



REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES
Secretaria Regional da Saúde
SERVIÇO REGIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL E BOMBEIROS DOS AÇORES

MÓDULO I FENOMOLOGIA DA COMBUSTÃO

Índice	
1. OBJETIVOS	2
2. INTRODUÇÃO	2
3. COMBUSTÃO	2
3.1 ENERGIA DE ATIVAÇÃO	4
3.2 COMBUSTIVEIS	5
3.3. COMBURENTES	5
3.4. VELOCIDADE DE COMBUSTÃO	5
4. PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	5
4.1. RADIAÇÃO	6
4.2. CONDUÇÃO	6
4.3. CONVECÇÃO	7
4.4. PROJECCÃO E DESLOCAMENTO DE MATÉRIA INFLAMADA	8
5. PRODUTOS DA COMBUSTÃO	8
5.1. FUMO	8
5.2. CHAMAS	9
5.3. CALOR	9
5.4. GASES	9
6. MÉTODOS DE EXTINÇÃO	9
6.1. ARREFECIMENTO	10
6.2. ABAFAMENTO E ASFIXIA	20
6.3. CARÊNCIA	10
6.4. INIBIÇÃO	10
7. CLASSES DE FOGO	11
8. AGENTES EXTINTORES	11
8.1. ÁGUA	12
8.2. ESPUMA	12
8.3. PÓ QUÍMICO	13
8.4. DIÓXIDO DE CARBONO	13
8.4. HIDROCARBONETOS HALOGENADOS	13
8.5. CLASSES DE FOGO <i>VERSUS</i> AGENTES EXTINTORES	14
9. BIBLIOGRAFIA	14



1. OBJETIVOS

No final da ação, os formandos deverão:

- 1.1. Definir os processos de transferência de calor;
- 1.2. Distinguir os métodos de extinção;
- 1.3. Enumerar as classes de fogo;
- 1.4. Classificar os agentes extintores;
- 1.5. Reconhecer os diversos meios de 1ª intervenção.

2. INTRODUÇÃO

Todos os incêndios têm início num pequeno foco, pelo que, se detetados nessa fase inicial, o fogo pode ser controlado e extinto numa primeira intervenção, sem que este se propague e cause danos materiais ou mesmo fatalidades.

Naturalmente que quanto antes o foco de incêndio for detetado, mais eficaz será a primeira intervenção, uma vez que o fogo estará mais restringido.

A segurança dos intervenientes é fundamental e importa desde já frisar que quando a segurança da pessoa está comprometida não deve ser efetuado qualquer tipo de primeira intervenção.

A primeira intervenção limita-se a um foco de incêndio bem delimitado e que não se tenha propagado, pois, caso contrário, para além de não se conseguir extinguir o fogo com os meios existentes, a vida do interveniente pode ser posta em risco. Assim, quando se detete um foco de incêndio que já não é possível extinguir com os meios de primeira intervenção, deve fechar-se a porta do compartimento, se possível, promover as restantes medidas previstas e aguardar os meios de segunda intervenção.

O aspeto que se prende com a deteção tem de estar devidamente prevista em sede de projeto ou, caso não exista, em sede das medidas de autoproteção.

Em projeto devem igualmente ser determinadas as quantidades e localizações dos agentes extintores constituintes dos meios de primeira intervenção. Mas para que estes sejam utilizados na sua máxima potencialidade, importa estabelecer os conceitos para uma primeira intervenção eficaz.

3. COMBUSTÃO

Uma definição genérica de combustão poderá ser que se trata de uma reação química, mais especificamente uma oxidação, que se desenvolve com uma intensidade e uma velocidade suficiente para irradiar quantidades sensíveis de calor e luz.

As reações de combustão são exotérmicas, ou seja, a temperatura dos produtos da reação é inferior dos reagentes, pelo que é libertado calor. Por isso, existe um aumento de temperatura associado à combustão.

Como qualquer reação química, são necessários reagentes que por sua vez originam produtos da reação.

No caso da combustão, os reagentes são o combustível e o comburente. O comburente é a atmosfera gasosa na qual, em proporções e condições favoráveis, o combustível pode arder. Regra geral, o comburente é o oxigénio existente no ar.

O combustível pode ser qualquer matéria sólida, líquida ou gasosa que, na presença do oxigénio e uma energia de ativação suficiente, entra em combustão.

Para que a reação química tenha origem é igualmente fundamental a existência de uma energia de ativação, pois esta transmite energia à matéria de forma a que esta tenha condições para emanar vapores que por, sua vez, misturados com o oxigénio entram em combustão.

Assim, os três elementos necessários para a reação de combustão, o comburente, o combustível e a energia de ativação, formam o que se designa por triângulo do fogo.



Figura n.º 1: Triângulo do fogo. (Imagem in “Manual de Brigadas de Incêndios” da Escola Nacional de Bombeiros)

A reação de combustão, para além de ser uma reação de oxidação como acima referido, é uma reação em cadeia, ou seja, os reagentes (combustível e comburente) não se transformam diretamente nos produtos de combustão, formando-se antes radicais livres, partículas muito instáveis, logo muito reativas.

Assim, esta reação em cadeia sustenta a combustão pelo que se introduz no triângulo do fogo mais um lado, formando-se o tetraedro do fogo, como ilustrado na figura abaixo.



Figura n.º 2: Tetraedro do fogo. (Imagem in “Manual de Brigadas de Incêndios” da Escola Nacional de Bombeiros)

Sendo assim, a combustão depende de uma série de fatores relacionados com cada um dos componentes do tetraedro do fogo.

3.1. ENERGIA DE ATIVAÇÃO

A energia de ativação pode ter origem em diversos fatores que permitem uma energização do combustível, tais como:

- Origem térmica:
 - Fósforos, isqueiros e pontas de cigarros;
 - Instalações geradoras de calor, tais como fornos e caldeiras;
 - Radiação solar;
 - Superfícies quentes, como placas de fogões.
- Origem elétrica:
 - Resistências, como aquecedores elétricos;
 - Eletricidade estática;
 - Descarga elétrica atmosférica.
- Origem mecânica:
 - Chispas provocadas por ferramentas;
 - Atrito.
- Origem química:
 - Reações químicas.

Como já referido, a energia de ativação irá desencadear a formação de elementos voláteis que se irão misturar com o comburente, criando assim condições para a combustão.

Apenas quando a energia de ativação é suficiente para atingir esse propósito que se dá a combustão. Sendo assim, podemos desde já concluir que a energia de ativação será diferente para a combustão da madeira ou do plástico.

3.2. COMBUSTÍVEIS



REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES
Secretaria Regional da Saúde
SERVIÇO REGIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL E BOMBEIROS DOS AÇORES

Os combustíveis podem ser divididos de acordo com o estado físico em que se encontram: gasoso, líquido ou sólido.

Os combustíveis gasosos quando sujeitos a uma energia de ativação suficiente e iniciam a combustão ardem mais facilmente pois as moléculas estão mais afastadas umas das outras que nos restantes estados físicos.

Os combustíveis líquidos caracterizam-se pela possibilidade de, quando existem fugas, poderem ocupar o espaço disponíveis criando uma grande superfície de contato com o comburentes, favorecendo desta forma a combustão no caso de existir energia de ativação suficiente.

Por fim, os combustíveis sólidos podem ser caracterizados em bons e maus condutores de calor. Os maus condutores de calor como a madeira ardem pontualmente com mais facilidade que os combustíveis bons condutores de calor, pois estes, irão promover a dispersão do calor pelo seu corpo.

3.3. COMBURENTE

O ar é constituído por 21% de oxigénio, sendo este o gás o comburente envolvido na maioria das combustões.

Dependendo dos combustíveis, a taxa de oxigénio necessário para que ocorra a combustão poderá igualmente varia.

3.4. VELOCIDADE DE COMBUSTÃO

A velocidade da combustão depende de vários fatores, sendo tanto mais rápido quanto:

- Maior o grau de divisão do combustível;
- Mais inflamável a natureza do combustível;
- Maior a quantidade de combustível, exposta diretamente ao comburente;
- Maior o grau de renovação ou alimentação do comburente.

4. PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Quando existe combustão, o processo de transferência do calor verifica-se pelo fato de existirem dois corpos com temperaturas distintas, pelo que irá haver uma transferência de calor do corpo com maior temperatura para o de menor.

Existem três forma de transferência de calor, que por sua vez contribuem de formas distintas para a propagação de um incêndio.

4.1. RADIAÇÃO

A propagação de um incêndio por radiação prende-se com o fato de que a temperatura emanada pela combustão está relacionada com a emissão simultânea de radiação infravermelha.

Uma vez que a radiação não necessita de um corpo para se propagar, esta dirige-se para todas as direções, pelo que todos os corpos que estejam próximos serão afetados por esta radiação que por sua vez poderá funcionar como energia de ativação, como se pretende representar com a ilustração abaixo.

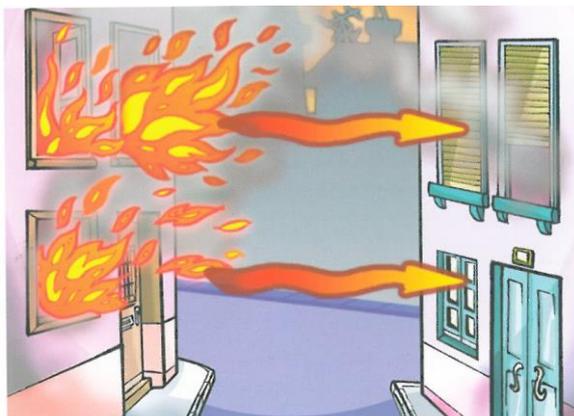


Figura n.º 3: Radiação. (Imagem in “Manual de Brigadas de Incêndios” da Escola Nacional de Bombeiros)

4.2. CONDUÇÃO

A condução é o processo de transferência de calor através dos materiais. Assim, o calor propaga-se através do mesmo corpo ou através de corpos em contato.

Por exemplo, se pegarmos numa barra de ferro e aquecermos uma das pontas, a barra irá aquecendo até que não seja possível o contato devido ao calor.

Este processo de transferência de calor por condução é tanto mais eficaz quanto melhores condutores de calor forem os materiais.

A figura abaixo pretende exemplificar uma situação de condução em caso de incêndio.

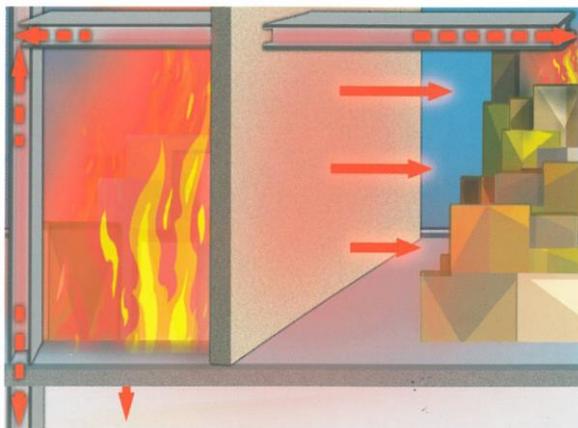


Figura n.º 4: Condução. (Imagem in “Manual de Brigadas de Incêndios” da Escola Nacional de Bombeiros)

4.3. CONVECÇÃO

O processo de transferência de calor por convecção tem origem na movimentação do ar aquecido pelo fogo. Assim, o ar quente sobe forçando o ar frio a descer, criando correntes de convecção por vezes muito intensas e, conseqüentemente, turbulência.

As correntes de convecção para além de criarem turbulência do ar e promoverem o aquecimento de todo o espaço, propagam igualmente o calor por todas as ligações verticais do edifício, tais como caixas de escadas, elevadores, condutas, ductos, etc.

A imagem seguinte pretende mostrar um dos aspetos das correntes de convecção.



Figura n.º 5: Convecção. (Imagem in “Manual de Brigadas de Incêndios” da Escola Nacional de Bombeiros)



4.4. PROJEÇÃO E DESLOCAMENTO DE MATÉRIA INFLAMADA

Apesar de não ser um processo de transferência de calor em termos termodinâmicos, a projeção e deslocamento de matéria inflamada promove igualmente a propagação de um incêndio através de fagulhas incandescentes que se difundem pela ação do vento, ou outros materiais a arder que tenham eventualmente outras formas de deslocamento.

5. PRODUTOS DA COMBUSTÃO

Como inicialmente referido o fogo é uma reação química, mais especificamente uma oxidação. Como qualquer reação química, a combustão terá de ter os reagentes, que como já estudado, são o comburente e o combustível que, com a energia de ativação necessária, podem iniciar a reação.

Mas como resultado da reação, formam-se os produtos da combustão. Neste ponto, pretende-se desenvolver cada produto e referir as suas consequências no meio em que se formam.

5.1. FUMO

O fumo é resultado de uma combustão incompleta, na qual pequenas partículas sólidas se tornam visíveis, variando de tamanho e quantidade, podendo impedir a passagem de luz.

O fumo varia de cor consoante os materiais em combustão, podendo ser indicativo do desenvolvimento do fogo, como abaixo se descreve:

- **Fumo branco ou cinzento pálido:** resulta de uma combustão bastante completa com muito consumo de combustível e dispõe de comburente suficiente para se manter;
- **Fumo negro ou cinzento escuro:** está patente nas combustões incompletas onde não há comburente suficiente para consumir o combustível disponível e onde, normalmente, se desenvolvem altas temperaturas;
- **Fumo amarelo, roxo ou violeta:** regra geral, indica que estamos na presença de uma combustão onde se encontram substâncias tóxicas.

A consequência imediata dos fumos é principalmente a diminuição de visibilidade, o que prejudica tanto a evacuação das pessoas dos espaços como a intervenção, que poderá ser a primeira intervenção ou a segunda, por parte das brigadas de incêndio ou dos bombeiros.

Outra consequência gravosa é a propagação do incêndio, pois os fumos têm temperaturas elevadas e podem igualmente ter partículas incandescentes, promovendo a propagação do incêndio.



REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES
Secretaria Regional da Saúde
SERVIÇO REGIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL E BOMBEIROS DOS AÇORES

Por último, os fumos como atingem elevadas temperaturas e são constituídos por partículas que, quando inalados, provocam grandes danos nas vias respiratórias, pelo que são os principais causadores de vítimas nos incêndios.

5.2. CHAMAS

As chamas são a manifestação da mistura dos vapores combustíveis com o comburente, logo da reação de combustão propriamente dita.

As chamas propriamente ditas não são um produto da combustão, são mais precisamente uma forma de manifestação. Assim, não podemos dizer que as chamas tenham uma consequência na sua envolvente.

5.3. CALOR

Como foi referido, a combustão é uma reação exotérmica, logo com libertação de energia através do calor.

O calor da combustão não permite uma aproximação do foco e incêndio, dificultando assim a intervenção, mesmo a primeira, pois a elevação de temperatura é rápida e intensa.

O aumento de temperatura irá provocar todos os processos de transferência de calor acima descritos, pelo que a propagação do incêndio para outros corpos e mesmo para outros espaços do edifício é um aspeto a ter em atenção.

Naturalmente que o calor provoca igualmente queimaduras às pessoas expostas.

5.4. GASES

Os gases são produtos da combustão, normalmente constituídos por monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), cianeto de hidrogénio (HCN), entre outros.

Os gases referidos são todos tóxicos, portanto, nos espaços onde se desenvolve um incêndio, para além de “gastar” o oxigénio, são produzidos gases que são tóxicos para o ser humano, inviabilizando a sua presença nestes espaços.

6. MÉTODOS DE EXTINÇÃO

Para combater eficazmente um foco de incêndio é fundamental ter o conhecimento de como este se desenvolve, como foi acima descrito.

Sendo assim, neste ponto já é possível desenvolver os mecanismos que permitem extinguir um foco de incêndio. Basicamente, os meios de extinção baseiam-se na



eliminação de um dos lados do tetraedro do fogo, pois assim não existem condições para que o fogo se desenvolva.

6.1. ARREFECIMENTO

Este método de extinção tem por base a eliminação do lado da energia de ativação, pois ao baixar a temperatura, elimina-se a possibilidade do material continuar a emitir vapores que, misturados com o oxigénio, entram em combustão.

Nestes caso é necessário um agente extintor que tenha muita capacidade de absorção de calor, como a água. A água em contacto com a superfície em combustão irá sofrer um processo de transferência de calor, na qual irá passar aquecer e poderá inclusivamente passar ao estado de vapor nos casos em que já existam temperaturas muito elevadas.

Este é dos métodos mais utilizados no combate a incêndios pelos bombeiros.

6.2. ABAFAMENTO E ASFIXIA

A extinção por abafamento ou asfixia baseia-se na eliminação do lado do comburente, ou seja, pretende-se que a combustão não tenha possibilidade de se desenvolver eliminando um dos reagentes: o oxigénio.

A eliminação do comburente pode ser conseguido introduzindo um gás inerte que irá ocupar o lugar do oxigénio mas não reage com o combustível.

Nos casos em que a combustão está a decorrer num recipiente, poderá ser impedida a entrada de mais comburente tapando o recipiente. Este é o método mais adequado para apagar um incêndio numa panela com alimentos ou gorduras a arder.

6.3. CARÊNCIA

Este método é semelhante ao anterior, com a diferença de se remover o lado do combustível.

A extinção por este método implica uma grande aproximação do foco de incêndio, pois é necessário espalhar e separar a matéria em combustão da energia de ativação e do comburente. Será adequado para a combustão de matérias sólidas e em espaços amplos em que seja possível promover essa separação

6.4. INIBIÇÃO

A inibição consiste em retirar o lado da reação em cadeia do tetraedro do fogo. Assim, são utilizados agentes químicos que irão interferir com os radicais livres que se formam durante a combustão, impedido que esta continue a desenvolver-se.



Este método é dos mais utilizados na primeira intervenção, pois não obriga a uma grande aproximação e é muito eficaz.

7. CLASSES DE FOGO

Os materiais têm comportamentos distintos quando em combustão. Se considerarmos uma combustão de um sofá será diferente de um frigideira com gordura a arder. Este tipo de comportamento implica igualmente que a abordagem da extinção seja específica caso a caso.

Assim, foram convencionadas quatro classes de fogos, abaixo descritas:

Tabela n.º 1: Classes de fogo (NP EN 2 – 1993)

CLASSE	DESIGNAÇÃO	EXEMPLOS
A	Fogos que resultam da combustão de matérias sólidas, geralmente de origem orgânica, em que a combustão se faz normalmente com a formação de brasas	Madeira, papel, carvão, tecidos, plásticos, etc.
B	Fogos que resultam da combustão de líquidos ou de sólidos liquidificáveis	Óleo, gasolina, álcool, tintas, ceras, vernizes, etc.
C	Fogos que resultam da combustão de gases	Butano, propano, gás natural, etileno, acetileno, etc.
D	Fogos que resultam da combustão de metais	Sódio, magnésio, titânio, alumínio, etc.

8. AGENTES EXTINTORES

Os agentes extintores atuam de acordo com um dos quatro métodos de extinção acima apresentados.

Como já acima referido, os agentes extintores devem ser utilizados de uma forma criteriosa e com segurança, tanto para manter a integridade física do utilizador bem como evitar utilizações que permitam uma maior propagação do incêndio ou que danifiquem os materiais adjacentes.

A água, as espumas, os pó químicos e o dióxido de carbono são os agentes mais utilizados na primeira intervenção, pelo que cada um será abordado especificamente.

8.1. ÁGUA

A água é o agente extintor mais utilizado tanto na primeira intervenção como na segunda, pelos bombeiros.

A água atua em dois lados do tetraedro do fogo: por arrefecimento, ao absorver calor, e por abafamento, com o vapor de água que se forma a ocupar o “espaço” do oxigénio.



REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES
Secretaria Regional da Saúde
SERVIÇO REGIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL E BOMBEIROS DOS AÇORES

A água é muito eficaz pois tem grande capacidade de absorção de calor mas igualmente porque pode ser utilizada de várias formas: em jato, permitindo grande penetração e maior alcance, ou ainda em chuva ou pulverizada, permitindo abranger uma maior área e, ao estar mais subdividida, ainda ter maior capacidade de absorção de calor.

No entanto, devem existir alguns cuidados na extinção com água, nomeadamente, nos fogos da classe B em espaço amplos. Antes de mais e caso seja possível, deve tentar-se conter a fuga de líquido, e depois não utilizar a água em jato pois ainda poderá espalhar mais o incêndio. Para líquidos apolares e menos densos que a água, deverão ser considerados outros agentes extintores, como a espuma.

Apesar da grande versatilidade da água como agente extintor, existem dois grandes inconvenientes: o fato de ser condutora elétrica, pelo que não pode ser utilizada em extinção que envolva equipamentos elétricos, e o fato de provocar prejuízos nos materiais adjacentes ao incêndio.

8.2. ESPUMA

As espumas consistem na mistura de um espumífero com água e ar, e são aplicadas sobre a área em combustão atuando principalmente por abafamento, impedindo o oxigênio de se misturar com os vapores combustíveis. Como a espuma é igualmente constituída por água, pode ter uma ligeira atuação por arrefecimento.

As espumas são muito utilizadas para a extinção de fogos da classe B, pois não promovem os “salpicos” que a água pode originar bem como são mais eficazes uma vez que não se misturam como os líquidos, como pode acontecer com a água.

As espumas podem ser utilizadas igualmente por inundação total em espaço confinados, ocupando a totalidade do espaço.

As espumas, por serem constituídas por água, têm os mesmo inconvenientes que esta: é condutora de eletricidade e pode causar prejuízos.

Existem três tipos de espumas:

- Baixa expansão, produzida por uma agulheta que a projeta em jato, pelo que não deve ser aplicada diretamente sobre os líquidos em combustão. Este tipo de espuma é adequado para incêndios ao ar livre, pois sendo a mais “pesada” contém mais água e menos ar;
- Média expansão, produzida com uma agulheta com uma rede de malha fina, a qual promove uma maior mistura do emulsor com a água e o ar. Sendo assim, é mais leve que anterior e é mais afetada pelos ventos;
- Alta expansão, é produzida por um equipamento específico designado por gerador de alta expansão, originando a espuma que contém mais ar, sendo portanto a mais leve e mais sujeita às ações do vento. Esta espuma é geralmente utilizada para a inundação de espaços.



8.3. PÓ QUÍMICO

Os pós químicos são um grupo de agentes extintores sólidos usados no combate a incêndios, constituídos por elementos que reagem com os radicais livres, impedindo que a reação em cadeia se mantenha, atuando portanto como inibidores da reação de combustão.

Os pós químicos são muito eficazes na extinção de incêndio logo encontram-se largamente nos meios de primeira intervenção.

A sua grande vantagem é não serem condutores de eletricidade, no entanto, a sua grande desvantagem é serem extremamente corrosivos, danificando os circuitos elétricos com os quais tenham contato.

Os pós químico dividem-se em três grupos, de acordo com as classes de fogo sobre as quais têm eficácia, ou seja, temos:

- Pós químicos ABC;
- Pós químicos BC;
- Pós químicos D.

8.4. DIÓXIDO DE CARBONO

O dióxido de carbono, também designado por anidrido carbónico, é constituído por duas moléculas de oxigénio e uma de carbono, tendo como fórmula química CO₂.

O dióxido de carbono atua por abafamento, ocupando o lugar do oxigénio junto ao material em combustão. No entanto, como é um gás liquefeito, atua igualmente por arrefecimento, pois quando libertado diminui a sua temperatura.

Apesar de não ser um gás tóxico não deve ser aplicado em salas fechadas e ocupadas, pois, como baixa o teor de oxigénio, diminui as condições de ar respirável.

O dióxido de carbono não é condutor de eletricidade nem corrói os equipamentos elétricos.

8.5. HIDROCARBONETOS HALOGENADOS

Os hidrocarbonetos halogenados são compostos químicos com origem em hidrocarbonetos através de mecanismos complexos. Atuam por inibição da reação em cadeia de combustão.

No entanto, estes compostos reagem com o ozono e promovem a redução da respetiva camada, pelo que foi proibida sua produção e venda.

Os halogénios são muito eficazes, não são condutores e não danificam os equipamentos elétricos. No entanto, são tóxicos não devendo ser utilizados em espaços fechados e ocupados.



8.6. CLASSES DE FOGO *Versus* AGENTE EXTINTOR

Todos os agentes extintores têm vantagens e inconvenientes para qualquer classe de fogo.

A escolha dos agentes a utilizar deve ser feita depois da análise completa dos produtos, materiais e equipamentos a proteger e o local.

Apresenta-se, na tabela seguinte, um quadro resumo dos agentes extintores e classes de fogo a que se aplicam.

Tabela n.º 2: Agentes extintores *versus* classes de fogo

Agente Extintor	Classes de Fogo			
	A	B	C	D
Água em jato	Bom	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
Água pulverizada	Muito bom	Aceitável	Não aplicável	Não aplicável
Dióxido de carbono	Não aplicável	Bom	Bom	Não aplicável
Pó químico BC	Não aplicável	Muito bom	Bom	Não aplicável
Pó químico ABC	Muito bom	Muito bom	Bom	Não aplicável
Pó químico D	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	Muito bom
Espuma	Bom	Muito bom	Não aplicável	Não aplicável

9. BIBLIOGRAFIA

[1] Matos Guerra, António; “*Manual de Brigadas de Incêndios*” da Escola Nacional de Bombeiros; Sintra, 2003.