

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
MESTRADO PROFISSIONAL DE SISTEMAS DE GESTÃO

FELICIO PEDRO DA COSTA NETO

**SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO UTILIZANDO A  
TECNOLOGIA DE ÁGUA NEBULIZADA (*WATER MIST*) EM  
INSTALAÇÕES *OFFSHORE***

Niterói  
2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FELICIO PEDRO DA COSTA NETO

**SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO UTILIZANDO A  
TECNOLOGIA DE ÁGUA NEBULIZADA (*WATER MIST*) EM  
INSTALAÇÕES *OFFSHORE***

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistema de Gestão.

Orientador:  
Prof. Fernando Benedito Mainier, D. Sc.

Niterói  
2008

FELICIO PEDRO DA COSTA NETO

**SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO UTILIZANDO A TECNOLOGIA DE ÁGUA  
NEBULIZADA (*WATER MIST*) EM INSTALAÇÕES *OFFSHORE***

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistema de Gestão

Aprovada em 24 de novembro de 2008:

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Fernando Benedito Mainier, D. Sc. – Orientador  
Universidade Federal Fluminense – UFF

---

Prof. Gilson Brito Alves Lima D. Sc.  
Universidade Federal Fluminense - UFF

---

Prof. Luciane Pimentel Costa Monteiro, D.Sc.  
Universidade Federal Fluminense - UFF

---

Prof. Fábio Merçon, D.Sc.  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Dedico este trabalho

Aos meus pais, Geraldo Costa (*in memoriam*) e Maria dos Anjos Castro Costa (*in memoriam*) que me sempre me apoiaram nas minhas caminhadas.

A minha esposa Ruth Nogueira Cobra e a minha filha Felicianne Nogueira da Costa que tiveram a compreensão das minhas ausências e souberam retribuir com gesto de carinho e amor.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, por permitir na sua grandeza, que eu chegasse ao final desta caminhada e agora poder agradecer mais uma vez.

Aos professores da Universidade Federal Fluminense pelo esforço empregado na transmissão de conhecimentos, em particular aos professores: Fernando B. Mainier, pela facilidade de comunicação e competência na condução do processo da orientação, Gilson Brito Alves Lima, José Rodrigues de Farias Filho e Fernando Toledo Ferraz, pela empatia para com o discente e pela segura orientação nos aspectos da segurança industrial.

A PETROBRAS na pessoa do Engenheiro Agostinho da Mota Robalinho da Silva pela minha indicação e aprovação no processo interno da Companhia e pela condição dada para a execução desse programa de mestrado.

Aos colegas:

Márcia de Araújo Lisboa, Wagner Gonçalves Salomão e Regina Célia Vieira de Assis, pelo apoio, incentivo e desenvolvimento de trabalhos ligados à área de segurança *offshore*.

A todas as pessoas que contribuíram para que este projeto se tornasse realidade.

“Quando quiser cumprir a sua missão deve ter um ideal, isto é, um propósito dominante que se sobreponha a todas as duas aspirações e oriente a sua vida”. (Herbert Bates).



## RESUMO

Em geral toda instalação *offshore* requer de alguma forma de proteção contra incêndio e há muitos compartimentos a serem protegidos e um dos meios de proteção que pode ser utilizado é o Sistema de Combate a Incêndio com Água Nebulizada (*Water Mist*). O Sistema de Proteção com Água Nebulizada (*Water Mist*) é um sistema que tem a capacidade de combater incêndios em líquidos combustíveis e inflamáveis (Classe B), incêndios em combustíveis sólidos (Classe A) e em equipamentos elétricos (Classe C); utilizando a água em forma de pequenas gotas para realizar a extinção, supressão e o controle do incêndio. Protocolos de testes foram desenvolvidos pelo International Maritime Organization (I.M.O.) juntamente com a *National Fire Protection Association*, que emitiu em 2001 o padrão, NFPA 750 - *Standard on Water Mist Fire Protection*. Estes protocolos e o padrão são as referências para o desenvolvimento de projetos, testes e são utilizados pelas empresas em todo o mundo. A presente dissertação propõe divulgar a tecnologia de água nebulizada (*Water Mist*), explorando os seus mecanismos de atuação, sua aplicabilidade em unidade de perfuração e produção *offshore* de petróleo, tendo como principal motivo o teste da tecnologia em painéis elétricos.

Palavras-chave: Water Mist. Incêndio. Bicos Aspersores. Agente Extintor.

## **ABSTRACT**

Offshore rigs and petroleum production units usually require some fire protection and they have many compartments to protect. Water mist system is one among the fire fighting systems available. The water mist system is suitable for liquids fire (class B), solid fuels fire (class A) and electric equipments (class C). It uses small water droplets for fire extinction, suppression and fire control. Test protocols were developed by International Maritime Organization (I.M.O.) aside with National Fire Protection Association (NFPA). These institutions emitted in 2001 the standard NFPA 750 – Standard on Water Mist Fire Protection. These protocols and the standard are references for design developments and tests and are used by companies worldwide. This paper proposes to spread the water mist technology, exploiting its operation mechanisms, its application on offshore rigs and petroleum production units, stressing the test of this technology on electric panels.

Keywords: Water Mist. Fire. Nozzle. Extinguishing Agent.

## LISTA DE FIGURAS E QUADROS

Figura 1	Esquema da configuração do triângulo do Fogo.....	25
Figura 2	Quadrilátero do Fogo.....	25
Figura 3	Representação de Limite de Inflamabilidade.....	27
Figura 4	Representação do ponto de fulgor, combustão e auto-ignição.....	33
Quadro 1	Classe de Incêndio.....	34
Quadro 2	Efeitos da onda de sobrepressão.....	476
Quadro 3	Principais Acidentes em Plataformas de Exploração no Mundo desde 1980.....	487
Figura 5	Vista do bico aspensor para sistema de <i>sprinkler</i> .....	510
Figura 6	Válvula de governo e alarme.....	51
Figura 7	Bicos Aspersores para sistemas de dilúvio.....	521
Figura 8	Sistema de dilúvio.....	532
Figura 9	Sistema de Espuma.....	543
Figura 10	Sistema de CO <sub>2</sub> .....	563
Figura 11	Particulado Sólido (Aerossol).....	598
Figura 12	Mecanismos primário e secundário.....	610
Figura 13	Bico Aspensor para dois fluidos para sistema de média pressão.....	832
Figura 14	Bico Aspensor para dois fluidos para sistema de média pressão para casulo de turbinas.....	832
Figura 15	Bico Aspensor para um fluido para sistema de média pressão para espaço de máquinas.....	832
Figura 16	Bico aspensor para um fluido, alta pressão, para espaço com equipamentos elétricos.....	843
Figura 17	Orifício de atomização do bico ampliado 30 vezes.....	843
Figura 18	Vista dos internos do bico Aspensor para um fluido alta pressão, para ambientes limpos.....	843
Figura 19	Bico Aspensor para um fluido alta pressão para ambientes industrial....	854
Figura 20	Bico Aspensor para um fluido alta pressão de alto rendimento.....	854
Figura 21	Vista dos internos do bico aspensor para um fluido de alto rendimento.	854
Gráfico 1	Evolução do bico aspensor.....	865
Figura 22	Representação esquemática de sistema de <i>Water Mist</i> com um fluido utilizando tanque.....	898
Figura 23	Tanque cilindro de nitrogênio.....	898
Figura 24	Representação esquemática utilizando gás à alta pressão utilizando cilindros de água.....	910
Figura 25	Cilindro de nitrogênio e cilindro de água	910
Figura 26	Representação esquemática com um único fluido utilizando gás como propelente.....	921

Figura 27	Representação esquemática com um único fluido.....	932
Figura 28	Cilindros com nitrogênio e bomba pneumática.....	943
Figura 29	Representação esquemática com um único fluido com suprimento principal e reserva.....	954
Figura 30	Cilindros de água e nitrogênio e bomba pneumática.....	954
Figura 31	Bico aspersor com dois fluidos para sistema de baixa pressão.....	976
Figura 32	Internos de um bico aspersor com dois fluidos para sistema de baixa pressão.....	976
Figura 33	Bicos aspersores do tipo <i>sprinkler for public spaces</i> .....	10099
Figura 34	Painel do Teste.....	1010
Figura 35	Arranjo dos testes.....	1010
Figura 36	Configuração do sistema <i>Water Mist</i> .....	1021
Figura 37	Formação densa de névoa.....	1054
Figura 38	<i>Water mist</i> sobre efeito do vento.....	1054
Figura 39	Teste de estanqueidade do painel.....	1065
Figura 40	Teste de Isolação do painel após o teste.....	1065
Figura 41	Combustão nos cabos elétricos.....	1076
Figura 42	Internos do painel e bicos aspersores.....	1087
Figura 43	Teste de isolação.....	1087
Figura 44	Início do incêndio.....	1098
Figura 45	Incêndio desenvolvendo .....	1098
Figura 46	Incêndio desenvolvendo.....	11009
Figura 47	Incêndio desenvolvendo.....	11009
Figura 48	Heptano é bloqueado.....	11009
Figura 49	Atuação do <i>Water Mist</i> .....	11009
Figura 50	Atuação do <i>Water Mist</i> .....	1110
Figura 51	Incêndio extinto.....	1110
Figura 52	Atuação prolongada de <i>Water Mist</i> .....	1110
Figura 53	Painel aberto após o teste.....	1121
Figura 54	Início do teste.....	1143
Figura 55	Computador sob névoa.....	1143
Figura 56	Computador funcionando após a substituição do monitor.....	1153
Figura 57	Computador aberto após o teste.....	1154
Quadro 4	Comparação com outros agentes gasosos.	121

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Varição da área de superfície de água com o tamanho da gota (volume de água 1 litro)	7069
Tabela 2	Tamanho da gota	710
Tabela 3	Distância típica percorrida pela gota em função do tamanho e temperatura da circunvizinha	743
Tabela 4	Elemento sensível tipo ampola de vidro	821
Tabela 5	Comparação com outros agentes gasosos.	121

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	<i>American Bureau of Shipping</i>
ADV	Válvula de Dilúvio Automática
AFFF	<i>Aqueous film forming foam</i>
API	<i>American Petroleum Institute</i>
APR	Análise Preliminar de Riscos
AQR	Análise Quantitativa de Riscos
BLEVE	<i>Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion</i>
CEN	European Committee for Standardization
CFD	Computational Fluid Dynamics
DNV	<i>Det Norske Veritas</i>
E&P	Exploração & Produção
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPI	Equipamento de proteção individual
ESD	<i>Emergency Shutdown</i>
FMRC	<i>Factory Mutual Research Corporation</i>
FPSO	<i>Floating Production, Storage and Offloading Systems</i>
FSS Code	<i>International Code for Fire Safety Systems</i>
GRP	Gerenciamento de Riscos de Processo
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HP	<i>High Pressure</i> (Alta pressão)
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
IP44	Grau de Proteção
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KW	Quilowatt: mil watts
LGE	Líquido gerador de espuma.
LII	Limite Inferior de Inflamabilidade
LP	<i>Low Pressure</i> (Baixa pressão)
LSI	Limite Superior de inflamabilidade
MODU	<i>Mobile Drilling Unit</i>
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
NOAEL	<i>No Observable Adverse Effect Level</i>
NORMAM	Normas da Autoridade Marítima
ODP	<i>Ozone Depleting Potencial</i>
OSHA	<i>Occupational Safety &amp; Health Administration</i>
OHSAS	standard for occupational health and safety management
PPM	Partes por milhão
SINTEF	<i>The Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Science and Technology (NTNU).</i>
SOLAS	<i>Safety of Life at Sea</i>
UL	<i>Underwriters Laboratories</i>
VGA.	Válvula de Governo e alarme
WATT	Unidade do Sistema Internacional de Unidades (SI) para potência. É equivalente a um joule por segundo (1 J/s) que recebeu o nome de James Watt matemático e engenheiro escocês.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 PROBLEMA.....	191918
1.2 DESDOBRAMENTO DO ESTUDO .....	19
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA.....	20
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	212120
1.5 A ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
<b>2 CONSIDERAÇÕES SOBRE INCÊNDIOS E RISCOS EM INSTALAÇÕES OFFSHORE</b> .....	<b>232323</b>
2.1 TEORIA DO FOGO E INCÊNDIO .....	232323
2.2 COMBUSTÃO COMPLETA.....	282828
2.3 COMBUSTÃO INCOMPLETA .....	282828
2.4 COMBUSTÃO ESPONTÂNEA.....	292929
2.5 PROPRIEDADES DAS SUBSTÂNCIAS INFLAMÁVEIS.....	303030
<b>2.5.1 Líquido Combustível</b> .....	<b>313131</b>
<b>2.5.2 Líquido Inflamável</b> .....	<b>313131</b>
<b>2.5.3 Ponto de Fulgor (<i>Flash Point</i>)</b> .....	<b>323232</b>
<b>2.5.4 Ponto de Combustão</b> .....	<b>323232</b>
<b>2.5.5 Ponto de Auto-Ignicão</b> .....	<b>323232</b>
<b>2.5.6 Ponto de Ebulição</b> .....	<b>323232</b>
2.6 CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS .....	333333
<b>2.6.1 Incêndio da Classe A</b> .....	<b>343434</b>
<b>2.6.2 Incêndio da Classe B</b> .....	<b>343434</b>
<b>2.6.3 Incêndios da Classe C</b> .....	<b>353535</b>
<b>2.6.4 Incêndios da Classe D</b> .....	<b>353535</b>
2.7 MÉTODO DE EXTINÇÃO.....	353535
<b>2.7.1 Retirada do Material</b> .....	<b>353535</b>
<b>2.7.2 Resfriamento</b> .....	<b>363636</b>
<b>2.7.3 Abafamento</b> .....	<b>36</b>
.....	
<b>2.7.4 Quebra da Reação em Cadeia</b> .....	<b>3636363</b> .....6
2.8 AGENTES EXTINTORES DE INCÊNDIO .....	37373736
<b>2.8.1 Água</b> .....	<b>3373737367</b>
<b>2.8.2 Espuma</b> .....	<b>383838</b>
<b>2.8.3 Pó Químico</b> .....	<b>40404039</b>
<b>2.8.4 Halon</b> .....	<b>41414140</b>
<b>2.8.5 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</b> .....	<b>414141</b>

<b>2.8.6 Agentes limpos .....</b>	<b>43424241</b>
<b>2.8.7 Água Nebulizada (<i>Water Mist</i>) .....</b>	<b>44434342</b>



2.9 DEFLAGRAÇÃO, EXPLOSÃO, DETONAÇÃO. ....	444343
--	--------

2.10 RISCOS ASSCIADOS AS INSTALAÇÕES OFFSHORE .....	48474746
2.11 SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E EXPLOSÃO UTILIZADA EM INSTALAÇÕES OFFSHORE.....	50494948
<b>2.11.1 Sistema de <i>Sprinkler</i> .....</b>	<b>525150</b>
<b>2.11.2 Sistema de Dilúvio.....</b>	<b>535251</b>
<b>2.11.3 Sistema de Espuma.....</b>	<b>54535352</b>
<b>2.11.4 Sistema de Inundação com Agente Químico.....</b>	<b>55545453</b>
<b>2.11.5 Sistema de Inundação com Gás Inerte.....</b>	<b>565554</b>
<b>2.11.6 Sistema de Inundação com Gás Carbônico.....</b>	<b>56555554</b>
<b>2.11.7 Sistema de Água Nebulizada (<i>Water Mist</i>) .....</b>	<b>57565655</b>
<b>2.11.8 Sistema Particulado Sólido (Aerossol).....</b>	<b>59585857</b>
<b>3 A TECNOLOGIA DE NÉVOA DE ÁGUA (<i>WATER MIST</i>).....</b>	<b>62606059</b>
3.1 MECANISMOS DE EXTINÇÃO.....	62606059
<b>3.1.1 Remoção do Calor (Resfriamento).....</b>	<b>64626261</b>
<b>3.1.2 Deslocamento de Oxigênio.....</b>	<b>67656564</b>
<b>3.1.3Atenuação do Calor Radiante.....</b>	<b>68666665</b>
<b>3.1.4 Efeito Cinético da Água Nebulizada na Chama .....</b>	<b>69676766</b>
3.2 FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DA AGUA NEBULIZADA .....	70686867
<b>3.2.1 Características da Água Nebulizada.....</b>	<b>70686867</b>
<b>3.2.2 Distribuição do Tamanho da Gota .....</b>	<b>71696968</b>
<b>3.2.3 Densidade de Fluxo.....</b>	<b>73717170</b>
<b>3.2.4 Impulso da Pulverização.....</b>	<b>74727271</b>
<b>3.2.5 Efeito do Confinamento .....</b>	<b>77757574</b>
<b>3.2.6 Dinâmica da Mistura.....</b>	<b>79777776</b>
<b>3.2.7 Água Nebulizada com Aditivos .....</b>	<b>81797978</b>
3.3 MÉTODOS DE GERAÇÃO DA NÉVOA .....	83818180
<b>3.3.1 Bicos aspersores.....</b>	<b>84818180</b>
<b>3.3.2 Pressão de Operação dos Bicos.....</b>	<b>89878786</b>
3.4 FLUIDOS DO SISTEMA .....	91888887
<b>3.4.1 Sistema com um Fluido .....</b>	<b>91888887</b>
<b>3.3.2 Sistema com dois Fluidos .....</b>	<b>100969695</b>
<b>4 ENSAIOS DE CAMPO .....</b>	<b>104999998</b>
4.1 DESENVOLVIMENTO DO TESTE.....	104999998
<b>4.1.1 Histórico .....</b>	<b>104999998</b>
<b>4.1.2 Equipamentos Utilizados .....</b>	<b>10510010099</b>
<b>4.1.3 Princípio de Funcionamento .....</b>	<b>107101101100</b>
<b>4.1.4 Resumo da Seqüência dos Testes.....</b>	<b>109103103102</b>

4.2 SEQUÊNCIA DOS TESTES.....	110104104103
<b>4.2.1 Teste do Grau de Estanqueidade do Painel Elétrico sob <i>Water Mist</i></b>	<b>110104104103</b>
<b>4.2.2 Teste de Extinção de Incêndio em Painel Elétrico utilizando <i>Water Mist</i></b> .....	<b>113107107106</b>
<b>4.2.3 Teste de Extinção de Incêndio em Painel Elétrico utilizando <i>Water Mist</i> no Interior</b> .....	<b>115109109108</b>
<b>4.3.4 Teste de Continuidade funcional de Desktop sob <i>Water Mist</i></b> .....	<b>119113113112</b>
<b>5 ANÁLISE CRÍTICA DO ENSAIO DE CAMPO</b> .....	<b>124116116115</b>
5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ENSAIOS.....	124116116115
5.2 ASPECTOS POSITIVOS E LIMITAÇÕES.....	118
12611815.3 ANÁLISE CRÍTICA.....	121
<b>18117</b>	
<b>6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>134124121120</b>
6.1 CONCLUSÃO .....	134124121120
6.2 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS .....	135125122121
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>136126123122</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Viola & Maineier<sup>[PARTICULA1]</sup> (2007) a história do homem primitivo está marcada pelo fogo, elemento que foi indispensável à sua sobrevivência e ao seu progresso. As catástrofes produzidas pelos grandes incêndios têm gerado destruições e mortes, entretanto, o homem tem buscado, incessantemente, tecnologias para dominar ou minimizar os incêndios.

O fogo, elemento que foi indispensável à sua sobrevivência e ao seu progresso. Um dos grandes marcos da história da civilização humana foi o domínio do fogo pelo próprio homem. Da mesma forma, que o fogo tornou-se um gerador de energia e desenvolvimento industrial, contudo, também, transformou-se, quando fora de controle, num agente causador de incêndios, destruições e mortes.

Os incêndios clássicos como o de Londres e Chicago, respectivamente, em 1666 e 1871, causaram destruição e mortes. Entretanto, direta e indiretamente, tais fatos, acabaram contribuindo para a geração das células embrionárias das técnicas e das tecnologias aplicadas à extinção de incêndios.

Chamamos Incêndio a todo fogo anômalo: tanto o que simplesmente se manifesta, como o que ameaça destruir alguma coisa ou o que, não sendo obstado, se propaga e envolve tudo quanto possa devorar. Seja ele casual ou intencional.

Uma característica constante dos incêndios é a periculosidade de que se revestem, afrontando a integridade e a existência de todos os seres, onde quer que surja. Outra propriedade que particulariza o incêndio de outro fogo qualquer, de serviço, é a ameaça que expede e exerce pela propagação arbitrária, pelo calor que mistura com o ar, pelo fumo sufocante que expele, pela crepitação e pelo próprio clarão que emite.

Os incêndios surgem e se desenvolvem, lenta ou repentinamente, em função dos elementos que lhes dão causa, e se avolumam conforme a quantidade e a qualidade dos combustíveis e o ambiente que encontram.

A **CONVENÇÃO DE VIENA** <sup>[PARTICULA2]</sup>(1985Áustria) para Proteção da Camada de Ozônio, em 1985, preconizava à necessidade de medidas preventivas para proteção da camada de ozônio, conscientes que tais medidas requereriam ações de cooperação internacional, investigações científicas e sistemáticas, onde seriam definidos pontos de cooperação e medidas de ação, legislativas e

administrativas apropriadas, bem como políticas de controle, limitação e redução ou prevenção das atividades de impacto nocivo à camada de ozônio. O protocolo não incluía valores de emissão para gases que prejudicam a camada de ozônio, mas foi um marco importante como levantamento de dados entre os países membros possibilitando ações futuras.

O PROTOCOLO DE MONTREAL [PARTICULA3](1993), assim como a CONVENÇÃO DE VIENA [PARTICULA4] (1985), também tratou sobre dos efeitos na alteração da camada de ozônio, procurando formalizar um acordo internacional para controlar a produção e o consumo de substâncias que, direta e indiretamente, poderiam causar danos à camada de ozônio.

A diferença entre o PROTOCOLO DE MONTREAL [PARTICULA5] e a CONVENÇÃO DE VIENA [PARTICULA6], é que em Montreal houve a inclusão de regras para redução gradativa das substâncias químicas, como, também, enfatizava à necessidade de socialização dos dados e do compartilhamento de tecnologias que não reduziriam a camada de ozônio que envolve o globo terrestre, (CLAPP; DAUVERGNE, 2005).

O PROTOCOLO DE MONTREAL [PARTICULA7](1993) restringiu o comércio de agentes extintores à base de organo-clorofluorado (halons), favorecendo, desta forma, o retorno da água como forte aliada à indústria de combate a incêndio.

Os compostos químicos denominados, genericamente, de “halons” são hidrocarbonetos halogenados onde os halogênios são o bromo, flúor, iodo e cloro. As vantagens destes produtos residem na formação de uma barreira que impede ou inibe o processo de combustão da reação em cadeia e, além disso, é um gás que não deixa resíduos após a evaporação.

Entretanto, as desvantagens desta família de produtos químicos estão baseadas nas suas propriedades tóxicas e nos efeitos danosos ao meio ambiente, que se relacionam com a camada de ozônio que envolve o planeta. Os produtos comerciais “Halon 1211” a base de bromoclorodifluormetano ( $\text{CBrClF}_2$ ) e “Halon 1301” a base de bromotrifluormetano ( $\text{CBrCF}_3$ ) foram considerados como agentes destruidores da camada de ozônio (ODP – Ozone Depletion Potencial), pelo Protocolo de Montreal.

Outras substâncias alternativas a base de compostos fluorados como o heptafluopropano ( $\text{CF}_3\text{CHF}_2$ ) e o trifluormetano ( $\text{CHF}_3$ ) vêm sendo considerados

pelas agências ambientais como produtos que não afetam a camada de ozônio (MATHER, & TAPSCOTT, 2006; NIST, 2006).

Em 1992, o IMO (*International Maritime Organization*) emitiu uma emenda 1 para a regulamentação do uso de hidrocarbonetos halogenados (SOLAS II-2/5 3.1), na qual, entre outras providências, estabeleceu que “novas instalações com sistemas de hidrocarbonetos halogenados deveriam ser proibidas em todas as embarcações”.

Há, aproximadamente, 100 anos atrás já eram conhecidos os efeitos e as propriedades da água nebulizada, elevação de volume e resfriamento no combate aos incêndios; entretanto, sua aplicação prática só ocorreu no início da década de 1990 em função das limitações tecnológicas e das novas diretrizes mundiais em relação ao meio ambiente (IFP, 2001).

Embora não seja uma nova tecnologia, água nebulizada é um agente muito utilizado para a proteção contra incêndio em compartimento de turbinas, sala de máquinas, onde os mecanismos extinguidos são principalmente remoção de calor, redução de oxigênio e expansão de vapor. Água nebulizada é segura para áreas ocupadas e provê um efeito refrescante melhor que os agentes de supressão gasosos.

Diferente dos sistemas gasosos, os quais são projetados para uma aplicação específica, o sistema de água nebulizada é pré-engenheirado e aprovado para a proteção de um compartimento com um volume máximo estabelecido. Sistemas de água nebulizada não requerem preocupação com a estanqueidade do ambiente a ser protegido como necessitam os sistemas que utilizam agentes gasosos. Na NFPA 750 - Padrão em Sistema de Proteção Contra Incêndio com Água Nebulizada (2000) há os requisitos para o projeto, instalação, manutenção e testes deste sistema.

O progresso na pesquisa e aplicação de sistemas de água nebulizada em extinção de incêndio foi significativo durante a última década. Para realizar este trabalho em enfoque, uma revisão foi empreendida para identificar o desenvolvimento e melhorias da eficácia do potencial da água nebulizada como agente extintor de incêndio em instalações *offshore*.

Neste contexto, como um primeiro passo, prevê uma revisão do histórico da utilização de água nebulizada, mecanismo de funcionamento, aplicabilidade em instalações *offshore*.

As instalações *offshore* requerem cuidados especiais em razão da sua localização, condições adversas de operação, pequenas quantidades de meios de escape e reduzida quantidade de pessoas a bordo, e em razão da existência de grandes quantidades de líquidos e combustíveis inflamáveis no seu interior, são classificadas como risco 4, segundo a Portaria 3.214, de 08 de junho de 1978, do Ministério do Trabalho, NR 4 - Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho, Classificação Nacional de Atividades Econômicas.

Apesar da existência de sistemas de proteção e combate a incêndio, incêndios em instalações *offshore* é uma realidade que a indústria do petróleo convive ao longo da sua existência (Quadro 3).

Segundo a NFPA 750 (NFPA, 2000) água nebulizada é utilizada na extinção nos ambientes onde há fogo em jato de gás, líquidos combustíveis e inflamáveis, sólidos perigosos, inclusive fogos que envolvem espuma de plástico, proteção aos passageiros e tripulação em aeronaves de incêndio externo de poça facilitando o escape, incêndio de classe A (madeira, papel, tecidos, etc.), incêndios em equipamentos elétricos, classe C (transformadores, interruptores/disjuntores, circuito britador, e motores), equipamentos eletrônicos (salas de comutadores, e telecomunicações).

De acordo com o SOLAS, (2004) FSS Code (FSS Code, 2007), os ambientes *offshore* a serem protegidos são; camarotes, corredores, espaços públicos, salas de máquinas, sala de bombas e compartimento de máquinas categoria A<sup>1</sup>.

Estudos realizados sobre proteção contra incêndio em compartimentos de turbinas a gás reportam que sistemas fixos de combate a incêndio que utilizam agentes gasosos apresentam uma elevada taxa de falhas (cerca de 49%).

Destas falhas, 37% são atribuídas à perda do agente pelos sistemas de ventilação ou devido a portas mantidas, inadvertidamente, abertas (DUNDAS, 1990).

---

<sup>1</sup> Compartimento de máquinas de Categoria A, definido pelo SOLAS, capítulo II-2, regra 3.

Todos os compartimentos que contêm caldeiras a óleo ou gás ou máquinas de combustão interna usadas para:

- a) Acionamento de propulsores principais;
- b) Outras finalidades além do acionamento dos propulsores principais, desde que a potência total de tais máquinas seja superior a 375 kW.

## 1.1 PROBLEMA

Ao descrever os problemas que a indústria encontrou em razão da aplicação do PROTOCOLO DE MONTREAL, no que concerne aos agentes extintores de incêndios utilizados nas instalações *offshore* localizados na bacia continental.

O presente trabalho concerne à proposição dos seguintes objetivos:

- Fornecer informações sobre prevenção e combate a incêndio em instalações *offshore*;
- Descrever o mecanismo de ação utilizada pela tecnologia de água nebulizada (*Water Mist*);
- Comentar os aspectos abordados tanto positivos quanto negativos dos problemas associados à utilização de água nebulizada (*Water Mist*) como agente extintor em instalações *offshore*;
- Fornecer condições para tomada de decisão quanto à [PARTICULA9] escolha dos locais a serem protegidos com esta tecnologia;
- Oferecer respostas para os questionamentos a respeito da possibilidade do uso da tecnologia de água nebulizada (*water mist*) em equipamentos elétricos.

## 1.2 DESDOBRAMENTO DO ESTUDO

O estudo tem como meta questionar os seguintes temas:

- Conseqüências do acionamento automático do sistema;
- A utilização de pequenos volumes de água;
- Limpeza do ambiente após o incêndio;
- Os efeitos dos aditivos químicos (bactericidas e inibidores de corrosão) para as pessoas e no meio ambiente;
- Ruído provocado pela operação do sistema;
- Efeito da água em equipamentos elétricos;



- Extinção em pequenos focos de incêndio.

Após o PROTOCOLO DE MONTREAL, a utilização do Halon 1301<sup>2</sup> como agente extintor de incêndio foi proibido, logo, as indústrias no mundo têm buscado soluções para a utilização de um agente extintor alternativo ao Halon 1301.

Muitos produtos e tecnologias foram lançados no mercado, como: agentes químicos (FE-13<sup>3</sup>, FE-24<sup>4</sup>, FE-36<sup>5</sup>, FE-125<sup>6</sup>, FM-200<sup>7</sup>, CEA-308<sup>8</sup>, CEA-410<sup>9</sup>, ECARO-25<sup>10</sup>, NOVEC-1230<sup>11</sup>, NAF SIII<sup>12</sup>, FIC-13 II (Triodide)<sup>13</sup>), gases inertes (INERGE<sup>14</sup>N, ARGONITE<sup>15</sup>, ARGOTEC<sup>16</sup> e NN-100<sup>17</sup>), Aerossol (Particulado Sólido) e Água Nebulizada (*Water Mist*).

Agentes extintores são substâncias que, devido às suas características, quando lançados sobre um incêndio o extinguem.

### 1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Dar-se-á através do melhor conhecimento desta tecnologia, sua aplicabilidade, fatores positivos e negativos do seu uso, explicação do mecanismo de extinção; fatos importantes na sustentabilidade da decisão na escolha desta tecnologia de extinção.

<sup>2</sup> Halon 1301 – Composto orgânico bromado – CF<sub>3</sub>Br

<sup>3</sup> FE-13 – Compostos organo-fluorado – CHF<sub>3</sub>

<sup>4</sup> FE-24 – Composto organo-clorofluorado – CHClFCF<sub>3</sub>

<sup>5</sup> FE-36 – Composto organo-fluorado – CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>

<sup>6</sup> FE-125 – Composto organo-fluorado – CHF<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>

<sup>7</sup> FM – 200 – Composto organo-fluorado – CF<sub>3</sub>CHFCF<sub>3</sub>

<sup>8</sup> CEA-308 - Compostos organo-fluorado – C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>

<sup>9</sup> CEA-410 - Compostos organo-fluorado – C<sub>4</sub>F<sub>10</sub>

<sup>10</sup> ECARO-25 - Compostos organo-fluorado – CHF<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>

<sup>11</sup> NOVEC-1230 - Compostos organo-fluorado – CF<sub>3</sub>CF<sub>2</sub>C(O)CF(CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

<sup>12</sup> NAF S III - Compostos dichlorotrifluoroethano - CF<sub>3</sub>CHCl<sub>2</sub>, CF<sub>2</sub>HCl, CF<sub>3</sub>CHFCI

<sup>13</sup> FIC-1311 ( Triodide) – Composto Trifluorido-metano) – CF<sub>3</sub>I

<sup>14</sup> INERGEN – Mistura de Nitrogênio, CO<sub>2</sub> e Argônio;

<sup>15</sup> ARGONITE – Mistura equimolecular de Argônio e Nitrogênio

<sup>16</sup> ARGOTEC – Composto com 100% de Argônio

<sup>17</sup> NN-100 – Composto com 100% de Nitrogênio

## 1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A abrangência da pesquisa dar-se-á no âmbito de uma instalação *onshore/offshore* sobre o desempenho do sistema de proteção contra incêndio utilizando água nebulizada. A ser aplicado no ambiente *offshore*

A oportunidade de comércio para os sistemas de água nebulizada para combate a incêndios surgiu após a assinatura do Tratado de Montreal. A necessidade de um protocolo surgiu quase que imediatamente quando a destruição da camada de ozônio antártico foi publicada em junho de 1985. Negociações globais para um protocolo foram colocadas em primeiro plano, e resultaram na adoção em setembro de 1987 do Tratado de Montreal sobre substâncias que destroem a camada de ozônio.

O PROTOCOLO DE MONTREAL<sup>[PARTICULA10]</sup> passou a vigorar em janeiro de 1989 e é a base legal para o esforço mundial de proteção à camada de ozônio através de controles sobre a produção, consumo e uso de substâncias destruidoras de ozônio<sup>[PARTICULA11]</sup>.

Em 1992, o IMO (*International Maritime Organization*) emitiu uma emenda para a regulamentação do uso de hidrocarbonetos halogenados - SOLAS II-2/5 3.1, na qual, entre outras providências, estabeleceu que “Novas instalações com sistemas de hidrocarbonetos halogenados deveriam ser proibidas em todas as embarcações”. Na época, não havia alternativas comercialmente disponíveis no mercado em substituição ao Halon, então, a opção foi retornar ao sistema de dióxido de carbono, o único sistema gasoso de combate a incêndio reconhecido pelo SOLAS e pelas regras da maioria das Sociedades Classificadoras<sup>[PARTICULA12]</sup>.

## 1.5 A ESTRUTURA DO TRABALHO

A concepção, o planejamento e a elaboração de uma proposta de dissertação de mestrado são, na realidade, um trabalho complexo e desafiante.

Pesquisar é simplesmente reunir informações necessárias para encontrar resposta para uma pergunta e assim chegar a uma solução de um problema. Quem não for capaz de fazer uma pesquisa confiável, nem relatórios confiáveis sobre a pesquisa de outros, acabará por se achar à margem de um mundo que cada vez mais vive de informação. Portanto, antes mesmo de dar o primeiro passo em direção a um relatório de pesquisa, você deve pensar no tipo de diálogo que pretende ter com seus leitores, no tipo de relação que deseja estabelecer com eles, no tipo de relação que espera que queiram e possam ter com você, mas quem você e eles pensam que todos vocês devem ser (BOOTH, 2005).

Então, o trabalho deve ser original e representar um progresso para a área científica em que se situa de tal forma que quaisquer que sejam as técnicas de pesquisa adotadas devem trazer uma contribuição nova relativa ao tema abordado.

A idéia deste trabalho foi desenvolvida com base na experiência do autor que é especialista em sistema proteção de combate a incêndio em instalações *offshore* e também presta consultoria há diversas companhias do segmento *offshore*. Além disso, a configuração desta idéia está alicerçada na importância de mostrar a tecnologia de combate a incêndio utilizando água nebulizada (*water mist*<sup>[PARTICULA13]</sup>), bem como<sup>[PARTICULA14]</sup>, fundamentar bases para a sua escolha.

O trabalho desenvolve-se em sete capítulos. Sendo o primeiro apresenta à origem do trabalho, os objetivos, as justificativas, restrições e as hipóteses e a metodologia aplicada; o segundo capítulo é o referencial teórico, onde é descrita a introdução sobre a situação relativa à utilização de sistema de combate a incêndio depois do Protocolo de Montreal, marco importante para o entendimento e da gestão do meio ambiente, a caracterização da situação problema.

O terceiro capítulo aborda a<sup>[PARTICULA15]</sup> fundamentação teórica da tecnologia de água nebulizada (*water mist*). Já no quarto são abordados os ensaios de campo. O quinto foca a análise dos resultados de campo e as considerações. As conclusões e as propostas para trabalhos futuros estão relacionadas no capítulo 6, o sétimo capítulo<sup>[PARTICULA16]</sup> para o referencial bibliográfico.

## 2 CONSIDERAÇÕES SOBRE INCÊNDIOS E RISCOS EM INSTALAÇÕES OFFSHORE

### 2.1 TEORIA DO FOGO E INCÊNDIO

Neste item, busca-se passar o conhecimento das condições que determinam a ocorrência da combustão de uma substância, essencial para a compreensão dos princípios em que se baseia a ciência do controle e extinção do fogo.

Para o início de um estudo sobre incêndio, indiscutivelmente, faz-se necessário o conhecimento de determinados princípios básicos sobre o fogo.

O fogo é uma necessidade indiscutível à vida moderna, como sempre foi aos nossos antepassados, desde a Idade da Pedra, quando era usado, exclusivamente, para o aquecimento do homem da caverna. O fogo é definido como um fenômeno físico-químico onde se tem lugar uma reação de oxidação rápida que gera calor e luz, chamada de combustão. Para que ocorra uma reação de oxidação devem estar presentes um material combustível e um agente oxidante. O oxigênio é o elemento oxidante fundamental no fogo. [PARTICULA17]A oxidação de um material ocorre continuamente, enquanto estiver presente um agente oxidante, porém, à temperatura ambiente, a reação é tão lenta que não chega a ser perceptível. Em temperaturas mais altas, como as criadas por uma fonte de ignição, a taxa de oxidação torna-se rápida, gerando grandes quantidades de calor, que podem ser suficientes para manter a combustão.

Considera-se como incêndio a presença de fogo em local indesejado que tenha a tendência de se alastrar e que seja capaz de provocar, além de prejuízos materiais, queimaduras, quedas, intoxicação por fumaça e até morte (LISBOA, 2003). O fogo se manifesta diferentemente em função da composição química do material, da área superficial exposta, das condições de exposição ao calor, da oxigenação e da umidade contida no material.

Para o início de um estudo sobre incêndio, indiscutivelmente, faz-se necessário o conhecimento de determinados princípios básicos sobre o fogo [PARTICULA18].

Na vida moderna o fogo, ou melhor, dizendo a combustão é usada para a indústria, para os transportes, para a produção de energia e inúmeras outras necessidades, é indispensável, é usado intensamente tanto no mais humilde lar como na mais complexa indústria. O fogo, quando sob controle, é sempre de extrema necessidade, entretanto, quando foge ao controle do homem, transforma-se num agente de grande poder destruidor: o incêndio.

O fogo, provavelmente foi descoberto pelo homem das cavernas que o conhecia apenas como uma força misteriosa que aquecia a caverna e cozinhava sua comida, portanto nada sabia sobre suas causas, apenas conhecia seus efeitos que utilizava.

O fogo é um processo químico que obedece rigorosamente às leis físico-químicas tomando por base os seguintes requisitos:

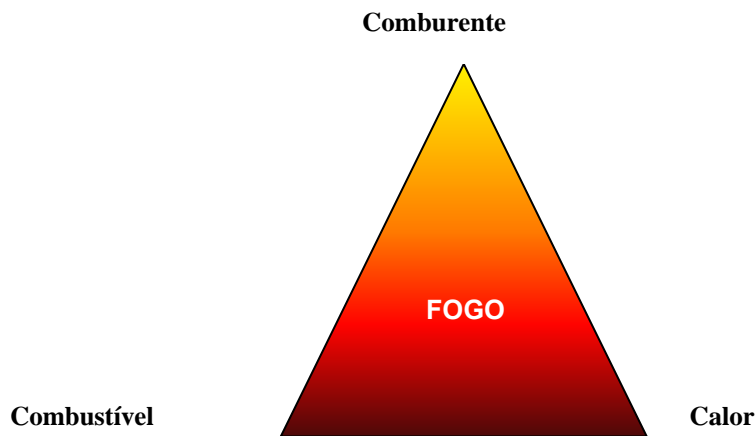
- Resfriamento - quando se retira o calor;
- Abafamento - quando se retira o comburente;
- Isolamento - quando se retira o combustível.

A resultante dessas ações produz os resíduos da combustão constituídos de: dióxido de carbono, água, óxidos diversos e cinzas, bem como o calor e a luz.

Para que haja condições de deflagração do incêndio, primeiramente é necessário que o combustível e o oxigênio estejam presentes, quantitativamente, em determinada proporção, o que depende da composição química do combustível.

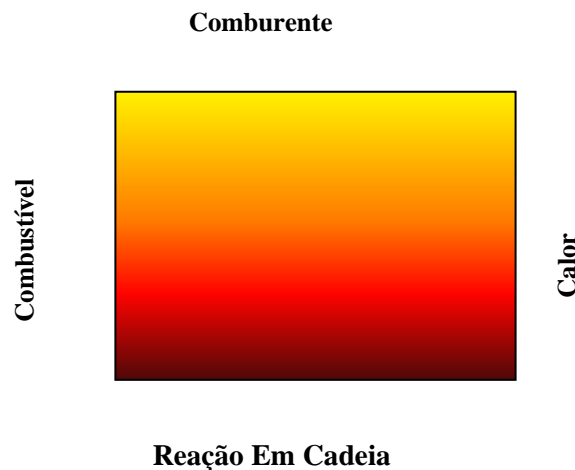
A indisponibilidade do oxigênio na faixa de concentração ideal necessária à combustão ocorre que, ou a combustão não se dá por completa ou a combustão é interrompida. Para haver a combustão completa é fundamental que se tenha um excesso de oxigênio baseado nas condições ideais de queima (temperatura e pressão).

Todo fogo “comum” (que não produz seu próprio suprimento de oxigênio), ocorre quando uma substância combustível, na presença do ar (oxigênio), é aquecida até chegar a uma temperatura definida, chamada temperatura de ignição da substância. Essa teoria é conhecida como o “triângulo do fogo”, apresentado a seguir na Figura 1, e a extinção do incêndio ocorre quando há a remoção de qualquer um de seus lados.



**Figura 1** - Esquema da configuração do triângulo do Fogo.  
Fonte: Elaborada pelo autor

Na ótica de SEITO et al., (2008) o conceito mais atual na teoria do fogo inclui um quarto componente necessário para a propagação do fogo, transformando o triângulo do fogo no Quadrilátero do Fogo. Este componente é a reação química em cadeia do fogo, que é o processo de sustentabilidade da combustão, pela presença de radicais livres que são formados durante o processo da queima do combustível.



**Figura 2** - Quadrilátero do Fogo  
Fonte: Elaborada pelo autor

Cada lado desse quadrilátero representa um componente necessário para a permanência da combustão. A combustão continuará até que:

- O material combustível seja consumido ou removido;

- A concentração do agente oxidante seja reduzida abaixo da concentração necessária para ativar a combustão;
- O material combustível seja resfriado abaixo de sua temperatura de combustão;
- A reação em cadeia seja interrompida.

Todos os métodos de prevenção, controle e extinção de incêndio baseiam-se em um ou vários desses princípios.

Os materiais combustíveis podem ser líquidos, sólidos e gasosos. Entretanto, a reação de combustão ocorre sempre no estado gasoso e no caso de combustíveis sólidos e líquidos, ocorre na superfície vaporizada através de energia térmica: o sólido ou líquido é aquecido por uma fonte externa, desenvolve vapores combustíveis que se misturam com o oxigênio e formam a mistura inflamável. Com a continuidade do aquecimento, aparece a chama em sua superfície, a qual fornece mais calor que contribui para a continuidade da queima do material. Alguns sólidos pirofóricos não se comportam conforme este mecanismo.

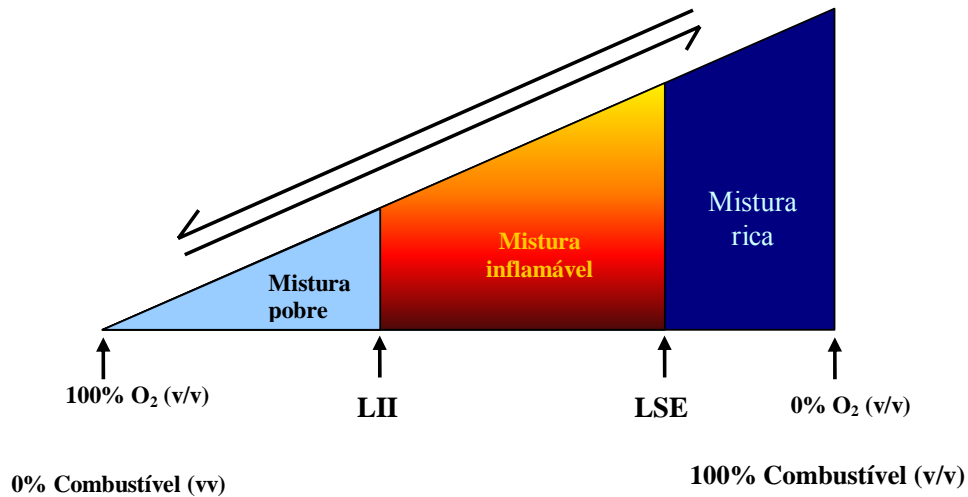
Os materiais sólidos não queimam por mecanismos tão definidos e característicos como o dos líquidos. Para materiais líquidos, existe o conceito de ponto de fulgor, que é a menor temperatura na qual esses materiais liberam uma quantidade de vapor que, ao contato com uma fonte de ignição, produz uma centelha, porém incapaz de manter a combustão. A temperatura na qual um material líquido emana vapores em uma quantidade suficiente para, na presença de uma fonte de ignição, iniciar e dar continuidade à combustão chama-se ponto de combustão. A temperatura (fornecida pela fonte de ignição) na qual um material inicia a sua reação de combustão em contato com o ar é denominada de ponto de auto-ignição. A Figura 3, a seguir, mostra a variação da inflamabilidade de um material frente ao aumento de temperatura.

Os líquidos são classificados pela Norma Brasileira NBR 7505 (ABNT NBR 7505, 2006), quanto a seu ponto de fulgor, em inflamáveis (ponto de fulgor inferior a 37,8 ° C) e combustíveis (ponto de fulgor maior ou igual a 37,8 ° C).

A mistura inflamável vapor-ar possui uma faixa ideal de concentração para se tornar inflamável ou explosiva. Os limites desta faixa são denominados limite inferior de inflamabilidade (LII) e limite superior de inflamabilidade (LSI), expressos em porcentagem ou volume (GAS BOOK – HONEYWELL, 2006). Fora desses limites, a ignição não ocorre. Acima do LSI, a mistura é denominada “rica”, pois possui grande

concentração de combustível e baixa concentração de oxigênio; abaixo do LII a mistura é denominada “pobre”.

### Limites de Inflamabilidade



**Figura 3** - Representação de Limite de Inflamabilidade  
Fonte: Elaborada pelo autor

Pode-se definir a combustão ou queima como sendo uma reação química exotérmica entre uma substância (o combustível) e um gás (o comburente), usualmente o oxigênio, para liberar calor. Em uma combustão completa, um combustível reage com um comburente, e como resultado se obtém compostos resultantes da união de ambos, além de energia, sendo que alguns desses compostos são os principais agentes causadores do efeito estufa, (GUIMARÃES GUIMARES et al., 2005).

Os produtos finais resultantes da combustão são normalmente o vapor d'água e o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), podendo também produzir o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ).

As chamas produzidas pela combustão consistem em um fluxo de gases ou vapores queimando (reação em cadeia), emitindo luz resultante da ação do calor sobre a substância combustível.

A combustão como acima descrita é uma oxidação rápida, entretanto, também existe a oxidação lenta sem produção de incêndio como a oxidação do ferro (ferrugem), a fermentação oxidativa, etc.



## 2.2 COMBUSTÃO COMPLETA

Entretanto, para desencadear um incêndio, não basta apenas a presença do combustível e do oxigênio. Há necessidade, além disso, de um determinado grau de calor que se denomina ponto de combustão, o qual oscila de acordo com a composição do combustível. Daí resulta que um combustível incendiado só pode continuar a queimar, se seu ponto de combustão foi alcançado ou superado. Porém, para que um combustível se incendeie por si, isto é, sem recurso de uma chama, é preciso que a temperatura tenha alcançado o ponto de ignição (VELASQUES, 2006).

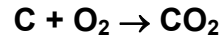
## 2.3 COMBUSTÃO INCOMPLETA

O oxigênio está presente no ar em uma percentagem aproximada de 20,9476% (GAS BOOK – HONEYWELL, 2006). Se o teor de oxigênio no ar aumenta, a combustão se faz mais intensa, isto é, a velocidade da combustão aumenta. Em ambiente de oxigênio puro, muitos corpos queimam sob a forma de explosão (quando a combustão se processa de forma súbita, com velocidade superior a 300 m/s).

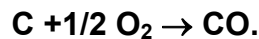
Quando o teor de oxigênio no ar se estabelece abaixo da média normal, primeiramente, reduz-se a velocidade da combustão e, assim, é atingida a percentagem crítica onde o incêndio se extingue. O ponto crítico não é o mesmo para todos os corpos. Enquanto que nos combustíveis líquidos o incêndio já pode extinguir-se quando o teor de oxigênio no ar chega a 16%, por exemplo, uma vela só apagar-se-á com 14% e o carvão pode ainda permanecer em brasa, com apenas 9%.

A combustão produzida com insuficiência de oxigênio é chamada de combustão incompleta. O que ocorre quimicamente, quando, por exemplo, em um ambiente estanque queima-se carbono, ou seja, enquanto o teor de oxigênio no ar não sofrer redução sensível, uma pequena parte do carbono; especialmente as

camadas marginais queimarão completamente. Quimicamente, isto se expressa pela fórmula:



Como não se dá adição de ar puro e como a combustão consome oxigênio, rapidamente se produzirá a escassez de oxigênio. A combinação far-se-á entre, apenas, uma parte de oxigênio e uma parte de carbono, formando monóxido de carbono, até que a presença de oxigênio se torne tão pequena que o incêndio se apague totalmente. A fração desse processo é representada por:



## 2.4 COMBUSTÃO ESPONTÂNEA

Reconhece-se a combustão espontânea pela forte formação de fumaça. A fumaça contém pequenas partículas de fuligem, materiais irritantes e venenosos, especialmente o monóxido de carbono. Ordinariamente, a fumaça contém menos 0,5 % de monóxido de carbono, mas, sob a ação prolongada, bastam apenas 0,5 % para produzir danos à saúde; 2% matam em 1 hora e 10% repentinamente. Os demais materiais irritantes e venenosos, tais como: dióxido de enxofre, ácido sulfúrico, etc., presentes na fumaça, aumentam-lhe consideravelmente a toxicidade, (VELASQUES, 2006).

Em geral, por combustão espontânea de um corpo, entende-se um processo em que o corpo absorve oxigênio do ar ou de outro portador de oxigênio e com isto, se aquece de tal modo, que é ultrapassado o ponto de ignição. Assim o corpo se inflama sem a presença de uma chama ou faísca de ignição.

Há também casos de combustão espontânea, que, são condicionados à decomposição interna do corpo. Por exemplo, pela influência dos raios solares ou os que podem mesmo ser deflagrado por sua própria disposição à decomposição. A cloretila e os ácidos poli-acetil-carbônicos inflamam-se apenas com a luz do dia.

Em ambos os casos, a combustão espontânea trata-se de processos químicos, pois a estrutura íntima do corpo sofre alteração.

Um corpo pode inflamar-se só por si quando é ultrapassada a temperatura do seu ponto de ignição. Os químicos não consideram esse processo como combustão espontânea porque é deflagrado por influências físicas. Em proteção contra incêndios, porém, o que importa em primeiro lugar é o efeito, ficando em segundo plano as causas, razão por que desejaria considerar como combustão espontânea também aquelas inflamações, causadas por influência físicas, desde que o sejam sem presença de uma chama ou faísca de ignição.

Alguns profissionais adotam o critério de considerar que nas combustões espontâneas não pode haver a adução de calor externo. Isto não está totalmente certo, porque senão não poderia designar a inflamação da madeira por um tubo de vapor como combustão espontânea. Por vezes, é necessária a presença do calor aduzido e do calor produzido para que se dê uma combustão espontânea.

Em proteção contra incêndio a definição da combustão espontânea deve, pois, ser a seguinte: "Processo pelos quais os corpos se inflamam sem o curso de uma chama ou faísca de ignição".

Finalmente, cabe ao próprio ponto de ignição, uma boa parte da responsabilidade. É claro que um corpo de baixo ponto de ignição poderá inflamar-se mais facilmente, devido às influências físicas, do que outro de ponto de ignição mais elevado.

## 2.5 PROPRIEDADES DAS SUBSTÂNCIAS INFLAMÁVEIS

Nas determinadas etapas no processo de avaliação de riscos na indústria *offshore* são necessários que se conheça como se comportam e reagem as substâncias combustíveis e inflamáveis, portanto, a seguir são descritos alguns dos principais conceitos e definições necessários para esta avaliação.

### 2.5.1 Líquido Combustível

De acordo com Portaria nº. 3.124 - (MINISTÉRIO DO TRABALHO, NR-20, (1978), Para efeito desta Norma Regulamentadora fica definido “líquido combustível” como todo aquele que possui o ponto de fulgor superior a 37,8 °C (100° F) e abaixo de 60° C (140° F).

Os líquidos combustíveis são classificados como Classe II ou Classe III, conforme a seguir:

- Líquido Classe II – qualquer líquido que possua ponto de fulgor igual ou superior a 37,8 °C (100° F) e abaixo de 60° C (140° F);
- Líquido Classe IIIA – qualquer líquido que possua ponto de fulgor igual ou superior a 60,0 °C (140° F) e abaixo de 93° C (200° F);
- Líquido Classe IIIB – qualquer líquido que possua ponto de fulgor igual ou superior a 93° C (200° F) .).

### 2.5.2 Líquido Inflamável

De acordo com a Portaria no. 3.124 - Ministério do Trabalho, NR-20 (1978), Para efeito desta Norma Regulamentadora, fica definido líquido inflamável “como todo aquele que possui ponto de fulgor inferior a 70° C (setenta graus centígrados) e pressão de vapor que não exceda 2,8 kg/cm<sup>2</sup> absoluta a 37,7° C (trinta e sete graus e sete décimos de graus centígrados)”.

Os líquidos inflamáveis são classificados como Classe I são os que têm ponto de fulgor inferior a 37,8° C (100° F), e pressão de vapor que não exceda a 2068,6 mm Hg (40 psia) a 37,8 ° C (100° F).

Os líquidos da Classe I são subdivididos conforme abaixo:

- Líquido Classe IA – líquidos que tenham ponto de fulgor abaixo de 22,8 °C (73° F) e ponto de ebulição inferior a 37,8° C (100° F);
- Líquido Classe IB – líquidos que tenham ponto de fulgor abaixo de 22,8 °C (73° F) e ponto de ebulição igual ou superior a 37,8° C (100° F);

- Líquido Classe IC – Líquidos que tenham ponto de fulgor igual ou superior a 22,8 °C (73° F), porém inferior a 37,8° C (100° F).

### **2.5.3 Ponto de Fulgor (*Flash Point*)**

É a temperatura mais baixa na qual um combustível desprende uma quantidade de vapores que, misturados<sup>[PARTICULA19]</sup> com o ar e na presença de uma fonte de ignição, ocasiona um centelhamento. Nesta temperatura a quantidade de vapores ainda é insuficiente para dar continuidade à combustão (VELASQUES, 2006).

### **2.5.4 Ponto de Combustão**

É a temperatura, pouco superior a ponto de fulgor, na qual a quantidade de vapores desprendida do combustível, misturados<sup>[PARTICULA20]</sup> ao ar e na presença de uma fonte de ignição, inicia e mantém a combustão (VELASQUES, 2006).

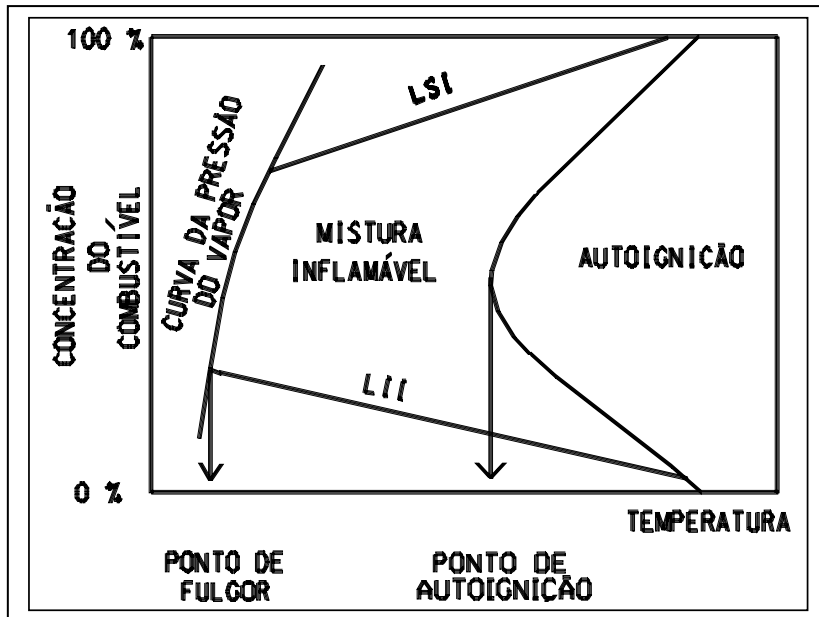
### **2.5.5 Ponto de Auto-Igنيção**

É a temperatura na qual os vapores gerados por um combustível entram em processo de combustão espontânea pela energia acumulada (VELASQUES, 2006).

### **2.5.6 Ponto de Ebulição**

O ponto de ebulição é temperatura definida quando o líquido está sujeito a aplicação de uma fonte de calor, há um desprendimento de bolhas de vapor, quando

o menor está sujeito a pressão atmosférica externa. Esse processo é chamado de Ebulição, e a temperatura na qual a ebulição se inicia é chamada de ponto de ebulição. O desenvolvimento de vapor em líquidos em ebulição é muito mais violento do que os líquidos em evaporação. O gráfico apresentando na Figura 4 mostra as curvas de concentrações versus temperatura (VELASQUES, 2006).



**Figura 4** - Representação do ponto de fulgor, combustão e auto-ignição  
 Fonte: Gaás Explosion Handbook

## 2.6 CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS

Segundo GOMES (1998), a classificação dos incêndios depende fundamentalmente do modo como [\[PARTICULA21\]](#) é avaliada sua periculosidade. Qualquer metodologia que seja o adotado haverá sempre material combustível envolvido, em maior ou menor quantidade, representando pelo mobiliário, pelas peças decorativas, aparelhos elétricos, livros paredes divisórias, forros falsos, nas áreas residenciais [\[PARTICULA22\]](#) e comerciais. Nas áreas industriais, outros materiais, como os aplicados nas embalagens e nas matérias-primas de fabricação de produtos, inclusive químicos. A esses mencionados, se podem juntar os utilizados na construção dos prédios.

Os incêndios são classificados em função das características dos combustíveis conforme mostra o Quadro 1, sendo esta classificação útil para a adequação do agente extintor. Assim temos, de acordo com a Norma Brasileira NBR 12693 (ABNT NBR 12693, 1993), os incêndios são classificados em 4 classes principais, Classe A, Classe B, Classe C e Classe D.

<b>Classe</b>	<b>Exemplos de Materiais Combustíveis</b>
A	Materiais sólidos fibrosos, tais como: madeira, papel, tecido, etc; que queimam em superfície e profundidade e se caracterizam por deixar após a queima, resíduos como carvão e cinzas.
B	Líquidos e gases inflamáveis, que queimam apenas em superfície ou em sólidos que se liquefazem para entrar em combustão: gasolina, GLP, parafina, etc.
C	Envolvem equipamentos elétricos energizados: motores, geradores, computadores, painéis elétricos, cabos, etc.
D	Metais pirofóricos, tais como: magnésio, titânio, potássio, zinco, sódio, fósforo, etc.

**Quadro 1** - Classe de Incêndio  
Fonte: Couto (2005)

### 2.6.1 Incêndio da Classe A

São os que ocorrem nos combustíveis mais comuns (papel, madeira, tecido e borracha). Quando queimam deixam cinzas. A combustão ocorre na superfície e em profundidade.

Os incêndios da Classe A necessitam para sua extinção do resfriamento com água para reduzir a temperatura do material em combustão abaixo do seu ponto de combustão.

### 2.6.2 Incêndio da Classe B

São os que ocorrem em líquidos inflamáveis ou combustíveis. Quando queimam não deixam resíduos. A combustão ocorre unicamente acima da superfície do líquido.

O abafamento e a interferência na reação em cadeia são os métodos de extinção mais apropriados. Em geral, a utilização de água não reduz a temperatura desses líquidos abaixo do respectivo ponto de fulgor.

### **2.6.3 Incêndios da Classe C**

São os que ocorrem em equipamentos elétricos energizados. Para sua extinção, devem ser empregados agentes extintores não condutores de energia elétrica ( $\text{CO}_2$ [PARTICULA23], Halon e Pó Químico Seco).

### **2.6.4 Incêndios da Classe D**

São os que ocorrem em metais pirofóricos (magnésio, manganês, antimônio, titânio, etc). O abafamento é o método de extinção mais apropriado. Exige agentes extintores especiais que se fundem em contato com o metal em combustão, formando uma capa que isola do ar atmosférico, interrompendo a combustão.

## **2.7 MÉTODOS DE EXTINÇÃO**

Os princípios existentes para se extinguir o fogo são (FUNDACENTRO, 20061979):

### **2.7.1 Retirada do Material**

Consiste na retirada, diminuição ou diluição da quantidade de material ainda não atingido pelo incêndio ou, ainda, isolamento do campo de propagação do fogo. Exemplos são: o esvaziamento de um tanque de armazenamento de um líquido em



chamas e o aceiro praticado nos casos de incêndios em matas e florestas, que interrompe a continuidade do fogo, facilitando seu controle.

### 2.7.2 Resfriamento

É o método de extinção mais conhecido e consiste em diminuir a temperatura do material em chamas até que esta se situe abaixo da temperatura de combustão, quando não mais haverá o desprendimento de vapores. Os agentes extintores utilizados são a água ou soluções aquosas, agindo superficialmente e em profundidade. É mais empregado para incêndios da Classe A.

### 2.7.3 Abafamento

#### **REAÇÃO EM CADEIA**

Além do combustível, calor e oxigênio, uma teoria foi desenvolvida para explicar a combustão, introduzindo-se um quarto elemento : a **reação em cadeia**. Os combustíveis, após iniciarem a combustão, geram mais calor. Esse calor provocará o desprendimento de mais gases ou vapores combustíveis, desenvolvendo uma transformação em cadeia, que em resumo é o produto de uma transformação gerando outra.

É o método de extinção que consiste em reduzir a concentração do oxigênio presente no ar atmosférico, situado acima da superfície do combustível.

Experiências mostram que a existência de chama só acontece em ambientes com mais de 13% de oxigênio. Para líquidos e gases, qualquer agente extintor que consiga reduzir a concentração de oxigênio abaixo desse percentual, terá sucesso na extinção do incêndio. Para sólidos, a combustão pode continuar ocorrendo abaixo dos 13%, lentamente (sem chama), até que a concentração de oxigênio fique abaixo de 8%.

Os agentes extintores mais comumente usados para obter o abafamento são: espuma, pó químico seco, dióxido de carbono, água nebulizada.

Esses agentes são mais empregados para incêndios Classe B.

#### **.2.7.4 Reação em Cadeia**

Além do combustível, calor e oxigênio, uma teoria foi desenvolvida para explicar a combustão, introduzindo-se um quarto elemento: a reação em cadeia. Os combustíveis, após iniciarem a combustão, geram mais calor. Esse calor provocará o despreendimento de mais gases ou vapores combustíveis, desenvolvendo uma transformação em cadeia, que em resumo é o produto de uma transformação gerando outra.

### **2.8 AGENTES EXTINTORES DE INCÊNDIO**

#### **2.8.1 Água**

Segundo SECCO (1982), a água é o agente extintor mais antigo e mais utilizado no combate ao fogo. Em seu estado normal, a água é líquida e transforma-se em vapor a 100 °C, à pressão atmosférica. Em sua evaporação produz vapor na razão aproximada de 1 para 1640 em volume. Essa é uma propriedade de grande valor no combate a incêndio em locais fechados. A água natural possui gases (ar, CO<sub>2</sub>) e sais dissolvidos. Ela pode ser decomposta em seus elementos (hidrogênio e oxigênio) por corrente elétrica e por temperaturas acima de 1200 °C. Ferro e cobre aquecido ao rubro também decompõem a água. O gás cloro quando borbulhado em água produz ácidos clorídrico (HCl) e ácido hipocloroso (HClO). E os metais potássio, sódio e cálcio reagem violentamente produzindo hidrogênio e seus hidróxidos podendo gerar incêndios.

Como agente extintor, a água age principalmente por resfriamento e por abafamento, podendo paralelamente agir por emulsificação e por diluição, segundo o estado físico e a maneira como é empregada. No estado líquido, é usada em forma de jato ou neblina, podendo o jato ser sólido ou pulverizado, podendo, também ser utilizada na forma de vapor.

Na supressão por resfriamento, o fogo será extinto quando a superfície do material em combustão for resfriada até uma temperatura abaixo daquela que libera vapores em quantidade suficiente para manter a combustão. Na forma de gotículas, a água é facilmente convertida em vapor, aumentando o efeito de resfriamento pela absorção do calor. Incêndios de Classe A (combustíveis sólidos) devem ser extintos pela ação de resfriamento, pois atua em profundidade nestes materiais.

Para as áreas ainda não atingidas pelo fogo, a umidificação dos materiais combustíveis é um método bastante empregado (SECCO, 1982).

A extinção por abafamento ocorre quando se gera vapor em quantidade suficiente para o deslocamento do ar. Os incêndios de Classe B (incêndios em líquidos inflamáveis e gases combustíveis) podem ser extintos pela ação de abafamento, ajudada pela absorção de calor pelo vapor confinado na área de combustão, até a sua condensação, evidenciada pela formação de nuvens de vapor d'água (fumaça branca).

A extinção por emulsificação é empregada na extinção de líquidos inflamáveis viscosos, onde o efeito de resfriamento em sua superfície, pela aplicação da água, impedirá a liberação de seus vapores inflamáveis ou retardará, no caso de formação de espuma (forma que a emulsificação apresenta para alguns líquidos viscosos).

A extinção por diluição é empregada em materiais solúveis em água. É utilizada em incêndios envolvendo álcool etílico ou metílico, onde for possível estabelecer uma adequada mistura de álcool e água, não inflamável. Para tanques de armazenagem de líquido inflamável, deve-se considerar o risco do derramamento e transbordamento no uso de grande quantidade de água na diluição, bem como o risco da formação de espuma se a mistura for aquecida acima do ponto de ebulição da água.

### **2.8.2 Espuma**

É uma mistura de ar ou gás (normalmente o  $\text{CO}_2$ <sup>[PARTICULA24]</sup>), com um líquido gerador de espuma (LGE), água e agitação mecânica. A espuma formada possui densidade menor que a da água, podendo assim flutuar sobre líquidos inflamáveis mais leves que a água, produzindo uma cobertura que elimina o contato com o

oxigênio, apagando o fogo por abafamento. Em uma ação secundária, devido à presença de água, a espuma resfria e evita a vaporização do líquido, cessando ou prevenindo a combustão do mesmo.

De um modo geral é recomendado o emprego de quantidade adicional de espuma para se obter uma camada residual sobre a superfície do líquido, de modo a compensar as perdas devido à vaporização da película de água, por ação do calor e das chamas.

Conforme Carvalho<sup>[PARTICULA25]</sup> (2005), a capacidade extintora da espuma é melhor que a do pó químico e do CO<sub>2</sub><sup>[PARTICULA26]</sup> no combate a incêndios Classe A, sendo, entretanto, inferior à da água. Não devendo ser utilizada para incêndio Classe C, pois conduz eletricidade.

Existem diversos tipos de espuma com características diferentes e, na maioria das vezes são produzidas por princípios mecânicos, podendo ser citadas, por exemplo, as espumas proteínicas e sintéticas.

Nas espumas proteínicas, o LGE contém polímeros proteínicos naturais de alto peso molecular obtidos da hidrólise de proteínas naturais de origem animal ou vegetal. Os polímeros dão elasticidade, rigidez mecânica e capacidade de retenção de água às espumas que produzem. A existência de sais metálicos no LGE auxilia na melhoria da resistência das bolhas ao calor e chamas. Normalmente, estes LGE produzem espuma densa, viscosa, não tóxica, biodegradável após a diluição e de alta resistência ao calor e ao retorno das chamas.

Quando são adicionados agentes tensoativos fluoretados de superfície, a espuma deposita, então, uma película na superfície do combustível líquido, prevenindo a sua evaporação. Tais espumas são denominadas fluorproteínicas, possuindo menor viscosidade, maior resistência à temperatura, proporcionando menor quantidade de sedimentos e maior vida útil comparado ao LGE proteínico (CARVALHO, 2005).

Os LGE's sintéticos são compostos por materiais produzidos sinteticamente, com propriedades similares aos materiais protéicos<sup>[PARTICULA27]</sup>. Quando a espuma é acrescida de uma película de solução aquosa formada na superfície dos inflamáveis, é chamada de AFFF (*Aqueous film forming foam*), ou "água leve". Atualmente, são as mais utilizadas, possuindo baixa viscosidade, alta fluidez na superfície, alta velocidade de extinção e vida útil superior a 10 anos.

O LGE tipo AFFF regular, aplicado para extinção de incêndio em líquidos não polares, possui drenagem rápida (90 a 120 segundos) concentração mínima de 3% (v/v) na solução, e sua ação extintora está relacionada à liberação de uma camada aquosa posicionada na superfície do líquido em combustão.

O LGE AFFF tipo polivalente possui drenagem lenta, 300 a 400 segundos, em concentração mínima de 6% (v/v), sobre líquidos polares, os quais são miscíveis na água. Sua ação extintora está relacionada à produção de camada polimérica sobre a qual a espuma pode escoar sobre o líquido polar, sem, no entanto, ser destruída. Também atua sobre líquidos não polares em concentração mínima de 3% (v/v).

### 2.8.3 Pó Químico

De acordo com SECCO<sup>[PARTICULA28]</sup> (1982), a extinção de incêndio com pó químico ocorre por abafamento, e também por meio de uma reação química que contribui para a extinção da chama. A escolha do pó químico mais adequado à proteção de um determinado risco exige cuidadosa análise de seu emprego, devido a diferentes tipos de pó, que têm características apropriadas para cada classe de incêndio.

No caso de sistema fixo, deve-se considerar a limitação de distância do recipiente de armazenamento, tendo em vista a pressão necessária e as perdas pelo escoamento nas tubulações. O pó químico tem vantagem sobre o CO<sub>2</sub>, pois, sendo sólido, seu agente extintor desce pela ação da gravidade e sofre menos a influência das correntes de ar, possuindo uma ação de permanência sobre a superfície em chama, contribuindo para o abafamento e a realização da reação química.

Sistemas com pó químico podem ser pressurizados diretamente no recipiente de armazenamento ou por cilindro separado de gás, ou seja, por pressão injetada, normalmente se utiliza o nitrogênio como agente de pressurização, podendo também ser utilizado o CO<sub>2</sub>.

Os agentes extintores à base de bicarbonato de potássio e uréia ou à base de bicarbonato de potássio devem ser preferidos aos de bicarbonato de sódio, por possuírem maior capacidade extintora.

Os agentes à base de fosfato de monoamônio, conhecido como pó ABC ou universal, pela atuação nas Classes A, B e C. Nos incêndios das Classes B e C têm eficiência similar ao bicarbonato de sódio (exceto para óleos e gorduras). Em incêndio Classe A, se decompõe formando um depósito sobre o material em combustão, extinguindo as chamas por abafamento e não atuando em profundidade (CARVALHO, 2005).

Os resíduos dos agentes à base de cloreto de potássio são mais corrosivos que os demais pós. O pó ABC oferece maior dificuldade de remoção dos mesmos que entraram em contato com superfícies aquecidas, pois, fundem e endurecem ao se esfriarem.

#### **2.8.4 Halon**

Os halons são compostos organo-halogenados de baixa toxicidade, quimicamente estáveis e amplamente usados nos últimos 20 anos na supressão de incêndios e explosões. O Halon 1211<sup>18</sup> é um agente fluido líquido usado principalmente em extintores de incêndio manuais, enquanto o Halon 1301 é um agente gasoso usado principalmente em sistemas fixos de extinção por inundação total.

Em atendimento ao aspecto legal, este agente extintor de incêndio deverá ser banido o seu uso no Brasil até 2010.

#### **2.8.5 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

Segundo AMBIENTEBRASIL<sup>[PARTICULA29]</sup> (2006), dióxido de carbono é gás incolor, incombustível, e de odor característico e gosto suavemente ácido, que entra em pequena parcela na constituição da atmosfera, sendo a única fonte de carbono para as plantas clorofiladas. Em si não é venenoso e sua presença no ar em até

---

<sup>18</sup> HALON 1211 – Composto organo-fluorado – CBrClF<sub>2</sub>.

2,5% não provoca danos, mas em uma porcentagem de 4 a 5% causa enjôo e a partir de 8%, aproximadamente, torna-se mortal.

O CO<sub>2</sub> é normalmente associado ao efeito estufa, sendo inclusive parâmetro para a medição deste efeito (GWP), porém o agente utilizado como meio extintor, em sua obtenção, não está incluído neste conceito por ser um reaproveitamento de CO<sub>2</sub> existente (capturado, filtrado, liquefeito e colocado em cilindros ou tanques), que é devolvido ao meio ambiente por ocasião do uso.

### 2.8.6 Agentes limpos

Conforme o padrão NFPA 2001 (2001), os agentes limpos (gasosos) foram introduzidos como agentes de combate a incêndio em resposta às restrições de uso e fabricação de alguns agentes gasosos halogenados, pelo Protocolo de Montreal, de 16 de setembro de 1987. Cloro, flúor, bromo e iodo, presentes nesses gases, são capazes de degradar a camada de ozônio, quando liberados para a atmosfera.

Os agentes gasosos são rápidos e eficientes na extinção do incêndio e, principalmente, não deixam resíduos após sua aplicação (agentes limpos) e não são eletricamente condutores. São três os principais tipos de agentes gasosos atualmente disponíveis: gás carbônico, agentes químicos gasosos e gases inertes.

Portanto, não danificam a camada de ozônio e possuem ODP com valores próximos ou iguais a, além de não contribuírem para o efeito estufa, bem como não danificarem equipamentos elétricos, circuitos delicados e bens de elevado valor. Não são corrosivos, tóxicos, nem asfixiantes e, em concentrações mais elevadas, não há identificação de efeito adverso para o ser humano - (NOAEL).

Os agentes limpos mais usados são os halogenados à base de heptafluoropropano, conhecidos comercialmente como “FM 200” e “FE 227ea<sup>[PARTICULA30]</sup>”, o trifluormetano, “FE 13”, e o hexafluoropropano, “FE 36”, fabricados pela DuPont. Existem, ainda, os agentes extintores conhecidos como inertes, que possuem como componentes primários um ou mais dos gases: argônio, hélio, neônio ou nitrogênio, podendo como componente secundário conter CO<sub>2</sub>. Como exemplos de agentes inertes mais utilizados têm o INERGEN, ARGONITE e ARGOTEC. Ainda conforme o padrão NFPA 2001 (2001), os agentes limpos não devem ser usados para extinção de incêndios em nitrato de celulose e outros que são capazes de se oxidarem rapidamente na ausência de oxigênio. Em metais reativos como lítio, sódio, potássio, magnésio, titânio, zircônio, urânio e plutônio, e também em produtos que geram calor por autodecomposição térmica, como peróxidos orgânicos e hidrazina (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) e em metais hidretos metálicos (metal-hidrogênio).



### 2.8.7 Água Nebulizada (*Water Mist*)

A névoa de água, também chamada de neblina ou água atomizada, é um agente de extinção conhecido e utilizado há bastante tempo. Entretanto, há apenas alguns anos atrás esse agente passou a ter grande aceitação no mercado, como substituto aos gases halogenados em diversas aplicações, os quais foram proibidos em muitos países por contribuir para a degradação da camada de ozônio. Com o seu desenvolvimento, as qualidades efetivas da água nebulizada no combate a incêndio fizeram com que este agente ganhasse um crescente número de aplicações, em plantas de processo, turbinas a gás e a vapor, transformadores elétricos, bombas industriais, indústria automotiva e trens ferroviários (FACTORY MUTUAL RESEARCH, 2001).

Além de não causar danos ao meio ambiente, a névoa de água é segura para as pessoas, motivo pelo qual este agente tem-se tornado também um substituto do gás carbônico em muitas aplicações.

O padrão internacional NFPA 750 (NFPA, 2000) apresenta as seguintes definições para a água nebulizada: névoa de água na qual 99% do volume total de água saindo dos aspersores é formada de gotas com um diâmetro menor que 1000  $\mu\text{m}$ , na pressão mínima de operação do aspersor.

## 2.9 DEFLAGRAÇÃO, EXPLOSÃO, DETONAÇÃO.

A explosão é um evento que conduz a um aumento rápido de pressão. Este aumento de pressão pode ser causado por: reações nucleares, perda de retenção em recipientes de pressão alta, explosivos, reação metal (alcalinos e alcalinos ferrosos) gerando gases inflamáveis e explosões, combustão de pó, névoa ou gás (inclusive vapores) em ar ou em outros oxidantes (BJERKETVEDT et al., 2006).

De acordo MILANEZ NETO (1998), a classificação as explosões podem ser classificadas em:

- Explosões Físicas

São aquelas onde não há reações químicas, ou seja, as transformações são essencialmente físicas. Desta forma, são exemplos às explosões de vapor de água, vaporizações súbitas de substâncias voláteis em meio superaquecido, etc. A literatura consultada menciona acidentes em caldeiras de geração de vapor, ruptura catastrófica de vasos de pressão, etc.

#### - Explosões Químicas

São aquelas onde há a ocorrência de reação de transformação a nível molecular. As explosões químicas podem ser subdivididas em explosões em fase condensada e em fase gasosa. As chamadas explosões em fase condensada podem ocorrer devido a reações químicas exotérmicas fora de controle, decomposições e polimerizações de líquidos e sólidos. Nestes casos, o calor resultante da reação e ou reações provoca vaporizações e/ou aumento de temperatura de gases formados, o que conduz a pressões muito elevadas quando o sistema se encontra em equipamento fechado (MILANEZ NETO, 1998).

As explosões em fase gasosa podem ocorrer em sistemas contendo misturas de gases, vapores névoas ou poeiras com o ar. Neste tipo de explosão a reação química que se caracteriza ocorre entre as componentes existentes na mistura gasosa formada.

Na ótica de Milanez Neto (1998), para que ocorra uma reação de explosão, é preciso que as seguintes condições sejam satisfeitas:

- Presença de substância combustível em quantidade suficiente e sob forma de distribuição adequada (superfície de contato para reação, grau de dispersão);
- Presença de substância comburente em uma quantidade mínima acima da qual a reação com a substância combustível é possível;
- Existência de uma fonte de ignição eficaz, cuja função é iniciar a reação.

A explosão em fase gasosa entende-se como sendo uma reação química exotérmica de oxidação em mistura explosiva. Uma mistura explosiva é uma mistura de gases ou vapores entre si ou com névoas ou poeiras, na qual uma reação espontânea se propaga após efetuar-se uma ignição. A velocidade de propagação da reação de queima ou velocidade de propagação de frente de chama na mistura, e com isto o seu efeito, pode ser muito distinto. Em função desta velocidade, temos três fenômenos: deflagração, explosão e detonação.

Em deflagrações, à frente de chama e a onda de pressão se propagam quase que com a mesma rapidez, podendo atingir até 100 m/s, atingindo pressões de até 3 bar. Misturas que estejam a uma temperatura próxima de seu ponto de inflamabilidade inferior ou superior usualmente queimam na forma de deflagração. Exemplo: Ignição de uma mistura ar-poeira em recipientes abertos ou em grandes áreas fechadas.

Em explosões, a onda de pressão precede a frente de chama, cuja velocidade de propagação pode chegar à até cerca de 300 m/s, atingindo pressões de até 10 bar. Exemplo: Ignição de mistura de vapores de solvente com o ar em reator/tanque de estocagem fechado.

Em detonações, as ondas de pressão que se desenvolvem geram frentes de chama adicionais e o que se tem é um fenômeno bastante característico. Com isto, resultam velocidades de propagação muito altas, acima de 300 m/s e pressões finais de mais de 20 bar, como por exemplo, a ignição de misturas de gás-ar em tubulações longas.

Detonação é um tipo especial de explosão. Elas podem ocorrer em sólidos ou em líquidos. As detonações são particularmente destrutivas em função de:

- Elas se deslocam em alta velocidade (no interior de tubulações, vasos etc.);
- Elas são capazes de produzir pressões localizadas e muito altas.

As ondas de pressão comprimem o gás não queimado à frente da chama e aquecem a mistura. Enquanto a chama prossegue através do gás aquecido não queimado, ocorre uma deflagração, que produz uma frente de choque (pressão) imediatamente adiante da chama, que também envia ondas adicionais de pressão. Estas ondas de pressão estão se movendo mais rápido do que as anteriores, pois a mistura gasosa está aquecida. Eventualmente estas ondas ultrapassam as anteriores, causando um empilhamento dessas ondas ou um degrau de pressão que se movimenta no interior do tubo (BJERKETVEDT et al., 2006).

Quando isto ocorre, o degrau de pressão é chamado onda de choque. Ondas fracas ou de baixa pressão se deslocam à velocidade de propagação do som na mistura (cerca de 340 m/s no ar à temperatura ambiente e acima deste valor em misturas gasosas aquecidas); entretanto, ondas de choque fortes podem se deslocar a velocidades muito acima da velocidade do som. A chama segue as ondas de

choque e se desloca através de uma mistura gasosa cada vez mais e mais aquecida por estes pulsos crescentes de pressão.

Neste estágio existem duas frentes de choque principais, uma mais adiante e outra imediatamente à frente da chama. A mistura gasosa que a chama consome foi aquecida duplamente, uma vez pelo efeito de compressão do gás e outra pela onda de choque.

Ela se torna muito quente, mesmo antes de entrar em combustão. Isto aumenta a taxa de queima e a chama se torna mais e mais veloz. Em virtude da chama estar confinada pelas paredes da tubulação ou do vaso, a energia térmica da chama não se dissipa rapidamente e isto aumenta a reação na chama (BJERKETVEDT et al., 2006).

Este processo prossegue com a aceleração da chama. Quando a reação da chama se torna mais vigorosa e a chama atinge a máxima velocidade a que pode se deslocar inicia-se o processo de detonação.

A detonação, neste estágio inicial, desloca-se a uma velocidade maior que a velocidade do som. Ela se desloca através da mistura gasosa bem aquecida, porém não queimada, até alcançar a onda de choque, que anteriormente se deslocava à frente da chama. A detonação corre através desse pulso de pressão, absorvendo-o, de forma, que um único pulso de pressão continua através da mistura não queimada e ainda não pressurizada e alcança o estágio final.

Quando a detonação se inicia e se move através do gás aquecido e pressurizado, porém ainda não queimado, a multiplicação de pressão produzida pela frente de detonação pode alcançar de 60 a 100 vezes a pressão inicial na tubulação ou vaso.

Esta pressão é o produto do aumento de pressão devido à onda dianteira de choque multiplicada pelo aumento da pressão devido à detonação, podendo causar efeitos conforme listados, a seguir no Quadro 2.

Esta alta pressão tem uma duração muito curta, o que reduz o seu potencial de dano. Depois que a detonação tiver ultrapassado e absorvido a onda de choque e estiver se movendo através da mistura gasosa não aquecida e não queimada, a multiplicação da pressão será de cerca de 20 a 40 vezes a pressão inicial.

<b>PRESSÃO (Bar)</b>	<b>CONSEQUÊNCIAS PARA AS INSTALAÇÕES</b>
0,025 a 0,050	Quebra de vidros
0,070 a 0,150	Destruição de galpões
0,200 a 0,300	Esmagamento de tanques
0,500 a 0,800	Tombamento de veículos e vagões
1,500 a 3,500	Ruptura de paredes de concreto armado
<b>PRESSÃO (Bar)</b>	<b>CONSEQUÊNCIAS PARA PESSOAS</b>
0,35	Limite da ruptura do tímpano
0,700 a 0,850	Limite de danos aos pulmões
0,150 a 1,400	Ruptura de tímpanos em 50% dos casos
2,110 a 2,950	Limite mortal
2,950 a 4,000	Morte em 50% dos casos

**Quadro 2** - Efeitos da onda de sobrepressão

Fonte: Milanez Neto (1998)

## 2.10 RISCOS ASSOCIADOS AS INSTALAÇÕES OFFSHORE

Reconhecendo-se que a destruição da camada de ozônio é um tema que afeta a humanidade e que os organo-halogênados atualmente usados em equipamentos contra o incêndio podem ser reutilizados em outros equipamentos de proteção. O Brasil deixou de importar estes compostos de halons em atendimento ao Protocolo de Montreal.

Em razão da impossibilidade da utilização dos compostos halogenados destroem a camada de ozônio e da descoberta do CO<sub>2</sub> (gás carbônico) como agente causador do efeito estufa (PROTOCOLO DE KIOTO). O fortalecimento da legislação ambiental serviu como agente impulsionador dos processos de inovação tecnológicos nas indústrias. Diversos agentes extintores foram desenvolvidos, agentes limpos NFPA, (NFPA, 2001), gases inertes e aerossóis (SPE, 2003) e *Water Mist* (NFPA 750, 2000).

Como alternativa ao uso dos compostos organo-halogênados e CO<sub>2</sub>, a tecnologia de água nebulizada, surge como um agente extintor muito atraente devido ao seu mecanismo utilizado para extinção de incêndio (NFPA, 2001).

Os perigos associados ao segmento de exploração e produção de petróleo (E&P) e em instalações *offshore* são de um potencial enorme devido aos inventários observados nestas instalações. Há ausência de área de escape, equipamentos já no fim da vida útil e degradados pela ação corrosiva do ambiente e somados aos

processos de gestão inadequados, elevam o risco da ocorrência de incêndios e explosões nas instalações offshore.

Os acidentes, a seguir no Quadro 3, inevitavelmente acompanham o desenvolvimento da indústria de E&P *offshore*, sendo uma das principais fontes de impacto ambiental e acidentes de trabalho.

<b>Acidente em Plataformas de Petróleo</b>	
<b>Data</b>	<b>Evento</b>
Março de 1980	A plataforma Alexander Keillan de Ekofisk, no Mar do Norte, naufraga, deixando 123 mortos.
Junho de 1980	Uma explosão fere 23 em navio sonda na Bacia de Campos (BC), Petrobrás.
Outubro de 1981	Uma embarcação de perfuração afunda no Mar do Sul da China, matando 81 pessoas.
Fevereiro de 1984	Um homem morre e dois ficam feridos durante a explosão de uma plataforma no Golfo do México, diante da costa do Texas.
Agosto de 1984	37 trabalhadores morrem afogados e outros 17 ficam feridos na explosão de uma plataforma da Petrobrás na Bacia de Campos
Janeiro de 1985	A explosão de uma máquina bombeadora na plataforma Glomar Ártico II, no Mar do Norte, causa à morte de um homem e ferimentos em outros dois.
Outubro de 1986	Duas explosões na plataforma Zapata (Petrobrás) ferem 12 pessoas.
Outubro de 1987	Incêndio na plataforma da Petrobrás – Pampo, na Bacia de Campos, provoca queimadura em 6 pessoas.
Abril de 1988	Incêndio na plataforma Enchova (Petrobrás).
Julho de 1988	Desastre relacionado a plataformas de petróleo, 167 pessoas morrem quando a Piper Alpha, da Occidental Petroleum, explode no Mar do Norte, após um vazamento de gás.
Setembro de 1988	Um incêndio destrói uma plataforma da companhia americana de perfuração Ocean Odyssey, no Mar do Norte. Morre um operário
Abr/89	Plataforma Santa Fé Al Baz, Nigéria, explosão seguida de incêndio, 5 vítimas fatais.
Mai de 1989	Três pessoas ficam feridas com a explosão de uma plataforma da empresa californiana Union Oil Company. Ela operava na Enseada de Cook, no Alasca.
Novembro de 1989	Explosão de uma plataforma da Penrod Drilling, no Golfo do México, deixa 12 trabalhadores feridos.
Agosto de 1991	Três pessoas ficam feridas numa explosão ocorrida na plataforma Fulmar Alpha, da Shell, no Mar do Norte.
Outubro de 1991	2 operários ficam gravemente feridos na explosão em Pargo I, na BC (Petrobrás).
Dezembro de 1991	Um tripulante morre após uma explosão num navio petroleiro, no litoral do Estado de São Paulo.
Janeiro de 1995	13 pessoas morrem na explosão de uma plataforma da Mobil na costa da Nigéria. Muitas ficam feridas
Janeiro de 1996	Três pessoas morrem na explosão de uma plataforma no campo petrolífero de Morgan, no Golfo de Suez.
Novembro de 1999	Explosão fere duas pessoas na plataforma P - 31, na Bacia de Campos (Petrobrás).
Março de 2001	Explosões na plataforma P-36, na Bacia de Campos - Rio de Janeiro, causa a morte de onze operários (Petrobrás).
Setembro de 2002	A plataforma Arabdrill 19 , Arábia Saudita, explosão seguida de incêndio, 3 vítimas fatais.

Agosto de 2004	Plataforma Tamsah, Egito, explosão seguida de incêndio. Sem vítimas.
Julho de 2005	Campo de Mumbai High, mar da Arábia, Colisão na plataforma Mumbai High North (MHN), explosão seguida de incêndio, 22 vítimas fatais (11 mortos e 11 desaparecidos).
Outubro de 2007	Colisão da Jack-up Usumacinta com a plataforma Kab-11, explosão seguida de incêndio, 22 morreram.

**Quadro 3** - Principais Acidentes em Plataformas de Exploração no Mundo desde 1980

Fontes: [www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br): <http://www.oilrigdisasters.co.uk>: <http://home.versatel.nl>.

## 2.11 SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E EXPLOSÃO UTILIZADA EM INSTALAÇÕES *OFFSHORE*

O sistema de proteção contra incêndios e explosões tem como finalidade: detectar, alarmar, extinguir ou controlar incêndios, trazer a instalação para a condição mais segura e minimizar os seus efeitos sobre as pessoas, instalações e estruturas.

A locação e dimensionamento dos recursos de combate a incêndio e seus acessórios deve ser precedida de uma avaliação qualitativa e quantitativa dos riscos devendo considerar:

- Seleção dos focos de incêndio;
- Determinação das características das chamas;
- Determinação da radiação incidente;
- Cálculo da distribuição da temperatura nas estruturas;
- Análise de propagação de incêndio, entre outros.

Tradicionalmente as instalações *offshore* de petróleo utilizam sistemas fixos de combate a incêndio com CO<sub>2</sub><sup>[PARTICULA31]</sup> ou compostos organo-halogenados proteção de diversos compartimentos.

Estudos realizados sobre proteção contra incêndio em plataformas de petróleo nos compartimentos de turbinas a gás reportam que sistemas fixos de combate a incêndio que utilizam agentes gasosos apresentam uma elevada taxa de falhas (cerca de 49%). Destas falhas, 37% são atribuídas à perda do agente pelos sistemas de ventilação ou devido a portas mantidas, inadvertidamente, abertas (DUNDAS, 1990).

Os efeitos a saúde associada à exposição ao CO<sub>2</sub><sup>[PARTICULA32]</sup> são paradoxais. A concentração acima de 9% é considerada perigosa para os seres humanos e

enquanto que concentração de 30% ou mais são utilizadas para apagar incêndio total, a utilização deste extintor de incêndio poderá ser letal a pessoas, dependendo do tempo de exposição ao gás (WICKHAM, 2003).

As concentrações maiores que 17%, como são encontradas durante extinção de incêndio com CO<sub>2</sub>, fazem com que os seres humanos percam a coordenação motora, ficando em estado de inconsciência, com convulsões, podendo levar ao estado de coma e até mesmo a morte se o tempo de exposição for maior do que 1 minuto.

Uma solução, não tradicional, alternativa ao uso do CO<sub>2</sub><sup>[PARTICULA33]</sup> e compostos organo-halogênados é a tecnologia de aspersão de água nebulizada. Este possui um mecanismo de extinção de incêndio bem conhecido e sua forma de aplicação já se encontra regulamentada.

O uso do sistema de água nebulizada tem crescido onde a aplicação dos agentes tradicionais não entra aceitação em razão de questões ambientais. Este sistema pode ser projetado para a extinção de incêndio em líquidos combustíveis e inflamáveis (Classe B), incêndio e combustíveis sólidos (Classe A) e em equipamentos elétricos (Classe C).

Segundo Nolan (19963), os principais sistemas fixos de proteção utilizados na indústria de exploração e produção de petróleo são:

- Sistema de Sprinkler;
- Sistema de Dilúvio;
- Sistema<sup>[PARTICULA34]</sup> de Espuma;
- Sistema de Pó Químico;
- Sistema de Gases Químicos ( Halon, FM-200, ECARO, NOVEC);
- Sistema de Gases Inertes (CO<sub>2</sub>, INERGEN, ARGONITE, ARGORTEC);
- Sistema de Água Nebulizada (*Water Mist*);
- Particulados Sólidos (Aerossol).



### 2.11.1 Sistema de *Sprinkler*

Utilizados em acomodações e corredores visa controlar ou extinguir o incêndio evitando a sua propagação para outras áreas e refrigerar o ambiente afetado pelo calor de modo a evitar o seu colapso.

O sistema de sprinkler contém bicos aspersores, Figura 5, como bulbos quartzóide permanentemente fechados que são instalados nas linhas de água conectadas a uma válvula VGA (válvula de governo e alarme), conforme a seguir na Figura 6, que permanecem fechadas até que pelo menos um bulbo quartzóide seja quebrado, liberando o fluxo de água pontual nas áreas a serem protegidas. Cada zona a ser protegida contra incêndio é provida de uma VGA independente, com sistema de acionamento próprio (ABNT NBR 6135, 1992),.



**Figura 5** – Vista do bico aspersor para sistema de *sprinkler*  
Fonte: Tyco



**Figura 6** - Válvula de governo e alarme

Fonte: Tyco

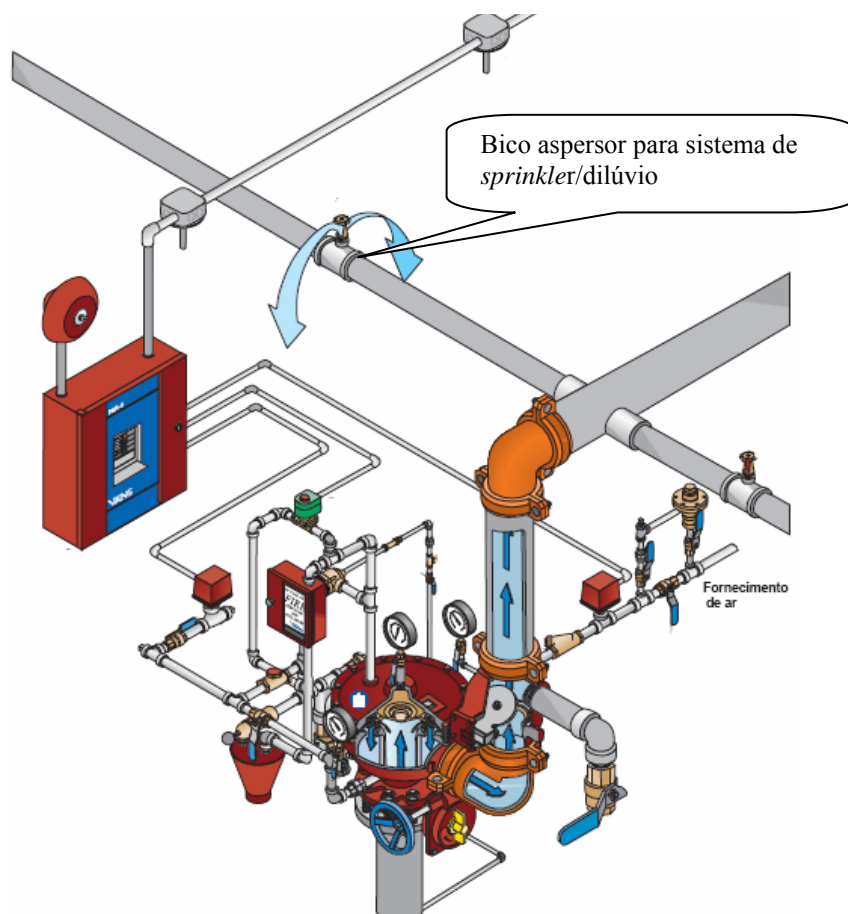
### 2.11.2 Sistema de Dilúvio

Projetados para controlar ou extinguir o incêndio evitando a sua propagação para outras áreas e refrigerar os equipamentos afetados pelo calor de modo a evitar o seu colapso.

O sistema de dilúvio contém bicos aspersores, Figura 6, permanentemente abertos, que são instalados nas tubulações conectados as ADVs (Válvula de dilúvio automática), conforme mostrado na Figura 7, que permanecem fechadas até que sejam acionadas automaticamente ou manualmente em casos de incêndio, liberando o fluxo de água para os bicos aspersores instalados nas áreas a serem protegidas. Cada zona a ser protegida contra incêndio é provida de uma ADV independente com sistema de acionamento próprio



**Figura 7** - Bicos Aspersores para sistema de dilúvio  
Fonte: Gem



**Figura 8** - Sistema de dilúvio  
Fonte: Viking Corporation

### 2.11.3 Sistema de Espuma

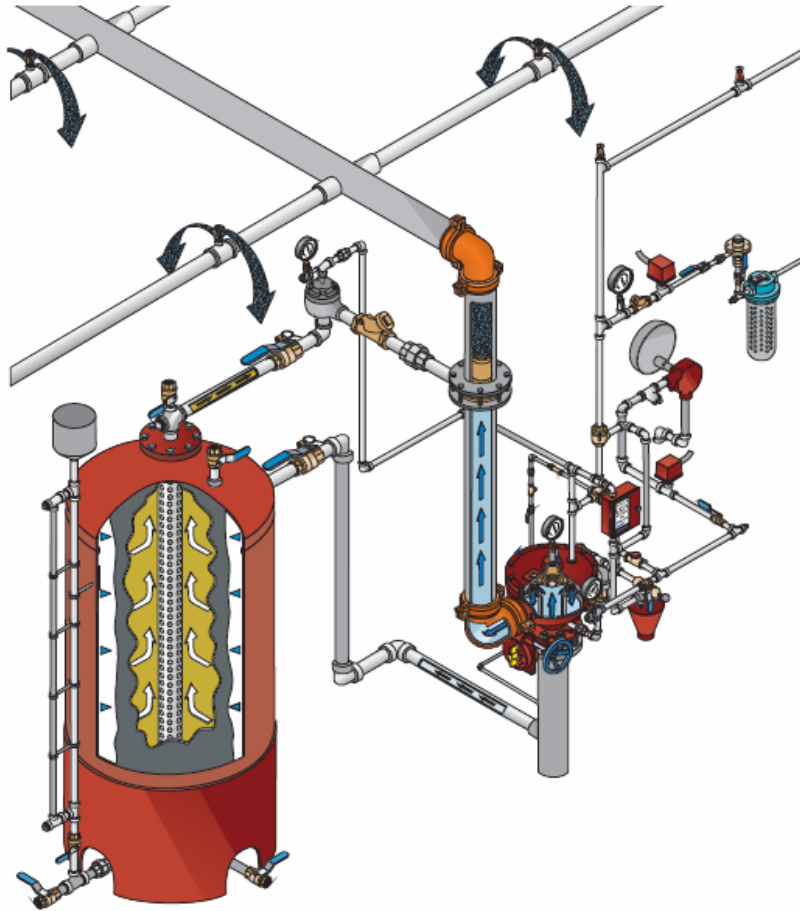
O sistema de espuma é projetado para extinguir o incêndio evitando a sua propagação para outras áreas e refrigerar o combustível afetado pelo calor, conforme mostrado na Figura 9.

O sistema de espuma é constituído de uma fonte de água, reservatório de LGE (tanque ou bombona), válvulas de bloqueio, proporcionador de linha, tubulação rígida ou flexível, esguicho de espuma.

A água é liberada pelas válvulas de bloqueio, passa pelo proporcionador de linha que faz o arraste do LGE para a tubulação; a solução (água mais LGE) é aerada no esguicho, que lança espuma nos bicos aspersores.

A espuma é utilizada normalmente para a extinção em incêndio de Classe A e B. A espuma é lançada por dois meios: sprinkler ou esguicho. Quando lançada

sobre a superfície de combustível, cria-se uma camada que isola o combustível da comburente realizando assim, a extinção.



**Figura 9** - Sistema de Espuma  
Fonte: Viking Corporation

#### 2.11.4 Sistema de Inundação com Agente Químico

Os agentes químicos atualmente utilizados são: Halon 1301, CEA-410, FM-200, FE-13, FE-25, e NAF-S-III<sup>[PARTICULA35]</sup>. O utilizado na proteção em unidades *offshore* é o *Halon* 1301, porém o seu uso foi proibido (PROTOCOLO DE MONTREAL, 1993).

### 2.11.5 Sistema de Inundação com Gás Inerte

O SPE (2003) indica os gases inertes atualmente disponíveis para ser utilizado nestes sistemas são: CO<sub>2</sub>, INERGEN, ARGOTETEC, ARGONITE e Nitrogênio. O gás normalmente utilizado para combater incêndio em instalações *offshore* é o CO<sub>2</sub>.

### 2.11.6 Sistema de Inundação com Gás Carbônico

O sistema de inundação com gás carbônico é usado para extinguir incêndio em ambientes fechados. Ao inundar o ambiente com dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), este, tem como método de extinção a redução da concentração de oxigênio. A porcentagem normal de oxigênio no ar é aproximadamente 20,9476% em volume, (GAS BOOK, 2006). Quando liberado na concentração requerida para o combustível que queima, há um decréscimo na concentração do comburente levando a paralisação da combustão. O CO<sub>2</sub> é armazenado em cilindros de 100 lb (45.36 kg) 75 lb (34.02 kg), 50 lb (22.68 kg), 35 lb (15.87 kg) e 25 lb (11,34<sup>[PARTICULA36]</sup> kg), Ffigura 102.9. Os cilindros de CO<sub>2</sub> são montados em *skids* e ligados à linha de distribuição que conduz o gás ao espaço a ser protegido.

Ambientes típicos que contem materiais combustíveis, tais como gás natural, óleo diesel, gorduras e risco de incêndio em equipamentos elétricos protegidos por CO<sub>2</sub> são: Salas com equipamentos elétricos, casulo de turbinas, casulos de turbocompressor e salas com equipamentos de telecomunicações e cozinha, (NOLAN, 19936). O SOLAS (2004) o indicam<sup>[PARTICULA37]</sup> para proteção nas salas que abriguem máquinas de combustão interna com potências instaladas superiores a 375 kW.



**Figura 10** - Sistema de CO<sub>2</sub>  
Fonte: Acervo do autor

### 2.11.7 Sistema de Água Nebulizada (*Water Mist*)

Sistema de água nebulizada é um meio de combate a incêndio que utiliza gotas de água com diâmetros menor que 1000  $\mu\text{m}$ . O uso de água nebulizada para o controle eficiente de supressão ou extinção de incêndio, como incêndio em poça contendo hidrocarbonetos, requer volumes limitados de água, devido à grande área de atuação e o aumento de volume em razão da vaporização das gotas o que proporciona a absorção de calor. O volume reduzido de água é um fator positivo em relação ao sistema de *splinkers* ou de dilúvio, devido ao reduzido dano causado pela água aspergida.

Deve ser considerado que aspectos importantes para determinam o projeto do sistema de combate a incêndio utilizando água nebulizada, como as características da ocupação, o sistema de detecção de incêndio, propriedades do extintor, considerações sobre o volume de água e o custo para instalar e manter o sistema. Sistema de *splinkers* ou dilúvio são tecnologias de custo reduzidos com comprovação e facilmente disponíveis; entretanto, para muitos cenários estas tecnologias não tem aplicação recomendada, devido aos danos provocados. Estes

sistemas requerem altas taxas de demanda de água, associado há tubulações de grandes diâmetros.

Pesquisas indicam que gotas menores que 400  $\mu\text{m}$  são essenciais para extinção de incêndio de Classe B; enquanto que gotas com tamanhos maiores são eficientes para incêndio de Classe A.

De acordo com a pressão, estes sistemas são disponíveis comercialmente como baixa, média e alta pressão; sendo que pressão até 12,1 bar caracteriza-se como sistema de baixa pressão; pressões entre 12,1 bar e 34,5 bar são os sistemas de média pressão; já pressões superiores a 34,5 bar passam serem os de alta pressão. O sistema utiliza um ou dois fluidos para fazer a extinção de incêndio. Sistema com um único fluido utilizado somente a água; já os com dois fluidos podem utilizar água com ar comprimido ou água mais nitrogênio (NFPA 750, 2001).

Os tamanhos das gotas são classificados em:

- Classe 1:  $\varnothing \leq 200 \mu\text{m}$ ;
- Classe 2:;  $200 < \varnothing < 400 \mu\text{m}$ ;
- Classe 3:  $400 < \varnothing < 1000 \mu\text{m}$ .

Quanto ao funcionamento o sistema podendo ser fechado:

- Quando a linhas estão cheia do fluido, bicos aspersores com bulbo quartzóide;
- Aberto com linhas secas, o acionamento dar-se-á pela ação do elemento detector de incêndio que envia uns sinais elétricos ao painel, que por sua vez envia um sinal para abrir uma válvula, ocasionando a liberação do(s) fluido(s).

A aplicação no ambiente offshore está regulamentada pela IMO . Em navios de passageiros, a utilização do sistema de água nebulizada dar-se-á nas acomodações, espaços públicos e áreas de serviços- , IMO Resolução A. 800. (IMO, 1995); já a utilização em todas as embarcações, será na aplicação local para os espaços de máquinas de categoria A- , MSC Circular 913 (IMO, 1999). Os espaços protegidos em todas as embarcações; contudo, nas MSC/Circ.668 (IMO, 1996), 728 (IMO, 1996) e 1165 (IMO, 2005), indicam a utilização nos ambientes de máquinas de categoria A e salas de bombas de carga.

No entanto, cito como espaços de máquinas, são aqueles possuidores de boilers, ou unidades de separação de óleo, máquinas de combustão interna e turbinas cuja potência seja superior a 375 kW.

No ambiente industrial a temperatura geralmente mais elevada em relação à temperatura no ambiente comum, entretanto, havendo incêndio no seu interior, o calor gerado pela combustão produz temperaturas mais elevadas. As gotas de água com menor diâmetro têm o seu processo de vaporização acelerado devido à relação área e volume. Neste processo, o aumento de volume realiza o deslocamento do oxigênio na frente da chama, criando assim, uma área inerte nas proximidades da chama. Além do deslocamento de oxigênio, o efeito de resfriamento é muito acentuado neste processo.

Segundo Back & Mawhinney [PARTICULA38](2002), o mecanismo de atuação primário para incêndios em hidrocarbonetos, compreende os modos:

- Resfriando os gases da combustão;
- Expulsão do oxigênio;
- Diluição do vapor combustível;
- Molhamento e resfriamento da superfície do combustível;
- Atenuação da radiação térmica;
- Efeito cinético (turbulência provocada pela vaporização das gotas).

O desempenho destes sistemas depende da localização dos bicos aspersores em relação ao foco de incêndio e do tipo de incêndio que será combatido. O sistema de inundação total e/ou local pode ser utilizado dependendo do projeto.

Os sistemas de água nebulizada são também muito eficazes na remoção de fumaça e gases corrosivos oriundos do processo de combustão.

#### **2.11.8 Sistema Particulado Sólido (Aerossol)**

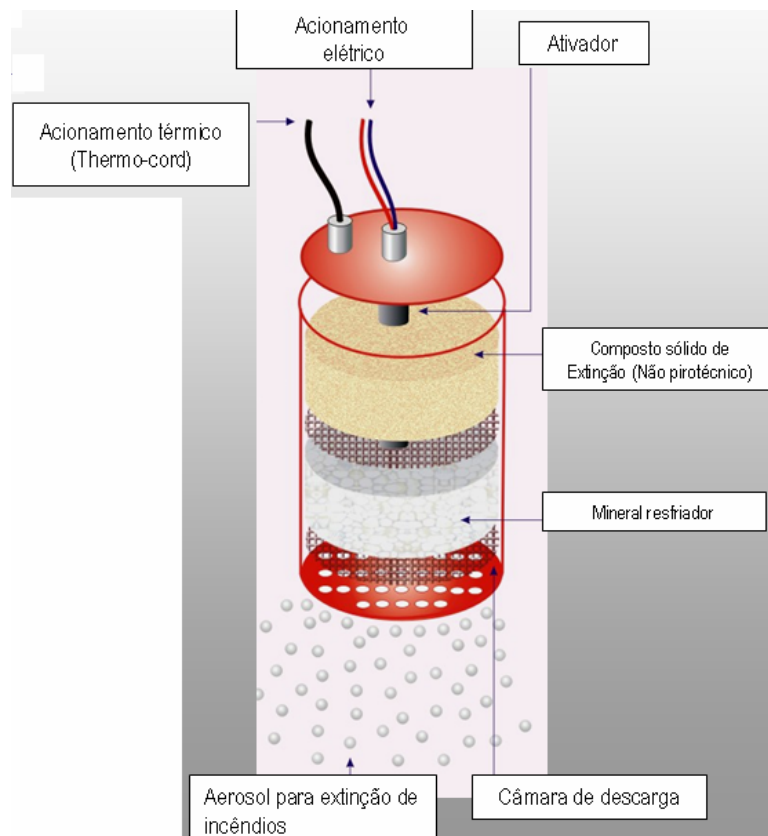
Os aerossóis e gases inertes são formados a partir de uma reação de queima de uma carga “pirotécnica ou não” de composição especialmente proporcionada, sendo capaz de gerar finas partículas sólidas (aerossóis) e gases inertes numa



concentração requerida e distribuída uniformemente no volume a ser protegido para extinguir um incêndio.

O particulado sólido (aerossol) é um agente extintor, (Figura 11) que contém um composto sólido à base de sais de potássio, que quando ativado por acionamento se expande rapidamente para gerar um agente químico extintor de incêndio, sem reduzir a concentração do oxigênio presente na atmosfera.

Num fogo típico os átomos e fragmentos de radicais livres instáveis reagem entre si na presença de oxigênio a ativação, do composto sólido se transforma em aerossol à base de sais de potássio,  $K_2CO_3$  e  $H_2O$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ . O gás liberado durante a reação é deslocado no ambiente transportando uniformemente as partículas de aerossol, constituídas de sais de potássio. Este processo aumenta a eficiência e reduzindo a quantidade necessária de agente extintor. Quando às partículas de aerossol encontram e reagem com o fogo ocorre a extinção do mesmo sem a remoção do oxigênio.



**Figura 11** - Particulado Sólido (Aerossol)

Fonte: CELANOVA



### 3 A TECNOLOGIA DE NÉVOA DE ÁGUA (*WATER MIST*)

#### 3.1 MECANISMOS DE EXTINÇÃO

Água tem propriedades físicas favoráveis para extinção de incêndio, sua alta capacidade calorífica (4.2 J/g-K) e alto calor latente de vaporização (2442 J/g) podem absorver significativa quantidade de calor de chama combustível. Água, além disso, multiplica de volume 1640 vezes quando evapora, (HSIEH et al., 20056), resultando na redução do oxigênio e vapores combustíveis na circunvizinhança do chama e dos combustíveis. Com a formação de pequenas gotas, a eficiência da água aumenta na extinção de incêndio devido o aumento significativo da área de sua superfície de água, que está disponível para absorção de calor e evaporação, conforme apresentado na Tabela 1.

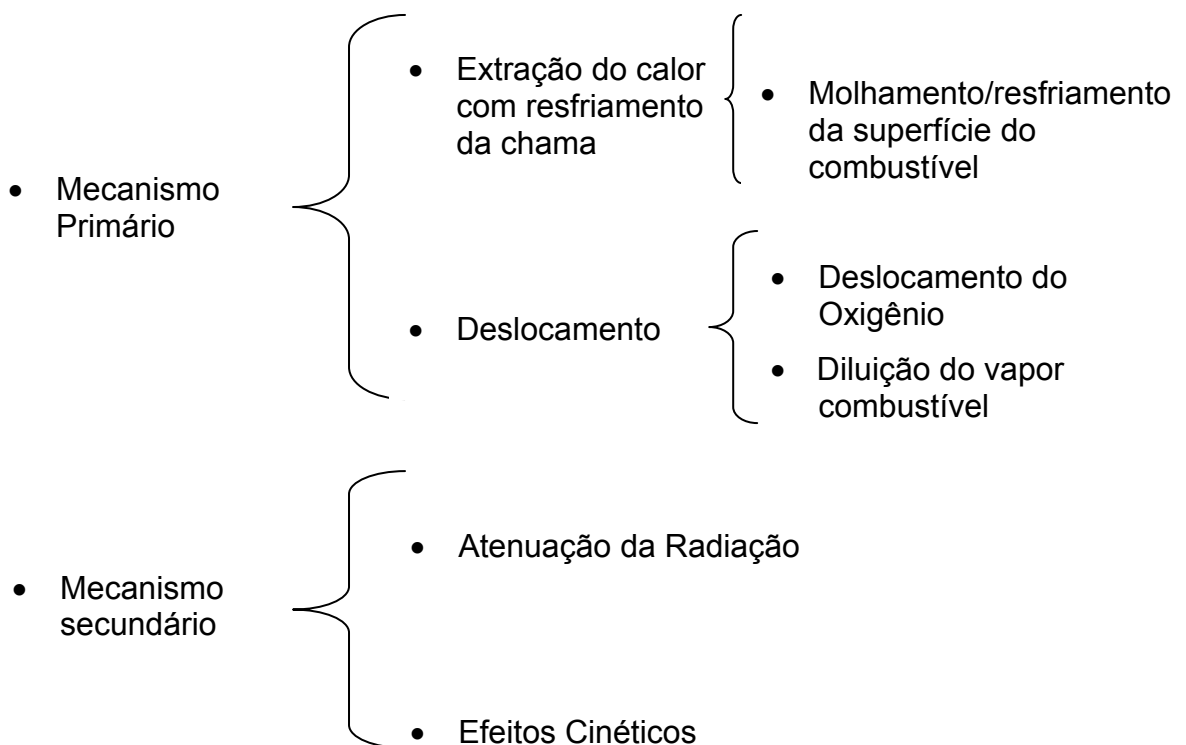
Todavia, a água nebulizada para extinção de incêndio não se comporta<sup>[PARTICULA40]</sup> realmente como agente gasoso. Quando a água é aspergida no compartimento, nem todas as gotas formadas<sup>[PARTICULA41]</sup> estarão envolvidas diretamente no processo de extinção. Elas são divididas em varias frações como segue (PIETRZK,; BALL, 1983):

- Gotas que são pulverizadas antes de alcançar o incêndio;
- Gotas que penetram na chama ou alcançam as superfícies em combustão sob as chamas, inibindo assim, a pirólise, resultando a vaporização e conseqüentemente a redução da concentração de oxigênio;
- Gotas que incidem contra as paredes, piso e forro do compartimento caso estejam quentes, resultando no seu resfriamento, realizando<sup>[PARTICULA42]</sup> a extinção;
- Gotas que originam vapor, criando um zumbido no compartimento e contribuindo para o resfriamento das chamas do incêndio, dos gases quentes, do compartimento e de outras superfícies;
- Gotas que molham os combustíveis em áreas adjacentes, prevenindo a expansão do incêndio.

Braidech (1955) e EBRAIDECH & Rasbash (1957) nos seus estudos identificaram dois mecanismos pelos quais a água nebulizada extingue o incêndio: deslocamento de oxigênio e remoção de calor, resultando na evaporação de gotas de água na área que circunda o incêndio. Pesquisas demonstraram a não alteração destes mecanismos de extinção, quando houve alteração dos dados.

Porém, estudos sugerem que há mecanismos adicionais no processo de extinção de incêndio utilizando água nebulizada. Por exemplo, Wighus (1995) e Wighus et ALal (1993) sugeriu que uma redução de evaporação de combustível é outro mecanismo extinção, junto com resfriamento e a diluição do incêndio. Mawhinney & Back, (1995) sugere mais adiante que a atenuação do calor radiante, a cinética do efeito da névoa na chama e a diluição da relação ar e vapor combustível sejam também mecanismos adicionais.

Eles classificaram os mecanismos de extinção com água nebulizada na extinção de incêndio como mecanismos primários e secundários quais sejam:



**Figura 12** - Mecanismos primários e secundários  
Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.1.1 Remoção do Calor (Resfriamento)

Os mecanismos de resfriamento de água nebulizada para extinção de incêndio podem ser divididos amplamente em esfriar a chama e molhar/resfria a superfície dos combustíveis. O resfriamento a chama por água nebulizada é atribuído primeiramente à conversão da água em vapor que ocorre quando altas quantidades de gotículas de água entram em contato com a chama e vaporizam rapidamente. Um incêndio será extinto quando a temperatura adiabática da chama é reduzida ao seu valor mais baixo, resultando no fim da reação da combustão da mistura combustível/ar. Para a maioria dos hidrocarbonetos e vapores orgânicos, o limite da temperatura é aproximadamente 1600°k (1327 °C) (DRYSDALE, 1995).

Rasbash (198657) calculou a eficiência do resfriamento da chama pela água. Foi observado que quando a água entra no processo de evaporação, a absorção do calor necessário para a extinção do incêndio pode ser dividida em duas formas: uma parte da água condensa e outra parte transforma-se em vapor. Com a formação de pequenas gotículas, a área da superfície molhada e a velocidade na qual a aspensão remove o calor dos vapores da combustão e da chama aumentam significativamente. Como mencionado por Kanury (1994) e Herterich (1960), a taxa de vaporização de uma gotícula depende:

- Da temperatura ambiente;
- Da área de superfície da gotícula;
- Do coeficiente de transferência de calor;
- Da velocidade relativa da aspensão em relação ao gás do ambiente.

Para gotículas de  $100 \mu\text{m} < d < 1000 \mu\text{m}$ , o coeficiente de transferência de calor,  $H$ , é diretamente proporcional ao tamanho da gotícula e pode ser expressa por:

$$H = \frac{0.6}{d} K \text{Pr}^{1.5} \text{Re}^{0.5}$$

Onde **d** é o diâmetro da gota, **K** é a condutividade térmica do ar, **Pr** é número de Prandtl e **Re** é o número de Reynolds.

Foram feitas várias tentativas de estabelecer uma relação de modelo entre o tamanho de incêndio e a quantidade de água necessária para resfriar suficientemente o fogo para sua extinção (WIGHUS, 1990), introduziu o conceito da Taxa de Absorção de Calor de Pulverização (SHAR) em um estudo da extinção de incêndios de propano com água nebulizada. A taxa de absorção de calor de pulverização foi definida como a relação do calor absorvida pelo spray ( $Q_{\text{água}}$ ) para o calor lançado pelo incêndio ( $Q_{\text{fogo}}$ ):

$$\text{Taxa de Absorção de Calor de Pulverização} = \frac{Q_{\text{água}}}{Q_{\text{fogo}}}$$

Foi encontrado o valor da taxa de absorção de calor de pulverização da água necessária para a extinção de incêndio de vários combustíveis, porque a liberação eficiente da água nebulizada internamente na chama é praticamente impossível prever. Para uma chama de combustão em propano, o valor de SHAR encontrado foi 0,3, tão baixo quanto o valor abaixo da condição ideal que é de 0,6 para um cenário mais real, que representa as condições de espaço de máquinas em devido à possibilidade da existência de pequenos focos de incêndio no ambiente.

O incêndio será extinto quando houver a remoção do calor na superfície do combustível em razão do resfriamento deste, devido à redução da temperatura até ultrapassar a temperatura de combustão, ou a concentração da mistura de vapor/ar sobre a superfície do combustível decresce para valores abaixo do limite inferior de inflamabilidade devido e efeito da troca térmica.

Para resfriar a superfície de combustível, um spray em alta velocidade tem que penetrar a zona de chama para alcançar a superfície do combustível e então remover certa quantidade de calor da superfície de combustível. É conhecido que o calor da chama é transferido para o combustível por convecção e radiação. O resfriamento do combustível é feito principalmente pela convecção do vapor de água.

Assim, a taxa de calor por unidade de área que deve ser removida por meio da água para a extinção do fogo é determinada por (RASBASH, 19986):

$$S_h = (H_f - \lambda_f) m_b + R_a - R_s$$

Onde  $S_h$  é calor removido por unidade de área via de spray de água;  $H_f$  é transferência convecção de calor oriundo da chama pela unidade de massa que compõe a chama;  $\lambda_f$  é calor necessário para gerar uma unidade de massa de vapor;  $m_b$  é a taxa de queima por unidade de área;  $R_a$  são outras formas de transferência de calor da superfície do combustível e  $R_s$  é o calor perdido da superfície não incluído nas outras formas de transferência de calor.

O binômio molhar/resfriar do combustível realizado pela água nebulizada reduz a taxa de pirólise do combustível e previne a re-ignição, quando o combustível é resfriado. Para combustíveis cujo ponto de fulgor está acima da temperatura ambiente, mais água é necessário para fazer o resfriamento da superfície, porque menos calor é necessário para produzir vapor combustível.

Além disso, mais água pulverizada é necessária para prevenir a re-ignição da mistura inflamável e o fogo em profundidade. Testes em caixonetes e pedaços de madeira realizados por TAMANINI [PARTICULA45](1990), demonstraram que o risco da re-ignição é maior quando é aplicada alta taxa de água, se a pulverização é paralisada assim que as chamas cessam. Isto é porque as mais altas taxas de fluxo de água extinguem o fogo mais rapidamente, mas o combustível permanece quente e continua a pirólise se o fluxo de água é fechado imediatamente após a extinção.

Molhar e resfriar o combustível com água nebulizada é o mecanismo de extinção predominante dos combustíveis que não produzem misturas de vapor acima da superfície do combustível, (MAWHINNEY, & BACK, 1998). A primeira reação de combustão com este tipo de combustível, como combustíveis sólidos, desta forma ela ocorre dentro da zona rica de carbono.

Portanto, resfriando a chama de difusão sobre a fuligem gerada por combustão de material sólido poderá não ser o suficiente para estabelecer a extinção do fogo, (DRYSDALE, 1985[PARTICULA46]). As gotas alcançam regiões onde houve combustão ou não, portanto, água nebulizada pode ser aplicada para o

resfriamento tanto na chama e na superfície como na região entre a superfície dos combustíveis e a chama propriamente dita.

### 3.1.2 Deslocamento de Oxigênio

O deslocamento do oxigênio pode acontecer no compartimento confinado ou em local aberto, (MAWHINNEY, & BACK, 1998). Ao efetuar a descarga da água nebulizada no compartimento quente<sup>[PARTICULA47]</sup>, o calor<sup>[PARTICULA48]</sup> do fogo, dos gases quentes e da superfície são absorvidos e absorvido; e em se tratando de compartimento aberto, a concentração de oxigênio no compartimento pode ser reduzida substancialmente pela rápida evaporação e a expansão de gotículas, quando estas se transformam em vapor de água. Resultados de cálculos mostraram que a concentração do oxigênio em uma sala com volume de 100 m<sup>3</sup> poderá diminuir rapidamente em 10%, quando 5.5 litros de água são completamente convertidos em vapor (ROSANDER,; GISELSSON, 1984).

A redução da concentração de oxigênio no compartimento pela água nebulizada é função da potência do incêndio, da duração do tempo de pré-queima, do volume do compartimento e das condições de ventilação no interior do compartimento. Como a potência do incêndio ou o tempo de pré-queima do combustível crescem, neste caso, a concentração de oxigênio diminui devido ao incêndio e o oxigênio é deslocado devido à formação de vapor de água por causa das altas temperaturas no compartimento. Esta combinação de efeitos reduz significativamente, a concentração e aumenta a eficácia da água nebulizada na extinção do incêndio.

Em área aberta, quando a névoa de água entra em contato com a chama do fogo, há a formação de vapor, a água vaporiza e expande o seu volume cerca de 1640 vezes seu volume líquido inicial. A expansão volumétrica da água vaporizando rompe a mistura de ar (oxigênio) e na chama, diluindo a concentração de oxigênio no vapor combustível e reduzindo a combustão. Como resultado, o incêndio será



extinto quando o vapor do combustível é diluído abaixo do limite inferior de inflamabilidade da mistura ar/combustível ou quando a concentração de oxigênio necessário para sustentar a combustão está reduzida abaixo de um nível crítico.

Rosander & Giselsson [PARTICULA49](1984), estudaram amplamente o vapor de água como agente inerte de extinção de incêndio, e descreveram o mecanismo de extinção de incêndio pela formação de vapor. Eles recomendam que uma mistura com 35% de água irá extinguir o incêndio através da formação de vapor. Das análises do modelo computacional, (DLUGOGORSKI et al., 1997) indicou que, para extinção efetiva, as concentrações requeridas de vapor de água na mistura de gases inflamáveis variam com as temperaturas das circunvizinhas e alcançam 36% e 44% das temperaturas circunvizinhanças de 100°C e 300°C, respectivamente.

O impacto de diluição de oxigênio por névoa de água na extinção de fogo é fortemente dependente das propriedades do combustível (MAWHINNEY, DLUGOGORSKI,; KIM, 19974). Isto porque, a quantidade mínima de oxigênio livre requerida para sustentar a combustão varia com o tipo de combustível. Para a maioria dos combustíveis oriundos de hidrocarboneto, a concentração de oxigênio crítica por manter combustão é aproximadamente 13% (DRYSDALE, 19895). Para combustíveis sólidos, a concentração crítica de oxigênio requerida para a combustão poderá ser ainda inferior a dos hidrocarbonetos.

### **3.1.3 Atenuação do Calor Radiante**

Quando a névoa envolve ou alcança a superfície do combustível, água pode agir como uma barreira térmica para proteger contra a radiação térmica provida da queima do combustível queimado, assim como do incandescente. Também, vapor de água em suspensão sobre a superfície de combustível atua como absorvedor da energia radiante. Bloqueando o calor radiante pela névoa, o fogo diminui de intensidade e há a redução da vaporização ou da taxa de pirólise sobre o combustível (RAVIGURURAJAN, & BELTRON, 1989).

Testes experimentais conduzidos pelo Conselho de Nacional de Pesquisa do Canadá (MAWHINNEY, & BACK, 1995), mostraram que houve a redução em 70% do fluxo radiado pelas paredes do compartimento em teste, quando o sistema de

água nebulizada entrou em operação. O cálculo também realizado por Log (1996), demonstrou demonstrou que com um fluxo de  $100 \text{ g/m}^3$  a um metro de distância, com um bico aspersor entre a Classe 1 ( $D_{v0,1} = 100 \text{ }\mu\text{m}$ ) e Classe 2 ( $D_{v0,9} = 200 \text{ }\mu\text{m}$ ) é capaz de bloquear em 60% a radiação térmica originada por um corpo quente a uma temperatura de  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Foi mostrado que a atenuação da radiação depende muito de diâmetro e da densidade de massa da gota. Um dado volume de água criará uma barreira mais eficiente contra radiação, se é composto de gotículas em densa névoa, em comparação com gotas grandes. Os cálculos desenvolvidos por Ravigururajan & Beltron (1989), demonstraram que para obter a mesma atenuação da radiação num objeto com temperatura de  $650 \text{ K}$ , uma massa de gotas com  $100 \text{ }\mu\text{m}$  de diâmetro é 10 vezes maior do à massa do diâmetro de  $10 \text{ }\mu\text{m}$ . Entretanto, o comprimento de onda da radiação é também importante na determinação da atenuação de radiação da névoa.

### 3.1.4 Efeito Cinético da Água Nebulizada na Chama

Testes experimentais conduzidos por Mawhinney (1993) e Jones [PARTICULA50] & Thomas (1993) mostraram que não há extinção do incêndio em poça quando o sistema de água nebulizada é mal projetado; a taxa de calor liberado do fogo era mais alta do que a de um incêndio sem a extinção utilizando água nebulizada. O aumento na taxa de calor liberado do incêndio pode resultar de efeitos cinéticos de água nebulizada nas chamas.

Também foi observado, momentaneamente, um aumento no tamanho de incêndio da poça no começo da descarga de água nebulizada sendo o incêndio extinto em seguida (KIM, JANG,; YONN, 1997). Todavia o acréscimo do incêndio é causado pelo aumento da superfície da chama quando há colisão com a névoa, colidindo também com a superfície da poça e aumentando, assim, a mistura entre o oxigênio e o combustível.

Suh & Atreya [PARTICULA51](1995), ambos conduziram estudos teóricos e experimentais sobre o efeito de vapor de água na combustão da mistura de ar/combustível. Embora seus estudos mostrarem, principalmente, que a extinção de

incêndio com água é um efeito físico, a adição de vapor de água na mistura ar/combustível poderá fazer com que<sup>[PARTICULA52]</sup> haja aumento da temperatura da chama, da produção de  $\text{CO}_2$ <sup>[PARTICULA53]</sup>, da degradação da concentração de oxigênio, bem o como a redução do CO e da produção da fuligem.

Estes efeitos são devido ao aumento das reações químicas no interior da chama. Com a concentração de vapor de água é adicionada à chama, a concentração do radical OH aumenta, resultando assim no aumento da temperatura da chama e a produção de  $\text{CO}_2$ . Após a adição de aproximadamente 30% de vapor de água na mistura combustível/ar, não foi observado o aumento da reação química da chama pelo vapor de água e a temperatura de chama começou a diminuir.

### 3.2 FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DA AGUA NEBULIZADA

Conhecidos todos os mecanismos de extinção de incêndio da água nebulizada que estão envolvidos na extinção, somente um ou dois mecanismos que desempenha esta função, (MAWHINNEY, DLUGOGORSKI,; KIM, 1994). O mecanismo de supressão dominante depende das características da névoa de água, cenário do incêndio, da geometria do ambiente e das condições de ventilação. Muitos outros fatores, tais como o efeito do confinamento, da dinâmica da mistura criada pela descarga da névoa, dos tipos de aplicação (total ou local), uso de aditivos e do modo de descarga, tem importante impacto na eficácia da extinção por névoa (BACK, 1996).

#### 3.2.1 Características da Água Nebulizada

A eficácia da extinção com sistema de água nebulizada esta relacionada diretamente com as características da pulverização produzida pelos bicos aspersores, (RASBASH, 19896). Nos seus estudos há uma lista detalhada dos parâmetros importantes da névoa de água para a extinção de incêndio. Que são:

- Taxa média de fluxo por unidade de área do incêndio;

- Distribuição de taxa de fluxo sobre a área do incêndio;
- Direção da aplicação;
- Tamanho e distribuição da gota;
- Velocidade de penetração do ar;
- Velocidade relativa da gota para penetrar no ar;
- Velocidade da chama;
- Tipo de combustível.

Embora estes importantes parâmetros de pulverização podem ser usados para descrever as características de água nebulizada na extinção, eles podem ser classificados de um modo geral como três parâmetros principais: tamanho da gota pulverizada, densidade do fluxo e momento da pulverização (SPE, 2003). Estes três principais parâmetros da água nebulizada não só determina a eficácia da água nebulizada como também determinam o espaçamento dos bicos aspersores como a limitação da altura de teto para uma instalação.

### 3.2.2 Distribuição do Tamanho da Gota

A gota se classifica conforme o seu tamanho, depois de realizado teste de pulverização ou nuvem de névoa em locais específicos. A NFPA (NFPA 750, 2000) dividiu o sistema de água nebulizada de acordo com o tamanho das gotas em grossas e finas com diâmetro inferior a 1000  $\mu\text{m}$ . A classificação é:

- Classe 1 - Sistema que tem 90% do volume da névoa ( $D_v0.9$ ) com diâmetro igual ou menor que 200  $\mu\text{m}$ ;
- Classe 2 - Sistema que tem 90% do volume da névoa ( $D_v0.9$ ) com diâmetro entre 200  $\mu\text{m}$  a 400  $\mu\text{m}$ ;
- Classe 3 - Sistema que tem 90% do volume da névoa ( $D_v0.9$ ) com diâmetro entre 400  $\mu\text{m}$  a 1000  $\mu\text{m}$ .

Teoricamente, gotas de pequenos diâmetros são mais eficazes do que as gotas de grandes diâmetros na supressão, porque as gotas menores formam uma área maior de cobertura na superfície do combustível que queima, facilitando a

evaporação e a remoção de calor, conforme a Tabela 3.1. Elas são mais eficientes na atenuação da radiação térmica, (WIGHUS, 2007).

Também gotas de pequeno diâmetro ficam maior tempo em suspensão, além disso, elas podem ser levadas por corrente de vento para locais mais distantes e partes obstruídas no ambiente confinado. Elas ficam mais em contato com os vapores da combustão que se forma na parte superior do incêndio.

Porém, por serem muito pequenas, elas têm a dificuldade de penetrar na pluma do incêndio e alcançar a superfície do combustível devido à dificuldade de penetração e o efeito hidrodinâmico da pluma do fogo. Pequenas gotas como baixo momento são, facilmente, arrastadas pelas correntes de ar para longe do incêndio. Além disso, mais energia é necessária para produzir pequenas gotas e transportá-las para o incêndio.

**Tabela 1** – Variação da área de superfície de água com o tamanho da gota (volume de água 1 litro)

TAMANHO DA GOTA (mm)	NÚMERO DE GOTÍCULAS	ÁREA COBERTA (m <sup>2</sup> )
10	$1,9 \times 10^3$	0,6
1	$1,9 \times 10^6$	6
0,1	$1,9 \times 10^9$	60
0,01	$1,9 \times 10^{12}$	600
0,1 x	1000 x	10 x

Fonte: IFP – nº 26, maio/2006

Grandes gotas penetram na pluma do incêndio facilmente e vaporizam no seu interior, resfriando e umedecendo a chama e o combustível; porém, gotas grandes têm áreas totais menores de superfície disponível para remoção de calor e evaporação. Quando o tamanho da gota é aumentado, sua capacidade de suprir e abafar o incêndio são reduzidos. Gotas grandes com altas velocidades podem causar lançamento de combustíveis para o ar quando incidem nos combustíveis líquidos, provocando o aumento do incêndio.

Yule, Eereaut & Ungut (1983) e Yao & Kalelkar [PARTICULA55](1970) realizaram um teste de campo sob diferentes condições de incêndio com o objetivo de identificar o tamanho ótimo da gota para a supressão do incêndio. Andrews (1992) resumiu os tamanhos das gotas ideais, conforme indicação de vários autores mostrados na Tabela 2.

A seguir foi observado que o tamanho ideal da gota para executar a supressão do incêndio é dependente de vários fatores, tais como, as propriedades dos [PARTICULA56](#) combustíveis, grau de obstrução no compartimento e da magnitude do incêndio. O tamanho de uma gota que extingue um incêndio com eficiência, pode não ser ideal para extinguir outro incêndio. Não [PARTICULA57](#) existe um tamanho padrão de gota que extingue todos os tipos de incêndio. Atualmente, o melhor desempenho do sistema de água nebulizada é a combinação de pequenas gotas com grandes gotas do que um só tipo de gota (MAWHINNEY, 1993).

Além disso, qualquer mudança no tamanho do incêndio, velocidade da névoa (momento), e efeitos do confinamento, produzem mudanças do tamanho ideal da gota para extinguir o incêndio.

**Tabela 2** - Tamanho da gota

AUTOR	DATA	TAMANHO DA GOTA (µm)	CONSIDERAÇÕES
Braidech e Neale	1955	300-350	Aplicação vertical para baixo
		100-150	Aplicação horizontal
		150-300	Combustível imiscível de baixo ponto de fulgor
Herterich	1960	350	
Yao & Kalelkar	1970	< 350	
		4000 - 5000	Para penetrar na pluma da chama
Vicente et al.	1976	310	Supressão de explosão de gás
Beyler	1977	> 1000	Penetração e prevenção de fogo maior que 250 kW
Pietzark e Patterson	1979	200 - 300	Resfriamento de camada de gás
Rasbash	1985	400	Combustível imiscível com ponto de fulgor alto
Kaletka	1986	300 - 900	Camada de gás depende da temperatura
Osaka	1988	250 - 300	Bico de neblina manual
Tour e Anderson	1989	300	Combate a incêndio com neblina manual
Marioff	1991	60	Bicos aspersores de neblina de alta pressão

Fonte: Andrews (1992)

### 3.2.3 Densidade de Fluxo

A densidade de fluxo da névoa refere-se à quantidade de água que é aspergida em unidade de volume (L/min) /m<sup>3</sup>) ou aplicado em unidade de área (L/min) /m<sup>2</sup>) (SPE, [2003PARTICULA58](#)). No ambiente confinado, o aumento da

densidade de fluxo diminuirá a temperatura do compartimento, mas terá pequeno efeito na concentração de oxigênio (BACK, 1996).

Porém, no ambiente confinado o incêndio somente será extinto quando a névoa estiver na densidade de fluxo mínima. O incêndio pode se sustentar mantendo altas as temperaturas da chama e do combustível, caso não haja uma densidade de fluxo de névoa de água suficiente para remover certa quantidade de calor do incêndio ou resfriar o combustível até ficar abaixo do ponto de fulgor.

De acordo Andrews (1992) & Hhansen [PARTICULA59](1995) descrevem que será difícil de estabelecer a concentração crítica de gotas de água exigida para extinguir um incêndio (por exemplo: a massa mínima total de água em gotas por unidade de volume ou por unidade de área para a supressão de fogo), se a [PARTICULA60] névoa de água não comportar como [PARTICULA61] um real agente “gasoso”. A quantidade de névoa que alcança o incêndio é determinada por muitos fatores. Estes incluem o momento da névoa e o ângulo do cone, tamanho do incêndio, condições de ventilação e geometria do compartimento.

A distribuição uniforme da densidade do fluxo da névoa não é garantida pela tecnologia da pulverização e da distribuição dos bicos aspersores no compartimento. A distribuição da densidade de fluxo de água nebulizada da névoa no interior de um cone do bico aspersor não é homogênea. Alguns modelos de bicos aspersores para produção de água nebulizada podem concentrar alta porcentagem de névoa no centro do cone, enquanto os outros concentram nas bordas do cone (MAWHINNEY, 1993; BACK, 1996).

Quando houver sobreposição de cones de névoa de um grupo de bicos aspersores, as densidades de fluxo formado em qualquer ponto são diferentes da observada de um único bico aspersor em razão da dinâmica da interação do bico.

Ainda na ótica de Andrews [PARTICULA62](1992), que comparou as taxas de fluxo mínimas requeridas para extinguir incêndios de combustível sólidos sugeridos por 19 autores. Foi achado que estas taxas de fluxo mínimas variaram, amplamente, com as condições de aplicação e nenhuma “concentração crítica” de bicos aspersores de água poderia ajustar todas as aplicações.

### 3.2.4 Impulso da Pulverização

O momento de pulverização refere-se à massa de névoa, velocidade de névoa e a direção relativa destas com a pluma do incêndio. Impulso da névoa não só determina se as gotas de água têm energia suficiente para penetrar na chama ou alcançar a superfície do combustível. Ele também determina a taxa de penetração do ar ao redor na pluma do incêndio. A turbulência produzida pelo impulso da névoa de água, misturando como os vapores de água na área do incêndio, proporcionam a redução de oxigênio, os vapores combustíveis e a alta eficácia da água nebulizada na extinção do incêndio. O impulso da pulverização é definido pela massa da névoa, então não somente inclui a massa de água na fase líquida [PARTICULA63], mas também incluem a massa de água na fase vapor e a penetração da água nebulizada (MAWHINNEY & BACK, 1998). O impulso da pulverização,  $M_w$ , pode ser expresso como:

$$M_w = (m_{wl} + m_{wv} + m_{wa}) \chi V_w$$

Onde  $m_{wl}$ ,  $m_{wv}$  e  $m_{wa}$  são, respectivamente, a massa da fase líquida da água, a [PARTICULA64] fase do vapor da água e penetração do ar na névoa e  $V_w$  está associado ao vetor de velocidade de névoa de água.

O impulso da pulverização da água é determinado por muitos fatores. Estes incluem o tamanho da gota, a velocidade de aspersão, pressão de descarga e ângulo do cone, o espaçamento entre os bicos aspersores, as condições de ventilação e a geometria do ambiente (MAWHINNEY, & BACK, 1998).

Além do mais, o impulso diminuirá gradualmente em razão das pequenas gotas de água que penetram no interior do gás quente e a velocidade da gota. Conseqüentemente o seu tamanho irá reduzindo devido às forças de arraste e gravitacional com a evaporação (ANDERSON, ARVIDSON,; HOLMSTEDT, 1996).

À distância ( $X_o$ ) que a gotícula tem que atravessar o ar antes de cair é determinada pelo impulso e o ângulo de descarga do bico aspersor [PARTICULA65], tem que atravessar o ar antes de cair, é determinada pelo impulso da pulverização e o ângulo do cone da descarga ( $\delta$ ).



Quando as gotas de água caem do ar devido à força gravitacional, antes que elas desapareçam e evapore no interior dos vapores quentes, a máxima distância alcançada é função da sua classificação em razão do seu tamanho máximo [PARTICULA66] e da temperatura que as circundam. A distância máxima alcançada ( $X_c$ ), se considerar a velocidade ascendente da chama produzida pelo incêndio é dada como (ANDERSON, ARVIDSON; HOLMSTEDT, 1996):

$$X_{fall} = 2000 \frac{D_o L \rho}{2 K_g \Delta T C_2}$$

Onde  $D_o$  é o diâmetro de gota,  $L$  é o calor latente de vaporização,  $\rho$  é a densidade do meio próximo,  $K_g$  é a condutividade térmica do gás,  $\Delta T$  é a diferença de temperatura entre a gota e ambiente e  $C_2$  é o coeficiente.

A Tabela 3 a seguir mostra distâncias típicas de gotas que caem com diferentes tamanhos e a variação da temperatura na proximidade. As distâncias percorridas na descendente são, significativamente, reduzidas com o tamanho da gota e com o aumento na temperatura na proximidade desta. Conseqüentemente, num teto alto, o impulso de uma gotícula de água tornar-se-á muito pequeno antes da sua penetração no incêndio. Estas gotículas de água com baixo impulso não penetraram na parte superior da densa pluma do incêndio, conseqüentemente, não alcançará a base do fogo, não realizando a extinção.

**Tabela 3** - Distância típica percorrida pela gota em função do tamanho e temperatura da circunvizinha

$T_g$ (°C)	$D_o$ (Diâmetro da gota em $\mu\text{m}$ )					
	1	10	50	100	500	1000
400	1,5 pm	15 nm	9,1 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	2,5 m	9,9 m
600	0,88 pm	9 nm	5,5 $\mu\text{m}$	87 $\mu\text{m}$	1,5 m	6,0 m
800	0,63 pm	6 nm	3,9 $\mu\text{m}$	63 $\mu\text{m}$	1,1 m	4,3 m
1000	0,49 pm	5 nm	3,0 $\mu\text{m}$	49 $\mu\text{m}$	0,8 m	3,3 m

Fonte: ANDERSON, ARVIDSON & HOLMSTEDT (1996)

Para evitar que a névoa e o vapor de água estejam fora da pluma do incêndio, o impulso da névoa deve ser pelo menos igual à intensidade e direção oposta do impulso da pluma da chama. Esta relação é determinada por:

$$M_w \geq M_{fy}$$

Onde  $M_{wy}$  e  $M_{fy}$  são as componentes de “y” do impulso da névoa e da pluma do incêndio respectivamente.

O impulso de pluma do incêndio,  $M_f$ , pode ser expresso como:

$$M_f = ( m_{fp} + m_{fg} + m_{fa} ) \times V_f$$

Onde  $m_{fp}$ ,  $m_{fg}$  e  $m_{fa}$  são as massas de produtos de combustão, vapores do incêndio e o ar envolvido pela pluma do fogo, respectivamente, e de ar pela pluma de incêndio, respectivamente, e  $V_f$  está associado ao vetor da velocidade da pluma de incêndio.

O impulso da pulverização é também importante para a extinção do incêndio com sistema de água nebulizada, quando este é dividido em zonas de extinção e para incêndio com alto grau de obstrução. Para incêndio com obstrução, a descarga de água nebulizada deve ser direcionada diretamente sobre o incêndio extinguindo a chama e resfriando o combustível.

Testes realizados por Kim, Mawhinney & Su [PARTICULA67](1996) para a proteção de equipamentos elétricos com água nebulizada, mostraram que a eficácia em extinguir o incêndio somente foi conseguida após controle rigoroso sobre a direção da névoa e o arranjo dos bicos nos ramais e adaptação ao arranjo físico, desviando-os das obstruções e elementos estruturais.

### 3.2.5 Efeito do Confinamento

Quando ocorre um incêndio em um ambiente confinado, o ambiente fica aquecido e a concentração de oxigênio no interior do ambiente reduz gradativamente, além disso, os vapores quentes do incêndio tendem a se concentrarem na parte superior do teto (SPE, 2003).

Ocorrendo a descarga do teto do sistema de água nebulizada de cima para baixo, uma grande quantidade de gotas de água é convertida em vapor e desloca o oxigênio e os vapores do combustível ao redor do incêndio. As gotículas absorvem rapidamente o calor oriundo da sua proximidade (DI, 2005).

A capacidade do ambiente de absorver calor, confinar os produtos gerados pela combustão e vapor de água tem importante impacto no desempenho de extinção do sistema de água nebulizada, é conhecido como “efeitos do confinamento” na extinção de incêndio (MAWHINNEY, 1997/2007).

Com o efeito do confinamento é esperada até mesmo a extinção de fogo obstruído com névoa de baixo impulso em ambientes com grande obstrução. A densidade de fluxo requerida para a extinção pode ser 10 vezes menor do que a requerida em ambientes abertos e bem ventilados com incêndio (WIGHUS, 1998).

O grau do efeito do confinamento na extinção é principalmente dependente do tamanho do incêndio em relação ao tamanho do ambiente. Grandes ou pequenos incêndios são definidos livremente nos termos de se o incêndio afetará a temperatura média e a concentração de oxigênio no ambiente dentro do tempo de ativação do sistema de água nebulizada.

Mesmo antes da operação do sistema de água nebulizada em um grande incêndio, este reduz a concentração de oxigênio do ambiente a ponto de que a eficiência da combustão seja reduzida. Grandes incêndios também liberam muito calor no ambiente fazendo com que haja mais evaporação de gotículas, além de reduzir a concentração de oxigênio no ambiente. Com o efeito do confinamento, o principal mecanismo de extinção de água nebulizada para grandes incêndios é a redução da concentração do oxigênio.

Resultados de testes mostraram que tanto em ambiente com grandes incêndios ou [PARTICULA68] compartimentos com pequenos incêndios e com baixo fluxo de ventilação foram extintos com água devido à redução da concentração de oxigênio no ambiente e a produção de vapor. Os tempos de extinção foram significativamente reduzidos com o aumento do tamanho do incêndio (BACK, 1996).

Em grandes incêndios, a aplicação do método de inundação total extingue o [PARTICULA69] incêndio rapidamente com pequenas densidades de fluxo. Isto é [PARTICULA70], porque o uso da inundação total com [PARTICULA71] água nebulizada que maximiza os benefícios da redução da concentração de oxigênio e a diluição dos

vapores do combustível em combinação com a [PARTICULA72] decantação dos produtos da combustão devido à grande quantidade de vapor de água.

Quando às gotículas, são liberadas no ambiente muito quente devido à existência de um grande incêndio, o ar é rapidamente [PARTICULA73] resfriado pela água nebulizada, o que resultará na redução da pressão interna, devido à rápida contração do ar ou os vapores do ambiente, isto porque, o ar quente ou os vapores contraem mais rápido do que o vapor que se expande. A introdução do ar fresco no ambiente, far-se-á a não ocorrência de pressão negativa no interior do compartimento, evitando assim a implosão de janelas. O efeito do resfriamento do ambiente pressurizado pela água nebulizada deve ser avaliado [PARTICULA74] cuidadosamente [PARTICULA75], quando se [PARTICULA76] projeta [PARTICULA77] para [PARTICULA78] grandes sistemas incêndio [PARTICULA79] (WIGHUS, 1995).

Em ambientes com pequenos incêndios, a produção dos subprodutos da combustão e o calor radiado são menores. A princípio [PARTICULA80], a redução da concentração de oxigênio e o aumento da temperatura dos vapores combustíveis no ambiente são [PARTICULA81] pequenos quando da ativação do sistema de água nebulizada (SPE, 2003).

A condição de confinamento, já não tem efeito importante no desempenho do sistema de água nebulizada, porque há menos calor, vapor de água e subprodutos da combustão no ambiente para ficarem confinados. A extinção de um pequeno incêndio com água nebulizada, quase que depende completamente da pluma do fogo ou se o combustível está resfriado. A água nebulizada deve ser descarregada diretamente sobre o foco do incêndio. Para pequenos incêndios o uso da aplicação local é mais eficiente para a extinção.

### **3.2.6 Dinâmica da Mistura**

Durante a descarga de água nebulizada há uma intensa dinâmica de mistura no interior do ambiente; com a névoa de água nebulizada penetrando nos vapores envolvidos, há o deslocamento dos produtos gerados da combustão e o vapor de água que estão localizados na parte superior mais quente do ambiente para a parte inferior do ambiente. Está mistura dinâmica criada pela descarga de água

nebulizada reduz a concentração de oxigênio na parte baixa do ambiente e aumenta a condução do calor na mistura, vapor de água, vapores quentes, névoa e fuligem, resultando na elevação da capacidade extintora da mistura. As concentrações dos vapores ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO_2$ , etc.) e a temperatura no interior do ambiente tendem a uniformizarem após de descarga da água nebulizada.

Os testes desenvolvidos por Hansen e Back [PARTICULA82](1997) mostraram que um sistema de água nebulizada que possuem os bicos aspersores instalados na parte superior do compartimento obteve um melhor desempenho na extinção do que quando os bicos instalados a 2 m abaixo do teto ou quando os bicos foram instalados verticalmente próximos à parede. Isto é porque os sistemas de água nebulizada cujos bicos aspersores estavam perto do teto produziam efetivamente mais vapor de água na parte superior, que é mais quente, facilitando o redirecionamento dos gases e vapor de água, criando uma turbulência na parte superior e melhorando a dinâmica da mistura. Os [PARTICULA83] resultados dos testes também mostraram que o sistema de água nebulizada pode produzir uma dinâmica da mistura mais intensa no compartimento e realizar melhor a extinção do incêndio com um tempo pequeno e com menos volume de água, (LIU et al., 1998).

Outro exemplo é o sistema de água nebulizada desenvolvido pela para proteger um casulo de uma turbina, onde há somente dois bicos aspersores, um instalado no teto e o outro próximo ao piso (MARIOFF, 1997 [PARTICULA84]). Nesta configuração a dinâmica da mistura é favorecida, elevando assim a capacidade de extinção da água nebulizada.

Pesquisas demonstraram que descarga em ciclos, por exemplo: liga/desliga, pode melhorar, substancialmente, a eficiência do sistema de água nebulizada na supressão do incêndio (ERDEMA, 1995). Comparando como os sistemas que utilizam descarga contínua de névoa com os de descarga cíclicas, o sistema de descarga cíclica foi mais rápido na extinção utilizando um menor volume de água. Em alguns casos, o volume de água utilizada foi reduzido a um terço e o tempo de extinção ficou pela metade em relação ao sistema com descarga contínua. Utilizando descarga cíclica, também houve melhora na capacidade de extinção da névoa sob condições de ventilação (LIU et al., 1998).

Um fator importante para a melhora da capacidade de extinção da névoa [PARTICULA85] foi à criação do [PARTICULA86] uso da descarga cíclica favorecendo a dinâmica da mistura no interior do ambiente, Liu, Kim & Su, (1997), elevando a

dinâmica do calor, vapor de água e vapores da combustão próxima ao incêndio. A interação da descarga da névoa na dinâmica da mistura é determinada pelas características da névoa (por exemplo: impulso da névoa, velocidade, etc.), características dos bicos aspersores (pressão e ângulo do cone), pelo espaçamento entre os bicos aspersores, pela configuração do ambiente, pelas condições de ventilação e pelo volume do ambiente.

A capacidade de influenciar o calor no ambiente é um parâmetro de projeto que deve ser considerado no projeto que utiliza a névoa [PARTICULA87]. Não é muito fácil, porém projetar um sistema de névoa de água que alcance a ótima dinâmica da mistura no compartimento. Isto pode ser alcançado pela aplicação de um programa de computador que utiliza CFD (MAWHINNEY, & BACK, 1998).

### **3.2.7 Água Nebulizada com Aditivos**

Aditivo usado no sistema de água nebulizada ou água nebulizada combinando com gases inertes e agentes gasosos podem melhorar a eficácia de névoa de água em supressão do fogo. Também pode afetar o processo de vaporização e geração da gotícula, reduzindo a tensão de superfície ou agindo como um agente de molhamento da superfície.

Resultados de teste mostraram que a geração de água nebulizada com água salgada (2,5% do peso da solução de cloreto de sódio) e um aditivo com baixa percentagem de agente de formador de filme (por exemplo: 0,3% de AFFF), melhorou substancialmente a eficiência na extinção em incêndio em poça de hidrocarbonetos (MAWHINNEY, 1994).

Sistema de água nebulizada com um aditivo chamado “Firestop 107”, foi utilizada com eficiência para extinguir um incêndio em área de efluentes gasosos onde o sistema somente com água não foi capaz de extinguir (WIGHUS, 1993).

A água com o aditivo adequado, não somente evitará o problema do congelamento da água como também a eficácia na supressão poderá ser melhorada.. Isto eleva o potencial de aplicação de água nebulizada para proteger espaços internos de aeronaves e espaço de máquinas de veículos de combate (FINNERTY, 1995).

Além disso, sistemas de névoa de água podem ser combinados com outros agentes de gasosos para a extinção de incêndio. Testes mostraram que a capacidade de combate do sistema de névoa de água pode ser aumentada substituindo o nitrogênio ou outros gases inertes ou ar como o segundo fluido (SPE, 2003).

Quando à água nebulizada, foi utilizada junto com um agente gasoso, como FM-200 e Halon 1301 o acionamento da água nebulizada ao mesmo tempo, antes ou depois do acionamento do agente gasoso, poderá elevar o desempenho do agente gasoso na prevenção da re-ignição dos combustíveis. A combinação de um agente gasoso com água nebulizada também significa reduzir a produção de subprodutos ácidos gerados pela combustão.

O acionamento do sistema de água nebulizada um minuto antes de descarga de agente gasoso, limitou a geração de HF (ácido fluorídrico) a um valor de pico de 200 ppm, comparado a valores maiores que 4000 ppm para testes sem a descarga de névoa de água. A temperatura foi reduzida de mais de 250°C para menos que 60°C em menos de 5 segundos depois do acionamento da água nebulizada. Para comparação, quando utilizou somente o agente gasoso no mesmo intervalo de tempo, a temperatura caiu somente 50°C (MARANGHIDES et al., 1966).

Todavia, o uso de aditivo e a adição de substâncias químicas ou uma combinação de gases/líquidos inerte com água nebulizada, aumenta o custo operacional e a corrosividade nos equipamentos, como também o nível de toxicidade, em comparação como o uso de somente a água (SPE, 2003).

Em alguns casos, se a maioria das gotas forem desviadasfor desviada do incêndio, a eficácia da supressão com aditivos químicos ficará comprometida. Além disso, a redução da taxa de evaporação da água através do aditivo submeteria uma penalidade adicional, porque, durante um determinado tempo, seria gerado menos vapor de água que reduzirá o alcance da nuvem de vapor em focos adjacentes, comprometendo, a extinção.

Estes fatores devem ser considerados na avaliação de sistemas de névoa de água com aditivo ou combinações de gases/líquidos inerte com névoa de água. (KING et al., 1997).

No entanto, o uso de aditivos na água nebulizada e a adição de substâncias químicas ou uma combinação de gases/líquidos inertes com a água nebulizada,

aumenta o custo operacional e a corrosividade nos equipamentos como também o nível de toxicidade, em comparação com uso somente de água (SPE, 2003).

Em alguns casos, se as gotas estiverem desviadas das suas trajetórias em relação ao fogo, e eficiência da extinção química poderá ficar comprometida. Além disso, a redução da taxa de evaporação da névoa pelo aditivo ficará comprometida, porque durante um determinado tempo, a geração de vapor de água é reduzida e compromete a extinção do fogo nas adjacências

Estes fatores devem ser considerados e avaliados do sistema de água nebulizada quando são utilizados aditivos ou combinações de gases/líquidos inertes com a névoa (KING et al., 1997).

### 3.3 MÉTODOS DE GERAÇÃO DA NÉVOA

Em geral, os sistemas geradores de água nebulizada podem ser divididos em três categorias básicas de mecanismo nebulizadores<sup>[PARTICULA89]</sup> em função da pressão de operação para produzir gotículas e utilizam: único fluido ou dois fluidos<sup>[PARTICULA90]</sup>, quaisquer outros sistemas é a combinação destes dois<sup>[PARTICULA91]</sup> tipos básicos (SPE, 2003).

Os<sup>[PARTICULA92]</sup> três tipos de pressão de operação de bicos aspersores podem produzir características diferentes de névoa. A NFPA (NFPA 750, 2000) define a três faixas de pressão para gerar água nebulizada: baixa, média e alta pressão. Sistemas de baixa pressão operam com pressões de até 12,1 bar (175 psia), sistemas de média pressão operam com pressões maiores do 12,0 bar (175 psia) e menores de 34.5 bar (500 psia), já os sistemas de alta pressão operam a pressões maiores de<sup>[PARTICULA93]</sup> 34,5 bar (500 psia).

A escolha do método de geração de água nebulizada poderá influenciar em fatores como: características de bicos aspersores, custos e eficiência e confiabilidade do sistema. O método de geração de água nebulizada também afeta a capacidade de extinção do sistema, mas não é o único fator. As características da névoa, a distribuição do tamanho das gotas, a densidade do fluxo e o momento da névoa têm uma importância na extinção do incêndio (SPE, 2003).



### 3.3.1 Bicos aspersores

Bicos aspersores são estruturas de aço ou bronze, tendo a sua parte inferior, geralmente, uma rosca que é enroscada na tubulação. No centro da rosca, existe um orifício que poder ser conservado fechado ou não. Na parte superior normalmente, saem dois ou mais braços que se unem na parte inferior por meio de uma chapa cortada (defletor), que<sup>[PARTICULA94]</sup> tem a função de espalhar, em forma de chuveiro, a água que sai em alta velocidade e colide com o<sup>[PARTICULA95]</sup> defletor (SPE, 2003).

A forma do defletor e a velocidade de jato determinam o tamanho das gotas e a distribuição destas, o ângulo de cone. As Figuras 13 a 21, a seguir, mostram bicos aspersores de vários fabricantes.

Um tipo de bico aspersor utiliza uma ampola de “quartzóide”. O elemento operador deste bico é a ampola feita de “Qu<sup>[PARTICULA96]</sup>artz<sup>[PARTICULA97]</sup>o”, uma substância transparente caracterizada pela sua invulgar resistência e rigidez. De fato, esta<sup>[PARTICULA98]</sup> ampola é tão forte que pode resistir à pressão hidráulica que for aplicada no interior do bico.

A ampola e seu conteúdo são de uma natureza permanente e invariável e não sofre deterioração devido à passagem do tempo ou condições atmosféricas, e assim, o bico do tipo “quartzóide” como o elemento fusível imune à deterioração, oferece ilimitada segurança de funcionamento.

Segundo Costa Neto & Mainier (2008) A ampola de “quartzóide” está hermeticamente fechada e selada e contém um líquido<sup>[PARTICULA99]</sup> altamente expansível, capaz de exercer uma força de rompimento muito elevada. No caso da temperatura se elevar acima de um limite pré-determinado, a pressão criada pela expansão do líquido<sup>[PARTICULA100]</sup> rompe a ampola dando saída à água, a qual se espalha então em um conjunto sólido de diâmetro definido, choca-se contra o defletor e é aspergida em forma de chuva ou névoa o<sup>[PARTICULA101]</sup> sobre o foco do incêndio.

A ampola de “quartzóide” é fabricada para diversas temperaturas indicadas na Tabela 4, que abrangem uma faixa de temperaturas normalmente encontradas nas indústrias.

Cada ampola de “quartzoides” é marcada com sua temperatura de operação e, como meio adicional de identificação [PARTICULA102], o seu líquido tem uma cor diferente para cada categoria.

**Tabela 4** - Elemento sensível tipo ampola de vidro

TEMPERATURA NOMINAL (°C)	COLORAÇÃO DO LÍQUIDO
57	Laranja
68	Vermelha
79	Amarela
93	Verde
141	Azul
182	Roxa
183 a 260	Presta

Fonte: ABNT NBR 6134:1992

A pressão de operação imposta nos bicos aspersores vai de baixa a alta pressão. Estes bicos podem gerar névoas de classe 1 a 3, como ângulos de  $60^{\circ}$  [PARTICULA103] e  $120^{\circ}$  [PARTICULA104] para as classes 2 e 3 (SPE, 2003).



**Figura 13** - Bico Aspersor para dois fluidos para sistema de média pressão  
Fonte: Fike



**Figura 14** - Bico Aspersor para dois fluidos para sistema de média pressão para casulo de turbinas  
Fonte: Chemetron

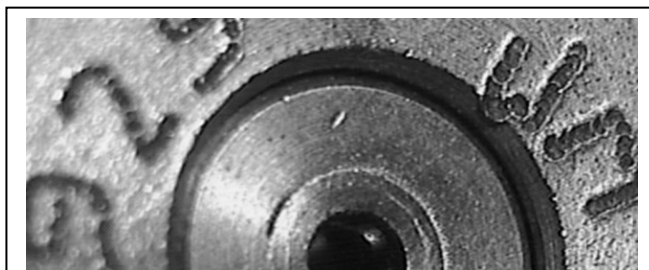
[PARTICULA105]



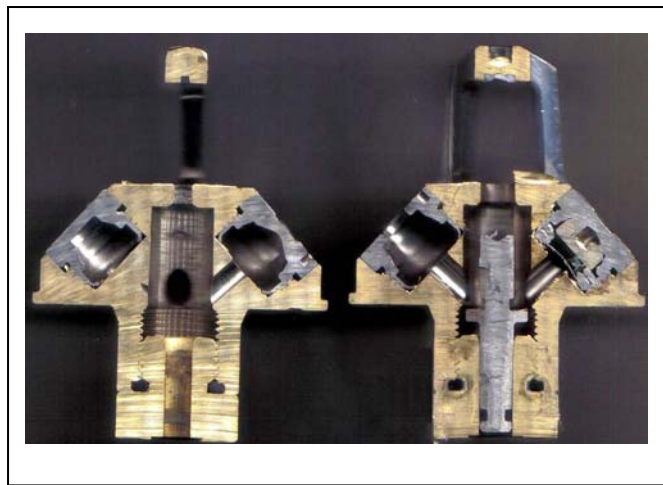
**Figura 15** - Bico Aspersor para um fluido para sistema de média pressão para espaço de máquinas  
Fonte: Chemetron



**Figura 16** - Bico aspersor para um fluido, alta pressão, para espaço com equipamentos elétricos  
Fonte: Marioff Corporation / SEMCO Maritime



**Figura 17** - Orifício de atomização do bico ampliado 30 vezes  
Fonte: Marioff Corporation / SEMCO Maritime



**Figura 18** - Vista dos internos do bico Aspersor para um fluido alta pressão, para ambientes limpos.  
Fonte: Marioff Corporation / SEMCO Maritime



**Figura 19** - Bico Aspersor para um fluido alta pressão para ambiente industrial  
Fonte: Marioff Corporation / SEMCO Maritime

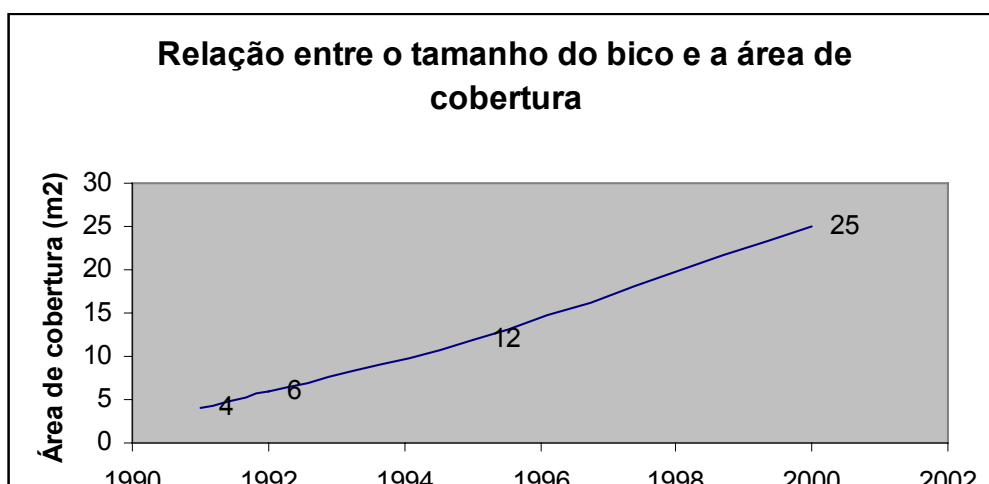


**Figura 20** - Bico Aspersor para um fluido alta pressão de alto rendimento.  
 Fonte: Marioff Corporation / SEMCO Maritime



**Figura 21** - Vista dos internos do bico aspersor para um fluido de alto rendimento  
 Fonte: Marioff Corporation / SEMCO Maritime

O Gráfico 1, a seguir mostra a linha do tempo que ocorreu uma redução do tamanho do bico e conseqüentemente o aumento da área de cobertura, ou seja, pode-se concluir que um bico do ano 2000 pode substituir 6 bicos do ano 1991.



**Gráfico 1** - Evolução do bico aspersor  
Fonte: Marioff CorporationCorporation modificada

O projeto de bico é complexo[PARTICULA111], com alto grau de precisão e o seu custo de fabricação é relativamente caro em relação aos bicos aspersores de dilúvio/sprinkler. Nos bicos com bulbo há uma limitação do momento de penetração axial da névoa. Como o jato de água é quebrado no defletor, a velocidade da névoa é enormemente reduzida, fazendo com que a pressão no bico caia. Além do defletor[PARTICULA112], Os braços do defletor também são causadores de uma distribuição irregular do fluxo[PARTICULA113].

O incêndio do tipo Classe A requer bicos aspersores que geram gotículas de maior diâmetro para a sua extinção (SPE, 2003). Estes demonstraram melhor desempenho, quando são usadas em camarotes, áreas comuns em navios e em edifícios residências (THOMAS, 19902000; BILL, 1996).

Os bicos também têm uma excelente eficácia na extinção de incêndio em hidrocarbonetos em poça e incêndio em jato, comuns em espaços de máquinas em navios, onde o efeito do confinamento torna o momento da névoa menos crítico (BACK et al., 1996).

### **3.3.2 Pressão de Operação dos Bicos**

Bicos aspersores para um único fluido consistem em orifícios de pequenos diâmetros e câmaras. Quando um jato de água em alta velocidade incide o orifício de um bico aspersor, no interior do bico<sup>[PARTICULA114]</sup>, ele torna fino e instável e desintegra em pequenas gotas de água (SPE, 2003).

Para uma gama de bicos aspersores, o diâmetro do orifício varia de 0,2 mm a 3 mm. Um bico aspersor pode ter várias saídas, porém a pressão de operação pode ser pequena, média e alta. A taxa de fluxo está entre 1 L/min para um bico que possui uma única saída ou 45 L/min, quando houver mais de uma saída.

A faixa de pressão de operação vai de 5,1 bar para sistema de baixa pressão e 272 bar para sistema de alta pressão. O ângulo do cone da névoa produzida pelos bicos está entre  $20^{\circ}$  e  $150^{\circ}$  (SPE, 2003; BACK et al., 1996).

Bicos de jato de pressão são usados amplamente para suprimir uma variedade de incêndios, inclusive incêndio de Classe B em espaços de máquinas, casulo de turbomáquinas (BACK, 1996; BACK et al. 1996), incêndio de Classe A em camarote e áreas comuns de navios ARVIDSON (1993). O<sup>[PARTICULA115]</sup> desempenho deles para a proteção de equipamento eletrônico também foi avaliado Mawhinney eE Taber (1996).

Os bicos aspersores quando submetidos à pressão alta são efetivos extintores de incêndio de pequenas potências e podem reduzir o efeito da ventilação na supressão das chamas.

Porém, deve-se avaliar a utilização de sistemas de alta pressão em razão do elevado custo e acréscimo de peso, pois, o qual requer tubulações especiais e bombas.

## 3.4 FLUIDOS DO SISTEMA

### 3.4.1 Sistema com um Fluido

#### 3.4.1.1 Funcionamento do Sistema com um fluido utilizando Tanque de Água

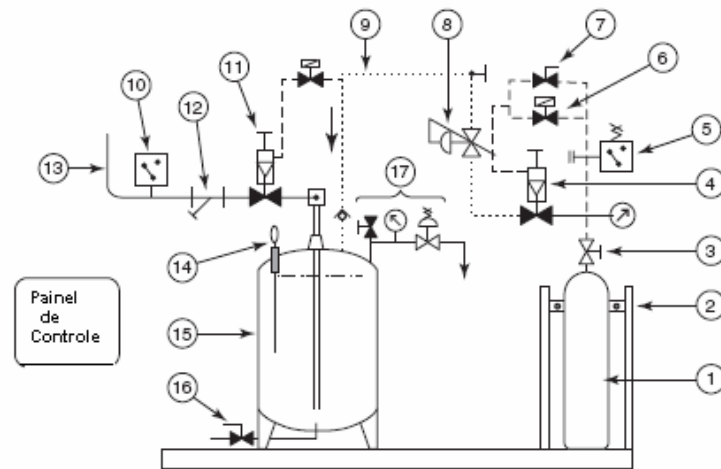
O sistema é composto de um tanque com[PARTICULA116] água, um cilindro com[PARTICULA117] gás e diversos acessórios, conforme mostra o esquema da Figura 22[PARTICULA118] e 23[PARTICULA119], o acionamento dar-se como descrito a seguir:

Ao receber um comando de acionamento a válvula de controle do cilindro de gás (3) é aberta, liberando o gás a alta pressão (200 bar) que ao passar pela válvula de controle de pressão, reduz a pressão para 35 bar aproximadamente. O gás a baixa pressão, pilota a válvula de descarga de água (11[PARTICULA120]), abrindo-a e parte deste gás é[PARTICULA121] direcionado para o interior de tanque (15), que é então pressurizando, fazendo com[PARTICULA122] que a água se desloque[PARTICULA123][PARTICULA124] na direção dos bicos aspersores do ambiente a ser protegido. No caso da ocorrência de sobrepressão no tanque de água, em razão de falha na válvula reguladora, há uma válvula de alívio (17) que drena o excesso de pressão. O pressostato (10) irá confirmar o êxito do acionamento e o pressostato (5) confirmará a passagem do gás piloto.

O sistema também poderá ser acionamento manualmente caso falte energia elétrica, abrindo as válvulas: de[PARTICULA125] acionamento manual da máster, pneumática[PARTICULA126] de descarga (4) e a de[PARTICULA127] descarga de água (11).

Depois de realizado o acionamento do sistema, todo o sistema deverá ser desenergizado, então, a reposição de água dar-se-á conectando uma linha de água no dreno (16) até chegar ao nível inicial (14); em seguida o cilindro de gás (10) deverá ser substituído.





- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 1. Cilindro de gás                      | 10. Pressotato de alarme de descarga |
| 2. Fixação do cilindro                  | 11. Válvula de descarregar de água   |
| 3. Válvula de controle do cilindro      | 12. Filtro                           |
| 4. Válvula pneumática de descarga       | 13. Tubo para os bicos aspersores    |
| 5. Pressotato com disco de ruptura      | 14. Indicador de nível de água       |
| 6. Solenóide da válvula master          | 15. Pressotato de Tanque de água     |
| 7. Acionamento manual da válvula master | 16. Válvula de dreno                 |
| 8. Válvula reguladora de pressão        | 17. Válvula de alívio                |
| 9. Tubing                               |                                      |

**Figura 22** - Representação esquemática de sistema de *Water Mist* com um fluido utilizando tanque.

Fonte: NFPA 750 modificada



**Figura 23** - Tanque cilindro de nitrogênio

Fonte: FIKE.

### 3.3.1.2 Funcionamento do Sistema com um fluido Utilizando Cilindros de Água

O sistema é composto de cilindros com[PARTICULA128] água, um cilindro com[PARTICULA129] gás e diversos acessórios, conforme mostra o esquema da Figura 24[PARTICULA130] e 25[PARTICULA131], o acionamento dar-se como descrito a seguir:

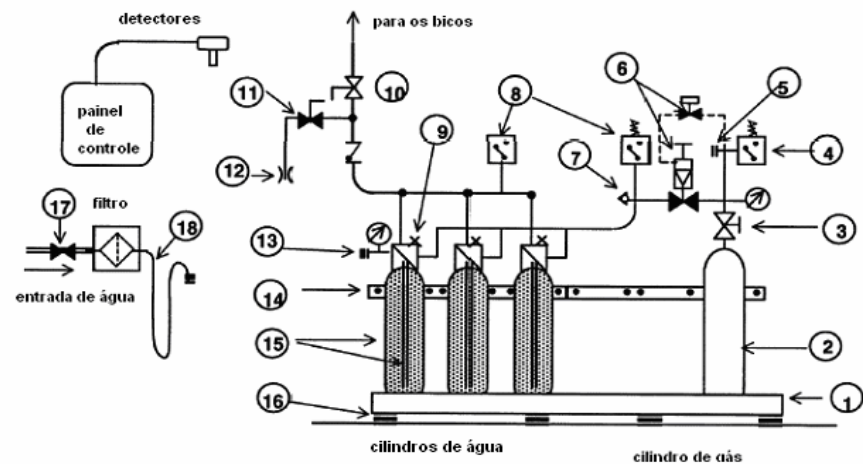
Ao receber um comando do painel de controle, a válvula de controle do cilindro com[PARTICULA132] gás (6) é aberta, liberando o gás a alta pressão (200 bar) que pilota as válvulas dos cilindros com[PARTICULA133] água. O gás a alta pressão, pressuriza os cilindros de água (15). A água segue pelo coletor e em seguida entra na tubulação que a leva até aos bicos aspersores do ambiente a ser protegido.

No caso da ocorrência de sobrepressão na linha de gás, há um disco de ruptura (5) que drena para atmosfera a pressão do cilindro. O pressostato (8) irá confirmar o êxito do acionamento e o pressostato (4) confirmará a passagem do gás piloto.

O sistema também poderá ser acionamento manualmente caso falte energia elétrica, abrindo as válvulas: de[PARTICULA134] acionamento manual (6) e a de[PARTICULA135] descarga de água (10).

Existindo uma fonte de água pressurizada, está, pode ser conectada na tomada (12) que a envia diretamente para os bicos aspersores. Está mesma tomada pode ser usada para drenar o sistema se necessário for.

Depois de realizado o acionamento do sistema, todo o sistema deverá ser desenergizado, então, a recomposição do sistema dar-se-á substituindo os cilindros vazios[PARTICULA136] de água e o de[PARTICULA137] gás.



- |                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Base de aço                     | 10. Válvula de bloqueio              |
| 2. Cilindro de gás                 | 11. Válvula de teste e drenagem      |
| 3. Válvula de controle do cilindro | 12. Conexão de suprimento de água    |
| 4. Pressostato do cilindro         | 13. Coletor de descarga do cilindro  |
| 5. Disco de ruptura                | 14. Suporte de fixação dos cilindros |
| 6. Solenóide do cilindro mestre    | 15. Cilindro e tubo pescador de água |
| 7. Válvula de vazamento            | 16. Célula de cara                   |
| 8. Pressostato de falha do sistema | 17. Válvula de suprimento de água    |
| 9. Alívio                          | 18. Mangote de suprimento de água    |

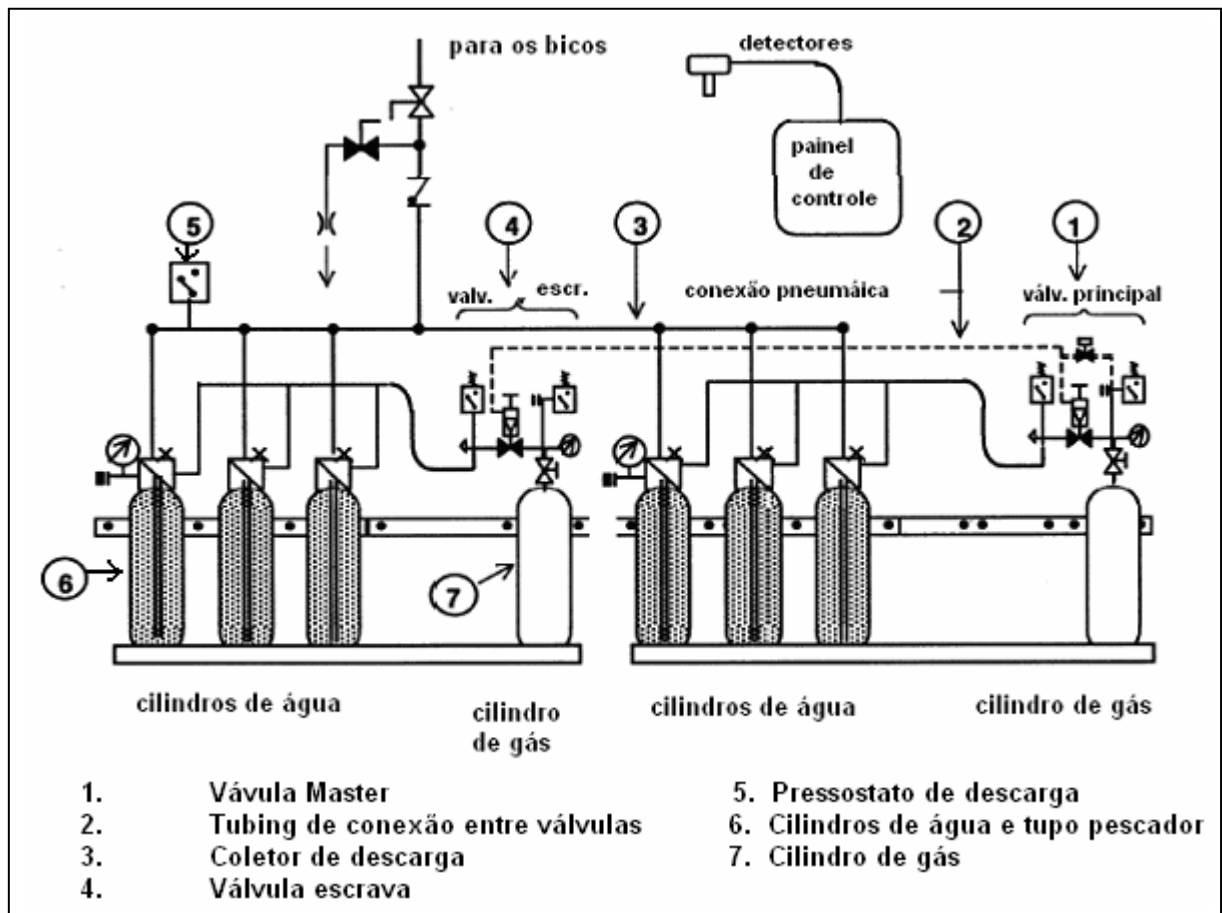
**Figura 24** - Representação esquemática utilizando gás à alta pressão utilizando cilindros de água  
 Fonte: NFPA 750 modificada



**Figura 25** - Cilindro de nitrogênio e cilindro de água  
 Fonte: Marioff

### 3.3.1.3 Funcionamento do Sistema com um Fluido Utilizando Cilindros Reserva de Água

O funcionamento é semelhante ao do sistema de um fluido utilizando cilindros com água, porém, o cilindro piloto (1) além de acionar as válvulas dos cilindros escravos do seu grupo, aciona também as válvulas escravas do grupo reserva (4) e a Figura 26 mostra o esquema e o arranjo.



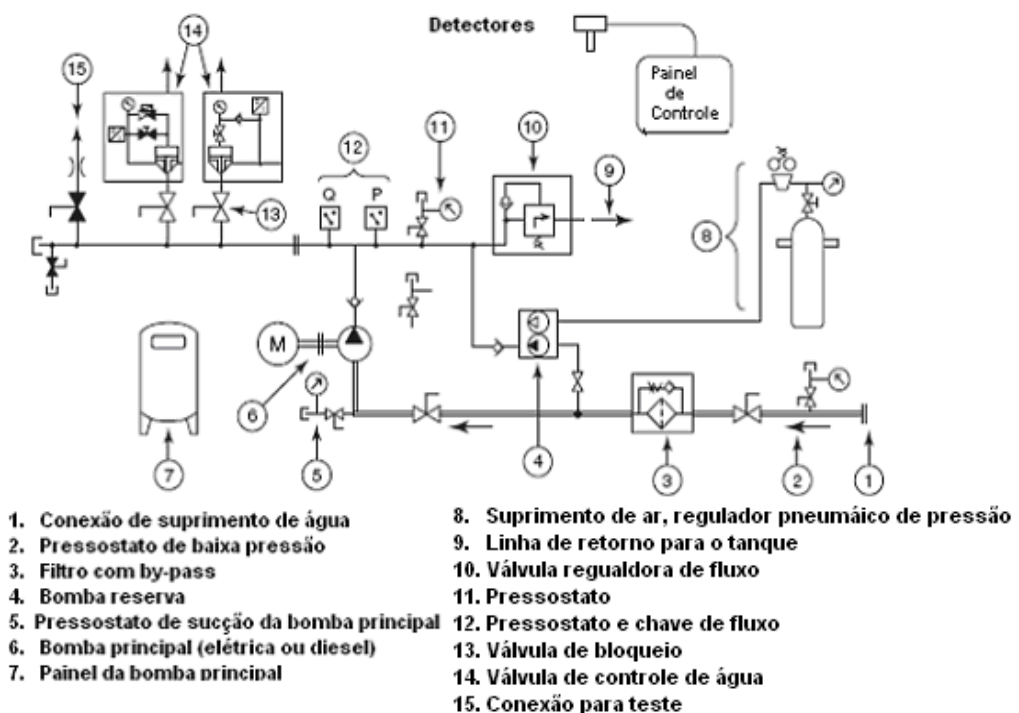
**Figura 26** - Representação esquemática com um único fluido utilizando gás como propelente  
 Fonte: NFPA 750 modificada

### 3.3.1.4 Funcionamento do Sistema com um Fluido Utilizando Bomba Pneumática

Conforme mostrado a seguir nas Figuras 26 e 27, o sistema é composto por um reservatório com água (1), bomba pneumática com válvula reguladora e cilindro com ar comprimido (8), bomba principal (elétrica ou diesel) (6), painel de controle (7), válvula de descarga (14), válvula de controle de fluxo (10), linha de retorno (9), filtro do suprimento de água (3), painel de controle e painel de partida da bomba (7).

O acionamento dar-se-á como descrito a seguir:

Ao receber um comando de acionamento do painel de controle, a bomba principal entra em funcionamento pressurizando o coletor. O pressostato e a chave de fluxo confirmam a pressão de fluxo no coletor, a válvula de descarga é aberta automaticamente, liberando o fluxo de água para os bicos aspersores. Caso a bomba principal entra no modo de falha, a válvula do cilindro com ar comprimido/gás deverá ser aberta, libertando o ar/gás para o acionamento da bomba reserva. A bomba reserva mantém a pressão constante devido ao controle da pressão (8) através da válvula reguladora de pressão. Havendo sobrepressão no coletor, a válvula de controle de pressão abre alinhando o excesso de pressão para o reservatório.



**Figura 27** - Representação esquemática com um único fluido  
Fonte: NFPA 750 modificada

### 3.3.1.5 Funcionamento do Sistema de um Fluido Utilizando Bomba Pneumática, Cilindros Reserva de Água

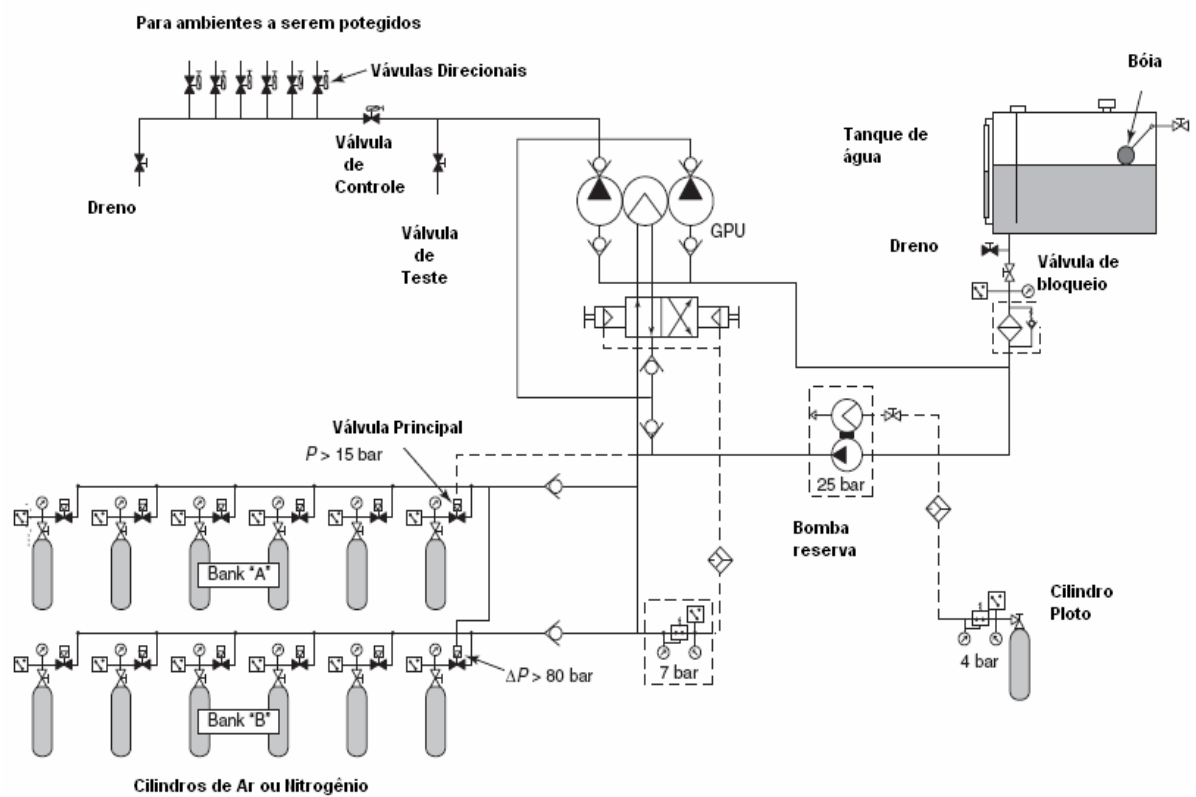
O sistema é composto por um reservatório de água, filtro, bomba pneumática (GPU), conjunto de cilindros principais e reserva de gás (ar ou nitrogênio), bomba pneumática reserva e cilindro piloto.

Conforme mostra a seguir nas Figuras 29 e 30, o acionamento dar-se como descrito a seguir:

Ao receber um comando de acionamento, o atuador principal libera o gás dos cilindros principais, este por sua vez, atua a válvula pneumática que libera o gás propelente da unidade GPU. A unidade GPU que está diretamente ligada ao reservatório de água, pressurizará o coletor. A água ao encontrar a válvula direcional do ambiente a ser inundado, que já estar aberta, é alinhada para os bicos aspersores do ambiente a ser protegido. Em caso de falha nos cilindros há uma bomba reserva acionamento por um cilindro piloto. Esta bomba pressurizará o motor propelente pneumático da à unidade GPU que por sua vez acionará as bombas de água.



**Figura 28** - Cilindros com nitrogênio e bomba pneumática  
Fonte: Marioff



**Figura 29** - Representação esquemática com um único fluido com suprimento principal e reserva  
Fonte: NFPA 750 modificada.







**Figura 30** - Cilindros de água e nitrogênio e bomba pneumática  
Fonte: MARIOFF

### 3.3.2 Sistema com dois Fluidos

Há bicos aspersores com dois fluidos que podem funcionar com água, ar comprimido ou nitrogênio. Eles consistem de uma entrada de água e uma segunda entrada de ar comprimido ou nitrogênio. No interior do bico há uma câmara onde os dois fluidos são misturados e o jato é quebrado, produzindo gotas que saem pelos orifícios de descarga (LEFEBVRE, 1989; NICKOLAUS, 1996).

Sistemas que utilizam dois fluidos são, normalmente, de baixa pressão, até 12,1 bar (175 psia) e o ângulo do cone para este tipo de bico névoa varia entre  $20^{\circ}$  e  $120^{\circ}$ . Os tamanhos das gotas produzidas por um bico do tipo dois fluidos são névoas de classe 1 e 2 (BACK et al., 1996).

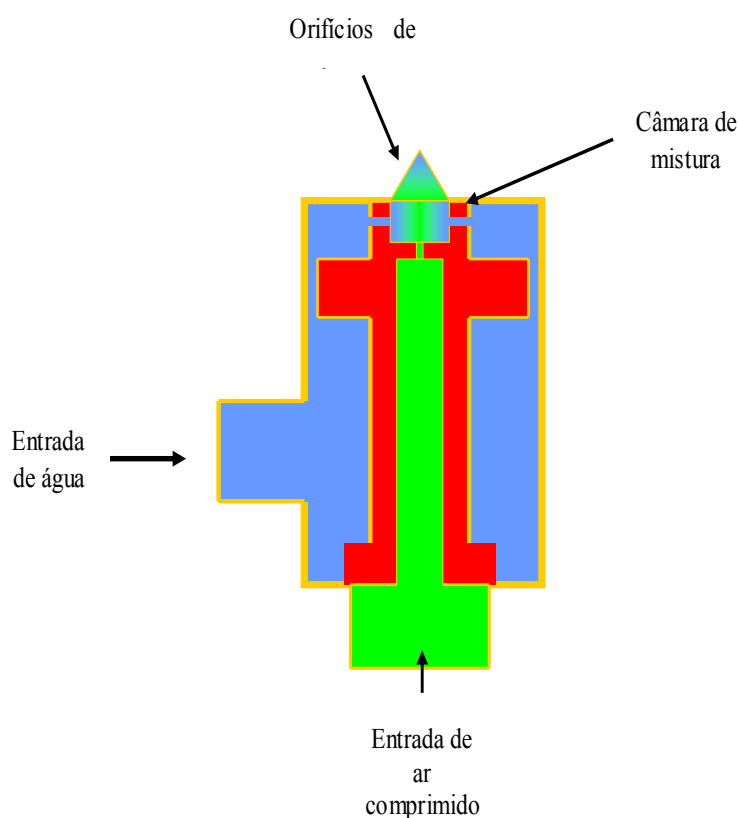
Com o uso de bicos do tipo com dois fluidos, conforme mostrado nas figuras 3.19 e 3.20, pode-se controlar a distribuição do tamanho da gota, ângulo do cone, impulso da névoa e a taxa de descarga. Também, quando o ar comprimido é utilizado como segundo fluido, este leva uma quantidade de pequenas gotas de água para o interior da combustão, produzindo assim, forte turbulência da mistura

água/ar com o fogo; aumentando os efeitos da eficácia dos sistemas de dois fluidos na extinção (BUTZ; MARMARO, 1994).

Sistemas de névoa que utilizam dois fluidos foram usados por muitos anos pela indústria. Eles têm boa confiabilidade, são menos prováveis de entupir devido aos orifícios de descarga maiores e fácil manutenção por operarem com baixa pressão. O ar comprimido como segundo fluido pode ser substituído por outro fluido atomizador como nitrogênio ou CO<sub>2</sub>. Como a pressão de operação é baixa, as tubulações, conexões e válvulas são encontradas facilmente no mercado fornecedor de equipamentos industriais e a montagem é facilitada (SPE, 2003).



**Figura 31** - Bico aspersor com dois fluidos para sistema de baixa pressão  
Fonte: SECURIPLEX



**Figura 32** - Internos de um bico aspersor com dois fluidos para sistema de baixa pressão  
 Fonte: SECURIPLEX

A primeira desvantagem do sistema de água nebulizada que utiliza dois fluidos é o custo do sistema, pois este requer duas linhas de suprimento, água e ar/gás, e um grande reservatório de ar/gás. O seu impulso da névoa é pequeno devido à baixa pressão de descarga, comparando com o sistema que utilizam um único fluido, comprometendo a eficácia na extinção do incêndio (BACK et al., 1996).

O Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá realizou uma série de testes objetivando comparar o desempenho de extinção de sistema de água nebulizada com um único fluido e sistema com dois fluidos. A pressão de descarga utilizada no sistema com um único fluido foi de 70 bar (1015,2 psia) com taxa de descarga de 78 L/min. O sistema de dois fluidos teve a pressão de 5,78 bar (83,8 psia) para água e 5,57 bar (80,7 psia) para ar comprimido com taxa de descarga de 70 L/min. O resultados dos testes mostraram que sistema de água nebulizada que utiliza dois fluidos não extinguiu alguns incêndios que foram extintos por sistema de um único fluido. A quantidade de troca das condições de ventilação do ambiente teve uma

grande influência no desempenho do sistema com dois fluidos do que no sistema de um único fluido.

## 4 ENSAIOS DE CAMPO

Visando a interação e integração do referencial teórico aos [PARTICULA148] aspectos práticos do processo de atomização da água (*water mist*) no combate incêndio, foram realizados alguns ensaios para avaliar o funcionamento e validação do sistema.

Os ensaios foram realizados na empresa A SEMCO MARITIME que está instalada em várias cidades da Dinamarca e produz sistemas [PARTICULA149] para quatro segmentos: Engenharia e Construção, Painéis elétricos para Unidades Navais, Serviços Navais e Proteção Contra Incêndio. O segmento de Proteção contra incêndio está localizado na cidade de Esberj e o sítio de teste está instalado na cidade de Odense. Ela está certificada de acordo com a OHSAS 1800 (1999) e ISO 14001 (2004).

O sistema de água nebulizada desenvolvido pela empresa SEMCO MARITIME é do tipo alta pressão, podendo ser sistema seco ou molhado.

Os sistemas são certificados de segundo os protocolos de teste do FMRC (2001), conforme requerido pelo NFPA 750 (NFPA, 2000).

### 4.1 DESENVOLVIMENTO DO TESTE

#### 4.1.1 Histórico

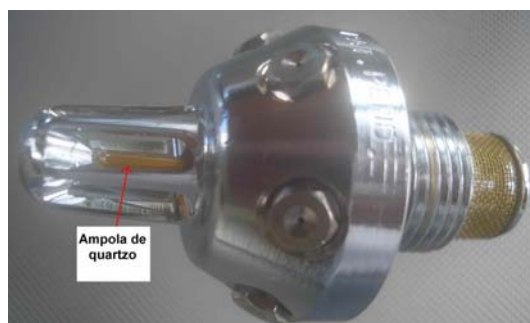
Os testes descritos a seguir foram realizados na cidade de Odense, Dinamarca, no período de 11 a 13/06/2007, com o objetivo de verificar a extinção de incêndio em atuação do sistema de nebulizada (*water mist*) em painéis elétricos e computadores. Todavia, estes são demonstrativos de funcionamento do sistema, sob condições não plenamente controladas.

O sistema caracteriza-se por ser do tipo: fluido único, alta pressão, atuando como sistema de água nebulizada para uma rede aberta de distribuição de água utilizando aspersores não-automáticos e específicos. Além disso, é especificado

para supressão de incêndio e aplicação como proteção total de compartimentos, apresentando como solução alternativa do tipo sistema pré-engenheirado *pre-engineering system*, isto é, para uso com pressão nos bicos aspersores, vazões e quantidade de água pré-determinada.

#### 4.1.2 Equipamentos Utilizados

A unidade utilizada consiste de um reservatório intermediário de água, fabricado em aço inox, bombas de alta pressão (110 L/min @ 100 bar) painel de acionamento, linhas flexíveis e quatro bicos aspersores do tipo *sprinkler for public spaces* (5.01-5-56-17-57) como mostrado na Figura 33<sup>[PARTICULA150]</sup>. Os bicos foram instalados no teto a 2,5 m de altura, distância entre bicos de 3,5 m e distância das paredes de 1,75 m de uma área previamente preparada para a realização dos testes.



**Figura 33** - Bicos aspersores do tipo “*sprinkler for public spaces*”.  
Fonte: SEMCO

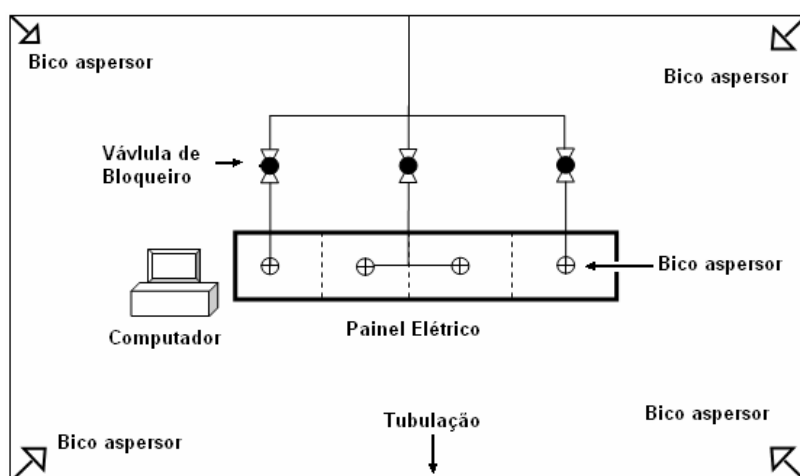
O painel testado é um painel elétrico de distribuição, grau de proteção IP44, composto de três cubículos adjacentes, parte inferior aberta provendo acesso aos cabos provenientes de bandeja localizada abaixo do piso elevado. Parte superior do primeiro e segundo cubículo com dois furos e terceiro cubículo com um furo para instalação de micro aspersores no seu interior.

O painel está localizado no centro do arranjo dos aspersores, mostrado na Figura 34<sup>[PARTICULA151]</sup>, simulando o compartimento elétrico protegido bicos aspersores. O tipo de arranjo contempla a proteção de supressão de incêndio

localizada com disparo dos aspersores apenas nas adjacências da área afetada pelo fogo. A Figura 35<sup>[PARTICULA152]</sup> mostra o esquema do arranjo dos testes e configuração do sistema *water mist*.



**Figura 34** - Painel do teste  
Fonte: Acervo do autor



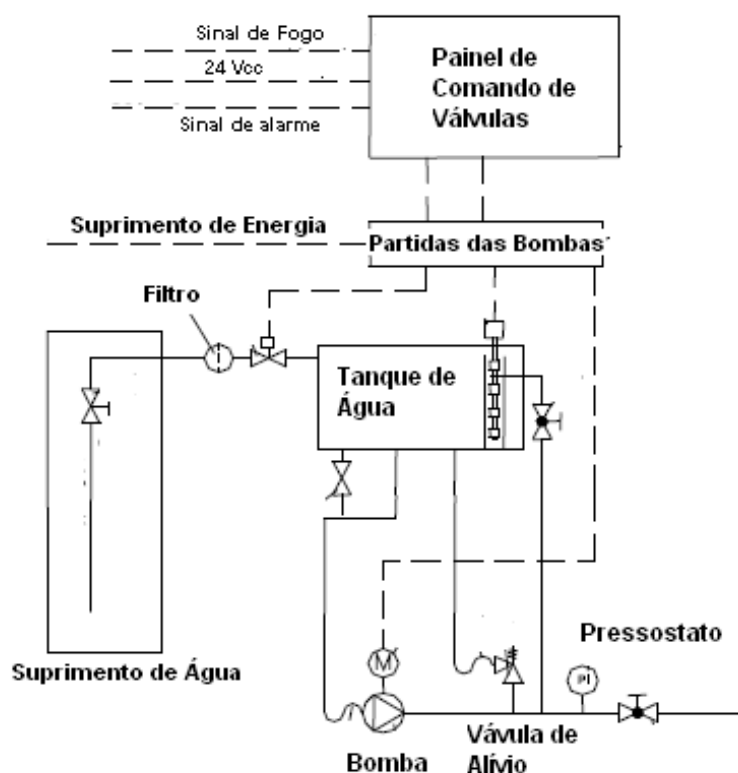
**Figura 35** - Arranjo dos testes  
Fonte: Elaborada pelo autor

#### 4.1.3 Princípio de Funcionamento

O sistema é composto por um reservatório de água intermediário conectado ao reservatório principal. As bombas elétricas conectadas ao tubo coletor aspiram a [PARTICULA153] água do tanque intermediário e pressuriza a linha onde os bicos aspersores então conectados. O painel elétrico comanda a partida e parada das bombas. Para garantir a qualidade da água, foi instalado um filtro na [PARTICULA154]



linha de suprimento de água para o tanque intermediário, conforme mostra Figura 36.



**Figura 36** - Configuração do sistema *Water Mist*  
Fonte: Elaborada pelo autor

Para a proteção dos ambientes com predominância de equipamentos elétricos são normalmente utilizadas tubulações secas pressurizadas com ar. Quando há rompimento do bulbo [PARTICULA155], há um disparo do alarme de baixa pressão da zona afetada na sala de controle. O operador através do Centro de Controle de TV (CCTV) avalia a situação e decide se irá enviar algum membro da equipe para uma avaliação no local antes de acionar o sistema ou intervenção com extintores portáteis. Caso o operador decida acionar o sistema de água nebulizada, primeiro deverá desenergizar o barramento afetado, caso a proteção do mesmo ainda não tenha [PARTICULA156] atuado; em seguida, aciona [PARTICULA157] a bomba de água do *water mist* e por fim comanda [PARTICULA158] a abertura da válvula de seção do compartimento afetado. Desta forma, a água só será enviada para os bicos localizados nas proximidades do incêndio. Evita-se, assim, que haja um disparo acidental com o barramento energizado, mesmo que seja rompido o bulbo do bico aspersor de *water mist* do tipo sprinkler.

A água tem como propósito evitar a propagação do incêndio para equipamentos e bandejas de cabos elétricos do mesmo compartimento. No caso de uma sala com grande quantidade de bandejas de cabos ou um túnel de cabos um alastramento do incêndio poderia ocasionar uma parada prolongada, podendo acarretar grandes prejuízos.

Geralmente um incêndio em painel elétrico, quando provocado por um curto-circuito, com a formação de arco elétrico, danifica, instantaneamente, tudo nas suas proximidades. Portanto o maior dano já ocorreu, a refrigeração proporcionada pela aplicação do *water mist* evita a propagação deste.

O acionamento dar-se-á como descrito a seguir: ao receber um comando de acionamento manual, as bombas entram em funcionamento pressurizando a linha onde os bicos aspersores estão conectados, realizando assim, a aspersão da água sobre o painel elétrico. As tubulações são [PARTICULA159] de aço inox e há uma válvula de alívio e um pressostato após a descarga de bomba visando proteger a tubulações de sobrepressão. O nível do tanque intermediário é controlado através da chave de nível que se encarrega de abrir a válvula de bloqueio na entrada do tanque.

#### 4.1.4 Resumo da Seqüência dos Testes

Resumidamente, o teste consiste em:

- Verificação do grau de estanqueidade do painel quanto à penetração de névoa de água proveniente do sistema de *water mist*;
- Teste de incêndio na parte interna do painel e acionamento do sistema de *water mist*, aspergindo névoa do bico aspersor localizado na parte superior interna do painel;
- Teste de incêndio na parte interna do painel e acionamento do sistema de *water mist*, aspergindo névoa do bico aspersor localizado na parte superior interna do painel; considerando um tempo de pré-queima e com a porta do painel aberta;
- Teste simulando uma sala de computadores, onde um microcomputador e ligado e os 4 bicos aspersores são ativados.

## 4.2 SEQUÊNCIA DOS TESTES

Nenhum protocolo de teste foi seguido, por se tratar de testes demonstrativos.

Antes de iniciar o teste, os bulbos dos quatro bicos aspersores foram quebrados de forma que todos os bicos serão pressurizados simultaneamente. Conforme informação da SEMCO, a configuração utilizada de instalação de bicos do tipo sprinkler, é a mais utilizada na proteção de sala de painéis elétricos e túnel de cabos.

O ambiente onde se desenvolvia o teste era um galpão, aberto na parte frontal, protegido na parte de trás por uma parede e nas laterais e teto com uma estrutura de madeira com plástico industrial.

### 4.2.1 Teste do Grau de Estanqueidade do Painel Elétrico sob *Water Mist*

As válvulas de bloqueios instaladas nas tubulações que conectam aos bicos instalados no interior de cada coluna do painel foram fechadas, e em seguida o sistema foi acionado manualmente com o painel energizado com uma tensão de 440 Vac. Este fato simula uma condição muito severa para testar a estanqueidade de painéis à penetração da névoa.

Após 15 minutos, o sistema de *water mist* foi desligado e também a energia do painel, para a realização das verificações externa e posteriormente abertas as porta do painel.

#### 4.2.1.1 Observações do teste

Observado que:

- No ambiente, em determinado momento<sup>[PARTICULA160]</sup><sup>[PARTICULA161]</sup>, e em<sup>[PARTICULA162]</sup> outro, havia<sup>[PARTICULA163]</sup> a formação densa de névoa, ora a névoa ficava rarefeita em razão da ausência de bloqueio na parte frontal

do ambiente onde se desenvolvia o teste e o efeito do vento que carreava a névoa para o ambiente externo. Efeitos são mostrados nas Figuras 37 e 38.



**Figura 37** - Formação densa de névoa  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 38** - *Water mist* sobre efeito do vento  
Fonte: Acervo do autor

- A Figura 39 a seguir mostra um volume considerado de gotas na parte externo do painel;
- Houve a penetração de uma pequena quantidade de gotas de água na face oposta das portas do painel, onde existiam botoeiras e sinaleiras instaladas, Figura 40;
- Observado a ausência de gotas nos componentes elétricos instalados no interior do painel;
- Após o teste o painel foi desenergizado e medida a isolação das 3 fases com megômetro ajustado para tensão de teste de 1000V. A resistência

de isolamento medida nas 3 fases foi maior que 300 M $\Omega$  (fim de escala do megômetro utilizado);

- O Grau de Proteção (IP) <sup>19</sup> o painel foi comprometido, uma vez que o mesmo foi modificado devido à furação na parte superior (para instalação dos bicos aspersores) e utilização de piso suspenso aberto, mostrado a seguir na Figura 39.



**Figura 39** - Teste de estanqueidade do painel.  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 40** - Teste de Isolação do painel após o teste  
Fonte: Acervo do autor

---

<sup>19</sup> IP – Grau de Proteção: Forma de indicação do grau de proteção de um equipamento, quanto à penetração de corpos sólidos e líquidos

#### 4.2.2 Teste de Extinção de Incêndio em Painel Elétrico utilizando *Water Mist*

Para este teste foi instalado na parte inferior da coluna central um bico de maçarico ligado a um botijão contendo heptano, com o objetivo de elevar a carga de incêndio, conforme mostrado na Figura 42. Pedacos de mangueiras também foram instalados e fixados junto à bandeja de cabos elétricos não retardante a chama para aumentar a potência do incêndio.

A válvula de bloqueio instalada na linha que alimenta os bicos instalados nos cantos do ambiente foi fechada e a válvula de bloqueio instalada na tubulação que conecta os dois bicos instalados na parte superior da coluna central foi aberta, conforme visto na Figura 43. O heptano foi liberado e em seguida, com uma tocha, iniciou-se a ignição na parte inferior do painel, demonstrado na Figura 42. O combustível foi cortado e em 33 segundos e após, 12 segundos do corte do combustível, a porta é fechada. Com a combustão se desenvolvendo com a porta fecha, 8 segundos após o sistema foi acionado manualmente com o painel energizado, com tensão 440 Vac. O incêndio é extinto em 40 segundos.



**Figura 41** - Combustão nos cabos elétricos  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 42** - Internos do painel e bicos aspersores  
 Fonte: Acervo do autor

#### 4.2.2.1 Observações do teste

Observado que:

- Foram observados no teste os seguintes pontos;
- Pouca fuligem nas chapas laterais das divisórias e no disjuntor principal;
- Após o teste o painel foi desenergizado e medida a isolação das 3 fases com megômetro ajustado para tensão de teste de 1000V. A resistência de isolação medida nas 3 fases foi 0,04 M $\Omega$ , conforme Figura 43.



**Figura 43** - Teste de isolação  
 Fonte: Acervo do autor

### 4.2.3 Teste de Extinção de Incêndio em Painel Elétrico utilizando *Water Mist* no Interior

Para este teste foi instalado na parte inferior da coluna central um bico de maçarico ligado a um botijão contendo heptano, com o objetivo de elevar a carga de incêndio, conforme mostrado na Figura 41. Pedacos de mangueiras também foram instalados e fixados junto à bandeja de cabos elétricos não retardante a chama para aumentar a potência do incêndio.

A válvula de bloqueio instalada na linha que alimenta os bicos instalados nos cantos do ambiente foi fechada e a válvula de bloqueio instalada na tubulação que conecta os dois bicos instalados na parte superior da coluna central foi aberta, conforme visto na Figura 42. O heptano foi liberado e em seguida, com uma tocha, iniciou-se a ignição na parte inferior do painel. Após 2 minutos o combustível é cortado e 20 segundos após o sistema foi acionado manualmente. O incêndio foi extinto em 1min55 s. A porta permaneceu aberta durante o teste. O sistema de *water mist* permaneceu ligado 30 segundos após a extinção do incêndio. As Figuras 45 a 53 mostram a seqüência da combustão nos cabos até a extinção do fogo.

Figuras 44 a 52: Seqüência do incêndio até a extinção



**Figura 44** - Início do incêndio  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 45** - Incêndio desenvolvendo  
Fonte: Acervo do autor





**Figura 46** - Incêndio desenvolvendo  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 47** - Incêndio desenvolvendo  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 48** - Heptano é bloqueado  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 49** - Atuação do *Water Mist*  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 50** - Atuação do *Water Mist*  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 51** - Incêndio extinto  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 52** - Atuação prolongada de *Water Mist*  
Fonte: Acervo do autor

#### 4.2.3.1 Observações do teste

Observado que:

- Ao término do teste o painel foi totalmente aberto para a inspeção visual;
- Observou-se que os fios foram desconectados do barramento e medida a isolamento elétrica deste. Observou-se que houve baixa isolamento no

barramento. Fato já esperado em razão da proximidade dos bicos aspersores ao barramento;

- Apesar de haver uma grande produção de fuligem no processo de combustão, está foi removida completamente após a atuação do sistema de *water mist*.
- A isolação do painel, mesmo após o disparo do *water mist* no interior do painel, manteve-se acima de 300 M $\Omega$ . Somente após iniciado o incêndio com liberação da fumaça proveniente da queima do PVC é que foi observada uma queda acentuada na isolação, que atingiu o valor de 40 K $\Omega$ ;
- Observado na Figura 52, que a água se mostrou menos condutora do que a fumaça causada pela queima do PVC; comprovando o que a literatura já afirmava;
- Foi observado que mesmo com o incêndio e a aplicação do *water mist*, somente neste terceiro teste, com o painel já contaminado com fumaça e água e ainda com o isolamento comprometido, desde o teste anterior, houve desarme do disjuntor de 63A que estava alimentando o painel, Figura 53.



**Figura 53** - Painel aberto após o teste  
Fonte: Acervo do autor

#### 4.3.4 Teste de Continuidade funcional de Desktop sob *Water Mist*

A válvula de bloqueio instalada na linha que alimenta os bicos instalados nos cantos do ambiente foi aberta e a válvulas de bloqueio instaladas na tubulação que conecta aos bicos instalados na parte superior da coluna central foi fechada, conforme mostra o esquema apresentado na Figura 35.

Foi realizado um teste, simulando condição de aplicação de *water mist* em uma sala de controle. Desta forma, foi colocado um monitor de computador e um desktop ao lado do painel utilizado nos testes anteriores e submetido à descarga de *water mist* durante 7 minutos, sem fogo.

As Figuras 54 a 57, mostram a seqüência do teste.

##### 4.3.3.1 Observações do teste

Observado que:

- Durante a aplicação houve uma primeira falha do monitor após 5 minutos, entretanto, o mesmo voltou a funcionar. Somente após 7 minutos ele parou de funcionar definitivamente;
- Em seguida, a aplicação de *water mist* foi interrompida e o monitor danificado desconectado, sendo conectado um novo monitor, somente para verificação da funcionalidade do computador, o que efetivamente ocorreu;
- Após este teste, o computador foi desligado e aberto, para verificação de possível ingresso de água. Entretanto, não foi observado (Figura 57) o ingresso de água no seu interior.



**Figura 54** - Início do teste  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 55** - Computador sob névoa  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 56** - Computador funcionando após a substituição do monitor  
Fonte: Acervo do autor



**Figura 57** - Computador aberto após o teste  
Fonte: Acervo do autor



## 5. ANÁLISE CRÍTICA DO ENSAIOASIO DE CAMPO

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios realizados e uma avaliação crítica da tecnologia da água nebulizada.

### 5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ENSAIOS

A literatura técnica referência e os testes de desempenho mostraram que o sistema de combate a incêndio com água nebulizada (*Water Mist*), para compartimentos de máquinas e ambientes fechados, onde havia uma grande preocupação com a estanqueidade, é uma excelente opção de uso.

A partir da avaliação de um estudo de caso e pelos resultados observados nos testes, pode-se dizer que os seguintes mecanismos predominantes no processo de extinção de incêndio foram comprovados.

Em relação aos ensaios foram observadas as seguintes considerações:

- A utilização de *water mist* como sistema fixo de combate a incêndio, instalado em compartimentos de painéis elétricos, provê a supressão de incêndio no compartimento e diminui o risco de propagação do incêndio e conseqüentemente, dano aos equipamentos do compartimento adjacentes;
- Notou-se no compartimento onde desenvolvia o incêndio, que os componentes e as divisórias estavam praticamente isentas de fuligem. Isto vem comprovar o efeito cinético da névoa de *water mist*. O carreamento das partículas em suspensão deixa o ambiente limpo onde se desenvolveu o processo de combustão. Este fato está em consonância com literária técnica;
- A preocupação com o grau de proteção (IP) dos equipamentos submetidos à névoa de *water mist*, mostrou-se evidenciado no teste de estanqueidade;
- Observou-se que o calor radiante desenvolvido nos cabos pelo processo da combustão, não afetaram os demais componentes do painel elétrico;

- Os equipamentos elétricos mesmo submetidos a uma condição de teste não recomendada, ou seja, a pulverização da nevoa sobre estes, exceto o barramento, não tiveram uma redução do isolamento elétrico;
- Outro fato relevante foi o pequeno espaço ocupado pelo *skid* contendo: conjunto moto-bomba, tanque pulmão, tubulação coletora, tomada de suprimento externo de água, instrumentos de controle e painel de controle;
- A eficácia no processo de extinção de incêndio foi comprovada no teste onde a porta permaneceu aberta;
- Quando do acionamento do sistema de *water mist*, o ambiente permaneceu sob névoa densa e não foi percebida nenhuma anormalidade nas pessoas expostas à névoa, bem como, nenhuma agressividade ao meio ambiente. Isto ratifica o *water mist* como agente extintor não tóxico e não agressor do meio ambiente;
- Em ambientes com predominância de microcomputadores, por exemplo: sala de controle, verificou-se que mesmo submetidos à *water mist*, microcomputadores podem continuar a funcionar. Para o modelo em teste, os dados do *desktop* foram preservados, apesar da[PARTICULA166] queima do monitor;
- O uso de *water mist* como sistema fixo de combate a incêndio, instalado em compartimentos de painéis elétricos, provê a supressão do[PARTICULA167] incêndio no compartimento e diminui o risco de propagação do incêndio e conseqüentemente danos aos equipamentos do compartimento;
- A instalação de bico aspersores no interior do painel melhora a capacidade de extinção. Entretanto, alguns painéis são compartimentados e isto[PARTICULA168] constitui um grande desafio, a utilização desta técnica, pois as obstruções impedem que a névoa de *water mist* atinja[PARTICULA169] todos os pontos;
- Em ambientes onde há exigência de controle de peso é determinante para a escolha de tecnologia de combate a incêndio, sistema de *water mist* pode não ser a melhor solução, em razão do acréscimo de peso imposto devido à exigência de cumprir tempo mínimo de descarga;

- Observou-se o intenso ruído quando do acionamento do sistema;
- Observou-se que devido ao rápido resfriamento da temperatura do ambiente, é possível esperar modificações dos materiais. Desta forma, deve-se procurar tomar cuidados necessários a essa característica de resfriamento rápido.

Com relação a ambientes que necessitem de proteção, e que sejam permanentemente habitados ou não, entende-se que *water mist* seja uma boa opção alternativa aos agentes químicos e inertes.

## 5.2 ASPECTOS POSITIVOS E LIMITAÇÕES

Desta forma, algumas das vantagens da tecnologia *water mist* são explicitadas na tabela Quadro 54, complementada com as abaixo a seguir:

- Água é um agente extintor de baixo custo;
- Não é tóxica e não causa risco ambiental;
- São utilizados pequenos volumes de água; geralmente acondicionada em cilindros de 50 litros ou em tanque, cujo volume é função do tempo de combate;
- Produz reduzidos danos provocados pelo pequeno volume de água utilizado, principalmente, quando são comparados com o sistema de sprinkler e dilúvio;
- Nenhum produto da combustão ou corrosivo é formado durante a extinção com água nebulizada (*water mist*);
- Em algumas aplicações, o desempenho do sistema de *water mist* é melhor, quando adotado a inundação total. No entanto, comparando com a extinção utilizando agentes gasosos, o sistema de névoa produz melhor resfriamento na circunvizinha, evitando assim, a propagação do incêndio;
- O sistema pode [PARTICULA170] extinguir fogo em poça<sup>20</sup> e tocha<sup>21</sup>;

---

<sup>20</sup> Fogo em combustível líquido, quando contidos em um recipiente ou vazados para o meio ambiente.

<sup>21</sup> Fogo em combustível líquido ou gasoso, quando, sob pressão, é lançado para o meio ambiente.

- O acionamento do sistema pode ocorrer tão logo o sistema de detecção for sensibilizado que, considerando que o agente extintor (água) não é letal;
- O sistema de *water mist* quando utilizado com água destilada, tem baixa condutividade elétrica;
- O sistema de *water mist* pode ser usado para inertizar ou prevenir contra explosão;
- O tempo da retomada das condições normais de operação é bem menor de uma instalação que possui sistema de *water mist* como agente de proteção contra incêndios, devido à fácil disponibilidade do agente extintor;
- Após a ativação, o sistema de *water mist* reduz drasticamente e uniformemente a temperatura de compartimento. A redução da temperatura facilitará a intervenção manual, minimizando danos térmicos e reduzirá o escalonamento fogo para outros compartimentos;
- Em compartimentos fechados, fogos de grande potência são mais fáceis de extinguir do que fogos de pequena potência;
- Os sistemas que produzem gotas pequenas com alto impulso têm maior capacidade de extinguir fogos de Classe B obstruídos e não obstruídos.

As principais limitações são:

- O custo inicial do sistema de água nebulizada (*water mist*) é mais elevado do que os demais sistemas equivalentes;
- Deverá ser observado o grau mínimo de proteção (IP) para os equipamentos elétricos expostos à névoa;
- A elevada condutividade da água pode acarretar a perda do isolamento elétrico nos equipamentos elétricos;
- É importante ressaltar que todo projeto de sistema de água nebulizada (*Water Mist*) deve ser testado previamente e certificado por um Organismo<sup>[PARTICULA171]</sup> Certificador<sup>[PARTICULA172]</sup>, com o objetivo da<sup>[PARTICULA173]</sup> garantia de extinção;
- A intensidade do ruído provocado pela água ao ser nebulizada, pode ser uma desvantagem operacional;

- Combustíveis com ponto de combustão (flash point) mais baixo são mais difíceis de extinguir do que combustíveis com ponto de combustão mais alto. Isto é atribuído à energia exigida para conduzir e manter a temperatura abaixo do ponto de combustão do combustível;
- Os fogos obstruídos são mais difíceis de extinguir do que fogos desobstruídos;
- As grandes áreas abertas reduzem a capacidades de extinção dos sistemas de *water mist*, isto, está relacionado com a perda da névoa através de *vents*, o que contribui reduzindo a concentração de vapor saturado, proporcionando a manutenção da concentração do oxigênio em níveis favoráveis a combustão;
- A taxa de descarga (fluxo) elevada de água reduz os tempos de extinção de fogos desobstruídos, entretanto, mas para fogos obstruídos este efeito é pequeno;
- Os fogos em cozinhas industriais são mais difíceis de extinguir do que fogos em tocha. A redução da taxa de calor liberado faz com que<sup>[PARTICULA174]</sup> o haja a redução de oxigênio e aproxima o fogo ao tamanho crítico;
- Para fogos obstruídos há uma relação entre o tempo para extinção e o tamanho do fogo. Está é função do tempo <sup>requerido</sup>[PARTICULA175] para reduzir a concentração de oxigênio abaixo do valor crítico. Esta concentração é dependente das características da névoa (tamanho de partícula e impulso).

**TabelaQuadro 45:** Quadro comparativo com Comparação com outros agentes gasosos.

<b>Questões</b>	<b>FM-200</b>	<b>NASF S-III</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>Water Mist</b>
O agente extintor pode impor danos às pessoas?	Sim	Sim	Sim	Não
É necessário a estanqueidade do ambiente?	Sim	Sim	Sim	Não
É necessário a evacuação e abandonando do ambiente antes do acionamento do sistema?	Sim	Sim	Sim	Não
É necessário o desligamento dos equipamentos antes do acionamento do sistema?	Sim	Sim	Sim	Não
É permitida a entrada de pessoas no ambiente durante ou imediatamente o acionamento do sistema?	Não	Não	Não	Sim
O agente extintor resfria o ambiente e a circunvizinhança (estruturas, etc.)?	Não	Não	Não	Sim
O agente extinto elimina a fumaça do ambiente?	Não	Não	Não	Sim
Há necessidade de redundância do sistema?	Sim	Sim	Sim	Sim
O agente extintor é adequado proteção de alto risco como, por exemplo: máquinas de combustão interna?	Não	Não	Não	Sim
O agente pode ser utilizado seguramente em quartos, salas, refeitórios, cinemas, etc.?	Não	Não	Não	Sim
O agente extintor está disponível para sua substituição em navios, plataformas, quando estes estão em alto mar?	Não	Não	Não	Sim

Fonte: Própria.O Autor

### 5.3 ANÁLISE CRÍTICA

O sistema fixo de combate a incêndio utilizando agentes químicos e gases inertes conforme vem sendo adotado por muitas Companhias do setor *offshore* são sistemas confiáveis e seguros desde que seja projetado, instalado e mantido conforme a regulamentação em vigor. Contudo, deve-se considerar o custo aquisitivo e de manutenção, a elevada taxa de falhas reportada para os sistemas

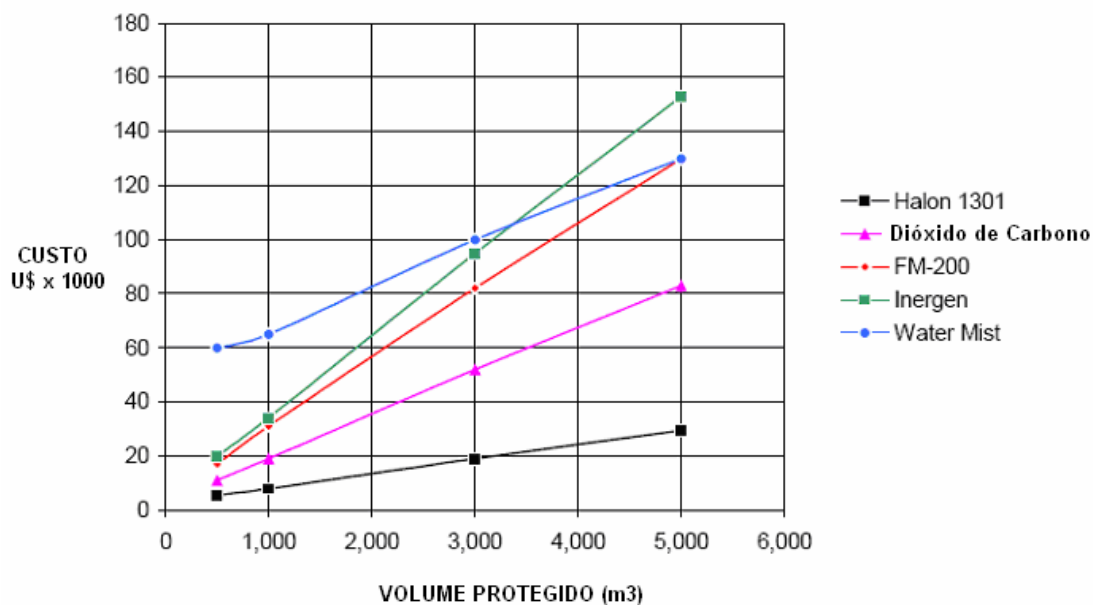
que utilizam agentes gasosos, bem como, a possibilidade de um disparo acidental o risco que isso pode representar para as pessoas.

Por outro lado, o sistema de aspersão de água nebulizada (*Water Mist*), já regulamentado, sem restrições ambientais nem fisiológicas e por não requerer cuidados especiais com a estanqueidade do compartimento, apresenta-se hoje como uma excelente opção para aplicação em compartimentos de máquinas de combustão internas, casulos de turbinas ou compressores de gás, salas de caldeiras, salas dos separadores de óleo, salas com possibilidade de acúmulo de óleo combustível/inflamável, acomodações, espaços coletivos, bem como ambientes de difícil acesso em instalações *offshore*. Contudo, avaliações técnicas deverão ser realizadas a fim de definir:

- Qual o melhor sistema a ser utilizado (baixa, média ou alta pressão);
- O custo de manutenção do sistema ao longo de sua vida útil;
- O impacto nas Companhias devido ao(s) óbito(s) provocado(s) pelo agente químico ou inerte utilizado;
- A logística de recomposição do sistema, após a sua utilização;
- O menor tempo parado de uma instalação.

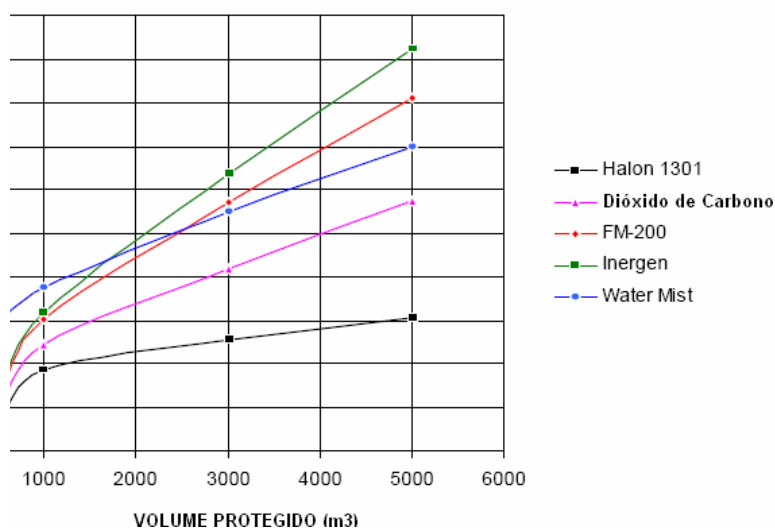
Apesar de um custo inicial maior, conforme demonstrado nos gráficos 2 e 3, em relação aos demais agentes extintores, a tecnologia de água nebulizada (*Water Mist*) é muito eficaz na extinção de incêndios, desde que sejam concebidos dentro dos padrões vigentes.

**Gráfico 2:** Comparação do custo para sistema de inundação total em ambientes com volume de  $500\text{m}^3$  a  $5000\text{m}^3$ . Obs.: não considerado no BRASIL.



**Gráfico 2 -** Comparação do custo para sistema de inundação total em ambientes com volume de  $500\text{m}^3$  a  $5000\text{m}^3$ . Obs.: não considerado no BRASIL.  
Fonte: Wickham (2003).

**Gráfico 3,** Comparação do custo para sistema de inundação total e local em



**Gráfico 3 -** Comparação do custo para sistema de inundação total e local em ambientes com volume de  $500\text{m}^3$  a  $5000\text{m}^3$ .



Fonte: Wickham (2003).

Obs.: não considerado no BRASIL.



## 6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 6.1 CONCLUSÃO

Com base na literatura referenciada, na experiência do autor na área de segurança, dos testes realizados e em sistema de proteção contra incêndio em instalações de *offshore*, conclui-se que:

- Água tem muitas vantagens como um extintor de fogo: é de baixo custo, não tóxica e não representa um risco para o meio ambiente. Experiência demonstrou que o sistema de *water mist* pode reduzir ou extinguir incêndio em poça ou fogo de combustíveis pulverizados, e que pode ter seu uso como uma alternativa ao sistema de *sprinkler*<sup>[PARTICULA176]</sup>;
- É importante ressaltar que *water mist* não é um agente extintor possuidor das mesmas propriedades dos agentes gasosos ou inertes. O seu desempenho é muito dependente da forma de geração de gotas muito pequenas e suficientemente distribuídas na quantidade adequada para conduzir a extinção do incêndio. Isto é função do tamanho, velocidade, distribuição e uniformidade das gotas, como também do momento, da geometria do ambiente e outras características do ambiente a ser protegido;
- Não foi possível em relação ao estudo estabelecer eficiência do tamanho das gotas. Em alguns casos, as gotas pequenas ofereceram um excelente desempenho, em outros casos as gotas grandes também ofereceram bom desempenho;
- A utilização de bicos do tipo *sprinkler* de *water mist* para proteção de salas de equipamentos elétricos parece promissora, mas o processo de consolidação ainda está iniciando. Um fator complicador é o fato de não haver um protocolo de testes emitido por entidades internacionais reconhecidas, tais como a IMO, FMRC, NFPA, UL e CEN. Isto se dá provavelmente, por não ser esta proteção uma obrigatoriedade por estas organizações e, portanto, os testes atualmente realizados pelos fabricantes seguem apenas seus próprios procedimentos;

- A instalação de bico aspersores no interior do painel melhora a capacidade de extinção. Entretanto alguns painéis são compartimentados e por isso constituem um grande desafio, a utilização da técnica, pois as obstruções impedem que a névoa de *water mist* atinja a todos os pontos;
- Sistema de *water mist* extingue fogos em minutos ao invés de segundos como os sistemas gasosos. Os mecanismos que produzem a extinção do fogo exigem para isto, tempos finitos para alcançar uma condição de [PARTICULA177] extinção;
- No Brasil, não existe uma base normativa específica [PARTICULA178] para o desenvolvimento de projetos e protocolos de testes aplicados [PARTICULA179] ao [PARTICULA180] sistema de *water mist* como agente extintor. A Marinha, através da NORMAM, prevê somente que as embarcações devem ser providas de sistemas de proteção contra incêndio.

## 6.2 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo tem como meta questionar os seguintes temas, que podem ser aproveitados para trabalhos futuros:

- Remoção dos subprodutos da combustão com *water mist*;
- Os efeitos dos aditivos químicos (bactericidas e inibidores de corrosão) para os equipamentos, pessoas e ao meio ambiente;
- Ruído provocado pela operação do sistema;
- Critérios de aceitabilidade do Grau de Proteção para equipamentos elétricos sob *water mist*;
- Extinção em pequenos focos de incêndio com *water mist*;
- O uso o sistema de *water mist* como meio preventivo contra explosão [PARTICULA181].

## REFERÊNCIAS

AMBIENTEBRASIL. SIL (2006Disponível em: <http://www.ufrjr.br/institutos/it/de/acidentes/fogo>. Acesso em: fevereiro de 2006.

ANDREWS, S.P. **Literature Review: Fire Extinguishing by Water Sprays**. Building Research Establishment, UK, Internal Report, 1992

ANDERSON, P.; ARVIDSON, M.; HOLMSTEDT, G. **Small Scale Experiments and Theoretical Aspects of Flame Extinguishment with Water Mist**. Technical Report 3080, Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University, May, 1996.

ARVIDSON, M. **The Efficiency of Different Water Mist Systems in Ship Cabin**, International Conference on Water Mist Fire Suppression System, Suécia, 1993

ANDREWS, S.P. **Literature Review: Fire Extinguishing by Water Sprays**. Building Research Establishment, UK, Internal Report, 1992

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7505: Armazenamento de Líquidos Combustíveis e Inflamáveis**. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_, **ABNT NBR 6135: Chuveiros Automáticos para Extinção de Incêndio – Especificação**. 1992.

\_\_\_\_\_, **ABNT NBR 12693: Sistemas de Proteção por Extintores de Incêndio**. Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_\_, **ABNT NBR 6135: Chuveiros Automáticos para Extinção de Incêndio – Especificação**. 1992.

BACK, G.G. **"A Quasi-Steady State Model for Predicting Fire Suppression in Spaces Protected by a Water Mist System"**. Dissertação. Universidade dae Maryland. December, 1996.

BACK, G.G., DINENNO, J.J., LEONARD, J.T., DARWIN, R.L., **Full Scale Tests of Water mist Fire Suppression Systems for Navy Shipboard Machinery Spaces: Part II – Obstructed Spaces**, Naval Research laboratory, NRL/MR/6180-96-7831, 1996

BILL, R.G. **Water Mist in Residential Occupancies**, Technical Report, Factory Mutual Research Corporations, março, 1996  
BILL, R.G.; HANSEN, R.J.; RICHARDS, K. **Fine Spray Protection of Shipboard Engine Rooms**. Technical Report, Factory Mutual Research Corporations, março, 1996.

BJERKETVEDT, Dag, BAKKE, an Roar e WINGERDEN, Kees van, **Gas Explosion Handbook**. Disponível em: <http://www.gexcon.com/index.php>. Acesso em: set. 2006.

BOOTH C.; COLOMB Gregory G.; WILLIAMS. Joseph M. **A Arte da Pesquisa**. São Paulo: Livraria Martins Fontes, 2005.

BRAIDECHE, M.M., et al. "**The Mechanisms of Extinguishment of Fire by Finely Divided Water**", Underwriters Laboratories Inc. for the National Board of Fire Underwriters, NY, p. 73, 1955.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Portaria N.º 3.214, de 08 de Junho de 1978**, Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas a Segurança e Medicina do Trabalho.

BRASIL. Portaria IBAMA nº 29, de 02/05/1995.

BUTZ, J.R., MARMARO, R, W, **Fine Water Mist for Suppression of Class B Fuel Fires, Proceedings**: Halon Alternative Technical Working Conference, 1994

CARVALHO, Sergio A. **Higiene Industrial**. UFF, RJ, 2005.

CELANOVA. **Aerosol Fire Extinguishers and Fire Extinguishing Systems**. Manual, Versão 01/01/2006. 2006.

CLAPP, Jennifer; DAUVERGNE, Peter. Paths to a Green World: **The Political Economy of the Global Environment - Caminhos para um Mundo Verde: A Economia Política do Meio Ambiente Global**. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.

CONVENÇÃO DE VIENA PARA A PROTEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO CONVENÇÃO DE VIENA (1985): Viena. 1985. Disponível em <http://ambiente.sp.gov.br/prozonesp/actiozon/cronog.htm>. Acesso em dezembro/2008

COSTA NETO, F.P.; MAIIANIER, F. B.; **A utilização da tecnologia de água atomizada (water mist) como agente extintor de incêndio em instalações offshore**, Anais: Simpósio sobre Excelência em Gestão e Tecnologia, Outubro, 2008, AEDB, Resende, RJ, <http://www.aedb.br/seget>.

COUTO, J. L. V. **Riscos de Incêndios**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/fogo>. Acesso em: fevereiro. 2005.

DI, Wu. **Atomization Model Development for Fire Suppression Devices**. Dissertação do College Park. University of Maryland. December.. 2005.

DLUGOGORSKI, B.Z.. "**Water Vapour as an Inerting Agent**". Proceedings: Halon Alternatives Technical Working Conference, 1997, p. 7.

DRYSDALE, D. "**An Introduction to Fire Dynamics**". John Wiley and Sons, NY, 1985.

DUNDAS, R.E. **Experience with External Fires in Gas Turbine Installations and Implications for Fire Protection**. ASME Paper no. 90-GT-375, Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition, Brussel, Belgium, June 11-14, 1990.

ERDEMA, Ural; BILL Jr.; Robert G. **Fire Suppression Performance Testing of Water Mist for Combustion Turbine Enclosures**. FMR Corporation. Norwood. 1995.

**FACTORY MUTUAL RESEARCH FM Approvals Readies All-Encompassing Water-Mist Standard FM Approvals Readies All-Encompassing Water-Mist Standard**

By Kai Foo Chan, **Chief Engineering Technical Specialist**, FM Global - Global Services, Asia, 2001.

FINNERTY, A. E., **Water-based Fire Extinguishing Agents**. U.S. Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 1995.

FSS Code. **Revised Guidelines for the Approval Aerosol fire-extinguishing systems Equivalent to Fixed Gas Fire-Extinguishing Systems**, as Referred to in SOLAS 74, for Machinery Spaces a. London, June/1998. (IMO MSC/Circ.1007). 20071.

FUNDACENTRO. **Manual de Proteção e Combate a Incêndios**. Disponível em: [http://www.fundacentro.gov.br/dominios/ctn/anexos/cdNr10/Manuais/M%C3%B3dulo02/8\\_Manual%20de%20Prote%C3%A7%C3%A3o%20e%20Combate%20a%20Inc%C3%AAndios.pdf](http://www.fundacentro.gov.br/dominios/ctn/anexos/cdNr10/Manuais/M%C3%B3dulo02/8_Manual%20de%20Prote%C3%A7%C3%A3o%20e%20Combate%20a%20Inc%C3%AAndios.pdf). Acesso em: out.ubro 2006.

HONEYWELL; **GAS BOOK**, Manual, 2006

GOMES, A. G. **Sistema de Prevenção Contra Incêndio**: Sistemas hidráulicos, Sistemas Sob Comando, Rede de Sistema Automático. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

GUIMARÃES, A. D.; ANDRADE, F. M.; OLIVEIRA, V. S.; **Análise Qualitativa de Riscos de um Sistema Fixo de Combate a incêndio com Gás Carbônico em**

**Navio-Plataforma de Petróleo**; Monografia (Curso de Pós-graduação de Segurança do Trabalho); Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

HANSEN, R. **USCG Full Scale Water Mist Testing Vertical & Horizontal Scaling**. Proceedings: International Proceedings: International Conference on Fire Research and Engineering, 1995, p. 313.

HANSEN, R.; BACK, G.G. **Fine Water Mist** - Fire control using Local Application. Evento da international CFC and Halon Alternative Conference. Washington, 1997.

HERTERICH, A.O., "**Library of the Science of Fire Protection and Related Areas: Section 3: the Diffuse Jet—Spray Jet**," The Dr. Alfred Huthig Publishing Co., Heidelberg, Germany, 1960

HILTZ, J.A., DANIELS J.; **Damage Control Technology** - A Literature Review. Defence Research and Development Canada, Atlantic, March, 2006

HSIEH et al.; **Characterization of Water Spray on Fire Suppression**. Graduação da Escola Nacional de Ciência e Tecnologia Unlin. Universidade de Ciência de Tecnologia de Unlin. Abril. 2005.

I.P.F. **Water Mist For The Protection Of Shipboard Machinery Spaces**. Somerset, England. n.º. 7, Agosto, 2001.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (I.M.O.). **Alternative Arrangements for Halon Fire-Extinguishing Systems in Machinery Spaces and Pump-Rooms** (IMO FP39 MSC Circular 668). London, England. 1994.

\_\_\_\_\_; **International Convention for the Safety of Live at Sea (SOLAS 74)**, London, 2004.

\_\_\_\_\_, **Revised Test Method for Equivalent Water-Based Fire-Extinguishing Systems for Machinery Spaces Of Category A and Cargo Pump-Rooms. Contained in MSC/Circ. 668 (IMO FP41 MSC Circular 728)**. London, England, 1996.

\_\_\_\_\_, **Alternative Arrangements for Halon Fire-Extinguishing Systems in Machinery Spaces and Pump-Rooms (IMO FP39 MSC Circular 668)**. London, England, 1994.

\_\_\_\_\_, **Guidelines for the Approval of Fixed Water-Based Local Application Fire-Fighting Systems For Use In Category A Machinery Spaces (IMO MSC Circular 913)**. London, England, 1999.



\_\_\_\_\_, **Revise Guidelines for Approval of Sprinkler Systems Equivalent Referred in to SOLAS Regulation II-12, Resolution A-800 (19)**, London, England, 1995.

\_\_\_\_\_, **Guidelines for the Approval of Equivalent Fixed Gas Fire-Extinguishing Systems, as Referred to in SOLAS 74, for Machinery Spaces and Cargo Pump-Rooms** (IMO FP41 MSC Circular 776). London, England.

\_\_\_\_\_, **Guidelines for the Approval of Equivalent Fixed Gas Fire-Extinguishing Systems, as Referred to in SOLAS 74, for Machinery Spaces and Cargo Pump-Rooms** (IMO FP41 MSC Circular 776). London, England.

\_\_\_\_\_, **Revised Guidelines for the Approval of Equivalent Fixed Gas Fire Extinguishing Systems, as Referred to in SOLAS 74, for Machinery Spaces and Cargo Pump Rooms**. London, June/1998. (IMO MSC/Circ.848).

\_\_\_\_\_, **Revised Test Method for Equivalent Water-Based Fire-Extinguishing Systems for Machinery Spaces of Category A and Cargo Pump-Rooms Contained in MSC/Circ. 668** (IMO FP41 MSC Circular 728). London, England.

\_\_\_\_\_, **International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS 74)**. London, England.

JACKMAN, L. A.; GLCKILING, J.L.D.; NOLAN, P. F.; **Water Sprays: Characteristics and Effectiveness**. Fire and Explosion Research Groups. The Chemical Engineering Research Centre, London, SE 1 0AA, 1993.

\_\_\_\_\_, **Mobile Offshore Drilling Units**. (MODU CODE), Houston, 2001.

JONES, A; THOMAS, G.O., **The Action of Water Sprays on Fires and Explosions**, Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Vol. 71, Part B, 1993, pp. 41-49.

KANURY, A.M., **Introduction to Combustion Phenomena**. Eighth Edition, Gordon and Breach Science Publishers, USA, 1994.

KIM, M.B., JANG, Y.J.; YONN, M.O. **Extinction Limit of a Pool Fire with a Water Mist**. Fire Safety Journal, Vol. 28, 1997, pp. 295-306.

KIM, A.; MAWHINNEY, J.; SU, J. **Water Mist System Can Replace Halon for Use on Electrical Equipment**. Canadian Consulting Engineer. May/Juneio/Junho., 1996, p. 30.

KING et al (1997). **Evaporation of a Small Water Droplet Containing an Additive**. Proceedings of the ASME National Heat Transfer Conference, Baltimore, MD, 1997.

LEFEBVRE, A. **Atomization and Sprays**, Hemisphere Publishing Corporation, New York, NY, 1989.

LISBOA, S., **Teoria do fogo**, Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 8ª companhia Regional de Incêndio, Brasília, 2002. Disponível em: [http://www.8cr.hpg.ig.com.br/teoria\\_do\\_fogo.htm](http://www.8cr.hpg.ig.com.br/teoria_do_fogo.htm). Acesso em: jun. 2006.

LIU, Z.; KIM, A.K.;SU, J.Z., **Improvement of Efficacy of Water Mist in Fire Suppression by Cycling Discharges**. Second International Conference on Fire Research and Engineering, Gaithersburg, MD, 1997.

\_\_\_\_\_, **Examination of the Extinguishment Performance of a Water Mist System Using the Cycling Discharge Mode**. Fire Technology. DezembroDecember. 1997.

\_\_\_\_\_, **The Effect of Air Convection on the Performance of Water Mist Fire Suppression Systems**. ASME Joint Thermophysics and Heat Transfer Conference. Vol. 1, pg 227-237. JunhoJune. 1998.

LOG, T., **Radiant Heat Attenuation in Fire Water Sprays**. Fire Safety Science - Proceedings of Fourth International Symposium, 1996, pp. 425-434.

MARANGHIDES et al. **The Effect of a Water Spray Cooling System on Real Scale Halon 1301 Replacement Testing and Post Fire Suppression Compartment Reclamation**. Proceedings: Halon Alternatives Technical Working Conference, 1996, p. 435.

MARIOFF HI-Fog. **Hi-Fog Aa New Era in Fire Protection**. Fire Safety EngineeringEngineering. DezembroDecember, 1997.

MATHER, J.D., TAPSCOTT, R.E.: **NGP Search for Chemical- Environmentally Acceptable Fire Suppressants**. Albuquerque, USA. 2006.

MAWHINNEY, J.R., **Water Mist Fire Suppression Systems for Marine Applications: A Case Study**. Institute of Marine Engineers IMAS 94. Fire Safety on Ships DevelopmentsDevelopments into 21st Century. EnglandInglaterra. 1994.

\_\_\_\_\_, **Fire Protection Water Mist Suppression Systems**. NFPA Hand book-18th Edition, 1997

MAWHINNEY J.R., BACK G., **Water Mist Fire Suppression Systems for Marine Applications: A Case Study**. Institute of Marine Engineers. IMAS 94. Fire Safety on Ships Developments into 21<sup>st</sup> Century, England. 1994

MAWHINNEY J.R., BACK G \_\_\_\_\_, **Bridging the Gap Between Theory & Practice: Protecting Flammable Liquid Hazards Using Water Mist Fire Suppression Systems** Fire Suppression and Detection Research Application Symposium, Orlando, FL, Feb., 1998.

\_\_\_\_\_, **Water Mist Fire Suppression Systems: Principles and Limitations** International Conference on Fire Protection in the HVDC Industry, Vancouver, Canada, 1995.

MAWHINNEY, J.R.;RICHARDSON, J.K., A Review of Water Mist Fire Suppression Research and Development. **Fire Technology**, Vol. 33, No. 1, 1997, pp. 54-90.

\_\_\_\_\_, **Status Report on Water Mist Fire Suppression Systems**. NISTIR 6030; June 1997. Disponível em: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire97/art121.html>. Acesso em: mar. 2006.

MAWHINNEY, J.R.;DLUGOGORSKI , B.Z.;KIM, A.K., "**A Closer Look at the Fire Extinguishing Properties of Water Mist.**," Fire Safety Science-Proceedings of Fourth International Symposium, 1994, pp. 47-60.

MENDONÇA; F. L. **Curso Introdução a Explosões e Efeitos**, Rio de Janeiro, 2007.

MILANEZ NETO, A. **Curso de Proteção Contra Explosão**. IBP, São Paulo, junho. 1998.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION: **NFPA 750** - Standard on Water Mist Fire Protection Systems, 2000.

\_\_\_\_\_; NFPA 2001 – **Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems**, 2001

NICKOLAUS, D. **A Unique Twin-Fluid Water Mist Nozzle Creates an Exceptionally High Velocity, Fine Spray**, Proceedings: Halon alternatives Technical Working conference, 1996, pg 379

PAPAVERGOS, P.G. (1991). **Fine Water Sprays for Fire Protection - A Halon Replacement w. Proceedings**. Halon Alternatives Technical Working Conference. Albuquerque, New Mexico, April 30 - May 1, 1991.

## NOLAN

PIETRZK, L.M., Ball, J.A. "**A Physically Based Fire Suppression Computer Simulation—Definition, Feasibility Assessment, Development Plan, and Applications**" . Mission Research Corporation, MRC-R-732, April 1983

PROTOCOLO DE KIOTO., **Convenção Quadro das Nações Unidas sobre alterações climáticas**,. Kioto, 1992

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria N.º 3.214, de 08 de Junho de 1978, Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas a Segurança e Medicina do Trabalho.

PROTOCOLO DE MONTREAL, Recommendations on Nominations of Essential Use Production/Consumption Exemptions and international Bank Management of Halons, **Halons Technical Options Committee**, Junho, 1993.

**PROTOCOLO DE KIOTO**, Convenção Quadro das Nações Unidas sobre alterações climáticas, Kioto, 1992

RASBASH,, D.J;(19896). **Extinction of Fire with Plain Water: A Review**. Proceedings of the First ceedings of Fourth International Symposium, 1996, pp. 1145-1163425-434.

RASBASH, D.J; ROGOWSKI, Z.W. **Extinction of Fires in Liquids by Cooling with Water Sprays**. Combustion and Flame, Vol. 1, 1957

RAVIGURURAJAN, T.S.; BELTRON, M.R., **A Model for Attenuation of Fire Radiation ThrouTghhrough Water Droplets**. Fire Safety Journal, Vol. 15, 1989, pp. 171-181.

ROSANDER, M.; GISELSSON, K., **Making the Best Use of Water for Fire Extinguishing Purposes**. Fire, October., 1984, pp.43-46.

SECCO, O. **Manual de Prevenção e Combate de Incêndios**. 3.ed. São Paulo, ABPA, 1982.

SEITO et al. **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto, 2008.

SPE. **Handbook of Fire Protection Engineering**. Thirty Edition, LL, 2003.

SUH, J; ATREYA, A. **The Effect of Water Vapor on Counterflow Diffusion Flames**. International Conference on Fire Research and Engineering, Orlando, FL, 1995, pp.103-108.

TAMANINI, F., **A Study of the Extinguishment of Vertical Wooden Slabs in Self-sustained Burning, by Water Spray Application**. Combustion Science and Technology, Vol. 14, 1976, pp. 1-15.

THOMAS, G.O., EDWARDS, M.J.,EDWARDS,D.H. **Studies of Detonation Quenching by water Sprays**, Combust. Sci. and Tech., Vol 71, 1990, pagpage. 233-245

THOMAS,G. O., **On the Conditions Required for Explosion Mitigation by Water Sprays**. Department de Physical. Universidad de Wales. Caerdydd. 2000

VELASQUES, M. J. C.; **Uso do Sistema de Water Mist no Combate a Incêndio em Invólucros Acústicos de Turbinas a Gás**. Monografia (Curso de pós-

graduação de Segurança do Trabalho) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

VIOLA, E. D. M., & MAINIER, F. B., **Visão crítica da certificação de extintores de incêndio**. IX Semana de Engenharia da UFF, V Seminário Fluminense de Engenharia, 26-29 de novembro de 2007, Niterói, RJ, Brasil.

WICKHAM, Robert T. **Water Mist Fire Extinguishing Systems for Shipboard Machinery Spaces**. IWMA Conference – Madrid - September 2003.

WIGHUS, R.: . **Active Fire Protection: Extinguishment of Enclosed Gas Fires with Water Sprays**. SINTEF Norwegian Fire Research Laboratory, Trondheim, 1990.

\_\_\_\_\_, **Extinguishment Of Enclosed Gas Fires with Water Sprays**. SINTEF.Tiller. 1998.

\_\_\_\_\_, **Engineering Relations for Water Mist Fire Suppression Systems. Proceedings: Halon alternatives**. Technical Working Conference, 1995, pg 397.

\_\_\_\_\_, **Fine Water Spray Systems Extinguishing test in medium and full scale turbine hood**. SINTEF.Tiller. 2007.

\_\_\_\_\_, **Water Mist Fire Protection**. Industrial Fire Journal. Dorset, England, n. 48, p.45-47, set. 2002.

WIGHUS, R. et al, **Full Scale Water Mist Experiments**. International Conference on Water Mist Fire Suppression Systems, Sweden, 1993.

YAO, C.; KALELKAR, A.S., **Effect of Droplet Size on Sprinkler Performance**. FMRC Fire Technology, Vol. 6, 1970.

YULE, A.J.; EEREAUT, P.R; UNGUT, A. **Droplet Sizes and Velocities in Vaporizing Sprays**. Combustion and Flame, Vol. 54, 1983, pp. 15-22.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)