem construídas para conectar essas novas estações geradoras aos novos pontos de distribuição e também às estações já existentes, surgindo assim a interligação de sistemas.

Essas interligações podem propiciar um melhor aproveitamento das disponibilidades energéticas de regiões com disponibilidades energéticas de características distintas. São economicamente vantajosas e aumentam a confiabilidade do suprimento às cargas, embora implique numa maior complexidade de operação do sistema. Um exemplo é a interligação dos sistemas Sudeste/Centro-Oeste e Sul do Brasil, que apresentam sensíveis diferenças de hidraulicidade de seus rios, uma vez que os períodos chuvosos não são coincidentes nas várias bacias hidrográficas.

A alta confiabilidade exigida para o sistema de geração obriga a proteção de equipamentos básicos importantes utilizados nas usinas, independentemente também de protegerem vidas humanas envolvidas. Estas usinas utilizam diversos sistemas de segurança, mais especificamente de prevenção, detecção e combate a incêndio. A proposta desta monografia é de estudar alguns destes sistemas. Separados pelo conceito de funcionamento e ação de combate a incêndio, podemos citar vários sistemas que fazem parte do cotidiano da vida dos operadores de usinas, sendo de primordial importância o conhecimento sobre seu funcionamento, elementos e princípios de utilização.

Existem hoje no Brasil diversos sistemas consagrados mundialmente, tais como, sistema de supressão por gases limpos, CO₂ e outros que pretendemos detalhar nesta monografia, porém faremos um estudo de caso sobre um sistema instalado de CO₂ de uma usina hidrelétrica e um sistema de combate por espuma em tanques de óleo combustível de uma usina termelétrica. As fontes de informações consultadas foram especificações técnicas de fabricantes, normas ABNT, Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros de São Paulo, o Decreto

Estadual 46.076/01 e norma americana NFPA 2001/04 que foram importantes para o entendimento das exigências e especificações dos sistemas apresentados.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é estudar a aplicação e apresentar alguns tipos de sistemas de proteção de combate a incêndio em equipamentos e instalações de geração de energia elétrica (usinas hidrelétricas e termelétricas). Fazer uma avaliação dos sistemas de proteção instalados para verificação do atendimento das exigências legais do estado de São Paulo, utilizando como estudo de caso a instalação de um sistema fixo de CO₂ de combate a incêndio em geradores de potência de uma usina hidrelétrica e outro sistema de combate por espuma em tanques de óleo combustível de uma usina termelétrica.

1.2 Justificativa

Como principal justificativa, citamos o interesse em divulgar um pouco da experiência obtida na realização de trabalhos visando à elaboração de projeto de combate a incêndio em usinas termelétricas e hidrelétricas na região sudeste do país; divulgar também as dificuldades de adequação de sistemas instalados a legislação atual, contribuir com informações para profissionais que possam ingressar nesta área.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Usinas de geração de energia elétrica

Para compreendermos melhor os termos utilizados nesta monografia abaixo seguem definições normativas sobre usinas.

De acordo com a NBR 5460/92 – Sistemas Elétricos de Potência são definidos os seguintes termos:

Usina (Elétrica) – É a instalação elétrica destinada a gerar energia elétrica em escala industrial, por conversão de outra forma de energia.

Usina Hidrelétrica – É a usina elétrica na qual a energia elétrica é obtida por conversão de energia gravitacional da água.

Podemos encontrar usinas hidrelétricas de dois tipos: usina a fio d'água – usina hidrelétrica que utiliza diretamente a vazão do rio, tal como se apresenta no local e usina com acumulação – usina hidrelétrica que dispõe do seu próprio reservatório de regularização.

Nas grandes usinas o nível de tensão na saída dos geradores está normalmente na faixa de 6 a 25 kV. Com relação às usinas termelétricas, apresentam em geral como característica básica, um menor custo de construção, maior custo de operação e de manutenção e a possibilidade de serem alocadas mais próximas do mercado consumidor. Os Sistemas Isolados Brasileiros, predominantemente térmicos e majoritariamente localizados e dispersos na região norte encontram-se fora do Sistema Interligado Nacional (SIN). Esses sistemas atendem uma área de 45% do território e cerca de 3% da população nacional, ou seja, aproximadamente 1,2 milhões de consumidores e representam 3,4% da capacidade de produção de eletricidade nacional, segundo informações do governo.

Alguns termos relacionados a essa forma de geração são definidos pela norma brasileira (NBR) 5460/92:

Usina Termelétrica – Usina elétrica na qual a energia elétrica é obtida por conversão da energia térmica. Os tipos mais utilizados no Brasil são:

Unidade (Termelétrica) a combustão interna – Unidade termelétrica cujo motor primário é um motor de combustão interna.

Unidade (Termelétrica) a gás – Unidade termelétrica cujo motor primário é uma turbina a gás.

Unidade (Termelétrica) a turbina – Unidade termelétrica cujo motor primário é uma turbina a vapor.

Usina nuclear – Usina termelétrica que utiliza a reação nuclear como fonte térmica.

As usinas termelétricas movidas a carvão mineral, óleo combustível, gás natural ou nucleares são também classificadas como fontes de energia elétrica convencional, assim como a hidrelétrica, observando que em ambos os casos os geradores são do tipo síncrono operando na freqüência nominal de 60 Hz, que é a freqüência dos sistemas elétricos brasileiros. No caso de geração nuclear, as usinas normalmente são situadas o mais próximo possível dos locais de consumo com o objetivo de minimizar os custos de transmissão, dependendo também dos aspectos de segurança e conservação ambiental.

Como fontes alternativas de energia elétrica existem uma gama de possibilidades, incluindo energia solar fotovoltaica, usinas eólicas, usinas utilizando-se da queima de biomassa (madeira, cana-de-açúcar, por exemplo) e outras fontes menos usuais como as que utilizam à força das marés. Os longos prazos de maturação de projetos de geração de grandes envergaduras no Brasil, segundo informações do governo brasileiro através do Ministério das Minas e Energia, vêm estimulando o desenvolvimento de estudos para verificação da viabilidade técnica e dos custos associados à transmissão de energia da Amazônia para as regiões nordeste, sudeste e centro-oeste do país, na qual estão envolvidas distâncias superiores a 2.000 km.

2.2 Sistemas de prevenção, detecção e combate comumente instalados em usinas hidrelétricas e termelétricas

Objetivando fornecer informações sobre alguns dos sistemas comumente empregados nas usinas hidrelétricas e termelétricas no que se refere à proteção contra incêndios, foram descritos alguns dos sistemas de forma mais detalhada. Salientamos que algumas destas informações não são disponibilizadas em bibliografias sobre o assunto:

- sistema fixo automático de combate a incêndio por CO₂;
- sistema de combate a incêndio por espuma;
- sistema fixo automático de combate a incêndio por gases limpos;
- sistema fixo de detecção;

- sistema fixo automático de combate a incêndio por água nebulizada;

Para entendermos as aplicações destes sistemas, se faz necessária uma breve explicação sobre as classes de incêndio e os métodos de extinção de fogo comumente utilizados.

2.3 Classes de incêndios

Conforme o Decreto Estadual 46076/01, os incêndios são classificados de acordo com as características dos materiais, levando-se em conta, ainda, as condições em que se queimam.

Por isso, os incêndios são divididos em:

Classe "A"-caracteriza-se por incêndios em materiais sólidos. Ex.: madeira, papel, tecido, etc.

Esses materiais apresentam duas propriedades:

- Deixam resíduos quando queimados (brasas, cinzas, carvão, etc.);
- Queimam em superfície e em profundidade.

Classe "B"-caracteriza-se por incêndio em líquidos inflamáveis. Ex.: óleo, gasolina, querosene, etc.

Esses materiais apresentam duas propriedades:

- Não deixam resíduos quando queimados;
- Queimam somente em superfície.

Classe "C"-caracteriza-se por incêndio em equipamentos elétricos energizados.

Ex.: Máquinas elétricas, quadros de força, etc.

Obs.: Ao desligar o circuito elétrico, o fogo na parte sem energia passa a ser de classe A. Os devidos cuidados devem ser tomados com a chamada energia acumulada, presente em alguns equipamentos mesmo após seu desligamento. Neste caso o fogo deve ser tratado como classe "C".

Classe "D"-caracteriza-se por incêndio em metais pirofóricos. Ex.: potássio, alumínio em pó, magnésio, etc.

2.4 Métodos de extinção do fogo

Segundo Brentano (2005) a partir do componente do fogo que se deseja neutralizar, podemos definir os métodos de extinção do fogo, conforme descrito abaixo:

2.4.1 Extinção por isolamento (retirada do material)

Em algumas situações de incêndio é possível retirar o material combustível. No caso de tanques de combustíveis o fogo ocorre na superfície do líquido, sendo o mesmo retirado para outro local através de drenos pelo fundo. Fechar o registro do gás, extinguindo o fogo do queimador por falta de combustível. Nos incêndios em edificações a neutralização desse elemento é difícil, senão impossível (BRENTANO, 2005).

2.4.2 Extinção por abafamento (retirada do comburente)

Neste caso, procura-se evitar que o material em combustão seja alimentado por mais oxigênio do ar, reduzindo a sua concentração na mistura inflamável. No caso de incêndios em edificações, isso é conseguido abafando o fogo com espuma aquosa que é mais leve e insolúvel na água, ou isolando o local com fechamento do ambiente. No projeto arquitetônico pode ser prevista a compartimentação de áreas, que podem ser isoladas por ocasião de um incêndio. Pode-se extinguir o fogo por abafamento, também, reduzindo o índice de concentração de oxigênio no ar, com o uso de agentes extintores de gases inertes, mais pesados que o ar, sendo os mais comuns o CO₂ e o tetracloro de carbono. Eles atuam formando uma placa protetora entre o fogo e o ar, impedindo a propagação do incêndio (BRENTANO, 2005).

2.4.3 Extinção por resfriamento (retirada do calor)

Com a utilização de um agente extintor, ele absorve calor do fogo e o material em combustão, com o consequente resfriamento deste. Quando o material em combustão não é mais capaz de gerar gases e vapores em quantidades suficientes para se misturar com o oxigênio do ar e alimentar a mistura inflamável necessária para manter a reação química em cadeia, porque a perda de calor para o agente extintor é maior que o recebido pelo fogo, este começa a ser controlado até sua completa extinção. De uma forma geral, o resfriamento do material combustível é a

forma mais comum de extinguir o fogo em edificações e o agente extintor mais utilizado é a água (BRENTANO, 2005).

2.4.4 Extinção química (quebra da cadeia de reação química)

Com o lançamento ao fogo de determinado agente extintor, suas moléculas se dissociam pela ação do calor formando átomos e radicais livres, que se combinam com a mistura inflamável resultante do gás ou vapor do material combustível com o comburente, formando outra mistura não-inflamável, interrompendo a reação química em cadeia (BRENTANO, 2005) .

Sobre os métodos de extinção citados, devemos salientar que, conforme a NR 23 (Proteção contra incêndios) o elemento extintor água nunca será empregado:

- a) nos fogos de Classe B (líquidos combustíveis inflamáveis), salvo quando pulverizada sob a forma de neblina;
- b) nos fogos de Classe C (equipamentos elétricos energizados), salvo quando se tratar de água pulverizada; e,
- c) nos fogos de Classe D (metais combustíveis).

2.5 Sistemas fixos de combate à incêndio por gases

De acordo com as normas ABNT NBR 12232/2005 – Execução de sistemas fixos automáticos de proteção contra incêndio com gás carbônico (CO₂) em transformadores e reatores de potência contendo óleo isolante e NFPA 2001/2004 - *Clean Agent Fire Extinguishing Systems*, os sistemas fixos de gases para combate a incêndios podem complementar ou substituir, em alguns casos descritos nas mesmas, os sistemas hidráulicos, nas situações em que o emprego de água é desaconselhável ou proibido. Os agentes mais comuns em sistemas fixos de gases para geradores de potência são os que utilizam o CO₂ como agente extintor e o sistema mostrado neste trabalho para extinção em locais com equipamentos e presença humana é o sistema de extinção por agente limpo utilizando o gás HFC-125 (*Pentafluoroethane*).

2.5.1 Sistema fixo de CO₂ em geradores de potência

Os geradores de potência (Figura 1 e 2) são peças fundamentais para a operação do sistema de transformação de energia motriz em energia elétrica, por

isso necessitam de proteção especializada contra sinistros, tais como incêndio, uma vez que a propagação do mesmo poderá acarretar sérios prejuízos não apenas às instalações da usina como também ao Sistema de Interligação Nacional (SIN). Por ser equipamento de vital importância para o sistema, é notória a preocupação para que nunca exista interrupção do seu funcionamento, a não ser por paradas programadas. O tipo de proteção contra incêndio mais adequado para os geradores de potência, considerando as condições em que são instalados e operados é o sistema fixo automático de proteção contra incêndio com gás carbônico – CO₂.



Figura 1 – Grupo de geradores de potência de uma UHE.

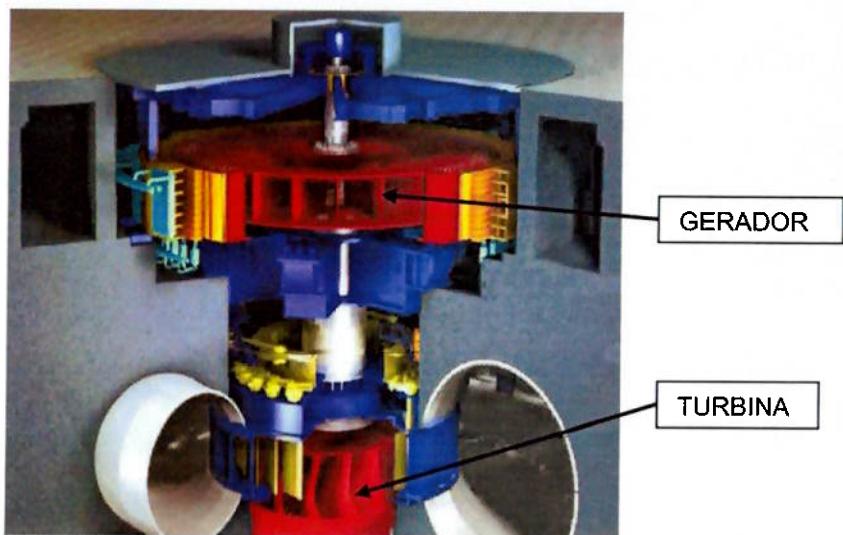


Figura 2 – Apresentação esquemática de um gerador de potência
Fonte: empresa Voith Siemens

2.5.1.1 Propriedades do dióxido de carbono (CO₂) no sistema fixo de combate a incêndio

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás inodoro e incolor, 1,5 vezes mais pesado do que o ar, péssimo condutor de eletricidade, que não é tóxico nem

corrosivo, porém pode causar a morte por asfixia, cegar (se lançado nos olhos) e produzir queimaduras na pele pelo frio.

O efeito produzido pelo CO₂ na extinção dos incêndios decorre do fato de que ele substitui rapidamente o oxigênio do ar, fazendo com que o teor de oxigênio baixe a um valor com o qual a combustão não pode prosseguir. Ao ser liberado no ar, seu volume pode expandir-se 450 vezes. É armazenado em cilindros de aço sob alta pressão que podem ser agrupados em baterias em instalações centralizadas. A atuação dos dispositivos automáticos de lançamento de CO₂ pode ser feita por sistemas elétricos, mecânicos ou pneumáticos acionados por detectores de fumaça ou calor. O CO₂ é lançado sob as formas de gás, de neve ou de neblina, conforme o tipo de difusor empregado. Recomenda-se seu emprego em:

- Centros de processamento de dados, instalação de computadores;
- Transformadores a óleo;
- Geradores elétricos;
- Equipamentos elétricos energizados;
- Indústrias químicas;
- Cabines de pintura;
- Centrais térmicas; geradores diesel elétricos;
- Tipografias, filmotecas, arquivos;
- Bibliotecas, museus e caixas fortes;
- Navios, nas centrais de controle.

A tubulação e os acessórios devem ser fabricados de acordo com as prescrições da American National Standards Institute (ANSI B.31.1) e American Society for Testing and Materials (ASTM A106) Schedule 40, para tubos até $\frac{3}{4}$ ", e Schedule 80, para diâmetros maiores. Devem ser especificados para pressão de ruptura de 34,5 MPa (351,5 kg/cm²) e para resistir a bruscas variações de temperatura e pressão, conforme item 5.3.1.4. da NBR 12232/05 – Execução de sistemas fixos automáticos de proteção contra incêndios com gás carbônico (CO₂) em transformadores e reatores de potência contendo óleo isolante..

O lançamento do CO₂ sob a forma gasosa, sem que ocorra congelamento com a descompressão, é feito por meio de difusores especiais (Figura 3), com

orifícios calibrados, de modo que possa ser obtida a concentração de CO₂ no tempo prescrito conforme recomenda a NBR 12232/05.



Figura 3 – Difusor de baixa pressão do sistema fixo de CO₂

Para a proteção de grandes volumes, típicos em algumas áreas industriais, ou quando a capacidade de múltiplo alcance for requerida, recomenda-se a utilização de sistemas de baixa pressão (LP CO₂) no qual o CO₂ é armazenado em estado líquido em tanques refrigerados a 300 psi (2,06 MPa) à 0°F (-17,77°C). Além do tanque de armazenagem, o sistema de baixa pressão inclui válvulas de descarga, tubulações e difusores (Figura 4). O sistema de supressão é interligado a painéis de controle que monitorizam a detecção e comandam eventuais descargas. Para uso em áreas onde o CO₂ líquido não é apropriado, utilizam-se vaporizadores opcionais para descarga em forma de vapor. Para proteção adicional, podem ser conectados carretéis com alta capacidade de descarga e alcance de até 45 metros. Esse acessório proporciona melhor proteção manual quando comparado a outros tipos de proteção portátil.

Aplicações:

- Áreas industriais não-habitáveis em geral
- Salas de transformadores
- Salas de geradores
- Fornos elétricos
- Estufas de cabines de pintura
- Armazéns de líquidos inflamáveis
- Turbinas a gás e a vapor
- Plataformas de petróleo
- Casas de máquinas de navios
- Máquinas/equipamentos que requeiram aplicações locais



Figura 4 – Difusores de alta e de baixa pressão do sistema fixo de CO₂

Os sistemas de CO₂ suprimem o fogo por inundação total ou aplicações locais. No caso de inundação total, o agente extintor é descarregado em todo o ambiente protegido. Nas aplicações locais, muito usuais em plantas industriais, o risco específico é focado dentro de um volume imaginário. Os sistemas de CO₂ são recomendados para a proteção de áreas não ocupadas, em função do risco potencial de asfixia.

Para sistemas de pequeno a médio porte, nos quais a quantidade de gás requerida para extinção for inferior a aproximadamente 2.000kg, o CO₂ normalmente é armazenado em cilindros de alta pressão, 850 psi (5,86 MPa) à 70°F (21,11°C), denominados sistemas de alta pressão (HP CO₂). O sistema é composto por baterias de cilindros com suas respectivas válvulas, mangueiras flexíveis, válvulas solenóides para liberação do agente do cilindro através da tubulação, difusores, painéis e dispositivos de campo.

Toda a execução do sistema é normatizada pela NBR 12232/05 – Execução de sistemas fixos automáticos de proteção contra incêndios com gás carbônico (CO₂) por inundação total para transformadores e reatores de potência contendo óleo isolante.

2.5.1.2 Atuação do sistema fixo de CO₂

Conforme NBR 12232/05 o tempo de atuação do sistema fixo de CO₂ desde a abertura das cabeças elétricas de comando até o início do fluxo de CO₂ nos difusores não deve ser maior que 60s, ainda conforme a NBR 12232/05 devem ser respeitadas as seguintes orientações:

- Devem ser previstos dispositivos específicos para bloqueio do automatismo da atuação do sistema fixo de CO₂, mas de modo que a rede de detecção, sinalização e alarme, permaneçam sempre em condição de operação automática. Os dispositivos de bloqueio devem atuar simultaneamente com sinalizações luminosas e anunciação de bloqueio.
- Devem ser previsto um dispositivo temporizador, regulável de 0s a 60s para retardar a descarga de CO₂, quando o sistema estiver na condição de operação automática. A atuação do temporizador deve ser comandada pela rede de detecção.
- Quando o ambiente de confinamento do equipamento protegido é atendido por sistemas de ventilação ou ar condicionado, estes devem ser automaticamente desligados, antes do início da descarga do gás ou no máximo simultaneamente a ele.
- Devem ser previstos exaustores para remoção do CO₂ do ambiente de confinamento do equipamento protegido, após a extinção do incêndio. Os exaustores devem ser ligados manualmente através de dispositivos instalados fora do ambiente.

Todo o sistema de detecção, sinalização e alarme do sistema fixo automático de proteção contra incêndio com gás carbônico (CO₂) em transformadores e reatores de potência contendo óleo isolante é demonstrado apropriadamente no item 2.8 desta monografia.

Conforme item 5.2.5 da NBR 12232/05 a quantidade de CO₂ da bateria deve ser suficiente para atender a qualquer equipamento protegido ou qualquer grupo de equipamentos protegidos simultaneamente. No caso de utilização de bateria reserva, esta deve ter a mesma capacidade da bateria principal (Figura 5).

A seguir, baseados em normas brasileiras, NFPA e informações obtidas do documento *Bureau of Reclamation do U.S. Department of the Interior - Denver, Colorado, May 2005*, serão detalhados dois sistemas que utilizam gás carbônico (CO₂) para extinção. Primeiramente descreveremos o sistema de baixa pressão de CO₂ e posteriormente o sistema de alta pressão de CO₂.



FIGURA 5 – Bateria de Cilindros de CO₂

2.5.1.3 Sistema de baixa pressão de CO₂

Os sistemas de baixa pressão de CO₂ operam em 300 psi (2,06 MPa) de pressão, possuem um tanque de armazenamento refrigerado e a maioria possui também um indicador nivelado situado em uma posição central para servir a todas as unidades múltiplas. Estes sistemas têm a vantagem de eliminar as exigências das normas específicas da National Fire Protection Association (NFPA) onde é exigida a execução periódica de testes hidrostáticos requeridos para os cilindros de alta pressão. Além disso, o CO₂ de reposição pode ser fornecido do tanque de armazenamento, de modo que no evento de uma descarga em uma unidade, as outras unidades atuem na proteção. Os sistemas de baixa pressão (Figura 6) usam as válvulas solenóides ou válvulas com comando elétrico ou pneumático para liberar o CO₂ dos tanques de armazenamento.

Quando os sistemas de baixa pressão forem uma alternativa de substituição aos sistemas de alta pressão, em muitos casos, obviamente que cada instalação deve ser avaliada individualmente, deve-se considerar o custo total. Essa substituição pode significar, num primeiro momento, um custo inicial mais elevado, pelo fato dos sistemas baixa pressão terem maiores exigências de manutenção, principalmente no quesito refrigeração, porém se a análise considerar o investimento a longo prazo, os sistemas de baixa pressão são mais atrativos.

Para se converter um sistema de alta pressão em um sistema baixa pressão, os equipamentos, de acordo com cada tipo de equipamento e suas necessidades,

são fornecidos os seguintes elementos: tanque de armazenamento, painel de controle, válvulas solenóides, ejetores de descarga e os componentes para as diversas conexões.

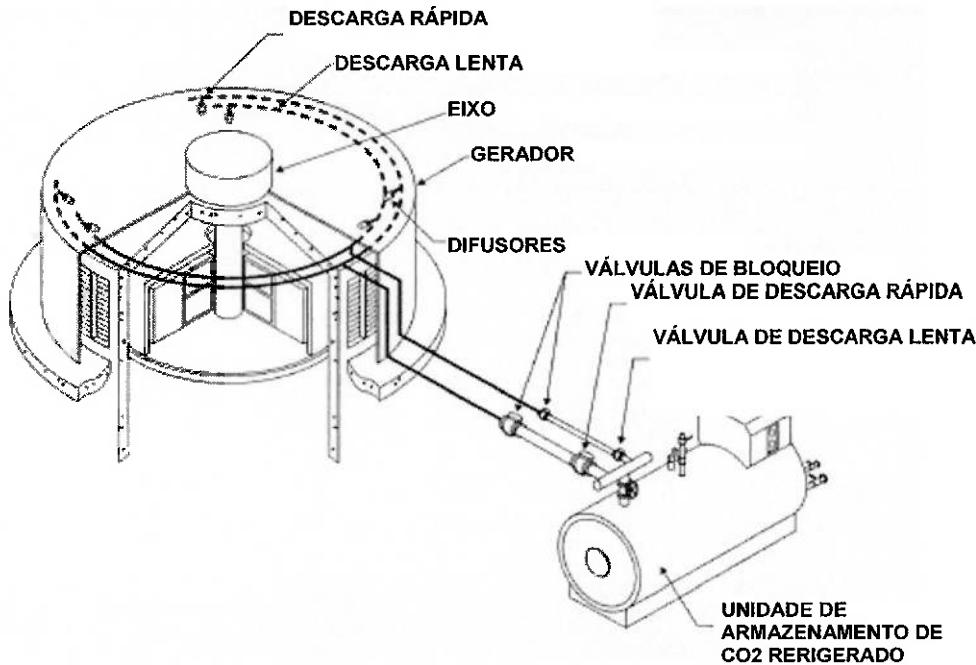


FIGURA 6-Sistema de baixa pressão de extinção por CO₂.
Fonte: U.S. Department of the Interior

2.5.1.4 Sistemas de alta pressão de CO₂

A maioria dos sistemas de CO₂ é do tipo alta pressão (HP CO₂), operando com a pressão 750 psi (5,17 MPa) de CO₂ que está aproximadamente a uma temperatura de 55 °F (12,78°C).

A pressão depende da temperatura, porque quando a temperatura aumenta a pressão também aumenta. Em uma temperatura de 88 °F (31,11°C) a pressão do CO₂ dentro de um cilindro de alta pressão é aproximadamente de 1000 psi (6,89 MPa). Originalmente o sistema de alta pressão já vem equipado com os "squibs" (pequenos artefatos explosivos usados para se romper os discos dos cilindros). O gás de alta pressão libera-se no encabeçamento dos cilindros causados pelo rompimento dos discos dos cilindros "slave" (cilindro que depende do acionamento do cilindro principal também chamado de cilindro "master") à ruptura descarrega o gás restante. Este processo é utilizado para a fase de descarga inicial e para parcelas posteriores complementares de descarga do sistema.

Hoje com o avanço da tecnologia empregada em sistemas de alta pressão de CO₂, "squibs" tornaram-se obsoletos, e não são mais fabricados, eles estão sendo

substituídos pelos dispositivos de descarga pneumático/elétrico que executam a função de descarregar os cilindros piloto, depois do qual a operação do sistema é a mesma que antes. Para esta modificação, o equipamento que necessita tipicamente ser substituído é o painel de controle do fogo, o piloto e a pressão das cabeças, as válvulas operadas da descarga do cilindro, a válvula de seletor e os vários componentes da conexão.

Os sistemas de alta pressão (Figura 7) requerem que a quantidade de CO₂ nos cilindros tenha acompanhamento de 6 meses para assegurar a disponibilidade do CO₂ suficiente. Os cilindros de CO₂ também devem ser testados e pesados periodicamente no mínimo de seis em seis meses e sempre que acusarem perda de peso superior a 10% quando devem ser recarregados. Em qualquer circunstância os cilindros devem ser recarregados pelo menos anualmente, conforme item 6.2.1.3 da NBR 12232/05. Este item também preconiza que os cilindros descarregados não devem ser recarregados sem que sejam submetidos ao ensaio hidrostático e à remarcação, caso já tenham decorridos mais de cinco anos da data do último ensaio.

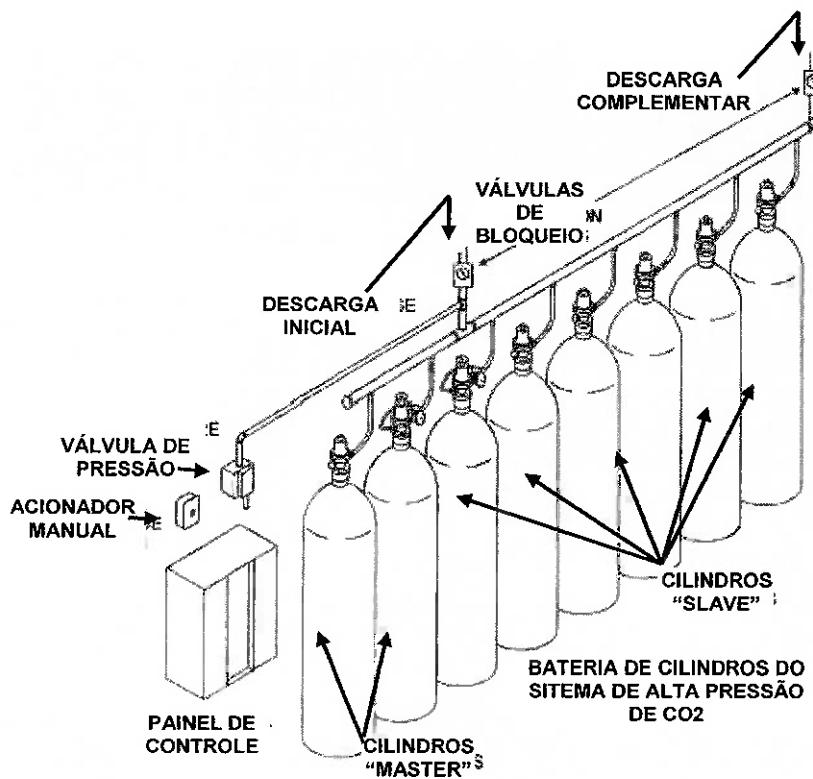


FIGURA 7 – Sistema de alta pressão de extinção por CO₂.
Fonte: U.S. Department of the Interior

Os cilindros em uso contínuo, mas não descarregados, podem ser mantidos em serviço durante um período máximo de 12 anos após a data do último ensaio hidrostático. Os cilindros de alta pressão devem ser substituídos ou recarregados após uma descarga, desgaste por trabalho intensivo ou risco potencial.

Atualmente os sistemas de alta pressão, devido ao grande custo de manutenção, estão sendo convertidos para sistemas de baixa pressão, em alguns casos, dependendo das considerações do projeto e do custo.

2.5.1.5 Dimensionamento do sistema fixo de CO₂ para combate a incêndio

Conforme NBR 12232/05 a quantidade requerida de CO₂ deve ser calculada conforme a fórmula abaixo:

$$Qd = Va.Fi \quad (1)$$

Onde:

Qd = quantidade básica requerida de CO₂, em quilogramas;

Va = volume do ambiente inundado, em metros cúbicos;

Fi = fator de inundação em quilogramas por centímetro cúbico, conforme a

Tabela I.

A quantidade requerida de CO₂ deve ser calculada de modo a assegurar a concentração mínima (concentração de projeto) no ambiente inundado para a completa extinção do incêndio. O item 5.1.1 da NBR 12232/05 indica 50% para esta concentração mínima, porém a tabela 1 – Fator de inundação para riscos de incêndio do tipo de superfície do item 5.1.4 da mesma norma, considera a concentração mínima de 40%, gerando dúvida sobre qual porcentagem utilizar. Assim, após consultar os órgãos internacionais NFPA - *National Fire Protection Association* e CES – *Comité Européen des Assurances*, foi verificado que para a aplicação estudada nesta monografia, não há valores de concentração acima de 40%, desta forma, deduzimos que há um equívoco na norma NBR 12232/05, pois analisando também a versão anterior (NBR 12232/92) constatamos que a mesma recomendava o valor de 40% para concentração de projeto para o ambiente inundado.

O tempo mínimo de retenção da concentração de CO₂ no ambiente inundado deve ser de 60 segundos. O tempo máximo de descarga para atingir a concentração

de projeto deve ser de 60 segundos, para sistemas de inundação total e 30 segundos para sistemas de aplicação total.

Ainda no caso de aberturas que não podem ser fechadas, quando o ambiente pelas suas características construtivas, for muito estanque, com paredes não resistentes à pressão de CO₂ descarregado dele, deve ser prevista uma abertura para alívio desta pressão, desse modo à área da abertura deve ser calculada pela equação:

$$A = \frac{D}{661,2\sqrt{P}} \quad (2)$$

Onde:

A = área livre de abertura, em metros quadrados;

D = vazão de projeto de descarga de CO₂, em quilogramas por hora;

P = pressão admissível nas paredes do recinto, em megapascals.

Nesse caso de aberturas que não podem ser fechadas, a quantidade de CO₂ a ser adicionada à quantidade básica requerida deve ser calculada pela equação:

$$Qa = \sum Te \cdot t \quad (3)$$

Qa = quantidade adicional de CO₂, em quilogramas;

Te = vazão de escape (vazamento) de CO₂ através de cada abertura, em quilogramas por minuto;

t = tempo de descarga da quantidade básica de CO₂ igual a 1 min.

A vazão de escape de CO₂ através de cada abertura deve ser calculada pela equação:

$$Te = 5,59 \cdot C \cdot \rho_1 \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (\rho_2 - \rho_3) \cdot h}{\rho_2}} \quad (4)$$

Onde:

C = fração de concentração de CO₂;

ρ_1 = massa específica da fase gasosa do CO₂, em quilogramas por metro cúbico;

ρ_2 = massa específica da atmosfera do recinto, em quilogramas por metro cúbico;

ρ_3 = massa específica da atmosfera externa, em quilogramas por metro cúbico;
A = área de abertura, em metros quadrados, com coeficiente de vazão incluído;
g = aceleração da gravidade igual a $9,81 \text{ m/s}^2$;
h = altura estática entre a linha de centro no campo da abertura e o teto do recinto, em metros.

Tabela I – Fator de inundação para riscos de incêndio do tipo de superfície, para concentração mínima de 40%

VOLUME DO AMBIENTE PROTEGIDO(m ³)	FATOR DE INUNDAÇÃO		QUANTIDADE MÍNIMA DE CO ₂ A SER DESCARREGADA NO AMBIENTE kg
	m ³ /kg CO ₂	kg CO ₂ / m ³	
Até 3,96	0,72	1,38	-
3,97 – 14,15	0,78	1,28	4,5
14,16 – 45,28	0,83	1,21	15,1
45,29 – 127,35	0,93	1,08	45,4
127,36 – 1415,0	1,04	0,96	113,5
Mais de 1415,0	1,15	0,92	1135,0

Fonte: ABNT NBR 12232/2005 – item 5.1.4

Para efeito de cálculo das perdas de carga, a pressão inicial a ser considerada deve ser a pressão média no interior do cilindro durante o escoamento da fase líquida de CO₂. Para a temperatura de armazenamento de 21°C, esta pressão é igual a 5,2 MPa (52,7kg/cm²). A pressão residual de projeto disponível nos difusores, à temperatura de armazenamento de 21°C, não deve menor que 2,1 MPa (21,1 kgf/cm²).

2.6 Sistema de proteção por espuma

O sistema de combate a incêndio por espuma, segundo a NBR 12615/92 – Sistema de proteção por espuma, deve ser aplicado em todas as edificações e/ou áreas de risco em que haja produção, manipulação, armazenamento e distribuição de líquidos combustíveis ou inflamáveis localizadas no interior de edificações ou a

céu aberto, também determinado através da Tabela 6 M.2 do Decreto Estadual nº 46.076/01.

A espuma mecânica ou espuma de ar é um agregado de bolhas cheias de ar, geradas por meios puramente mecânicos, de soluções aquosas contendo um concentrado de origem animal, sintética ou vegetal. É extremamente eficiente na prevenção e extinção do fogo nas mais diversas situações, que exigem um fluido de baixa densidade e alta capacidade de absorção de calor, mas não pode ser considerada adequada para incêndios em gases. Sua densidade sendo menor que a dos líquidos inflamáveis permite que seja formada uma camada flutuante sobre estes, extinguindo, cobrindo e resfriando o combustível, interrompendo assim a volatilização de vapores, o que impede a mistura com o oxigênio do ar. A espuma mecânica não deve ser utilizada em forma de jatos plenos em equipamentos elétricos energizados por ser condutora de eletricidade.

O líquido concentrado utilizado na formação de espuma é denominado EFE (extrato formador de espuma). A espuma é obtida através da mistura deste extrato com a água mais a injeção de ar. A norma NBR 12615/92 recomenda que este extrato deve ser armazenado em tanques ou recipientes metálicos, protegidos convenientemente contra corrosões (Figura 8).

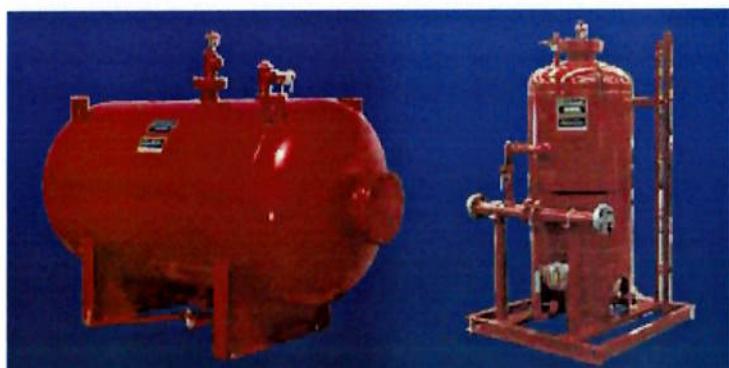


FIGURA 8 – Contêineres do sistema de espuma
Fonte: empresa Tyco Fire & Security's Ltd.

Em usinas hidrelétricas e termelétricas, objetos do nosso estudo, o sistema de proteção por espuma mecânica é utilizado na proteção de tanques de armazenamento de óleo combustível. É mais comum serem instalados em usinas termelétricas, principalmente nas usinas movidas a óleo combustível, que

necessitam de tanques com grandes volumes deste material para seu funcionamento.

Nestes casos, geralmente o sistema de proteção por espuma é formado por uma estação fixa de emulsionamento, um gerador de espuma, uma rede de hidrantes, uma rede ou linha de espuma, mangueiras e equipamentos denominados monitores (canhão) que podem ser portátil ou fixo, de acordo com a vazão pretendida para a situação. A estação fixa de emulsionamento é o local onde são instalados as bombas, os dosadores, as válvulas e reservatórios de extrato formador de espuma. Deve ser um local de fácil acesso, com boas condições de ventilação e iluminação, de preferência voltadas para áreas de menor risco. A manutenção periódica nos equipamentos neste local é primordial para a garantia do funcionamento do sistema. Algumas recomendações devem ser observadas para esta estação de emulsionamento: deve ser construída de material resistente ao fogo, dispor de sistemas elétricos de comunicação devidamente protegidos contra fogo e explosão, instrumentação adequada para indicação de pressão do fluxo de água, EFE, mistura e principalmente dispositivos adequados para permitir inspeções e testes de funcionamento dos equipamentos.

A rede de hidrantes empregada nesta situação tem a finalidade de alimentar com água ou solução de espuma as mangueiras para combate ao incêndio, objetiva também, garantir a extinção de focos de incêndio em áreas adjacentes aos riscos previstos em projeto. A linha de espuma é destinada a conduzir a espuma.

2.7 Sistemas fixos de supressão por agentes limpos em centros de operação e centro de processamento de dados das UHE's e UTE's

Em locais com equipamentos instalados e onde existem pessoas (Figura 9), foram desenvolvidos gases denominados limpos por não serem asfixiantes e por esse motivo, mais indicados por não oferecerem risco aos ocupantes. São considerados como a evolução dos sistemas que utilizam o gás carbônico (CO₂) pelo fato mesmo ser asfixiante.

Conforme NFPA 2001/04 - *Clean Agent Fire Extinguishing Systems*, os agentes limpos foram introduzidos em resposta às restrições internacionais à produção de certos produtos de certos agentes HALON de combate ao fogo pelos países signatários do Protocolo de Montreal no ano de 1.987.



Figura 9 – Centro de Operações de uma usina hidrelétrica

A seguir é apresentado o sistema de gás limpo denominado HFC-125 (*Pentafluoroethano*) com sua tecnologia, características físico-químicas e dimensionamentos.

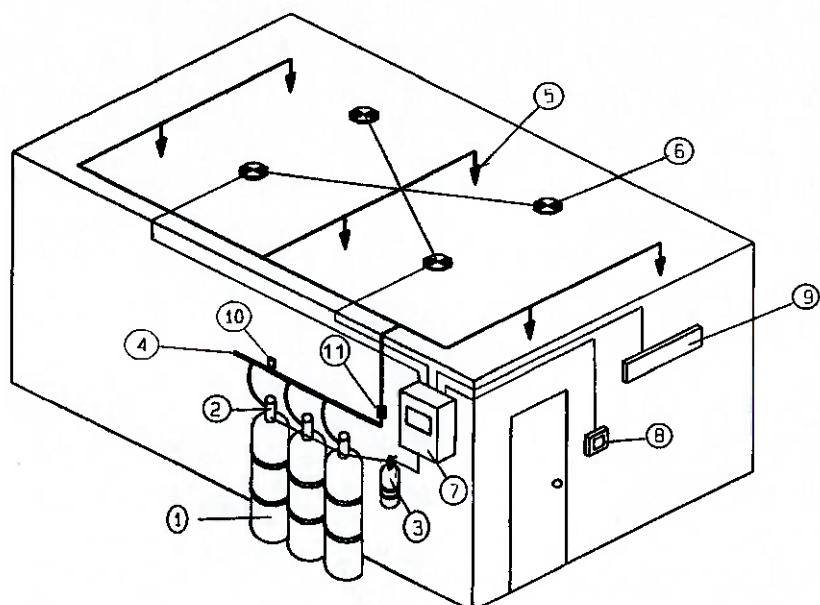


FIGURA 10 – Esquemático do sistema de alta pressão de extinção por HFC-125, onde temos:
 1)cilindros de armazenamento, 2)válvulas de controle, 3)atuador solenóide, 4)rede principal,
 5)difusor, 6)detector, 7)central de alarme, 8)acionador manual, 9)indicador visual, 10)controle manual,
 11)disparador manual.

Fonte: empresa Fike Corporation

2.7.1 Sistema de supressão por gás limpo HFC-125

As informações sobre este sistema bem como as especificidades do gás HFC-125 aqui indicadas foram obtidas no documento *Data Sheet HFC-125 Clean Agent*, 2004 da empresa americana Fike Corporation.

Os sistemas de supressão por agente limpo HFC-125 (*Pentafluoroethano*), compõe-se da instalação de cilindros com gás HFC- 125 (Figura 10) que são conectados as suas respectivas redes de distribuição, com a função de conduzir o gás até os locais de descarga. O gás HFC-125 é descarregado nas áreas de emergência através de difusores especiais de maneira a possibilitar a descarga uniforme do gás em todos os ambientes protegidos.

A proteção contra incêndio das áreas é realizada com sistema de inundação total pelo Agente Limpo HFC-125. O agente extintor de incêndio HFC-125 é recomendado para aplicação em áreas habitadas não sendo prejudicial à saúde do ser humano e a camada de ozônio. O gás HFC-125 é recomendado pela norma americana NFPA 2001/04 - *Clean Agent Fire Extinguishing Systems* como sistema de extinção de incêndio por agente limpo.

O sistema de supressão por agente limpo HFC-125 é automático sendo acionado através do sistema de detecção e alarme de incêndio. As válvulas dos cilindros de HFC-125 são providas de dispositivos para acionamento elétrico através do sistema de detecção, bem como de atuadores manuais para possibilitar o acionamento manual dos mesmos, caso necessário. As redes de distribuição dos sistemas de HFC-125 são fixadas, de forma que as conexões não fiquem sujeitas as tensões mecânicas e de maneira que não sofram flexões consideráveis. As redes de distribuição de HFC-125 são limpas, ou seja, sem a presença de óleos e graxas que são removidos com o uso de solventes e recebem demãos de primer antiferruginoso e acabamento com tinta esmalte sintético.

As redes de distribuição do gás HFC-125, são dimensionadas hidráulicamente através do software normatizado pela NFPA e certificado pela UL - Underwriters Laboratories e FM - Factory Mutual, de maneira a permitir a descarga do gás HFC-125 em no máximo 10 segundos, conforme a concentração requerida de gás exigida pela NFPA 2001/04, quando da descarga. Próximos aos cilindros são instalados comutadores a pressão, que tem como finalidade fazer o desligamento das máquinas de ar condicionado quando do acionamento manual dos cilindros de gás HFC-125.

2.7.1.1 Descrição dos equipamentos e materiais

- Aplicação

O agente extintor de incêndio HFC-125 apresenta vantagens incomuns em incêndios classificados como classe A, classe B e classe C. É particularmente adequado para o uso de sistemas de extinção de incêndio por inundação total.

A alta resistência dielétrica do HFC-125 e a ausência de resíduos realçam seu uso quando envolve equipamentos elétricos, eletrônicos e materiais combustíveis. O gás HFC-125 é recomendado pela NFPA – *National Fire Protection Association – Standard 2001*, como agente de supressão de incêndio totalmente limpo e plenamente aceitável pelo meio ambiente.

O HFC-125 tem um potencial de degradação de ozônio zero, um baixo potencial de aquecimento global e uma curta vida na atmosfera.

É particularmente útil quando um agente ambientalmente aceitável é essencial, quando a limpeza de outros meios representa um problema, quando o peso versus potencial de supressão é um fator relevante, quando um meio eletricamente não combustível é necessário e quando a compatibilidade com as pessoas é um fator preponderante. O HFC-125 pode ser utilizado para proteger uma larga faixa de aplicações, de equipamentos elétricos sensíveis a aplicações industriais.

- Descrição do agente extintor

O HFC-125 é um gás liquefeito à compressão, fórmula química CHF_2CF_3 , inodoro e incolor. É armazenado como líquido e descarregado na área de risco como vapor e eletricamente não condutível, é limpo, eficaz, não obscurece a visão e tem toxicidade aceitável para uso em espaços ocupados na concentração de projetos, é um agente que não deixa resíduos, partículas, água ou materiais corrosivos. Isto elimina danos colaterais a equipamentos de alta tecnologia, obras de arte e outros objetos sensíveis e delicados. Depois de descarregado, pode ser removido por simples ventilação, permitindo um rápido retorno da empresa às atividades normais.

O HFC-125 é extremamente eficiente quanto ao espaço para instalação dos cilindros. Outros gases extintores como CO₂ e gases inertes requerem sete vezes mais espaço para armazenamento dos cilindros, assim é usado em dezenas de milhares de sistemas de supressão de incêndio em mais de 70 países.

- **Performance do agente extintor**

O HFC-125 é principalmente um agente de supressão física, ou seja, ele extingue o fogo através do mecanismo físico de absorção do calor. Ele literalmente remove a energia do calor do fogo de modo que o fogo não consegue se sustentar.

O HFC-125 possui uma ação extintora química, que exposto à chama ele libera pequenas quantidades de radicais livres do fogo, inibindo as reações em cadeias responsáveis pela combustão.

Os sistemas de supressão do HFC-125 são projetados considerando uma concentração mínima de 8% e máxima de 11,5% para extinção do incêndio por inundação total.

Os sistemas concebidos com estas concentrações não trazem riscos à saúde do ser humano, podendo as pessoas ficarem expostas ao HFC-125 por um período de até 5 minutos após a descarga.

- **Toxicidade do HFC-125**

A toxicologia do HFC-125 compara-se favoravelmente com aquela do Halon 1301. O LC50 do HFC-125 é maior que 700.00 ppm que é equivalente ao Halon 1301. O HFC-125 foi avaliado para sensibilização cardíaca através de protocolos de testes aprovados por agências e instituições de proteção ambiental.

Os resultados dos testes mostraram que a tolerância cardíaca ao HFC-125 é muito maior do que a apresentada pelo Halon 1311, que é outro tipo de gás considerado limpo pela NFPA 2001, e que é aceitável para uso em espaços normalmente ocupados.

- **Cilindros do sistema de supressão por HFC-125**

Os cilindros são confeccionados para armazenamento do agente extintor HFC-125. O agente limpo fica retido no cilindro por uma válvula que contém uma rápida ação de liberação do agente.

A abertura da válvula para a liberação do agente ocorre através de 2 métodos:

- a) Liberação através de um sinal elétrico sobre o solenoíde ou manualmente através do atuador manual instalado junto à válvula de segurança do cilindro.

- b) Quando a temperatura interna no cilindro atingir a uma temperatura de aproximadamente 150° F, acionado a abertura da válvula de segurança por sobre pressão.

O agente extintor utilizado nos cilindros (Figura 11) tem uma pressão de vapor natural de 13 psi na temperatura de 77° F (25°C). O HFC-125 é super pressurizado com nitrogênio seco a 360 psi (2,48MPa), assegurando uma rápida e efetiva descarga em no máximo 10 segundos, conforme recomendações da NFPA - Standard 2001.

Os cilindros são dotados de periféricos que permitem a visualização e inspeções periódicas da pressão de armazenamento do cilindro, através do manômetro instalado na válvula do cilindro, os cilindros são fabricados em diversos tamanhos, adequando-se facilmente as áreas a serem protegidas.

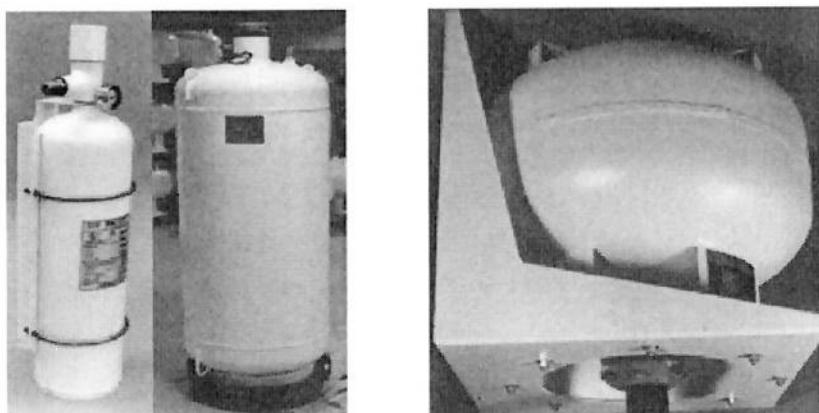


FIGURA 11 – Tipos de cilindros para sistemas de gases limpos.
Fonte: empresa Fike Corporation

- Confiabilidade do sistema

Os cilindros passam pelos mais rigorosos testes de vazamento e de pressão, sendo confeccionados em tubos de aço carbono em conformidade com a norma americana *US Department of Transportation* (DOT).

Os cilindros geralmente são fornecidos com etiqueta de identificação, contendo número de série, ano de fabricação, dimensões e correto manuseio, bem como informações sobre o agente extintor HFC-125, com quantidade de agente, pressão de trabalho e propriedades químicas.

A liberação automática do agente extintor ocorre através de um sinal elétrico 24 Vcc, gerado pela central de detecção e alarme de incêndio, que faz o acionamento das válvulas solenóides instalados na válvula dos cilindros. Isso

permite a descarga uniforme do agente extintor HFC-125 através dos difusores distribuídos estrategicamente nas áreas sob proteção.

Para a interligação dos cilindros com as redes de distribuição do HFC-125, são utilizadas conexões flexíveis, adaptadores e abraçadeira de junção do tipo bipartida, que permitem facilidades na instalação dos cilindros, bem como para o manuseio em casos de manutenção.

Os atuadores manuais instalados nas válvulas dos cilindros são providos de trava e lacre de segurança possui, e inscrição numérica para controle e identificação dos cilindros acionados manualmente.

O comutador a pressão é provido de chave comutadora com contatos NA/NF para interligação elétrica, tendo o seu re-alarme manual através de uma alavanca existente na parte superior do comutador.

As redes de distribuição do agente extintor de incêndio HFC-125, são calculadas hidráulicamente e os orifícios dos difusores devidamente dimensionados, através de software para cálculo de fluxo do gás HFC-125, baseado na norma *National Fire Protection Association (NFPA) - Standard 2001*.

- Difusores de HFC-125

Os difusores de gás HFC-125 (Figura 12) são utilizados para assegurar a distribuição de maneira uniforme do agente limpo e são instalados nas redes de distribuição que conduz o agente extintor até o seu local de descarga.

Os diversos modelos e tamanhos são dimensionados através de um software para cálculo de fluxo, que garante a perfeita gaseificação e a descarga uniforme do agente extintor em todos os ambientes protegidos, mantendo a concentração entre 8% a 11,5% e a descarga do gás em no máximo 10 segundos.



FIGURA 12 – Difusor para aspersão de gases
Fonte: empresa Fike Corporation

As redes de distribuição e os difusores de gás são dimensionados e instalados em conformidade com resultados apresentados nos cálculos hidráulicos, elaborados através do software de vazão de fluxo, que garante o desempenho dos sistemas dentro dos limites recomendados para a presença de pessoas no ambiente protegido e nas concentrações exigidas para extinção de incêndios.

- Atuador solenóide

O atuador solenóide (Figura 13) é usado para operar e abrir a válvula do cilindro de agente limpo ou válvulas seletoras de sistemas de dióxido de carbono. É utilizado um solenóide de 24 Vcc com um botão atuador manual que é conectado a um cilindro pequeno pressurizado com nitrogênio. A operação do atuador ocorre tanto por uma corrente elétrica de um painel de controle de incêndio, ou através da utilização de um atuador manual mecânico. A ativação do atuador, irá perfurar o disco de selagem do cilindro de nitrogênio permitindo o nitrogênio fluir através do atuador até a válvula seletora, abrindo a válvula de esfera.



FIGURA 13 – Atuador Solenóide
Fonte: empresa Fike Corporation

Tabela II - Características do gás HFC-125

Agente Limpo Extintor de Incêndio	Tempo de Descarga (Seg)	Concentração de Projeto (%)	Redução de Oxigênio	Risco aos Equipamentos (resíduos)	Risco ao Meio Ambiente	Nível de Pressão
HFC-125	10	9	Não	Nenhum	Nenhum	Baixo

Fonte: empresa Fike Corporation

- Cálculo da quantidade requerida

A quantidade necessária do agente extintor é baseada no tamanho do recinto e na concentração exigida para extinguir ou neutralizar os combustíveis envolvidos.

Conforme a NFPA 2001/04 a quantidade de gás halogenado necessária para obter a concentração de projeto deve ser calculada pela seguinte fórmula:

$$W = \frac{V}{S} \left(\frac{C}{100 - C} \right) \quad (5)$$

Onde:

W = peso do gás (kg)

V = volume líquido do risco, calculado pelo volume bruto menos o volume das estruturas fixas impenetráveis pelo vapor de gás (m³).

S = volume – específico do vapor superaquecido do gás a pressão de 1 atmosfera e a temperatura (m³/kg)

C = concentração de gás de projeto (% do volume)

t= temperatura mínima prevista do volume protegido (°C)

Este cálculo inclui um limite permitido para escape no espaço fechado devido à descarga, devido à expansão do gás.

A quantidade de agente limpo de projeto deve ser ajustada, conforme tabela abaixo, para compensar pressões que variam mais de 11% (equivalente a aproximadamente a 915 m de diferença de altitude da pressão ambiente padrão ao nível do mar que é 760 mm Hg à 0 °C).

É muito importante que a concentração de projeto do agente não somente deva ser atingida, mas também seja mantida por um período de tempo específico que permita ação de emergência efetivo do pessoal de segurança. Isto é igualmente importante em todas as classes de incêndios uma vez que uma fonte de ignição persistente (arco, fonte de calor, luminárias de oxi-acetileno ou incêndio em profundidade) pode levar ao ressurgimento do evento inicial quando o agente limpo já tenha se dissipado.

A taxa de aplicação de mínima de projeto deve ser baseada na quantidade de agente requerida para a concentração desejada e o tempo exigido para atingir essa concentração.

Tabela III – Fator de correção atmosférica

Altitude Equivalente Km	Pressão do Ambiente mmHg	Fator de Correção Atmosférica
-0,92	840	1,11
-0,61	812	1,07
-0,30	787	1,04
0	760	1,00
0,30	733	0,96
0,61	705	0,93
0,91	678,9	0,89
1,22	650	0,86
1,52	622	0,82
1,83	596	0,78
2,13	570	0,75
2,45	550	0,72
2,74	528	0,69
3,05	505	0,66

Fonte: empresa Fike Corporation

Para agentes halogenados, o tempo de descarga exigida para atingir 95% da concentração mínima de projeto para extinção de chama baseado num fator de segurança de 20% não deve exceder 10 segundos ou em caso contrário quando exigido pela autoridade com jurisdição do local.

$$W = \frac{V}{S} \left(\frac{C}{100 - C} \right) \times \text{Fator de correção} \quad (6)$$

O fabricante listado especifica a faixa de temperatura de operação, assim utilizamos os dados da tabela A.5.5.1(j) da NFPA 2001/04 (anexo II), ou utilizamos a fórmula abaixo, entrando com a temperatura de projeto na área de risco em °C:

$$s = 01825 + 0,0007t \quad (7)$$

2.8 Sistema de detecção, sinalização e alarme de incêndio

O sistema de alarme de incêndio visa à proteção contra incêndio e permite que qualquer pessoa ao identificar uma situação de emergência possa acionar o sistema utilizando-se dos acionadores manuais. Os detectores ópticos de fumaça, termovelocimétricos, e térmicos / fumaça endereçáveis provocam um alarme de incêndio quando for constatada a presença de fumaça ou calor no ambiente protegido, no caso desta monografia este sistema se aplica aos sistemas fixos automáticos de gás carbônico (CO₂) e pentafluoroetano (HFC-125).

A NBR 9441/04 – Execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio, determina que este sistema deve ser constituído pelo conjunto de elementos planejadamente dispostos e adequadamente interligados, para fornecer informações de princípios de incêndio por meio de indicações sonoras e visuais, e ainda controlar os dispositivos de segurança e de combate automático instalados no prédio.

Os posicionamentos dos acionadores devem ser de fácil localização e devem permanecer com seu acesso sempre livre e desobstruído, facilitando a sua operação em casos de incidentes e emergência, além de permitir sua manutenção facilitada.

Existem dois tipos de arranjo do sistema: um classe A e outro classe B. Assim sendo o circuito ou laço pode ser classificado como sendo do tipo Classe A quando possui linha de retorno à Central, isso é muito importante porque evita a interrupção do circuito; ou Classe B, quando não possui esta linha. Este sistema é menos confiável uma vez que ao romper-se a linha em um determinado detector todos aqueles que estão instalados posteriores a este primeiro perdem sua função, ou seja, toda a linha é danificada.

2.8.1 Circuito Classe A

Todo circuito no qual existe a fiação de retorno à central (com trajeto distinto daquela proveniente), de tal forma que uma eventual interrupção em qualquer ponto deste circuito não implica na paralisação do seu funcionamento.

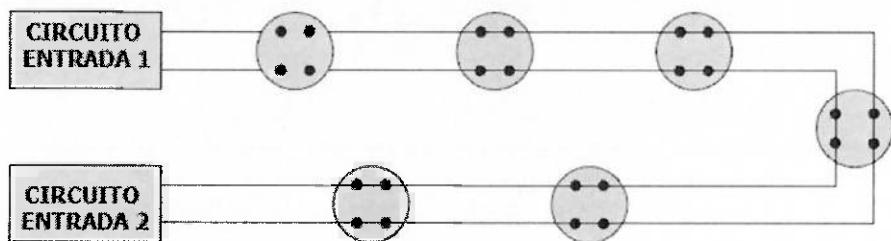


FIGURA 14– Arranjo para laço do tipo Classe A
Fonte: empresa Securiton AG – Swiss Securitas Group

2.8.2 Circuito Classe B

Todo circuito no qual não existe a fiação de retorno à central e uma eventual interrupção no circuito possa implicar na paralisação parcial ou total do mesmo.

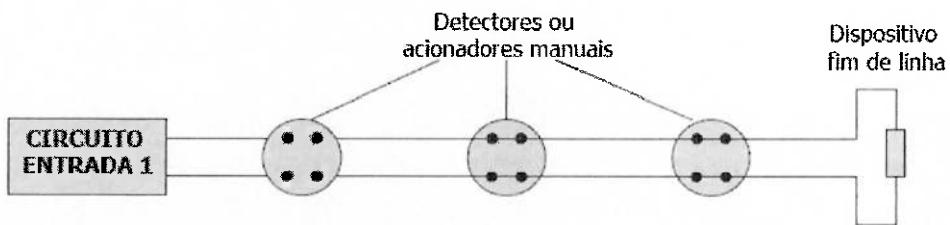


FIGURA 15 – Arranjo para laço do tipo Classe B
Fonte: empresa Securiton AG – Swiss Securitas Group

Um laço ou circuito é constituído por um conjunto (até 20) de detectores, podendo combinar Detector Térmico e Velocimétrico (DTV) e Detector de Fumaça (DF), alimentados por dois condutores.

O laço termina por uma resistência de fim de linha, cuja função é criar uma certa impedância no circuito compatível com o módulo da central.

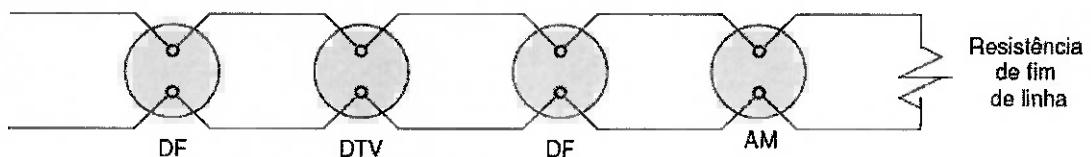


FIGURA 16 – Ligações entre os detectores e a resistência de final de linha
Fonte: empresa Securiton AG – Swiss Securitas Group

A atuação de qualquer acionador deve indicar o local com descrição personalizada e alarme sonoro na Central de Detecção e Alarme de Incêndio, facilitando a ação dos responsáveis em casos de sinistro e emergência e consequentemente acionando sirenes espalhadas pelo prédio.

Acima das portas de acesso das áreas a serem protegidas pelo gás, são instalados indicadores visuais do tipo flash que entrarão sempre que o sistema de detecção for acionado, indicando que o detector instalado neste ambiente foi acionado.

As áreas a serem protegidas pelo sistema de supressão por gás são providas de chaves de bloqueio, que tem como finalidade bloquear manualmente a descarga do gás, quando de execução de manutenções e testes no sistema.

2.8.3 Central de detecção e alarme

As centrais de detecção e alarme de incêndio do tipo endereçável têm capacidade de atuar os sinalizadores sonoros que são distribuídos pela instalação para indicação de uma situação de emergência e fazer supervisão dos elementos endereçados, são alimentadas pela rede elétrica disponível no local de sua instalação, tendo a capacidade de manter o sistema em operação normal por um período mínimo de 24 horas, ou em situação de alarme por um tempo superior a 5 minutos.



FIGURA 17 – Alguns modelos de centrais de detecção e alarme
Fonte: empresa Securiton AG – Swiss Securitas Group

Sua tecnologia permite a instalação de várias centrais e painéis de comando e repetição interligadas em uma única rede de comunicação (LAN) comunicando entre si, permitindo que se tenha um controle total do sistema em ambientes distintos dos locais onde foram instaladas as centrais de detecção.

O sistema consiste na instalação de uma central de detecção e alarme de incêndio, endereçável, totalizando 254 pontos de endereçamentos, sendo pontos de endereços para detectores, módulos de controle e monitor incluindo os acionadores manuais, armazenamento do histórico dos últimos 1000 eventos, obviamente estes parâmetros mudam conforme o fabricante e a tecnologia empregada.

2.8.4 Painel de controle

Alguns modelos de painéis de comando possuem display de cristal líquido com “*backlight*” de 160 caracteres alfanuméricos (4x40) além de fornecer 16 sinalizações de “*LED’s*”, indicando estado dos parâmetros do sistema, sendo possível o controle através de operações em seu teclado numérico para silenciar sirenes, habilitar e/ou desabilitar dispositivos. Geralmente possuem chave de proteção e níveis de acesso (através de programação de senhas) para impedir o acesso não autorizado de pessoas. Ele é responsável pela interface entre a central de detecção e operador. Possuem sinal sonoro interno que dispara ao detectar um alarme de incêndio, alertando o operador antes que seja disparado todas as saídas (sirenes / sistema combate automático).

2.8.5 Módulo de relé

Os módulos de relés (6A / 30VDC) que podem ser programáveis para atuar em função de princípio de incêndio. Trata-se de um elemento que é instalado no laço de detecção de incêndio e é programado a atuar sob circunstanciais eventos ocorridos, por exemplo, desligamento de sistema de ar-condicionado.

2.8.6 Detectores de fumaça

São dispositivos que detectam a fumaça em seu estágio inicial. Seu princípio é baseado em um sistema de transmissor e receptor de feixe de luz. Diferente de outros sistemas, este detector possui um sistema de auto-isolação quando ocorre curto-circuito no dispositivo, não sendo necessária a instalação de módulos isoladores a cada grupo de 20 detectores (em média) como ocorre com outros sistemas. Suas principais características são:

- processamento de sinal digital;
- aviso de falha de componente;
- auto-ajuste de sensibilidade conforme condições do ambiente;

- notifica à central em caso de sujeira acumulada;



FIGURA 18 – Modelos de detectores de fumaça
Fonte: empresa Securiton AG – Swiss Securitas Group

2.8.7 Detectores de temperatura

São dispositivos que detectam / alarmam ao atingirem um valor de pico de temperatura e divididos em três níveis e são normalmente instalados em ambientes onde não há agentes causadores de fumaça. Além da função de atuação por aumento de temperatura, estes dispositivos atuam pelo princípio de “termovelocimetria” que acionam quando ocorre uma variação brusca de temperatura em um curto espaço de tempo (sensibilidade automática). Diferente de outros sistemas, este detector possui um sistema de auto-isolação quando ocorre curto-circuito no dispositivo, não sendo necessária a instalação de módulos isoladores a cada grupo de 20 detectores (em média) como ocorre com outros sistemas. Suas principais características são:

- processamento de sinal digital;
- aviso de falha de componente;
- configurações de pré-alarme.



FIGURA 19 – Modelos de detectores de temperatura
Fonte: empresa Securiton AG – Swiss Securitas Group

2.8.8 Detectores de fumaça/temperatura

São dispositivos que combinam a atuação de princípio de detectores de fumaça com detectores de temperatura. Diferente de outros sistemas, este detector possui um sistema de auto-isolação quando ocorre curto-círcito no dispositivo, não sendo necessária a instalação de módulos isoladores a cada grupo de 20 detectores (em média) como ocorre com outros sistemas.

- processamento de sinal digital;
- aviso de falha de componente;
- rastreamento de níveis de alarme automático;
- filtro que diminui falsos alarmes.

2.8.9 Módulo de endereçamento

Este dispositivo permite que qualquer equipamento associado a ele seja inserido no laço de detecção da central de alarme de incêndio desde que possua saída por contato normalmente aberto (NA) e normalmente fechado (NF). Desta forma, é possível agregar ao sistema de detecção equipamentos do tipo: acionadores manuais, detectores de fumaça/temperatura analógicos, central de alarmes, centrais de detecção aspiráveis.

2.8.10 Indicadores visuais de incêndio

São dispositivos instalados normalmente sobre portas para notificar que o ambiente monitorado, foi alarmado. Quando acionado, este indicador atua a 60 flashes por segundo, produzindo um feixe luminoso especial.

A instalação do sistema de detecção deve ser independente e exclusiva, realizada no estilo classe "A", para aumento da confiabilidade de operação do sistema em casos de rompimento de laços, sendo instalado por meio de cabos blindados e trançados para a linha de comunicação, cabos blindados parte externa e fios rígidos parte interna para as linhas de alimentação de 24 Vcc, protegidos por eletrodutos pesados galvanizados a fogo, e condutores de alumínio.

2.9 Sistema de detecção aspirado de alta sensibilidade a laser

O sistema de detecção por aspiração de alta sensibilidade é um dispositivo que visa à proteção contra incêndio em áreas que necessitam de um controle maior

que eventual foco de incêndio ou aquecimento em equipamentos que antecedem o surgimento de fumaça.

Uma das vantagens deste sistema é a possibilidade de detectar níveis mais baixos de fumaça, ainda na fase inicial de incêndio (superaquecimento de fios, cabos, circuitos elétricos), possibilitando um tempo extra, significativo para a localização do evento e evitando possíveis transtornos causados por um sinistro/interrupção de funcionamento.

Pontos de amostragens são instalados ao longo do ambiente para captação de ar, que são encaminhados através de tubos aos detectores de alta sensibilidade que farão a análise das amostras de ar. Os detectores do sistema operam em regime "stand alone" isolados e sinalizados na central de detecção e alarme de incêndio.

Na figura a seguir (Figura 20) é indicado o comportamento da sensibilidade de detecção do sistema de detecção aspirado a laser:



FIGURA 20 – Gráfico de atuação de detecção
Fonte: Sistema VESDA, empresa Xtralis

A central de aspiração de incêndio aspirável permite a configuração de tempo de amostragem, ou seja, é possível manter o sistema operando 24 horas por dia captando amostras de ar do ambiente e analisando "full time" como também, definir de tempos em tempos a captação e análise do ambiente. A central de aspiração possui 10 níveis de alarme (sinalizadas através de indicadores de led's) além de indicadores de status (ON/OFF), alarme 1 e 2, falhas (sujeira, poeira, quebra de tubulação) que estará conectada ao sistema de detecção e alarme de incêndio endereçável através de módulo de endereçamento.

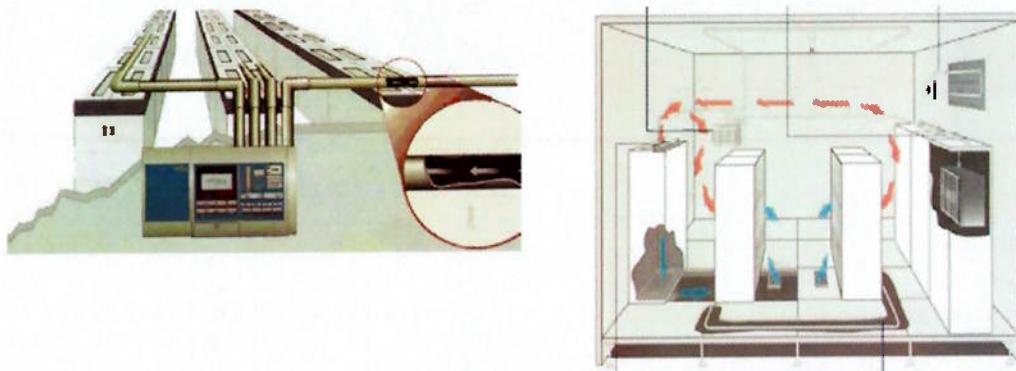


FIGURA 21 – Esquema de operação do sistema aspirado
Fonte: Sistema VESDA, empresa Xtralis

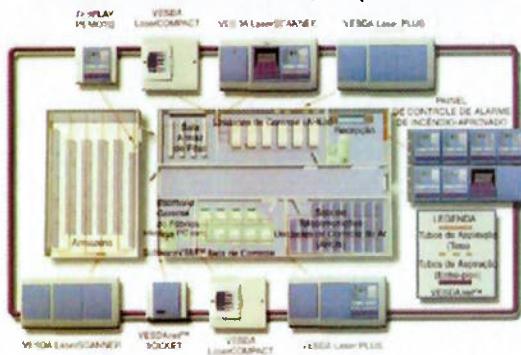


FIGURA 22 – Esquema do Sistema aspirado
Fonte: Sistema VESDA, empresa Xtralis

2.10 Sistema de detecção por tubo sensor

Em usinas hidrelétricas e termelétricas este sistema é utilizado nas subestações de transformação de energia elétrica. O sistema de detecção acionado por tubos sensores (Figuras 24, 25 e 26) é composto por sensores altamente sensíveis às pressões de dentro dos tubos, uma vez variando essa pressão é acionado o detector que avisa a central de detecção que geralmente está fora do alcance da ação do fogo e da temperatura, proporcionando uma maior segurança ao sistema, e também possibilita um menor custo de reposição no caso de uma explosão ou incêndio, uma vez que será necessário trocar apenas a tubulação e não todo um sistema de detecção.

2.10.1 Sistema Térmico Linear ADW 511

A proteção de pessoas, propriedades e do ambiente torna-se crucial sempre que a proteção convencional contra incêndio não é mais adequada. Gases corrosivos, umidade extrema, altas temperaturas e atmosfera poluída, dificultam a

operação para detecção confiável de incêndio. O sistema ADW 511 (Figura 23) é à prova de alarme falso e seguro contra falhas. A avaliação inteligente de sinais eletrônicos torna a detecção de fogo rápida e confiável.

Com monitoração contínua e totalmente automática, o trabalho de manutenção é reduzido ao mínimo. O sistema tem sido testado ao redor do mundo em:

1. Estradas, ferrovias e túneis subterrâneos;
2. Estações de trem, áreas de passageiros, corredores de conexão;
3. Subestações e unidades de geração de energia;
4. Estacionamentos subterrâneos e semi-abertos;
5. Postos de combustível e rampas de carga;
6. Áreas sujeitas a riscos de explosão;
7. Minas e plataformas de perfuração;
8. Plantas químicas e farmacêuticas.



FIGURA 23 – Sistema ADW 511
Fonte: Empresa Securiton AG – Swiss Securitas Group

2.10.1.1 Modo de operação

Detektoren lineares de calor são baseados no princípio físico de que, para um dado volume, a pressão de um gás muda sempre que a temperatura é alterada. Sobre uma distância de aproximadamente 100m, um sensor de cobre monitora a temperatura ambiente. Uma fonte de incêndio aquecerá o tubo sensor localmente e o ar contido dentro do tubo. A mudança de pressão é instantaneamente registrada por um sensor de pressão conectado à extremidade do tubo.

Para excluir medidas falhas, devido a perda de pressão, um motor de teste aumenta a pressão no tubo sensor em intervalos regulares. Se o aumento de pressão medido não corresponder ao valor medido programado, uma indicação de mal-funcionamento é apresentada. O sistema é amigável, imune a interferência elétrica, térmica e mecânica. E pode ser usado como detector de gradiente de temperatura e de calor.



FIGURA 24 – Sistema de detecção de Incêndio em transformadores por tubo sensor.
Fonte: Empresa Securiton AG – Swiss Securitas Group

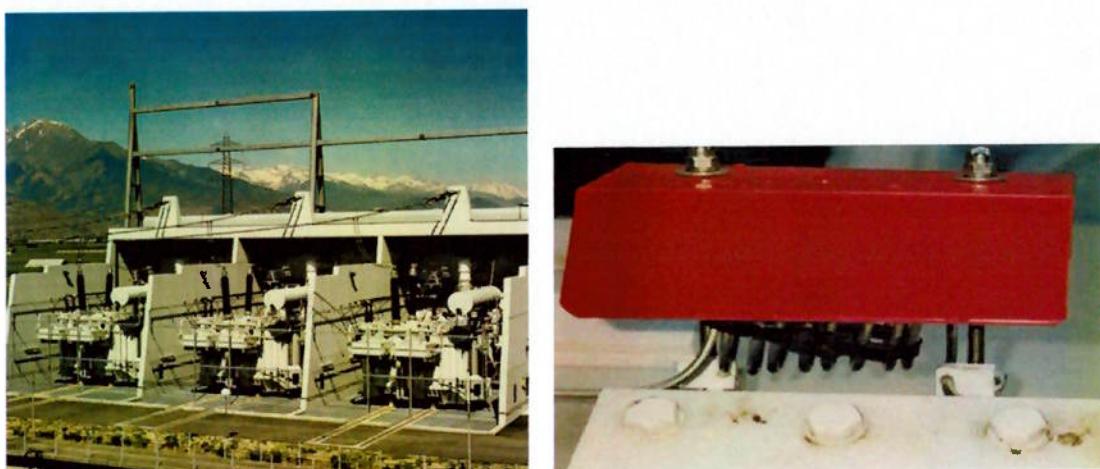


FIGURA 25 – Sistema de detecção de incêndio em transformadores por tubo sensor instalado
Fonte: Empresa Securiton AG – Swiss Securitas Group

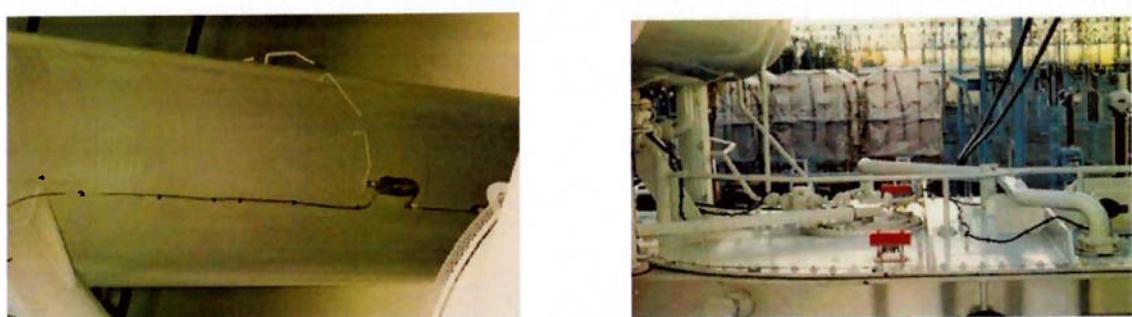


FIGURA 26 – Sistema de detecção de incêndio em transformadores por tubo sensor instalado
Fonte: Empresa Securiton AG – Swiss Securitas Group

2.10.2 Detecção linear por cabo detector

O sistema de detecção linear de temperatura utiliza cabo detector (Figuras 27 e 28) com diversas faixas de temperatura, esse cabo possui sensibilidade uniforme ao longo de todo o seu comprimento e é capaz de informar e localizar com precisão o ponto de atuação, insensível a poeira, umidade, corrosão e outras agressões ambientais, é o sistema ideal para ser instalado em riscos especiais, como painéis elétricos, transformadores, túneis de cabos.

Como esse sistema é instalado muito próximo das eventuais fontes de calor, ele responde imediatamente a um aumento de temperatura não sendo sua sensibilidade afetada pela ventilação, pressurização, ar condicionado, umidade e vapores.

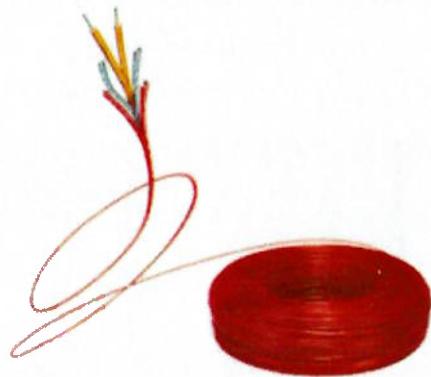


FIGURA 27 – Cabo detector



FIGURA 28 – Central do sistema de detecção por cabo detector

Fonte: empresa Protectowire Co, Inc.

2.11 Sistema fixo automático de proteção contra incêndio por água nebulizada

O Sistema fixo automático de proteção contra incêndio por água nebulizada (Figuras 30, 31 e 32), mais comumente conhecido por “mulsyfire” no mercado e no segmento de energia, é empregado na extinção de fogo sobre óleo. Seu princípio de operação consiste em emulsionar o óleo superficial em chamas pelo borrifamento de água sob pressão.

A execução desse sistema deve estar em conformidade com a NBR 8674/05 – Execução de Sistemas Fixos automáticos de Proteção contra incêndio, com água nebulizada para transformadores e reatores de potência.

A NBR 8674/05 define este sistema como podendo ser utilizado para os seguintes propósitos:

- Prevenção de incêndio;
- Extinção de incêndio;
- Proteção contra exposição;
- Controle de combustão.

Ainda na NBR 8674/05 é salientado que os bicos de nebulização (figura 29) devem evitar danos às buchas energizadas, a água não deve atingir estes equipamentos diretamente, ou seja, o imprimimento deve ser indireto.

Na emulsão, o óleo é dividido em gotículas circundadas por película de água. A camada de água envolvente impede a libertação dos gases inflamáveis que alimentam o fogo. A água sai do borrisfador na forma de um cone em finos jatos que se repartem em gotículas de alta velocidade. É o impacto da água com o óleo que provoca a emulsão. A formação da emulsão na superfície do óleo é quase instantânea e, portanto, a extinção do fogo é extremamente rápida.



FIGURA 29 - Bicos Ejetores do Sistema Mulsysfire
Fonte: empresa Quadritec Construções e Empreendimentos Ltda



FIGURA 30 – Detalhe de um sistema fixo automático de proteção contra incêndio por água nebulizada
Fonte: empresa Quadritec Construções e Empreendimentos Ltda



FIGURA 31 – Sistema fixo automático de proteção contra incêndio por água nebulizada em transformador de potência

Fonte: empresa Quadritec Construções e Empreendimentos Ltda



FIGURA 32 – Teste de funcionamento do sistema fixo automático de proteção contra incêndio por água nebulizada em transformador de potência

Fonte: empresa Quadritec Construções e Empreendimentos Ltda

2.11.1 Descrição do sistema

Cada equipamento deve possuir um sistema próprio independente constando de: válvulas de admissão e descarga, válvula automática, borrafadores, bicos detectores, manômetros, pressostatos, alarmes e válvulas.

Cada ramal que sai do coletor pode ser isolado pela válvula de admissão seguida da válvula automática. Esta consta de duas câmaras separadas por um pistão que possui duas câmaras que são mantidas sob a mesma pressão por uma linha externa que comunica a câmara superior com a entrada de água antes da válvula de admissão. Dois manômetros indicam as pressões das câmaras. Se houver uma redução de pressão suficiente na câmara superior, resultante do rompimento do bulbo de algum dos detectores, o pistão subirá comunicando a admissão da válvula com a descarga enviando água aos borrafadores.

Os borrafadores saem de uma linha que circunscreve o equipamento de modo que todo ele seja banhado pelos jatos de água. Analogamente, os bicos detectores

estão colocados em pontos estratégicos que circunscrevem todo o equipamento a fim de detectar qualquer elevação anormal de temperatura.

Pode-se acionar o sistema manualmente energizando uma válvula solenóide que drena a câmara superior da válvula automática correspondente provocando a operação do sistema.

2.11.2 Funcionamento

Os bicos detectores possuem um bulbo de vidro que contém um líquido e uma pequena bolha de gás. Com um aumento de temperatura o líquido se expande, rompendo o bulbo, aliviando a pressão da água dentro da linha dos detectores. Como esta linha vem da câmara superior da válvula automática, a pressão nessa câmara é aliviada, o pistão da válvula sobe e a água se dirige para os borrafadores banhando o equipamento em questão. A ruptura do bulbo de vidro está prevista para uma temperatura de 79° C. Pode-se operar o sistema manualmente, da sala de controle elétrico. Quando se deseja testar o sistema ele pode ser operado manualmente, do próprio local, abrindo-se a válvula de teste que drena a câmara superior da válvula automática. O funcionamento do sistema só pode ser interrompido manualmente. O pressostato da descarga da válvula automática, com a operação desta, atua, devido à elevação de pressão, acionando o alarme.

O pressostato da linha dos detectores funciona com a queda de pressão na linha ligando um alarme e acendendo a luz vermelha sobre a válvula automática correspondente.



FIGURA 33 - Sistema de Ar-comprimido do tanque hidropneumático do sistema fixo automático de proteção contra incêndio por água nebulizada – Mulsyfire
Fonte: empresa Quadritec Construções e Empreendimentos Ltda

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para elaboração desta monografia foi a consulta às legislações referentes ao assunto, em especial ao Decreto Estadual 46.076, de 31/08/2001, às Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo e as normas brasileiras da ABNT. Normas da NFPA foram consultadas para os sistemas de gases. Foram pesquisados catálogos de especificações técnicas de fabricantes de empresas especializadas que foram úteis na elaboração de tabelas e esquemas; estes materiais técnicos mostraram o cenário da atual tecnologia voltada ao assunto, forneceram dados sobre instalação dos sistemas, características e especificações dos agentes extintores e suas aplicações.

Para elaboração dos textos, além do material consultado, utilizamos também a experiência profissional adquirida nos trabalhos de elaboração de projetos de combate a incêndio de usinas termelétrica e hidrelétrica nos estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais, quando tivemos a oportunidade de ter contato com suas instalações, seus sistemas de proteção, seus profissionais envolvidos, dentre eles operadores, brigadistas, engenheiros e técnicos de segurança do trabalho, bombeiros e outros.

As informações e recomendações obtidas destes profissionais foram muito importantes na formação de idéias para este trabalho, uma vez que nos proporcionou não só o embasamento teórico do assunto mas também, uma visão prática da operação dos sistemas.

Nos levantamentos de campo foram utilizados equipamentos eletrônicos para serviços topográficos e métodos convencionais de topografia para cálculo e desenho, necessários devido às dificuldades de acesso para medições de tubulações integrantes da planta isométrica dos sistemas. Estes métodos também se mostraram convenientes nas medições dos diâmetros dos tanques de armazenamento, uma vez que a diferença de apenas 20 cm foram determinantes para definição do número de câmaras de espuma que deveria ser utilizada no sistema, conforme exigências da legislação pela Tabela 4 da Instrução Técnica nº 25/2004 do Decreto Estadual 46.076/01.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. Sistema fixo de CO₂ instalado em conjunto turbogerador de uma usina hidrelétrica – Verificação ao atendimento das exigências legais

Primeiramente, será verificado o sistema de combate por CO₂ para proteção de seis unidades geradoras de uma usina hidrelétrica, conforme mostrado na Figura 34.

O estudo está baseado no cadastro de elementos para configuração do sistema instalado na época da construção da usina (Anexo D) e adotando as metodologias e fórmulas recomendadas pela norma NBR 12232/05 e exigidas pela IT nº 26/04 do Decreto Estadual 46.076/01, conferir sua conformidade.

As características construtivas da casa de força de uma usina hidrelétrica conferem que os geradores de potência, geralmente são equipamentos enclausurados por paredes de concreto armado de grande espessura. Por exigências técnicas, estas paredes são dimensionadas de forma a garantir o isolamento total dos geradores de potência do ambiente externo, principalmente para o risco de explosões e estabilidade do conjunto turbo gerador (Figura 2). Cada gerador individualmente está protegido por sistema fixo de combate a incêndios por CO₂, sistema esse dimensionado levando-se em conta a quantidade de óleo necessário para a sua operação. Como os geradores estão enclausurados por paredes de concreto, não há risco de vazamento do CO₂ para o ambiente externo.

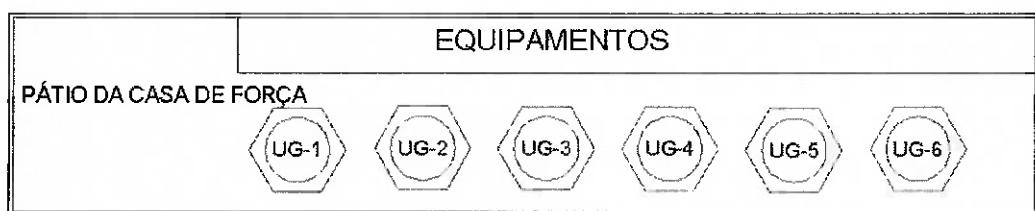


FIGURA 34 – Planta esquemática da usina com a disposição dos turbogeradores

4.1.1 Descrição do sistema fixo automático de combate a Incêndio por CO₂

A seguir mostramos a descrição do sistema fixo automático de combate a incêndio por CO₂, sua função, concepção, implantação, operação e dimensionamento conforme norma NBR 12.232/2005.

Função: O sistema de proteção contra incêndio tem a finalidade de estabelecer, dentro do poço do gerador, uma atmosfera incomburente e manter essa condição durante 30 minutos.

Concepção: O sistema age através de descarga rápida na câmara do gerador de uma quantidade de CO₂, correspondente a 50% do volume de ar da câmara. Nesta condição a concentração de oxigênio fica reduzida, tornando impossível a alimentação de um foco de incêndio, que se extingue.

A concentração de 40% de CO₂ é mantida durante um período de tempo prolongado, de 30 minutos, através da descarga lenta adicional de CO₂ para compensar os eventuais vazamentos.

Implantação: O sistema encontra-se instalado na casa de força e consta basicamente de:

- Estoque de CO₂ em cilindros metálicos;
- Rede de sensores de temperatura;
- Rede de difusores de CO₂;
- Rede de descarga rápida de CO₂;
- Rede de descarga lenta de CO₂.

Características do sistema instalado:

- Número de baterias=2 (1 para cada 3 geradores)
- Volume de ar da câmara do gerador =1.375 m³
- Número de cilindros por bateria= 37
- Número de cilindros para descarga rápida=25
- Número de cilindros para descarga lenta=12
- Quantidade de CO₂ por cilindro= 28 m³ (45kg)

Operação do sistema: O sistema de proteção contra incêndio dos geradores pode ser acionado através de:

- Detectores de temperatura dispostos no interior do poço de cada gerador.
- Por meio da proteção diferencial do gerador.
- Por atuação manual através de botoeira instalada no quadro de comando de cada gerador.

- Na ocorrência de quaisquer dos casos acima citados e desde que as três portas de acesso ao poço de cada gerador estejam fechadas, se produzirá a energização da bobina de comando de abertura da garrafa piloto de CO₂. A abertura do cilindro piloto provoca por sua vez a abertura imediata dos cilindros, provocando o funcionamento do controlador de emissão de CO₂. O acionamento voluntário pode ser conseguido através de tração mecânica em cabo de aço preso ao gatilho do disparador.

O bloqueio voluntário da ativação da instalação é obtido com travamento do contrapeso que libera a descarga da garrafa piloto.

Além desse bloqueio, existe outro, elétrico, acionado por micro interruptores instalados nos acessos ao poço do gerador de tal modo que, com qualquer acesso aberto, o sistema de CO₂ não conta com sistema automático de ativação. Cada porta de acesso ao poço do gerador, possui um micro-interruptor com contatos NA e NF.

O contato NA permanecerá fechado quando a porta estiver fechada, portanto os contatos das três portas de cada gerador ligados em série com a bobina de comando de abertura de CO₂ controlam o funcionamento do sistema.

Os três contatos NF das portas ligados em paralelo com o contato de bloqueio manual do contra peso, permitem sinalização quando o sistema está bloqueado ou fora de serviço. O controlador de emissão possui contatos que permitem sinalizar a emissão de CO₂.

O Sistema de CO₂ a alta pressão para o óleo lubrificante dos mancais das unidades geradoras foi dimensionado conforme normas e especificidades da época da concepção do projeto e da construção da usina, dessa forma foi verificado se o mesmo está de acordo com as exigências mínimas da NBR 12.232/2005, conforme cálculo abaixo:

4.1.2 Dimensionamento da quantidade requerida de CO₂ - Verificação para atendimento à legislação atual

Respeitada as distâncias mínimas apresentadas na tabela I da NBR 12.232/2005, foi verificado de acordo com a fórmula (1) para cálculo da quantidade requerida de CO₂, enfatizando que a quantidade de CO₂ deve ser calculada de modo a assegurar concentração mínima de 40% (concentração de projeto) no

ambiente inundado, esclarecemos que não há aberturas, desse modo não foi considerada quantidade de CO₂ a ser adicionada à quantidade básica requerida.

$$Q_b = V_a \cdot F_i \quad (1)$$

Onde:

Q_b – quantidade básica requerida de CO₂, em kg

V_a – volume do ambiente inundado, em m³

F_i – fator de imundaçāo (kg / cm³), variável conforme o volume do ambiente inundado.

Volume das unidades geradoras= 1.375m³ por unidade

Quantidade de unidades geradoras= 06 unidades

$$Q_b = (8.250 \times 0,40) \times 0,96 = 3.168 \text{ kg}$$

Quantidade básica total exigida por norma = 3.200kg

Quantidade total instalada na usina = 3.330kg.

Temos que 3.330kg > 3.200kg

Tabela I – Fator de inundação para riscos de incêndio do tipo de superfície, para concentração mínima 40%

VOLUME DO AMBIENTE PROTEGIDO(m ³)	FATOR DE INUNDAÇÃO		QUANTIDADE MÍNIMA DE CO ₂ A SER DESCARREGADA NO AMBIENTE kg
	m ³ /kg CO ₂	kg CO ₂ / m ³	
Até 3,96	0,72	1,38	-
3,97 – 14,15	0,78	1,28	4,5
14,16 – 45,28	0,83	1,21	15,1
45,29 – 127,35	0,93	1,08	45,4
127,36 – 1415,0	1,04	0,96	113,5
Mais de 1415,0	1,15	0,92	1135,0

Fonte: ABNT NBR 12232/2005 – item 5.1.4

Considerando que as unidades geradoras possuem aproximadamente 3.330kg de CO₂, constituída por 2 baterias de 37 cilindros de CO₂ com 45 kg, e que o sistema está em pleno funcionamento com sua manutenção periódica e normativa feita de forma satisfatória, confirmamos que o sistema fixo automático de combate por CO₂ instalado nas unidades geradoras da usina atende a NBR 12.232/2005 no que diz respeito à quantidade de CO₂ requerida.

4.2 Sistema de proteção por espuma em tanques de armazenamento de óleo combustível de uma usina termelétrica - Verificação ao atendimento das exigências legais

Neste caso, estaremos verificando o sistema de espuma instalado em uma usina termelétrica inaugurada na década de 50 para geração de energia elétrica a partir da queima de óleo combustível. Na época, a usina utilizava duas caldeiras e dois geradores elétricos acionados por turbinas a vapor com capacidade total de 200 MW. Esta instalação foi ampliada com dois novos conjuntos geradores aumentando sua capacidade total para quase 500 MW permanecendo nesta configuração atualmente.

O vapor necessário para a geração de energia elétrica é obtido através da queima de óleo combustível tipo B1, fornecido diretamente pela PETROBRÁS. Nas dependências da usina estão instalados 4 tanques metálicos de forma circular, com teto de forma cônica, utilizados para armazenamento deste óleo combustível. Estes tanques possuem grande capacidade, sendo que dois deles tem diâmetro de 54,80 metros (tanques nºs 3 e 4) e outros dois (nºs 1 e 2) têm diâmetro de 42,60 metros (Figura 35).

O sistema instalado foi dimensionado de acordo com o projeto original da usina por empresas estrangeiras responsáveis pelo empreendimento na época, ou seja baseado em normas internacionais. Na década de 80 este sistema foi reformado visando atendimento das exigências do decreto nº 20.811/83 com o objetivo de obtenção do AVCB – auto de vistoria do corpo de bombeiros. Esta situação permanece instalada atualmente e será verificada se a mesma atende a legislação vigente no estado de São Paulo (Decreto Estadual nº 46.076/01).

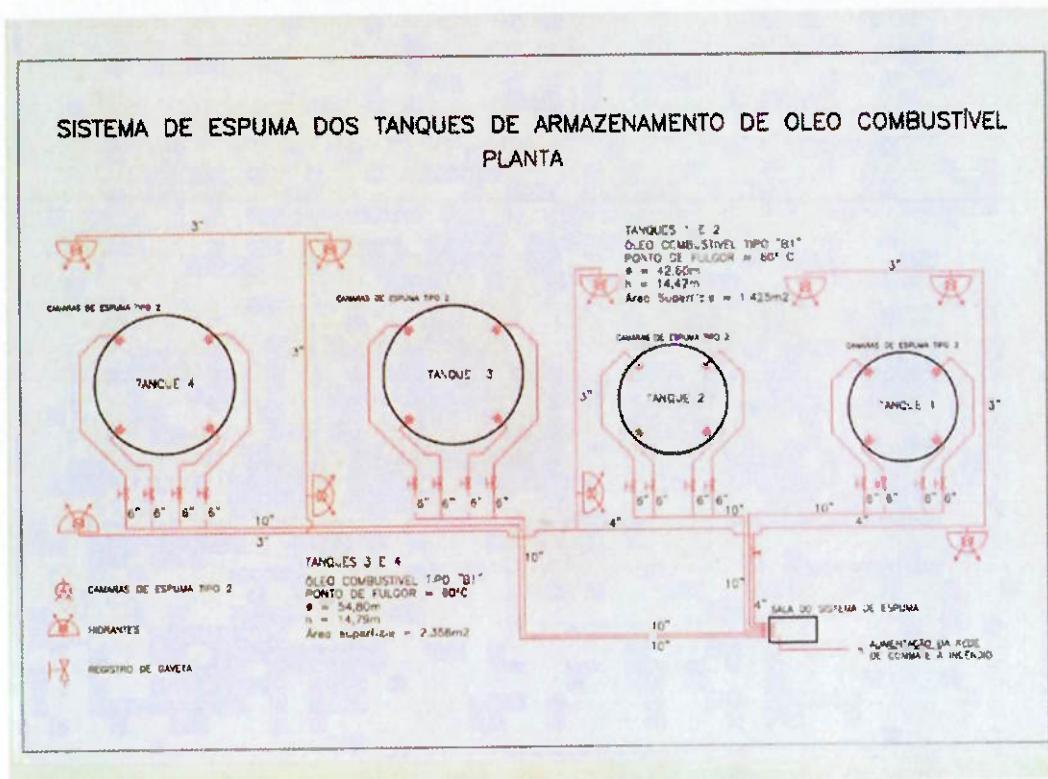


Figura 35 – Planta esquemática do sistema de espuma

4.2.1 Descrição do sistema fixo de proteção por espuma existente dos tanques de armazenamento de óleos combustíveis de uma usina termelétrica

O equipamento deste sistema está instalado na estação fixa de emulsionamento, definida também como “casa de preparação de espuma” localizada no campo junto aos tanques de armazenamento do óleo combustível (Figura 36) e consta de: bomba do extrato formador de espuma (EFE), bomba de recalque, tanques de extrato formador de espuma, válvulas e manômetros.

A água para o sistema de espuma provém de uma derivação do sistema de distribuição de água contra incêndio.

Quando o sistema é colocado em funcionamento, o EFE é succionado do tanque e pressurizado pela bomba de EFE, deslocando quantidade de EFE proporcional à vazão de água.

Tal proporção, que é de 3% de EFE em água, é mantida por uma válvula reguladora. Cada tanque possui instalado em seu topo câmaras de espuma tipo 2 (Figura 37) que funcionam como ejetores para lançarem a espuma sobre o óleo, formando uma camada protetora.

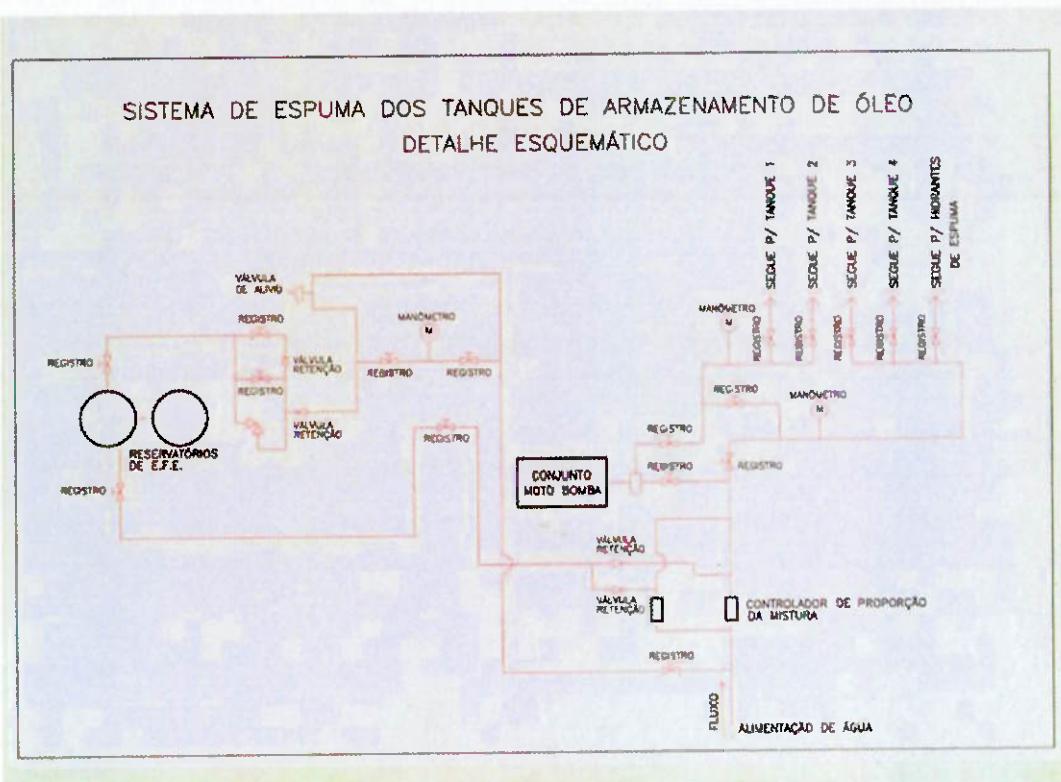


Figura 36 – Detalhe esquemático do sistema de espuma na casa de preparação de espuma

Além dessas câmaras de espuma há também nove hidrantes, cada um com duas válvulas ligadas em paralelo com rosca para a instalação de mangueiras. Estão colocados junto aos vértices e exteriormente aos diques de proteção dos tanques, construído para retenção de possível derramamento de líquidos. Abrigos de mangueiras colocadas ao redor dos diques guardam o equipamento para os hidrantes.



Figura 37 – Câmara de espuma em teste



Figura 38 – Hidrante de espuma – treinamento de brigada de incêndio

4.2.2 A mistura do EFE

O EFE é succionado dos tanques pela bomba do EFE, que o injeta através de dois orifícios em dosadores, por onde escoa a água proveniente do sistema de distribuição, formando assim a espuma mecânica de combate a incêndio.

4.2.3 Bomba de recalque

Está localizada na sala de preparação de espuma para os tanques de armazenamento de óleo combustível, com o objetivo de manter a pressão para os ramais de espuma dos tanques 3 e 4 e, alternativamente, para os tanques 1 e 2. A vazão nominal é de 9841 L/min com uma pressão de descarga de 98 mca.

4.2.4 Ejetores de espuma

4.2.4.1 Câmara de espuma

A câmara de espuma instalada no topo dos tanques de óleo combustível (Figura 37) consta de um bocal com entrada para mistura e ar (aerador), um diafragma de vidro e uma chapa deflectora. A mistura de água e EFE sob pressão passa pelo bocal aspirando ar exterior que se adiciona à mistura formando espuma permanente.

4.2.4.2 Ejetores das mangueiras

Consta de um bocal com duas entradas onde são instaladas as mangueiras. O bocal possui orifícios para a entrada de ar que se adiciona à mistura formando espuma. Em seguida do bocal temos o tubo direcional que orienta o jato de espuma (Figura 38).

4.2.5 Características do sistema existente de proteção dos tanques de armazenamento de óleos combustíveis

- Tanques de EFE (extrato formador de espuma)
 - Capacidade total – 10.000 litros
- Câmaras de espuma instaladas nos tanques = tipo II
- Conjunto moto bomba de EFE – extrato formador de espuma

BOMBA

Rotação – 424 rpm

Vazão – 4731 L/min

MOTOR

Fabricante – General Electric Co.

Motor trifásico de indução

Tensão – 440 V

Rotação – 424 rpm

Potência – 25 HP

- CONJUNTO MOTO BOMBA PARA RECALQUE

BOMBA

Fabricante – Worthington S.A.

Tipo – 8-LN-21

Vazão – 9841 L/min

Pressão de descarga – 98,42 mca

Diâmetro da descarga – 8"

MOTOR

Fabricante – Motores Arno

Motor de indução trifásico

Potência – 160 HP

Rotação – 1.180 rpm

Tensão – 440 V

4.2.6 Dimensionamento do sistema de espuma – verificação para atendimento à legislação atual (Decreto Estadual 46.076/01)

Após descrição do funcionamento e demais características do sistema fixo de proteção por espuma dos tanques de armazenamento da usina termelétrica, verificar-se-á o dimensionamento da quantidade de câmaras de espuma e de armazenamento do extrato formador de espuma (EFE) conforme recomendações da IT nº 25/2004 Sistema de Proteção por Espuma e NBR 12615/92. A referida IT

nº25/04, em seu item 6.3.1, determina que o sistema deve se basear no maior fluxo de solução para a proteção do maior tanque da área, mais as linhas de mangueiras suplementares necessárias.

4.2.6.1 Proteção dos tanques de armazenamento

O ponto de fulgor para o óleo combustível tipo B1 é de 60º C.

Este valor é informado pelo fornecedor, porém o usuário deve confirmar através de exames de laboratório. O Decreto estadual, exige através da IT nº 25/04, laudo com responsabilidade técnica de profissional habilitado.

4.2.6.2 Tempo mínimo de atuação do sistema

Deve-se agora definir o tempo mínimo de atuação do sistema. Considerando a armazenagem de produtos com ponto de fulgor entre 37,7º C e 93,3º C, conforme Tabela 2 – Tempos mínimos de operação do sistema, item 6.3.3.2, da IT nº 25/04, para tipos de aplicação de espumas tipo II, o tempo mínimo de atuação do sistema deve ser de 30 minutos.

Tabela 2 – Tempos mínimos de operação do sistema

Para tanques contendo hidrocarbonetos líquidos	Tipos de aplicação de espuma	
	tipo I	tipo II
Óleos lubrificantes, resíduo viscoso seco (mais de 50 s Saybolt-Furol, a 50°C, $1.068 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, a 50°C) óleos combustíveis pesados, com pontos de fulgor acima de 93,3°C	15	25
Querosene, óleos combustíveis leves, etc., com pontos de fulgor de 37,7°C a 93,3°C	20	30
Gasolina, nafta, benzol, Diesel automotivo e líquidos similares, com pontos de fulgor abaixo de 37,7°C	30	55
Petróleo cru	30	55

Fonte: Decreto Estadual 46.076/01 – IT nº25/04

4.2.6.3 Quantidade de câmaras de descarga de espuma

A tabela 1 da IT nº 25/04, em seu item 5.4.4.1 determina que o tipo de sistema de proteção por espuma para tanques com diâmetro acima de 18 metros deve ser por câmaras de espuma. A câmara de descarga de espuma é um

dispositivo dotado de selo de vapor destinado a conduzir a espuma para o interior do tanque de armazenamento de teto cônico. A quantidade de câmaras a serem instaladas é definida pelo diâmetro dos tanques, de acordo com a Tabela 4, item 6.3.5.1 da IT nº 25/04. Neste caso:

- Diâmetro dos Tanques nºs 3 e 4 = 54,80 m
- Diâmetro dos Tanques nºs 1 e 2 = 42,60 m

Estes valores foram obtidos em medições eletrônicas através de levantamento topográfico.

Tabela 1 – Proteção mínima ao tanque de maior risco*

Características do tanque de maior risco	Sistemas de proteção por espuma
Diâmetro de até 9 m ou altura até 6 m	Linhas de espuma (proteção primária)
Diâmetro acima de 9 m e até 18 m	Canhões monitores
Diâmetro acima 18 m	Câmaras de espuma

Fonte: Decreto Estadual 46.076/01 – IT nº25/04

Desta forma, através da tabela 4 são definidos a quantidade de câmaras para o sistema:

- Tanques nºs 3 e 4: mínimo de 5 câmaras.
- Tanques nºs 1 e 2: mínimo de 4 câmaras.

Tabela 4 – Número de câmaras de espuma

Diâmetro do tanque (m)	Nº mínimo de câmaras
De 18 a 24,5 (inclusive)	1
Mais de 24,5 até 36,5	2
Mais de 36,5 até 42,5	3
Mais de 42,5 até 48,5	4
Mais de 48,5 até 55	5
Mais de 55 até 61	6

Fonte: Decreto Estadual 46.076/01 – IT nº25/04

4.2.6.4 Cálculo do volume de suprimento de EFE

Conforme determina a IT nº 25/04, item 5.6.2, o suprimento de EFE projetado deve ser duas vezes o volume necessário para a cobertura do maior risco da área, considerando os tempos de descarga previstos, sendo uma carga inicial e outra como carga de reposição. A quantidade de EFE a ser armazenada deve ser determinada multiplicando-se o fluxo total em litros por minuto de cada tanque pelo tempo mínimo de operação do sistema. O maior valor resultante deve ser somado à quantidade de enchimento das mangueiras e das tubulações de combate.

No sistema estudado, a proporção da mistura é controlada automaticamente através de bomba e dosador. A proporção do produto disponível e que será verificada é de 3%. Esta proporção era exigida pelo decreto estadual nº 20.811/83, conforme item 9.2, capítulo 9 das especificações para instalações de proteção contra incêndio, o que justifica a sua utilização, porém esta proporção deve ser indicada e confirmada pelo fabricante. A taxa de aplicação mínima recomendada, conforme item 6.1.7 da IT nº 25/04, é de 6,5 litros/ min/ m². A vazão de solução para mangueiras de aplicação manual de espuma é definida de acordo com o diâmetro da bacia de proteção dos tanques, conforme tabela 3 da IT nº 25/04, item 6.3.4.2. Neste caso, bacias superiores a 40 metros de diâmetro e tempo de uso mínimo de 30 minutos, a vazão total mínima exigida é de 1200 L/min.

Tabela 3 – Número de linhas de espuma suplementares

Bacias de tanques com diâmetros (m)	Vazão total de solução de espuma (L/min)	Nº mínimo de linhas	Tempo de uso (min)
Inferior ou igual a 10	200	1	10
Superior a 10 até 20	400	2	20
Superior a 20 até 30	800	4	20
Superior a 30 até 40	800	4	30
Superior a 40	1200	6	30

Fonte: Decreto Estadual 46.076/01 – IT nº25/04

Definidos:

- Tempo de atuação do sistema: 30 minutos;

- Proporção da mistura: 3%;
- Taxa de aplicação: 6,5 litros/ min/ m²;
- Vazão de solução de espuma das mangueiras/hidrantes: 1200 litros/min;
- Diâmetro do tanque = 54,80 m; e
- Área do tanque: 2358 m²

a) Vazão de solução água+EFE para proteção do tanque:

$$2358 \times 6,5 = 15.327 \text{ L/min}$$

b) Vazão de solução água+EFE para proteção do dique (6 linhas de 200 L/min):

$$200 \times 6 = 1.200 \text{ L/min}$$

c) Quantidade de solução água+EFE para enchimento da canalização

Para o volume da tubulação até o tanque mais afastado, será considerado o tanque nº 4, que está localizado a 270 metros do ponto de formação de espuma. Seu sistema é alimentado por tubulação de 10" (250 mm) de diâmetro:

$$3,14 \times 0,25^2/4 \times 270 = 13500 \text{ litros}$$

d) Quantidade de solução água+EFE para operação de câmaras tipo II:

$$15.327 \times 30 = 459.810 \text{ litros}$$

e) Quantidade de solução água+EFE para operação de linhas de mangueira (6 linhas de 200 L/min):

$$1200 \times 30 = 36.000 \text{ litros}$$

f) Quantidade total de solução água+EFE para operação do sistema com câmaras tipo II:

$$459.810 + 13.500 + 36.000 = 509.310 \text{ litros}$$

* Assim, fica definido o volume total de espuma necessária para o sistema de acordo com as exigências legais (Decreto Estadual 46.076/01 e NBR). Neste caso, o volume total é de 509.310 litros. Com este valor, determina-se a quantidade

necessária de EFE recomendada de acordo com a proporção para funcionamento do sistema:

g) Quantidade de EFE (3%) para suprimento do sistema:

$$3/100 \times 509.310 = 15.279 \text{ litros de EFE}$$

Porém, os projetos de sistemas de extinção por meio de espuma mecânica devem prever a disponibilidade de EFE na quantidade mínima de duas vezes o volume necessário para a cobertura do maior risco da área, incluída a proteção da bacia de contenção, considerando os tempos de descarga previstos, sendo uma carga inicial e outra como carga de reposição, conforme determina o item 5.6 da IT nº 25/04:

Volume de EFE para armazenamento = $2 \times 15.279 = \mathbf{30.559 \text{ litros.}}$

5. COMENTÁRIOS

Sobre o sistema fixo automático de proteção contra incêndio com gás carbônico (CO₂), objeto do estudo de caso apresentado nessa monografia, salientamos que os resultados obtidos nesse trabalho estão em conformidade com a norma NBR 12232/05.

Conforme item 5.1 da norma NBR 12232/05 (Cálculo de quantidade requerida de CO₂) verificou-se que a quantidade de CO₂ deve ser calculada de modo a assegurar concentração mínima de 50% (concentração de projeto) no ambiente inundado, o que foi respeitado na instalação existente na usina hidrelétrica, ou seja, atendeu a essa exigência integralmente.

Sobre o tempo mínimo de retenção, indicado no item 5.1.2 também foi atendido. Salientamos que não havia aberturas no gerador, ele se encontrava totalmente enclausurado por uma espessa estrutura de concreto armado à prova de vazamentos. Sobre a quantidade requerida de CO₂, através do cálculo mostrado pela fórmula do item 5.1.3 foi constatada que a quantidade requerida instalada na usina é suficiente. Esta quantidade instalada é composta por 4 baterias com 74 cilindros de 45kg cada, somando um total de 3.330 kg de gás carbônico (CO₂). Como o valor calculado conforme orientação do item 5.1 da norma NBR 12232/05, é menor (3.200 kg) concluímos que a instalação atende às exigências legais.

Podemos visualizar o resultado no gráfico abaixo.

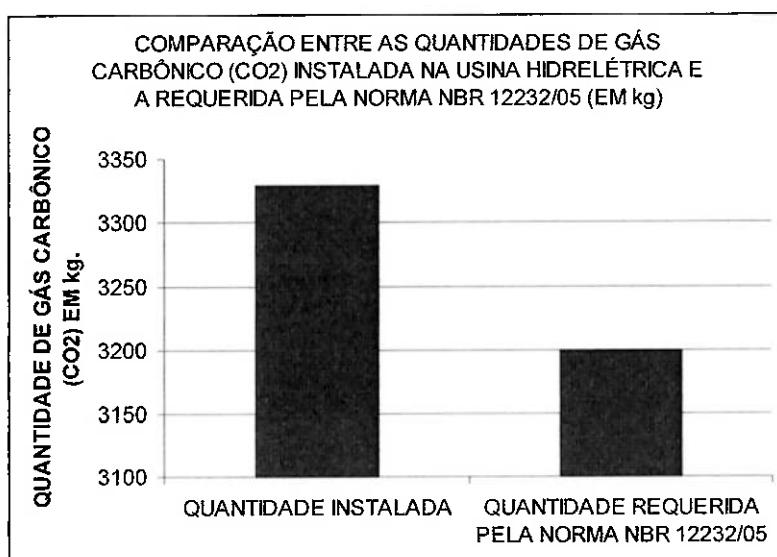


Figura 39 – Gráfico comparativo entre as quantidades de CO₂ instalada e requerida por Norma

Sobre o sistema fixo de espuma instalado para proteção dos tanques de armazenamento de óleo da usina termelétrica foi verificado que a quantidade de suprimento de EFE necessária é bem maior (30.559 litros) do que a quantidade efetivamente armazenada (10.000 litros). O arranjo geométrico das linhas dos hidrantes possibilitam a disponibilidade de 8 pontos de descarga para cada tanque, quantidade esta superior a exigida pela IT n° 25/04. Embora o sistema esteja em desacordo com a legislação atual, algumas considerações serão abordadas na tentativa de justificar as discrepâncias.

Como o sistema foi reformado na década de 80, utilizaremos as exigências do decreto n° 20.811/83 para entendermos essas diferenças. Como dito anteriormente essas exigências eram bem mais simplificadas do que as utilizadas atualmente. O capítulo IX das especificações para instalações de proteção contra incêndios do referido decreto, tratava do sistema de proteção por espuma (Anexo C). A primeira observação é que a proporção de espuma já era definida como 3% para derivados de petróleo (item 9.2). A NBR atual ratifica este valor no item 5.7.2. Permitia-se a ligação da rede de água para alimentação do sistema de espuma na mesma rede de hidrantes como exatamente encontra-se instalado.

Outra observação que pode justificar sensível diferença na quantidade de solução é a duração mínima de descarga de espuma exigida na época que era de apenas 20 minutos para câmaras de espuma e de 60 minutos para hidrantes de espuma (item 9.4). Era definido o tempo mínimo de descarga de 60 minutos de água para o maior risco a ser protegido, mas não definia quantidade. Outro detalhe que determina grande diferença na quantidade de EFE é que se o interessado provasse condições de repor a quantidade de EFE necessária para alimentação dos sistemas no prazo de 24 horas, não havia necessidade de manter a carga reserva prevista, conforme determinava o item 9.9 do decreto n° 20.811/83.

Foi verificado que as instalações permitem esta condição, pois há uma conexão disponível no sistema para engates em veículos de abastecimento de EFE com utilização direta no sistema. A taxa de aplicação de solução água + EFE para câmaras fixas nos tanques também era inferior à exigida atualmente. Enquanto o decreto atual exige mínimo de 6,5 L/min/m², na época era exigido apenas 5 L/min/m² para os derivados de petróleo (item 9.8).

A Tabela IV compara as exigências dos decretos 20.811/83 e 46076/01 para o sistema de espuma instalado na usina termelétrica;

Tabela IV - Comparaçāo das exigências dos decretos 20.811/83 e 46.076/01

TABELA COMPARATIVA – EXIGÊNCIAS LEGAIS		
DADOS COMUNS TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL B1		
PARÂMETRO	EXIGÊNCIAS LEGAIS	
	DECRETO 20811/83	DECRETO 46076/01
Quantidade de câmaras de espuma tipo II	Não especifica	5 unidades
Tempo mínimo de atuação do sistema	20 minutos	30 minutos
Taxa aplicação mínima	5,0 L/min/m ²	6,5 L/min/m ²
Vazão mínima da solução de espuma p/ hidrantes	1200 L/min.	1200 L/min.
Tempo atuação dos hidrantes de espuma	60 min.	30 min.
Volume de espuma na tubulação	13500 litros	13500 litros

A partir destes dados e utilizando cálculos análogos aos do item 4.2.6.4 desta monografia, pode-se elaborar nova tabela comparativa de resultados para os valores de suprimento de EFE:

TABELA V – Cálculo de suprimento de EFE – Tabela comparativa

CÁLCULO DE SUPRIMENTO DE EFE TABELA COMPARATIVA		
	DECRETO 20811/83	DECRETO 46076/01
Vazão da solução água+EFE para proteção do tanque	11790 L/min	15327 L/min
Vazão da solução água+EFE para proteção do dique	1200 L/min	1200 L/min
Quantidade de solução de água+EFE p/ enchimento da canalização	13500 Litros	13500 Litros
Quantidade de solução água+EFE p/ câmaras tipo II	235800 Litros	459810 Litros
Quantidade solução água+EFE p/ operação de linhas de mangueiras	72000 Litros	36000 Litros
Quantidade total p/ operação do sistema de espuma	321300 Litros	509310 Litros
Quantidade total de EFE (3%)	9639 Litros	15279 Litros
Quantidade mínima de EFE a ser armazenada	10.000 Litros	30600 Litros

6. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados sobre o sistema fixo automático de proteção contra incêndio com gás carbônico (CO₂), verificamos que a instalação existente na usina hidrelétrica, mesmo sendo executada conforme normas da época da construção da usina (década de 70), atende à norma NBR 12232/05, no que diz respeito à quantidade requerida de gás carbônico (CO₂), ou seja, não é necessária nenhuma modificação no sistema ou o acréscimo de cilindros no sistema. Também cabe ressaltar a manutenção do sistema pela equipe técnica da usina, a qual é realizada de forma a manter em funcionamento perfeito todo o sistema. Assim sendo, concluímos que o sistema fixo automático existente atende plenamente ao item 5.1 da Norma NBR 12232/05 e item 2.2.1 da IT n° 26/2004 do Decreto Estadual 46.076/01.

Sobre o sistema de espuma da usina termelétrica foi observado que o mesmo atendia as exigências do Decreto Estadual 20.811/83, mas as mudanças técnicas sugeridas posteriormente em novas legislações fizeram com que o mesmo ficasse em desacordo não apenas com a legislação vigente, mas também com o Decreto Estadual n° 38.069/93 que revogou o decreto de 1983 e antecedeu ao Decreto Estadual 46.076/01. Desta forma, como medida de adequação do sistema de espuma existente para atendimento à legislação atual, foi definido que os tanques armazenadores de EFE serão substituídos por tanques novos com capacidade superior a 30.600 litros. A isenção da carga reserva de EFE não foi possível, uma vez que não há plano de ajuda mútua (PAM) na região conforme exige item 5.6.2.1 da IT n° 25/04. Embora alguns fabricantes informem que não há validade para o produto, os técnicos da usina optaram pela substituição do mesmo, adquirindo novo extrato formador de espuma, isto porque julgaram inconveniente misturar o produto novo com o antigo. Alguns fabricantes também recomendam que produtos usados não devem ser misturados com novos. As características técnicas do extrato formador de espuma foram mantidas. Ao número total de câmaras de espuma, foram acrescentados mais duas unidades, aumentando para 5 o número de câmaras para os tanques n°s 3 e 4, mantendo-se 4 câmaras existentes para os tanques n°s 1 e 2. A rede de hidrantes já atende às exigências e não precisa de modificações. Nestas condições, os projetos foram apresentados e aprovados pelo Serviço de Segurança Contra Incêndio do CBPMESP conforme exigências do Decreto Estadual n° 46.076/01.

Após os estudos podemos concluir que a atualização da legislação referente aos assuntos demonstra uma evolução da segurança com particularidades cada vez mais restritivas, o que denota a necessidade de estudos de verificação dos sistemas de combate a incêndios instalados em usinas geradoras de energia elétrica construídas anteriormente a 1983.

A complexidade destes sistemas exige treinamento constante das pessoas envolvidas com as atividades relacionadas aos equipamentos protegidos. Recomendam-se treinamentos periódicos de grupos de brigadas de incêndio nos vários turnos de trabalho, o que serve também para a verificação periódica dos sistemas. Especial atenção deve ser observada nos sistemas de espuma que não possuem acionamento automático porque além do pessoal treinado, notou-se a necessidade de quadros ilustrativos com orientação da seqüência de ações para funcionamento adequado do sistema, afixados na sala de preparação de espuma.

7. ANEXOS

ANEXO A

MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL																																								
Empreendimentos em Operação																																								
T	E	R	M	E	L	É	T	R	I	C	A	S	Tipo		Capacidade Instalada	%	Total		%																					
													N.º de Usinas	(kW)	N.º de Usinas	(kW)																								
Hidro													607	71.848.487	70,19	607	71.848.487	70,19																						
T	Gás	Natural	72	9.886.953	9,66	T	E	R	M	E	L	É	T	R	I	C	A	S	Processo		98		10.812.701		10,56															
																			Óleo Diesel		539		4.736.524		4,63															
	Petróleo	Óleo Residual	18	1.163.970	1,14															Bagaço de Cana		222		2.324.550		2,27														
																				Licor Negro		13		782.617		0,76														
T	Biomassa	Biomassa	Madeira	25	212.832	T	E	R	M	E	L	É	T	R	I	C	A	S	Biogás		2		20.030		0,02															
																			Casca de Arroz		2		6.400		0,01															
																			Carvão Mineral		7		1.415.000		1,38															
																			Nuclear		2		2.007.000		1,96															
T	E	R	M	E	L	É	T	R	I	C	A	S	Eólica		10		28.550		0,03		10		28.550		0,03															
																			Paraguai		5.650.000		2,33		8.170.000		7,98													
																			Argentina		2.250.000		5,85		200.000		0,08													
																			Uruguai		70.000		0,20		1.527		102.364.691		100											
Total														1.527	102.364.691	100	1.527	102.364.691	100																					

Fonte: ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANEXO B

TABELA A.5.5.1(j) – QUANTIDADE REQUERIDA DE HFC-125

SISTEMA DE EXTINGUIMENTO POR AGENTE LIMPO											2001-64
Temp. <i>t</i> (°C)	Specific Vapor Volume <i>s</i> (m ³ /kg) ^a	Weight Requirements of Hazard Volume, <i>W/V</i> (kg/m ³) ^b									Table A.5.5.1(j) HFC-125 Total Flooding Quantity (SI Units) ^c
		Design Concentration (% by Volume) ^d									
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-35	0.199	0.5028	0.5929	0.6607	0.7122	0.7926	0.8109	0.8408	0.8874	1.178	1.272
-40	0.188	0.4992	0.5669	0.6447	0.7283	0.8057	0.8489	0.9741	1.0612	1.1501	1.2412
-35	0.1572	0.4785	0.5052	0.6291	0.7085	0.7962	0.8675	0.9513	1.0356	1.1226	1.2117
-30	0.1698	0.4681	0.5408	0.6181	0.6910	0.7686	0.8480	0.9203	1.0124	1.0975	1.1846
-25	0.1845	0.4570	0.5206	0.6012	0.6731	0.7115	0.8290	0.9081	0.9866	1.0728	1.1579
-20	0.1682	0.4473	0.5170	0.5880	0.6698	0.7348	0.8102	0.8883	0.9678	1.0392	1.1284
-15	0.1710	0.4379	0.5059	0.5753	0.6461	0.7199	0.7933	0.8693	0.9479	1.0256	1.1161
-10	0.1775	0.4289	0.4953	0.5615	0.6331	0.7042	0.7730	0.8514	0.9276	1.0013	1.0811
-5	0.1791	0.4203	0.4855	0.5522	0.6294	0.6901	0.7614	0.8345	0.9089	0.9851	1.0685
0	0.1828	0.4118	0.4757	0.5410	0.6078	0.6701	0.7460	0.8174	0.8865	0.9654	1.0420
5	0.1864	0.4038	0.4665	0.5306	0.6061	0.6511	0.7316	0.8016	0.8733	0.9407	1.0219
10	0.1900	0.3962	0.4577	0.5205	0.5848	0.6505	0.7177	0.7864	0.8568	0.9258	1.0025
15	0.1935	0.3886	0.4494	0.5111	0.5742	0.6387	0.7047	0.7722	0.8413	0.9120	0.9843
20	0.1971	0.3819	0.4412	0.5018	0.5637	0.6271	0.6919	0.7683	0.8359	0.9053	0.9761
25	0.2007	0.3746	0.4337	0.4928	0.5546	0.6128	0.6794	0.7415	0.8111	0.8733	0.9481
30	0.2042	0.3686	0.4258	0.4843	0.5431	0.6055	0.6578	0.7148	0.7872	0.8452	0.9132
35	0.2078	0.3622	0.4185	0.4759	0.5317	0.5948	0.6562	0.7191	0.7834	0.8492	0.9146
40	0.2115	0.3562	0.4115	0.4671	0.5202	0.5819	0.6185	0.6797	0.7704	0.8357	0.9014
45	0.2151	0.3503	0.4046	0.4582	0.5092	0.5720	0.6233	0.6815	0.7675	0.8212	0.8865
50	0.2181	0.3449	0.3982	0.4502	0.5098	0.5659	0.6244	0.6842	0.7424	0.8080	0.8721
55	0.2210	0.3392	0.3919	0.4427	0.5007	0.5570	0.6145	0.6734	0.7326	0.7953	0.8580
60	0.2244	0.3339	0.3858	0.4358	0.4910	0.5482	0.6080	0.6629	0.7222	0.7829	0.8471
65	0.2281	0.3286	0.3799	0.4221	0.4854	0.5401	0.5957	0.6529	0.7112	0.7710	0.8321
70	0.2324	0.3235	0.3742	0.4126	0.4781	0.5117	0.5563	0.6139	0.6705	0.7393	0.8196
75	0.2368	0.3182	0.3688	0.4049	0.4712	0.5142	0.5783	0.6337	0.6904	0.7481	0.8078
80	0.2403	0.3135	0.3634	0.3933	0.4615	0.5053	0.5695	0.6244	0.6803	0.7374	0.7960
85	0.2428	0.3100	0.3581	0.3973	0.4576	0.5000	0.5618	0.6131	0.6703	0.7268	0.7845
90	0.2463	0.3065	0.3531	0.4015	0.4511	0.5018	0.5594	0.6067	0.6609	0.7165	0.7751
95	0.2498	0.3013	0.3491	0.3950	0.4416	0.4914	0.5493	0.5982	0.6517	0.7064	0.7625

^a O fabricante listado especifica a faixa de temperatura de operação.^b *W/V* (kg/m³) = kilogramas requeridos por cubo metro de protegido volume para produzir indicação concentração a temperatura especificada.

$$W = \frac{V}{s} \left(\frac{t}{100-t} \right)$$

^c O fabricante listado especifica a faixa de temperatura de operação.^d *W/V* [exigências de quantidade de agente (lb/ft³)] = libras do agente requeridas por pé-cúbico do volume protegido para produzir a concentração indicada a temperatura especificada.

$$W = V/s \ C/(100-C)$$

^e *t* [temperatura (°C)] = a temperatura de projeto na área de risco.^f *s* [volume específico (m³/kg)] = volume específico do vapor do agente superaquecido pode ser aproximadamente pela fórmula:

$$s = 0.1825 + 0.0007t$$

onde *t* = temperatura (°C)^g *C* [concentração (%)] = concentração volumétrica do agente no ar a temperatura indicada

ANEXO C

CAPÍTULO IX DAS ESPECIFICAÇÕES PARA INSTALAÇÕES DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO DO DECRETO ESTADUAL N° 20.811 DE 11/03/83

CAPÍTULO - IX

9. SISTEMA DE PROTEÇÃO POR ESPUMA

- 9.1. A aplicação de espuma poderá ser feita por esguichos manuais, monitores e câmaras.
- 9.1.1. A pressão residual mínima para a operação dos equipamentos destinados a formação de espuma deverá ser de 5 Kg/cm² (50 mca), medida na expedição do equipamento.
- 9.2. A solução de espuma deverá ser obtida a razão de 3% para derivados de petróleo e 6% para álcool.
- 9.3. A solução de espuma poderá ser obtida através de estação fixa, semifixa, ou móvel.
 - 9.3.1. A alimentação de água da estação geradora de espuma poderá ser feita a partir de rede comum de alimentação dos hidrantes.
 - 9.3.2. Como exceção, os sistemas fixos poderão ser alimentados por estações móveis de emulsionamento da solução de espuma, desde que montados sobre veículos em número suficiente exigido para a operação do sistema.
 - 9.3.3. A água utilizada deve ser limpa e livre de componentes que possam afetar a qualidade da espuma a ser produzida.
- 9.4. A duração mínima da descarga de espuma, através de equipamentos fixos, semifixos ou portáteis deverá ser de:
 - 9.4.1. 20 minutos para câmara de espuma; e,
 - 9.4.2. 60 minutos para hidrantes de espuma.
- 9.5. A vazão de água deverá ser calculada em função do maior risco a ser protegido, com descarga para um tempo mínimo de 60 minutos.
- 9.6. A quantidade de líquido gerador de espuma (LGE) de reserva deverá ser igual ao volume necessário para a proteção do maior risco da área, considerando-se os tempos mínimos de descarga. Se o interessado provar que tem condições de repor a quantidade de LGE necessária para a alimentação dos sistemas, no prazo de 24 horas, não será obrigado a manter a reserva prevista.
- 9.7. As linhas manuais para espuma devem permitir a descarga mínima de 400 l/min para cada 800 m² de área de risco a proteger.
 - 9.7.1. Para áreas inferiores a 400 m² serão aceitas linhas manuais de espuma com descarga mínima de 200 l/min.
- 9.8. A taxa de aplicação da solução (água + LGE) geradora de espuma nas câmeras fixas nos tanques deve ser 5 l/min/m² de área a proteger para derivados de petróleo; e 7 l/min/m² para álcool.

ANEXO C

CAPÍTULO IX DAS ESPECIFICAÇÕES PARA INSTALAÇÕES DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO DO DECRETO ESTADUAL N° 20.811 DE 11/03/83

9.9. As câmaras de aplicação de espuma deverão ser instaladas de modo a permitir que a espuma cubra rapidamente a superfície protegida e ter seu rendimento calculado de acordo com as vazões necessárias.

9.10. Os defletores e deslizadores deverão permitir a aplicação suave da espuma, de modo que esta não mergulhe no líquido mais do que 25mm.

9.11. Todos os tanques de armazenamento de combustíveis, independentemente do produto armazenado, que necessitem de uma vazão mínima de 100 litros/min de solução de espuma para sua proteção interna, observada a taxa de solução aplicada em função das exigências de Normas Internacionais destas Especificações e as Especificações Técnicas do LGE, deverão ser dotados de câmara de espuma.

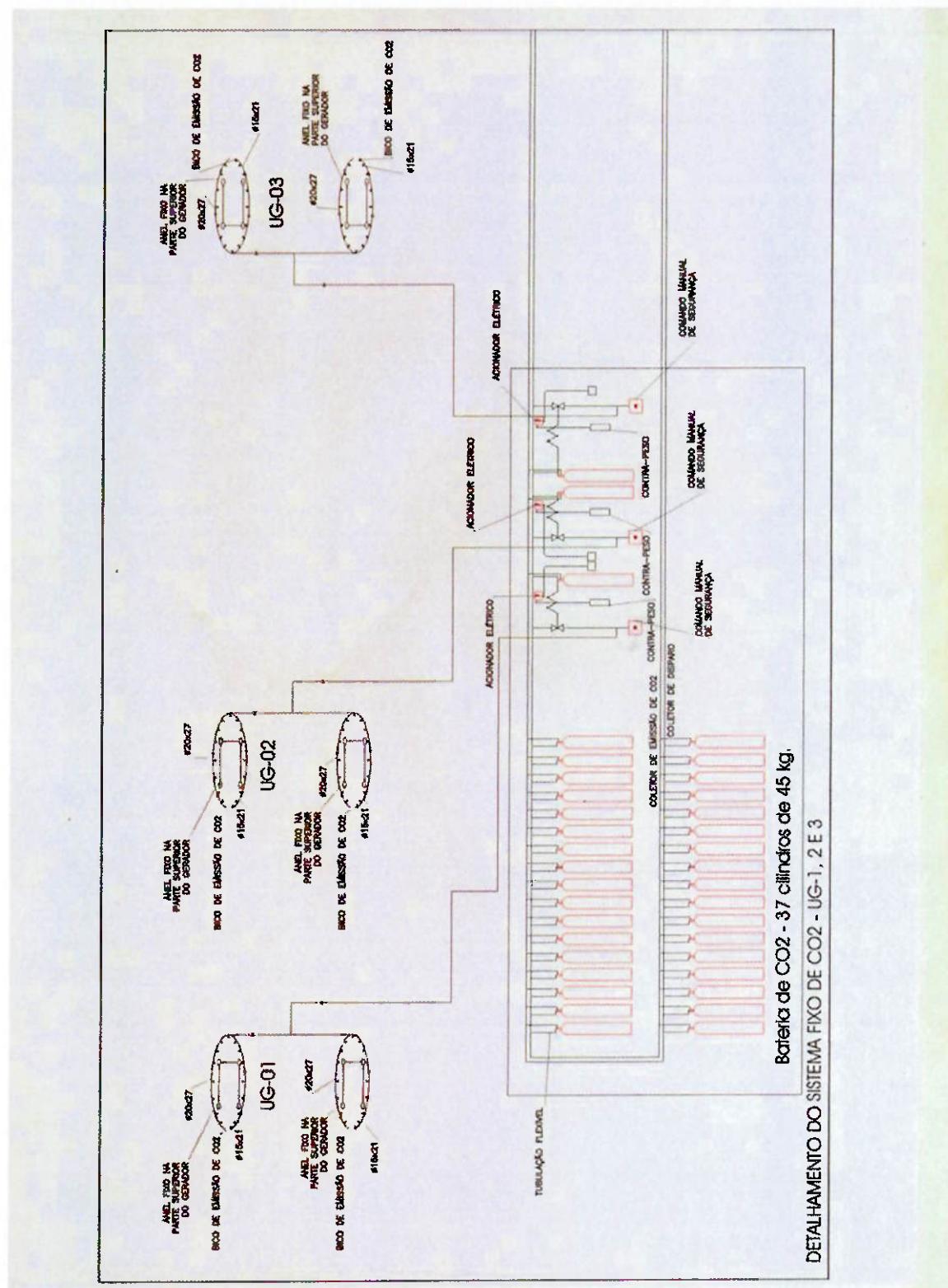
9.11.1. Para solventes polares é obrigatória a instalação de câmaras apropriadas ou a aplicação de 03 (três) vezes a taxa prevista no item 9.8.

9.11.2. Os tanques horizontais ficam dispensados da exigência de instalação de câmara de espuma.

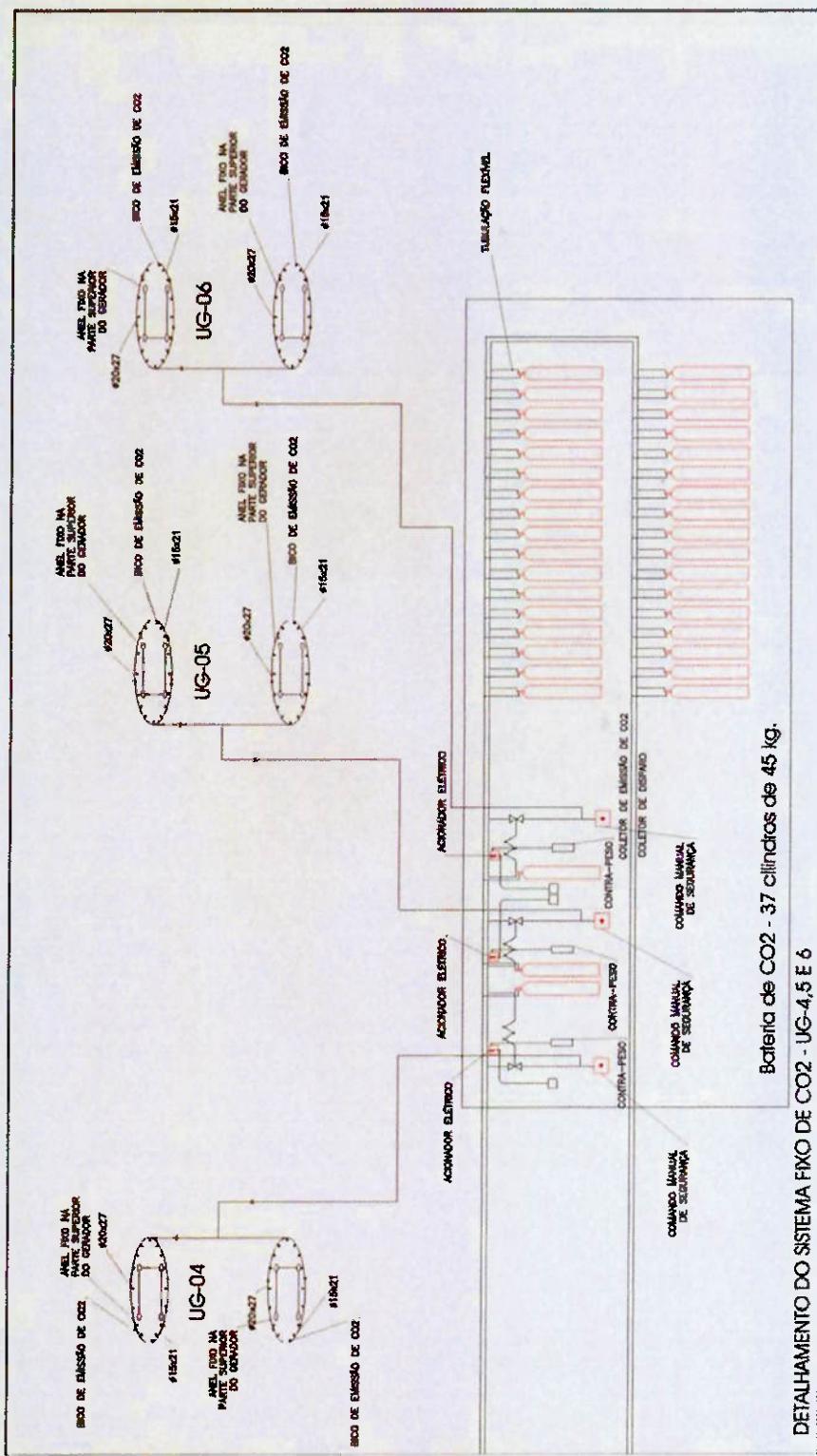
9.11.3. As câmaras de espuma devem ser instaladas no máximo a cada 26 metros de circunferência do tanque.

9.13. Nos tanques de teto flutuante a espuma deverá ser aplicada no espaço entre o costado e a parede anelar de contenção instalada sobre o teto, com uso de dispositivos apropriados distantes no máximo 26 metros entre cada um e com taxa mínima de 7 l/min/m² de área anelar a proteger.

ANEXO D

ESQUEMA DO SISTEMA FIXO DE CO₂—UNIDADES GERADORAS 1, 2 E 3

ANEXO D



8. LISTA DE REFERÊNCIAS

ABNT/CB24 – Segurança Contra Incêndios.

Disponível em:

www.abnt.org.br/cb24. Acesso em: 30 mar. 2007.

ANEEL – Informações do setor elétrico

Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Detektoren automáticos de fumaça para proteção contra incêndio – NBR 11836.** Rio de Janeiro, 1992.

- . **Execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio – NBR 9441.** Rio de Janeiro, 1998.
- . **Execução de sistemas fixos de proteção contra incêndio, com água nebulizada para transformadores e reatores de potência – NBR 8674.** Rio de Janeiro, 2005. **Detektoren automáticos de fumaça para proteção contra incêndio – NBR 11836.** Rio de Janeiro, 1992.
- . **Execução de sistemas de proteção contra incêndio com gás carbônico (CO₂) em transformadores e reatores de potência contendo óleo isolante – NBR 12232.** Rio de Janeiro, 2005.
- . **Proteção contra incêndio em subestações elétricas de distribuição – NBR 13859.** Rio de Janeiro, 1997.
- . **Proteção contra incêndio em subestações elétricas de geração, transmissão e distribuição – NBR 13231.** Rio de Janeiro, 2005.
- . **Sistema de combate a incêndio por espuma – NBR 12615.** Rio de Janeiro, 1992.

BRENTANO, TELMO. **Instalações hidráulicas de combate a incêndios nas edificações.** 2.ed. ver. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2005. 450p.

INSTRUÇÕES TÉCNICAS DO CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em:
<http://www.polmil.sp.gov.br/ccb/pagina15.html>. Acesso em: 05 maio. 2007.

LEGISLAÇÃO normas regulamentadoras – NR 23 Proteção contra incêndios.

Disponível em:

http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_23.asp
Acesso em: 20 abr. 2007.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **Standard on clean agent fire extinguishing systems 2001.** NFPA 2001, Quincy/MA – USA, 2004.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO – CORPO DE BOMBEIROS.
Regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de
risco: Decreto Estadual N° 46.076/01. São Paulo, 2005.