

# Tópicos introdutórios: ciências do fogo



1º Edição revisada

@ 2018. TODOS OS DIREITOS DE REPRODUÇÃO SÃO RESERVADOS AO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. SOMENTE SERÁ PERMITIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL DESTA PUBLICAÇÃO, DESDE QUE CITADA A FONTE.

EDIÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E INFORMAÇÕES:

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA

DIRETORIA DE ENSINO

88.085-000

CAPOEIRAS - FLORIANÓPOLIS - SC

DISPONÍVEL EM: WWW.CBM.SC.GOV.BR/DE

### **TÓPICOS INTRODUTÓRIOS: CIÊNCIAS DO FOGO**

COORDENADORIA DE ENSINO - *Tenente Coronel BM Charles Alexandre Vieira*

ORGANIZADOR - *Tenente Coronel BM Marcos Alves da Silva*

AUTORES COLABORADORES - *Tenente Coronel BM Marcos Aurélio Barcelos; Tenente Coronel BM Marcos Alves da Silva; Tenente Coronel BM Paulo Diniz Arruda Nunes; Major BM Christiano Cardoso; Major BM Jesiel Maycon Alves; Major BM George de Vargas Ferreira; Capitão BM Diego Sommer Thiesen Alves; Capitão BM Willian Leal Nunes; 1º Tenente BM Tadeu Luiz Alonso Pelozzi; 1º Tenente BM Marcos Leandro Marques; 2º Tenente BM Walter P. de Mendonça Neto; 2º Tenente BM Henrique José Schuelter Nunes; 2º Tenente BM Thiago Bernardes Maccarini; 2º Tenente BM Fernada Gabriela dos Santos e 2º Tenente BM Diego Medeiros Franz.*

REVISÃO TÉCNICA - *Major BM Jesiel Maycon Alves*

AUXILIAR DE REVISÃO TÉCNICA - *Soldado BM Gislene Sousa da Silva Quincor*

### **EQUIPE DE ELABORAÇÃO**

PROJETO GRÁFICO - *Designer Gráfico DE Dayane Alves Lopes*

DIAGRAMAÇÃO - *Designer Gráfico DE Dayane Alves Lopes*

REVISÃO ORTOGRÁFICA E GRAMATICAL - *Designer Instrucional DE Arice Cardoso Tavares*

DESIGN INSTRUCIONAL - *Designer Instrucional DE Arice Cardoso Tavares e Designer Gráfico DE Dayane Alves Lopes*

ILUSTRAÇÃO - *Fullgaz comunicação*

FOTOGRAFIA - *Centro de Comunicação Social CBMSC*

---

C822 Corpo de Bombeiro Militar de Santa Catarina.  
Tópicos introdutórios: ciências do fogo / Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Organizado por Marcos Alves da Silva. -- 1. ed. -- Florianópolis, 2018.  
52 p. : il. color.

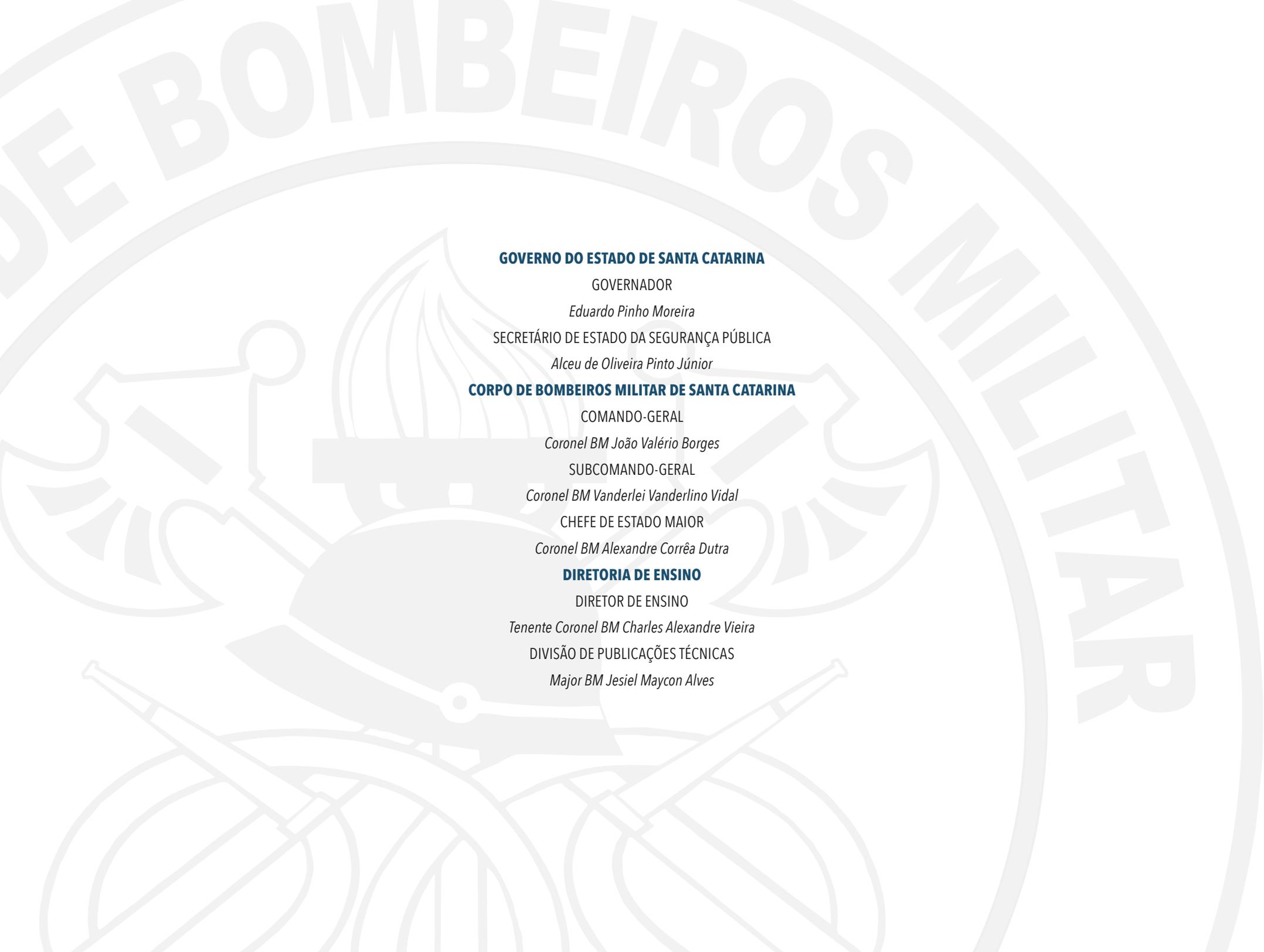
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-94257-13-0

1. Combustão. 2. Combustíveis 3. Física. 4. Química. 5. Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. I Silva, Marcos Alves da. II. Título.

CDD 621.4

---

Catálogo na publicação por Marchelly Porto CRB 14/1177 e Natalí Vicente CRB 14/1105



**GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA**

GOVERNADOR

*Eduardo Pinho Moreira*

SECRETÁRIO DE ESTADO DA SEGURANÇA PÚBLICA

*Alceu de Oliveira Pinto Júnior*

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA**

COMANDO-GERAL

*Coronel BM João Valério Borges*

SUBCOMANDO-GERAL

*Coronel BM Vanderlei Vanderlino Vidal*

CHEFE DE ESTADO MAIOR

*Coronel BM Alexandre Corrêa Dutra*

**DIRETORIA DE ENSINO**

DIRETOR DE ENSINO

*Tenente Coronel BM Charles Alexandre Vieira*

DIVISÃO DE PUBLICAÇÕES TÉCNICAS

*Major BM Jesiel Maycon Alves*

Caro Aluno(a)

*Ciências do Fogo é um tópico introdutório dos conhecimentos empregados no CBMSC em todas as áreas relacionadas ao ciclo operacional de bombeiros. Os conhecimentos apresentados neste material, necessários no exercício do poder de polícia administrativa, na investigação em incêndios e explosões, visam fundamentar o estudo das atividades de bombeiro e subsidiar a construção de práticas operacionais na segurança contra incêndios. Este tópico será de relevância para sua formação e atualização.*

Boa leitura

Tenente Coronel BM Marcos Alves da Silva  
Organizador

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>	3.3.1 RETIRADA DO MATERIAL COMBUSTÍVEL.....	22
<b>2 CICLO OPERACIONAL DO CORPO DE BOMBEIROS .....</b>	<b>7</b>	3.3.2 RESFRIAMENTO .....	22
2.1 FASE NORMATIVA OU PREVENTIVA.....	7	3.3.3 ABAFAMENTO.....	22
2.2 FASE ESTRUTURAL OU PREVENTIVA .....	8	3.3.4 QUEBRA DA REAÇÃO QUÍMICA EM CADEIA.....	23
2.3 FASE ATIVA, REATIVA OU DE COMBATE.....	8	3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS.....	23
2.3 FASE INVESTIGATIVA OU PERICIAL .....	9	3.4.1 INCÊNDIO CLASSE A .....	24
<b>3 TEORIA GERAL DA COMBUSTÃO .....</b>	<b>10</b>	3.4.2 INCÊNDIO CLASSE B.....	24
3.1 COMPONENTES ESSENCIAIS DO FOGO .....	10	3.4.3 INCÊNDIO CLASSE C.....	24
3.1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE COMBUSTÃO.....	11	3.4.4 INCÊNDIO CLASSE D.....	25
3.1.2 COMBUSTÍVEIS .....	12	<b>4 FÍSICA E QUÍMICA APLICADAS.....</b>	<b>25</b>
3.1.2.1 COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS .....	13	4.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR .....	25
3.1.2.2 COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS .....	15	4.1.1 CONDUÇÃO.....	26
3.1.2.3 COMBUSTÍVEIS GASOSOS .....	15	4.1.2 CONVECÇÃO .....	26
3.1.3 COMBURENTE.....	16	4.1.3 RADIAÇÃO.....	27
3.1.4 CALOR .....	16	4.2 PONTOS DE TEMPERATURA.....	28
3.1.4.1 RISCOS DA VARIAÇÃO DE VOLUME E DE TEMPERATURA.....	17	4.3 CLASSIFICAÇÃO DA COMBUSTÃO .....	29
3.1.5 REAÇÃO QUÍMICA EM CADEIA.....	18	4.3.1 COMBUSTÃO COMPLETA NOS INCÊNDIOS.....	29
3.2 PRINCIPAIS PRODUTOS DA COMBUSTÃO.....	18	4.3.2 COMBUSTÃO INCOMPLETA .....	29
3.2.1 AS CHAMAS.....	19	4.3.3 COMBUSTÃO ESPONTÂNEA .....	30
3.2.2 O CALOR IRRADIADO .....	19	4.4 EXPLOSÕES .....	30
3.2.3 FUMAÇAS VISÍVEIS.....	19	4.4.1 EXPLOSÃO POR VAPORES INFLAMÁVEIS.....	30
3.2.3.1 GASES DA COMBUSTÃO.....	20	4.4.2 LIMITE DE INFLAMABILIDADE .....	30
3.2.3.2 CARACTERÍSTICAS DOS GASES RESULTANTES DA COMBUSTÃO.....	21	4.4.3 PÓ EM SUSPENSÃO .....	31
3.3 MÉTODOS DE EXTINÇÃO .....	22	4.5 COMPOSTOS ORGÂNICOS.....	32

# SUMÁRIO

4.6 POLARIDADE DAS SUBSTÂNCIAS .....	33	7.1.4 FASE DA DIMINUIÇÃO .....	50
4.7 MISCIBILIDADE DE SUBSTÂNCIAS .....	33	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>
<b>5 COMPORTAMENTO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS EM INCÊNDIOS ....</b>	<b>34</b>		
5.1 MATERIAIS PRESENTES NAS EDIFICAÇÕES .....	34		
5.1.1 AÇO .....	34		
5.1.2 CONCRETO .....	35		
5.1.1.1 CONCRETO ARMADO .....	35		
5.1.1.2 ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO .....	37		
5.1.3 MADEIRA .....	37		
<b>6 FENÔMENOS DOS INCÊNDIOS INTERIORES .....</b>	<b>39</b>		
6.1 IGNIÇÃO SÚBITA GENERALIZADA ( <i>FLASHOVER</i> ).....	39		
6.2 IGNIÇÃO EXPLOSIVA ( <i>BACKDRAFT</i> ) .....	41		
6.3 IGNIÇÃO DOS GASES DO INCÊNDIO .....	44		
6.4 FENÔMENOS DE INCÊNDIOS EM COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS E GASOSOS .....	45		
6.4.1 EXTRAVASAMENTO OU TRANSBORDAMENTO DO LÍQUIDO ( <i>SLOP OVER</i> ) ..	45		
6.4.2 EJEÇÃO DO LÍQUIDO PELO VAPOR ( <i>BOIL OVER</i> ).....	45		
6.4.3 EXPLOSÃO DECORRENTE DA EXPANSÃO DO VAPOR PELO AQUECIMENTO DO LÍQUIDO ( <i>BOIL LIQUID EXPANDING VAPOR EXPLOSION -BLEVE</i> ) .....	46		
<b>7 COMPORTAMENTO DO FOGO EM INCÊNDIOS INTERIORES .....</b>	<b>47</b>		
7.1 INTRODUÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DO FOGO (FASES DO INCÊNDIO).....	47		
7.1.1 FASE INICIAL .....	48		
7.1.2 FASE DO CRESCIMENTO DO FOGO.....	48		
7.1.2.1 PONTO DA IGNIÇÃO SÚBITA GENERALIZADA .....	49		
7.1.3 FASE DO DESENVOLVIMENTO COMPLETO .....	50		

# 1 INTRODUÇÃO

Ciências do Fogo é um tópico introdutório dos conhecimentos empregados no CBMSC em todas as áreas relacionadas ao ciclo operacional de bombeiros. Os conhecimentos relacionados no texto visam fundamentar o estudo das atividades de bombeiro e subsidiar a construção de práticas operacionais na segurança contra incêndios, no exercício do poder de polícia administrativa, na investigação em incêndios e explosões e ainda no combate a incêndios estruturais.

## 2 CICLO OPERACIONAL DO CORPO DE BOMBEIROS

Durante muito tempo, a atividade desenvolvida pelos Corpos de Bombeiros foi quase que unicamente a extinção de incêndios. Com o passar dos anos, a evolução tecnológica e social permitiu o desenvolvimento de uma visão prevencionista, pela qual entende-se que é mais eficiente (econômica e socialmente) prevenir os incêndios do que combater às chamas.

Assim, medidas como a implementação de um conjunto de sistemas preventivos nas edificações, permitiu que os incêndios fossem evitados ou ainda combatidos logo no princípio. A criação desses sistemas e sua disponibilização comercial passou a ser incorporada como exigência a ser observada nas construções, reformas e alterações de edificações. Assim, as normas de

segurança contra incêndios em edificações passa a fazer parte da atividade do Corpo de Bombeiros e outras entidades governamentais, por meio da normalização de condutas para implementação e adequação desses sistemas nos ambientes.

Apesar da presença dos sistemas preventivos em praticamente todas as edificações, infelizmente os incêndios continuam ocorrendo, seja por ação ou omissão humana, causas naturais ou ainda por falhas em equipamentos. Para melhorar as normas de segurança e corrigir eventuais falhas nos sistemas preventivos, adotou-se procedimentos de investigação dos locais sinistrados, de modo a obter-se informações essenciais para o planejamento das ações de prevenção e extinção de incêndio, assim como dar suporte às inovações tecnológicas na área.

Este cenário de atuação, pesquisa, investigação e normatização resultou na criação de um Ciclo Operacional de Bombeiros, composto por quatro fases:

### 2.1 FASE NORMATIVA OU PREVENTIVA

Fase na qual as normas reguladoras dos sistemas e dos dispositivos de segurança contra incêndio e pânico são elaboradas, estudadas, interpretadas e comentadas. Estes estudos técnicos

A Constituição Estadual de Santa Catarina determina que compete ao Corpo de Bombeiros a elaboração, a revisão e a fiscalização para o cumprimento das normas de segurança contra incêndio e pânico, estabelecendo sistemas e medidas de segurança que visam o bem-estar dos usuários das edificações (exceto as residenciais unifamiliares) e de eventos transitórios.

resultam em leis, cuja finalidade é evitar a ocorrência de sinistros ainda na fase de planejamento das edificações. Fase estrutural ou passiva: fase na qual as concepções normativas saem da situação abstrata para ganhar forma em projetos preventivos que se concretizam na execução da obra.

Nessa fase, são realizadas as análises dos projetos dos sistemas preventivos e também as vistorias, as quais ocorrem após a obra pronta, a fim de verificar seu funcionamento, e com o intuito de restringir ou minimizar as consequências e as vulnerabilidades da edificação.

A ação do bombeiro no ato de extinção também pode ser avaliada quanto ao emprego correto das técnicas, táticas e estratégias, visando possíveis correções dos problemas encontrados, assim como possibilitando melhorias na atividade como um todo.

## 2.2 FASE ESTRUTURAL OU PREVENTIVA

É fase na qual as concepções normativas saem da situação abstrata para ganhar forma em projetos preventivos que se concretizam na execução da obra. Nessa fase são realizadas a análise dos projetos dos sistemas preventivos e vistorias, após a obra pronta, a fim de verificar seu funcionamento, de modo a restringir ou minimizar as consequências e as vulnerabilidades da edificação. Neste momento o Corpo de Bombeiros passa a exigir que os sistemas e medidas de segurança previstas nas normas estejam instalados e funcionando. Na fase estrutural

estão envolvidos vários atores como projetistas (engenheiros e arquitetos), executores das obras, fabricantes de materiais, sistemas destinados à prevenção de sinistros, profissionais instaladores e mantenedores dos sistemas e os proprietários e/ou responsáveis pelas edificações ou eventos. Cabe a cada um deles uma parcela de responsabilidade pela implementação da segurança contra incêndio e pânico.

## 2.3 FASE ATIVA, REATIVA OU DE COMBATE

Ocorre o combate efetivo aos incêndios que não puderam ser evitados. Nessa fase, são aplicadas doutrinas, estratégias, táticas e técnicas de combate ao fogo, bem como utilizados os equipamentos disponíveis para seu controle e extinção. A fase de combate necessita de grande parte dos recursos humanos e materiais do Corpo de Bombeiros.

## 2.3 FASE INVESTIGATIVA OU PERICIAL

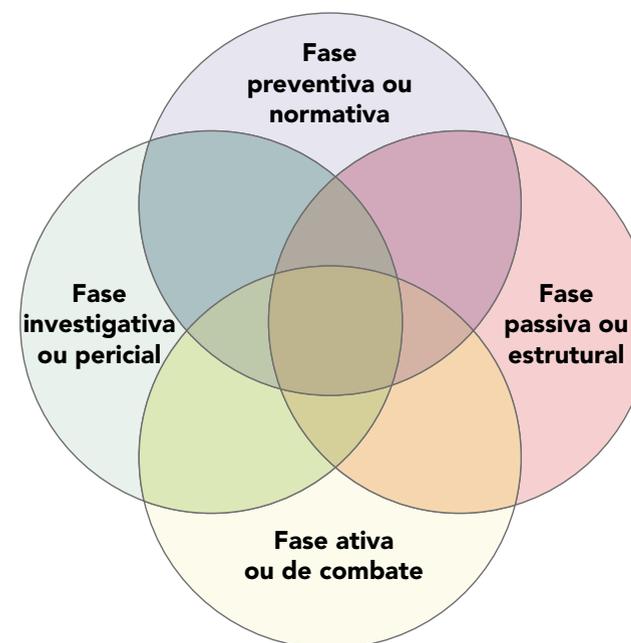
São analisados os locais de sinistros de maneira a elucidar e a identificar as suas causas e os seus possíveis efeitos, bem como realimentar as demais fases do ciclo operacional com informações importantes sobre os sistemas instalados e/ou utilizados e sobre os procedimentos executados pelas guarnições de bombeiros durante o controle e extinção. A obtenção de dados em locais de sinistro e sua análise possibilitam correlacionar informações para a constante evolução das atividades de Bombeiro nas demais fases do ciclo operacional. O ciclo operacional, embora

defina muito bem as atividades específicas de cada fase, requer, na prática, uma integração geral de todas as etapas. Estas devem ser complementares, fornecendo conhecimentos capazes de desenvolver constantes aperfeiçoamentos no processo. A importância desta integração pode ser representada pela figura 1, onde cada fase interage e se complementa uma com as outras. Ao se entrelaçarem, elas indicam que as ações da Corporação estão intimamente ligadas e relacionadas, criando vínculos de conhecimento doutrinário e estratégicos.

Para saber mais detalhes sobre ciclo operacional acesse o artigo científico do TC Barcelos apresentando o Ciclo Operacional de Bombeiros.  
<https://periodicos.cbm.sc.gov.br/index.php/revistaignis/article/view/13/20>

O fogo foi umas das grandes conquistas da humanidade, com ele, o ser humano passou a afugentar os predadores, a cozinhar os alimentos, manter-se aquecido e a não temer mais a escuridão. Hoje em dia, a energia elétrica ainda é produzida pela queima de combustíveis fósseis, na maior parte do mundo. Essa energia é responsável por manter as atividades da agricultura, das indústrias, a iluminação pública, o transporte e todas as demais atividades humanas. Apesar da dependência que a sociedade moderna possui em relação ao fogo, o seu descontrole pode causar mortes e danos patrimoniais.

Figura 1. Representação do ciclo operacional de bombeiros



Fonte: CBMSC

Nesta lição, serão apresentados os conceitos básicos da teoria geral da combustão e as diferenças entre os termos fogo, combustão e incêndio. Também serão abordados os elementos essenciais do tetraedro do fogo, sua composição, as características dos diferentes combustíveis e as condições necessárias para a ocorrência da combustão.

## 3 TEORIA GERAL DA COMBUSTÃO

Fogo e combustão são termos frequentemente usados como sinônimos, entretanto, tecnicamente, o fogo é apenas uma das formas de combustão, ou seja, sua parte visível. O melhor modo de compreender cada um destes conceitos é observar como as normas internacionais os definem mundialmente.

Os conceitos de combustão, fogo e incêndio adotados pelo CBMSC são definidas pela International Organization for Standardization (ISO):

- Combustão é a ação exotérmica de uma substância combustível com um oxidante, usualmente acompanhada por chamas e/ou abrasamento e/ou emissão de fumaça.
- Fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado por fumaça, chama ou ambos.
- Incêndio é a combustão rápida disseminando-se de forma descontrolada no tempo e no espaço.

Outras definições para combustão, fogo e incêndio podem ser encontradas na Norma Brasileira NBR 13860:

- fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz
- incêndio é o fogo fora de controle.

### 3.1 COMPONENTES ESSENCIAIS DO FOGO

Durante muitos anos o triângulo do fogo (combustível, comburente e calor ou energia térmica) foi utilizado para ensinar os componentes do fogo. Em situações operacionais de combate

a incêndios estruturais, os principais combustíveis encontrados nas edificações são derivados de carbono (como, por exemplo, espuma de colchão, madeira de armários etc.) e o principal comburente presente é o oxigênio ( $O_2$ ). A energia de ativação é habitualmente o calor (energia térmica proveniente de elementos como, por exemplo, a chama de uma vela, a superfície aquecida de um ferro de passar roupa etc.).

Porém, se não houver condições ideais, ou seja, a presença simultânea e proporcional dos três componentes, não haverá sustentabilidade do fogo. Por isso, foi acrescentado ao triângulo do fogo uma quarta face, denominada reação em cadeia, que interliga todos os elementos promovendo a existência e a continuidade do fogo.

O tetraedro do fogo é uma figura pirâmida ilustrativa que representa os três componentes (combustível, comburente e calor) mais a condição essencial (reação química em cadeia) para a existência e continuidade do fogo. Na figura representativa, a reação em cadeia interliga as demais faces da pirâmide e somente vai ocorrer na presença dos três elementos: combustível, comburente e calor (Figura 2).

Vale lembrar que para haver ignição é necessário a presença dos três elementos simultaneamente (combustível, comburente e energia). Para uma combustão autossustentável, a energia envolvida deve ser capaz de dar continuidade ao processo da queima.

Figura 2. Tetraedro do fogo



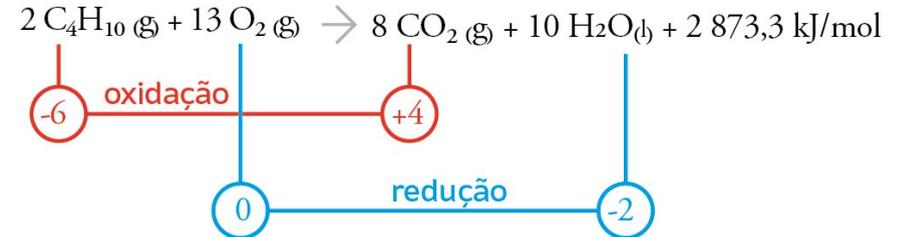
Fonte: CBMSC

### 3.1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE COMBUSTÃO

A combustão é um fenômeno químico que ocorre entre o combustível e o comburente e para isso, faz-se necessário uma fonte de ativação (chama ou faísca).

No caso dos compostos orgânicos, a combustão pode ser completa ou incompleta, dependendo da disponibilidade de oxigênio presente na reação. Ambos os tipos de combustão liberam calor para o meio ambiente, por isso são chamadas de reações exotérmicas. É interessante ressaltar que a combustão é uma reação de oxirredução, isso significa que o comburente (oxigênio) será sempre o agente oxidante (o que sofre redução). Ou seja, seu NOX diminui enquanto NOX do combustível (agente redutor) aumenta.

Sabe-se que em uma combustão completa os produtos resultantes são dióxido de carbono e água:



Pode-se observar que na combustão completa o carbono atinge o seu NOX máximo: +4. Isso significa que o componente sofreu oxidação.



As combustões incompletas ocorrem quando não há oxigênio suficiente ou quando há um grande número de átomos de carbono no combustível, consumindo grande quantidade de oxigênio com muita rapidez.

Existem duas possibilidades de produtos resultantes nesse tipo de combustão. Dependendo da quantidade de oxigênio disponível o produto resultante pode ser monóxido de carbono (gás carbônico), água ou carbono (fuligem) e água. Conforme pode-se observar no exemplo a seguir:



Dependendo da quantidade de átomos de oxigênio envolvida na queima o NOX será maior ou menor, como nos exemplos:



No primeiro caso, o NOX do combustível aumenta de -6 para +2. Já no segundo caso, passa de -6 para 0, o que significa que o componente oxida, mas não totalmente.

### 3.1.2 COMBUSTÍVEIS

O combustível é a substância que se oxida no processo da combustão, por isso é denominado agente redutor, enquanto o oxigênio sofre redução, portanto, conhecido como agente oxidante. Deste modo, pode-se considerar que combustível é toda a substância capaz de sofrer processo de combustão (queimar), mantendo e propagando o fogo.

Os combustíveis orgânicos contêm em sua composição: carbono, hidrogênio e oxigênio, dentre outros componentes (como nitrogênio, cloro, flúor e enxofre). São exemplos de combustíveis orgânicos os hidrocarbonetos (como gasolina, gases, óleos e plásticos) e a madeira e seus derivados (como da celulose/papel).

Existem ainda combustíveis inorgânicos, sendo que geralmente não contribuem significativamente no processo de combustão por serem pouco combustíveis (ferro, magnésio e sódio).

O hidrogênio gasoso é considerado um combustível inorgânico de grande potencial energético.

De modo geral, quase todas as matérias são combustíveis a uma determinada temperatura, porém, para efeito prático, **arbitra-se** a temperatura de 1000 °C como divisor entre os materiais considerados combustíveis (os que entram em combustão a temperaturas iguais ou inferiores a 1000 °C) e os "incombustíveis" (os que entram em combustão a temperaturas superiores a 1000 °C).

Os combustíveis podem apresentar-se nos estados sólido, líquido ou gasoso, porém a grande maioria precisa passar pelo estado gasoso para então combinar-se com o oxigênio e entrar em combustão. A velocidade da queima de um combustível depende de sua capacidade de combinar-se com o oxigênio sob a ação do calor, assim como da sua fragmentação (superfície em contato com oxigênio).

#### 3.1.2.1 Combustíveis sólidos

Os combustíveis sólidos, quando expostos a determinada quantidade de energia térmica, sofrem decomposição, liberando produtos gasosos (vapores) em um processo chamado pirólise. Os gases liberados em contato com o oxigênio do ar, em uma concentração adequada, formam uma mistura inflamável. Esta mistura na presença de uma fonte de ignição (faísca, chama, centelha) pode inflamar-se. Esse mecanismo pode ser melhor compreendido na figura 3.

Figura 3. Mecanismo de ignição de combustível sólido



Fonte: Adaptado de Seito (2008)

A figura 4 apresenta uma cena típica de incêndio, na qual os móveis começam a desprender gases combustíveis pelo aquecimento do ambiente. Isso significa que estão sofrendo pirólise. Se não houver interferência, em pouco tempo os gases combustíveis se inflamam e propagam o incêndio, fazendo com que todo o ambiente fique tomado pelas chamas.

Figura 4. Representação da situação antes da generalização do Incêndio



Fonte: CBMSC

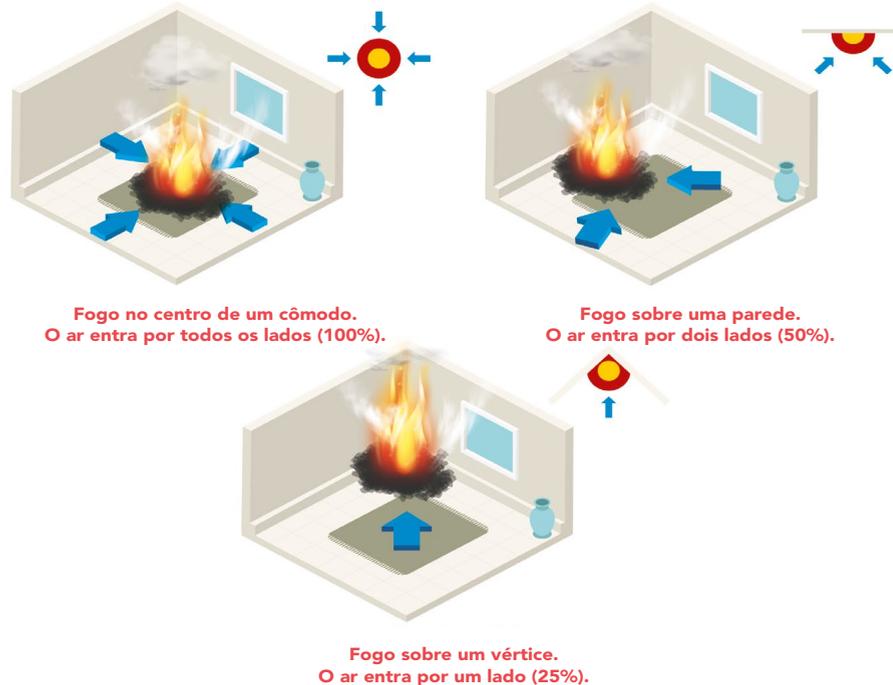
Os combustíveis sólidos têm forma e tamanho definidos, essa propriedade afeta significativamente o modo como esses combustíveis se incendiam. A massa e posição em que o combustível sólido se encontra no ambiente do incêndio afeta o modo de queima. Por exemplo, se uma determinada chapa de madeira (uma porta) está em posição vertical, a propagação do fogo será mais rápida do que se a mesma chapa de madeira estivesse na posição horizontal.

Outro fator a ser considerado na velocidade da queima é o coeficiente de superfície-massa dos combustíveis, ou seja, a área de superfície do material combustível em proporção à sua massa. Quanto maior o coeficiente superfície-massa, maior será a facilidade desse material entrar em combustão.

Um bom exemplo de coeficiente de superfície-massa pode ser entendido com o exemplo a seguir apresentado.

A posição do fogo dentro do cômodo incendiado também afeta o desenvolvimento do incêndio em função da maior ou da menor quantidade de ar ofertado ao fogo em processamento, como verifica-se na Figura 5.

Figura 5. Posição dos materiais combustíveis dentro de um cômodo.



Fonte: CBMSC

O esquema da figura 5 trata da posição de um foco de incêndio, exemplificando a questão de fornecimento de comburente. Entretanto, existem ainda outros fatores a considerar para que seja possível identificar como a oferta de comburente afeta o

desenvolvimento do incêndio, pois este componente é somente uma das faces do tetraedro do fogo.

Assim, deve-se também considerar as outras três variáveis. O calor (energia térmica), por exemplo, se em um foco de incêndio possui uma área de 25% exposta para entrada de comburente, este mesmo foco possui também 75% de área protegida por um anteparo, o qual reduz a perda de energia térmica, culminando assim, numa altura de chama muito maior do que em um foco de incêndio que ocorra no centro de um cômodo.

Para entender como massa interfere na queima de combustíveis sólidos, podemos considerar um pedaço bruto de um galho de árvore cortado. A massa desse pedaço de madeira será alta, mas sua área de superfície relativamente pequena, tem-se então um coeficiente de superfície-massa baixo. Em contrapartida, se essa lenha bruta for cortada em chapas finas de madeira, mantém-se a mesma massa em relação ao galho bruto, porém, neste caso, haverá aumento na área de superfície, o que consequentemente aumentará o coeficiente de superfície-massa. Se essas chapas finas de madeira forem lixadas, o pó resultante desse processo terá um coeficiente de superfície-massa ainda maior que os exemplos anteriores.

### 3.1.2.2 Combustíveis líquidos

No caso dos combustíveis líquidos, são os vapores desses combustíveis, gerados a partir do processo de vaporização (mudança do estado físico da matéria, de líquido para gasoso), que mais influenciam na combustão. Os vapores formados em contato com uma concentração adequada de comburente (oxigênio

do ar) irá se tornar uma mistura inflamável. Essa mistura na presença de um agente ígneo irá se inflamar, conforme demonstra o esquema da figura 6.

Figura 6. Mecanismo de ignição de combustível líquido.



Fonte: CBMSC Adaptado de Seito (2008)

A vaporização de combustíveis líquidos geralmente requerem um gasto de energia bem menor do que a pirólise dos combustíveis sólidos, o que explica o fato de serem combustíveis mais eficientes que os sólidos no processo de combustão.

### 3.1.2.3 Combustíveis gasosos

São os combustíveis que, em temperatura ambiente, já se apresentam em estado de gás ou vapor. Esses combustíveis não necessitam de aquecimento para formar uma mistura inflamável,

conseqüentemente, necessitam ainda menos energia para a queima do que os combustíveis líquidos (Figura 7).

Figura 7. Mecanismo de ignição de combustível gasoso



Fonte: Adaptado de Seito (2008)

Como combustíveis gasosos podemos citar o gás natural, o acetileno, o hidrogênio, o monóxido de carbono, o GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), o metano, o propano e o butano.

Os combustíveis gasosos, para inflamarem, necessitam de uma composição ideal, uma mistura perfeita com o ar atmosférico (oxigênio). As misturas com concentrações maiores ou menores do que o limite de inflamabilidade de um combustível gasoso, pode inviabilizar a inflamação.

Ainda que não seja objeto de estudo neste momento, pode-se dizer que determinada quantidade de material combustível é definida tecnicamente como carga de incêndio. Esta é mais uma das variáveis que interferem no incêndio propriamente dito. Lembre-se que vários fatores devem ser levados em considera-

ção, como: ventilação, arranjo material, fragmentação, umidade relativa do ar, dimensões da edificação, intervenção humana, sistemas de intervenção automatizados, materiais de acabamento construtivo, entre outros. Esse assunto será abordado mais detalhadamente no decorrer desse documento.

### 3.1.3 COMBURENTE

O comburente é um dos ingredientes fundamentais para o processo de combustão, que ao reagir com os gases liberados pelo combustível forma as chamas. Outros comburentes, além do oxigênio, podem ser o cloro ( $\text{Cl}_2$ ), o bromo ( $\text{Br}_2$ ) e o flúor ( $\text{F}_2$ ). Este último é muito perigoso e difícil de ser manuseado com segurança.

A atmosfera terrestre é composta por 21% de oxigênio, 78% de nitrogênio e 1% de outros gases. Por isso, em ambientes com a composição normal do ar, a queima desenvolve-se com grande velocidade e de maneira completa, ou seja, com a presença de chamas.

Contudo, o processo de combustão consome o oxigênio do ar de modo contínuo e gradativo, diminuindo a porcentagem do mesmo no ambiente. Quando a porcentagem do oxigênio do ar do ambiente diminuir de 21% para a faixa compreendida entre 16% e 8%, a queima se tornará mais lenta e as chamas serão substituídas por brasas.

Quando o oxigênio contido no ambiente atingir concentrações menores de 8% é muito provável que a combustão deixará de existir.

### 3.1.4 CALOR

O calor é uma forma de energia em trânsito, geralmente decorrente de uma diferença de temperatura entre corpos. Este é o fator preponderante na origem de um incêndio, mantendo e intensificando sua propagação. O fluxo de energia térmica é que determina o aumento ou a redução de temperatura. Alguns exemplos de energia térmica que ocorrem em processos químicos são:

- Energia química: quantidade de calor gerado pelo processo de combustão.
- Energia nuclear: calor gerado pela fissão ou fusão de átomos.

Pode-se citar como exemplos de energia térmica em processos físicos:

- Energia elétrica: calor gerado pela passagem de eletricidade por meio de um condutor, como um fio elétrico ou um aparelho eletrodoméstico.
- Energia mecânica: calor gerado pelo atrito de dois corpos.

Uma fonte de calor pode ser qualquer elemento que faça com que o combustível, sólido ou líquido, desprenda gases combustíveis e venha a se inflamar. Na prática, pode ser uma chama, uma fagulha (faísca ou centelha) ou ainda uma superfície aquecida.

Alguns efeitos físicos e químicos do calor são:

- elevação da temperatura;
- aumento de volume do corpo aquecido;
- mudanças no estado físico ou químico da matéria.

O calor também produz efeitos fisiológicos, incluindo os bombeiros em combate, tais como:

- desidratação;
- insolação;
- fadiga;
- queimaduras.

É importante atentar que muitos materiais que não queimam facilmente nos níveis normais de oxigênio, poderão queimar com rapidez em atmosferas enriquecidas com o mesmo. Um desses materiais é o conhecido Nomex, um material resistente ao fogo utilizado na fabricação de roupas de aproximação e combate ao fogo para bombeiros. Esse material em ambientes normais não se inflama, no entanto, queima rapidamente em atmosferas com concentrações de 31% de oxigênio. Essas condições podem ser encontradas especialmente em indústrias químicas, ambientes hospitalares e até mesmo em ambientes domiciliares cujos inquilinos utilizem equipamentos portáteis para oxigenoterapia.

### 3.1.4.1 Riscos da variação de volume e de temperatura

A ação do calor sobre os corpos produz variações de volume e temperatura, ocasionando alguns riscos, como por exemplo:

- Dilatação de corpos sólidos: pode ser entendido observando, por exemplo, o aço utilizado na construção. O aço dilata-se numa proporção de 2:1 em relação ao concreto. Essa diferença poderá ocasionar riscos de colapso estrutural numa edificação. As barras de aço existentes dentro das vigas de

sustentação das construções, ao serem submetidas a intenso calor, tenderão a se deslocar, ocasionando a perda da sustentabilidade destas vigas.

- Dilatação de corpos líquidos: a dilatação dos líquidos pode provocar o seu transbordamento dos recipientes que os contêm.
- Dilatação de corpos gasosos: a dilatação dos corpos gasosos, acondicionados em recipientes pode provocar a ruptura dos mesmos, caso não possuam sistema de segurança (válvulas de escape ou de alívio de pressão).
- Variações bruscas de temperaturas: ao serem submetidos a variações bruscas de temperatura, os materiais sofrem danos em suas estruturas, podendo inclusive ocorrer o colapso generalizado, como, por exemplo, no caso do concreto.

O maior risco à vida nos incêndios não são as chamas nem do calor, mas sim, a inalação de fumaça que contém gases aquecidos e tóxicos. Além disso, a deficiência de oxigênio também pode asfixiar vítimas presas em locais confinados ou até mesmo bombeiros sem equipamentos adequados.

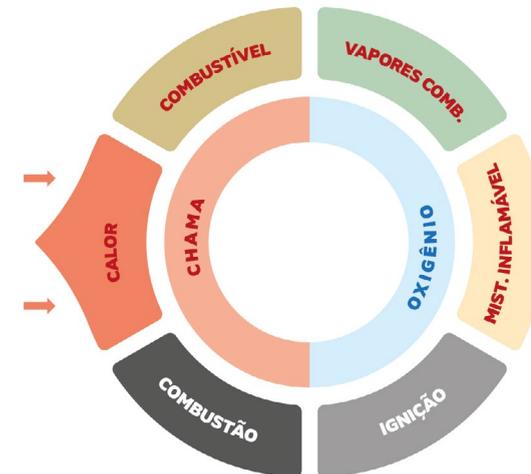
O bombeiro, além de ser um profissional técnico e preparado, deve entender seus limites físicos. Apesar de possuir treinamento e equipamentos adequados pode vir a se tornar uma vítima do incêndio se não respeitar seus próprios limites. No combate a incêndio, o heroísmo deve possuir como limite sua integridade física.

### 3.1.5 REAÇÃO QUÍMICA EM CADEIA

Na reação em cadeia, o calor irradiado das chamas atinge o combustível, este, por sua vez, é decomposto em partículas menores, chamados radicais livres. Na sequência, esses radicais livres irão se combinar com o oxigênio e queimar, irradiando outra vez calor para o combustível, formando assim um ciclo constante dando continuidade ao processo de forma sustentável. A combustão, por reação em cadeia e sua propagação relativamente rápida, distingue-se das reações de oxidação mais lentas como a ferrugem em metais ou o amarelado em papéis, por exemplo. As reações de oxidação lentas não produzem calor suficientemente rápido para chegar a uma ignição e nunca geram calor suficiente para uma reação em cadeia.

Sabe-se que o processo de combustão se dá com a reunião dos quatro elementos do fogo, bem como observando todas as suas correlações já apresentadas nesta Lição, deste modo, pode-se deduzir o esquema da figura 8.

Figura 8. Processo de combustão



Fonte: CBMSC

## 3.2 PRINCIPAIS PRODUTOS DA COMBUSTÃO

Os principais produtos do fogo são: as chamas, o calor irradiado e a fumaça (composta de fuligem, vapores e gases).

### 3.2.1 AS CHAMAS

A combustão dos materiais no ar quase sempre estará acompanhada de chamas visíveis. O contato direto com as chamas, assim como a irradiação direta do calor das mesmas, pode produzir graves queimaduras.

Qualquer queimadura é relevante, pois além da profundidade elas também devem ser avaliadas pela extensão da área atingida, e quanto maior for a superfície corporal afetada, pior a situação

da vítima. Os danos produzidos pelas queimaduras são dolorosos, duradouros, difíceis de tratar e muito penosos para os vitimados.

### 3.2.2 O CALOR IRRADIADO

O calor produzido pelos incêndios afeta diretamente as pessoas expostas. Dependendo da distância e da temperatura alcançada, o calor pode produzir pequenas queimaduras ou até mesmo levar o indivíduo à morte. A exposição ao ar aquecido pode desencadear as seguintes reações:

- aumento do ritmo cardíaco;
- desidratação;
- esgotamento;
- bloqueio do trato respiratório;
- queimaduras.

Pessoas expostas a ambientes com excesso de calor podem ser levadas à morte se o ar quente penetrar nos pulmões, pois ocorre a diminuição da pressão arterial. Assim, a circulação do sangue ficará debilitada e a temperatura do corpo aumentará até danificar o centro nervoso cerebral.

### 3.2.3 FUMAÇAS VISÍVEIS

Normalmente, em combustão incompleta (condições de insuficiência de oxigênio), materiais como: madeira, papel, gasolina e outros combustíveis comuns despreendem minúsculas partículas de carbono chamadas de fuligem, pó de carvão ou cinzas.

A fumaça é caracterizada quando estas partículas são con-

duzidas de modo visível junto aos vapores e gases, que por convecção atingem o plano mais elevado da base do fogo. As partículas presentes na fumaça podem ser conduzidas pelo movimento dos vapores e gases ou ainda acomodarem-se sobre superfícies por deposição.

A fumaça é constituída por três componentes principais:

- partículas sólidas (pó de carvão, fuligem ou cinzas);
- vapores ou aerossóis (líquidos em suspensão ou transportados pelo ar);
- gases (desprendidos dos materiais que queimam).

Quando a água é utilizada no combate ao incêndio, pequenas gotas costumam ficar suspensas na fumaça formando uma neblina. Similarmente a este processo, quando compostos à base de petróleo queimam produzem gotículas de petróleo que se tornam parte da fumaça. Nesse caso, se inalados, os compostos à base de petróleo podem causar grandes danos a saúde. Além da inalação, o contato desse material tóxico com a pele pode causar envenenamento.

A fumaça pode conter uma grande variedade de gases, quase todos tóxicos para o corpo, os principais são o monóxido de carbono (CO) e o ácido cianídrico (HCN). Outros gases da combustão, como o metano (CH<sub>4</sub>), o formaldeído e o ácido acético, podem ser gerados sob combustões incompletas, condensando-se sobre as partículas de fumaça e sendo transportados até as vias aéreas, podendo ter consequências fatais para os seres vivos.

A fumaça pode conter ainda gases narcóticos (asfixiantes) e agentes irritantes. Os gases narcóticos ou asfixiantes são aqueles que causam a depressão do sistema nervoso central, produzindo

do desorientação, perda da consciência e podem até mesmo levar a morte. Os efeitos da fumaça e dos gases tóxicos sobre os seres vivos variam de acordo com o tempo de exposição, da concentração destes gases na atmosfera e em grande parte, das condições físicas e de resistência dos indivíduos expostos.

### 3.2.3.1 Gases da combustão

Os gases da combustão são aquelas substâncias gasosas que surgem durante o incêndio e permanecem no ar mesmo após os produtos da combustão serem resfriados (retornando às temperaturas normais). A quantidade e os tipos de gases da combustão presentes, durante e depois de um incêndio, variam fundamentalmente de acordo com:

- a composição dos materiais que participam da combustão;
- a quantidade de oxigênio disponível no ambiente;
- a temperatura do incêndio.

A redução dos níveis de oxigênio como resultado de um incêndio confinado também provocam efeitos narcóticos nos seres humanos. A concentração normal de oxigênio no ar é de aproximadamente 21%. À medida que o processo de combustão consome o oxigênio, são produzidos gases e vapores tóxicos. O quadro 1 demonstra os sintomas da carência de oxigênio.

Quadro 1. Sintomas da carência de oxigênio

O <sub>2</sub> no ar (%)	Sintomas
20,9	Concentração normal.
19,5	Concentração mínima para entrada no ambiente sem proteção.
17	Produz anóxia, com diminuição do controle muscular.
14-10	Mantém-se a consciência, mas a pessoa perde a orientação e fica cansada.
10-8	Desmaio, inconsciência, náusea, vômito e até a morte, se a pessoa não for socorrida e transferida para um ambiente normal.
6-8	Fatal em 8 minutos (50% fatal em 6 minutos).
<6	Coma em 1 minuto, convulsões, paradas cardiorrespiratórias e morte.

Fonte: CBMSC

Como efeito narcótico, a deficiência de oxigênio pode incapacitar o indivíduo de realizar movimentos ou de perceber o que está acontecendo. Por isso, a entrada abrupta e sem equipamento de proteção, em um ambiente com deficiência de oxigênio, pode provocar a perda praticamente instantânea da consciência.

Ao mesmo tempo, a exposição aos gases e vapores aquecidos pode prejudicar as vias respiratórias. Se o ar estiver úmido, os danos serão muito mais graves, como por exemplo, quando se respira o vapor da água resultante da aplicação de água num incêndio.

### 3.2.3.2 Características dos gases resultantes da combustão

Dentre os possíveis gases de serem encontrados na combustão, podemos encontrar principalmente:

- Monóxido de carbono (CO) é um gás levemente inflamável, incolor, sem cheiro (inodoro) o que torna sua presença indetectável, o que representa seu maior risco, pois é extremamente tóxico quando inalado. Este gás pode ser encontrado em todos os incêndios como resultado da combustão incompleta dos materiais combustíveis à base de carbono (madeira, tecidos, plásticos, líquidos inflamáveis, gases combustíveis, dentre outros). A toxicidade do CO deve-se fundamentalmente à sua tendência a combinar-se com a hemoglobina do sangue de modo estável, formando a carboxi-hemoglobina. Este componente chega a ter de 200 a 300 vezes mais afinidade com a hemoglobina do que o oxigênio, diminuindo assim, a quantidade de hemoglobina disponível para o transporte de oxigênio. O que resulta na diminuição do abastecimento de oxigênio dos tecidos humanos, processo esse chamado de hipóxia.
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) também é muito produzido em incêndios, é um gás incolor e inodoro. Não é tão tóxico quanto o CO, mas sua inalação associada ao esforço físico provoca o aumento da frequência e da intensidade da respiração. O CO<sub>2</sub> é transportado na corrente sanguínea pela hemoglobina em um fenômeno denominado carbo-hemoglobina. Os efeitos danosos ao organismo decorrem da sua presença em alta concentração no organismo, afetando principalmente o coração e o cérebro.

- Ácido cianídrico (HCN) é um gás incolor com típico odor amargo, lembrando amêndoas. É bastante tóxico, agindo rapidamente no organismo causando envenenamento. É produzido a partir da queima de combustíveis que contenham nitrogênio, como por exemplo, materiais sintéticos (nylon, poliuretanos, plásticos e resinas), lã e seda. O ácido cianídrico é o produto mais tóxico que pode ser encontrado na fumaça.
- Ácido clorídrico (HCl) forma-se a partir de materiais que contenham cloro em sua composição, como o PVC (cloreto de polivinil) que é comumente encontrado dentro das estruturas nas construções. Esse gás causa irritação nos olhos e nas vias aéreas superiores, podendo produzir distúrbios de comportamento, disfunções respiratórias e infecções.
- Acroleína (ou propenal - C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O): forma-se a partir da combustão de polietilenos encontrados em tecidos. Esse gás é um irritante pulmonar, podendo causar a morte devido a complicações pulmonares que podem ocorrer até horas depois da exposição ao gás.
- Amônia (NH<sub>3</sub>): é um gás irritante e corrosivo, podendo produzir queimaduras graves e necrose na pele. Os sintomas à exposição incluem desde náusea e vômitos até danos aos lábios, boca e esôfago. Pessoas contaminadas por amônia devem ser transportadas com urgência para um hospital e receber tratamento intensivo.

## 3.3 MÉTODOS DE EXTINÇÃO

São os métodos utilizados para a extinção do incêndio empregados de acordo com as definições estratégicas e táticas nas operações. Normalmente, na extinção dos incêndios pode-se envolver um ou mais métodos na mesma ocorrência.

### 3.3.1 RETIRADA DO MATERIAL COMBUSTÍVEL

Consiste na retirada do material combustível, que ainda não tenha sido atingido na área de propagação do fogo, interrompendo a alimentação da combustão. É a forma mais simples de extinguir um incêndio.

Pode-se realizar a interrupção do combustível, por exemplo, fechando a válvula de fornecimento em casos de vazamento de combustível líquido ou gasoso, retirando materiais combustíveis do ambiente em chamas, compartimentalizando a área com o isolamento de cômodos não afetados, realizando aceiro no caso de incêndios florestais, dentre outros métodos.

### 3.3.2 RESFRIAMENTO

Consiste em reduzir a temperatura do material combustível que está queimando, diminuindo conseqüentemente o calor e a liberação de gases ou vapores inflamáveis. É o método utilizado com mais frequência por bombeiros combatentes.

No resfriamento a água é o agente extintor mais usado por ter grande capacidade de absorver calor e também por ser facilmen-

te encontrada na natureza a baixo custo de operação. A redução da temperatura está ligada diretamente à quantidade e a forma de aplicação da água (tipo de jatos utilizados), de modo que ela absorva mais calor do que o incêndio é capaz de produzir.

### 3.3.3 ABAFAMENTO

Consiste em diminuir ou impedir o contato físico do oxigênio com o material combustível, um vez que não havendo comburente para reagir com o combustível, não haverá fogo. Vale lembrar que alguns materiais têm oxigênio em sua composição e queimam sem necessidade do oxigênio do ar, como os peróxidos orgânicos e o fósforo branco. Deste modo o abafamento não é o método mais eficiente para ser usado nesses casos.

A diminuição do oxigênio que se encontra em contato com o combustível deve tornar a combustão mais lenta até que a concentração de oxigênio chegue próximo a 8%, onde não deverá haver mais combustível.

Na prática da atividade de bombeiro, pode-se realizar o abafamento do fogo com uso de materiais diversos, como areia, terra, cobertores, vapor d'água, espumas, pós, gases especiais etc.

Pode-se presumir de modo equivocado que, em incêndios interiores, o abafamento seria a técnica mais usada. Com o simples fechamento do cômodo incendiado, o bombeiro pode conseguir e extinguir o incêndio com baixos danos para as edificações. No entanto, devemos ter em mente que a primeira prioridade em combate a incêndio é a busca e resgate de vítimas na edificação e que o bombeiro deve direcionar suas ações no interior dos cômodos para conseguir salvar vítimas.

### 3.3.4 QUEBRA DA REAÇÃO QUÍMICA EM CADEIA

Consiste em diminuir ou impedir o contato químico do oxigênio com os gases ou vapores combustíveis, impedindo a combinação entre o comburente e o combustível.

A quebra da reação química é proporcionada pela introdução de determinadas substâncias no processo da combustão com o propósito de inibi-la, criando assim, uma condição especial em que o combustível e o comburente percam (ou reduzam) suas capacidades de manter o processo da reação química em cadeia. Os extintores de incêndio à base de pó com alta capacidade extintora (elementos halogênios, tais como: flúor, cloro, bromo e iodo) têm como seu principal método de extinção a quebra da reação em cadeia.

## 3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS

Os incêndios são classificados de acordo com os materiais combustíveis neles envolvidos, bem como conforme a situação em que se encontram. Essa classificação é feita para determinar o agente extintor mais adequado para o tipo de incêndio específico. Agentes extintores são todas as substâncias capazes de eliminar um ou mais dos elementos essenciais do fogo, cessando a combustão.

O CBMSC adota a NBR 13860:1997 como classificação de incêndios na elaboração de normas de segurança contra incêndios e pânico e na educação dos seus profissionais.

De acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 13860:1997), existem quatro classes de incêndio identificadas pelas letras A, B, C e D. Essa classificação é adotada pelos Corpos de Bombeiros Militares dos Estados Brasileiros, mas existem ainda outras classes de incêndio definidas por outras normas.

Quadro 2. Outras classificações

CLASSE	NORMA AMERICANA
A	Sólidos: papel, madeira, tecido, borracha e plásticos.
B	Líquidos, graxas e gases: gasolina, álcool, butano, metano e acetileno.
C	Elétricos: equipamentos e máquinas elétricas e eletrônicas energizadas.
D	Metais especiais: magnésio, selênio, antimônio, lítio, potássio, zinco, titânio, sódio, urânio e zircônio.
K	Óleos e gorduras: óleos e gorduras de cozinha.
CLASSE	NORMA EUROPEIA
A	Sólidos: papel, madeira, tecido, borracha e plásticos.
B	Líquidos: gasolina, óleo, álcool e petróleo.
C	Gases: butano, metano e acetileno.
D	Metais especiais: magnésio, selênio, antimônio, lítio, titânio, zircônio, sódio, urânio, zinco e potássio.
E	Elétricos: equipamentos e máquinas elétricas e eletrônicas energizadas.
F	Óleos e gorduras: óleos, gorduras de cozinhas e piche derretido.

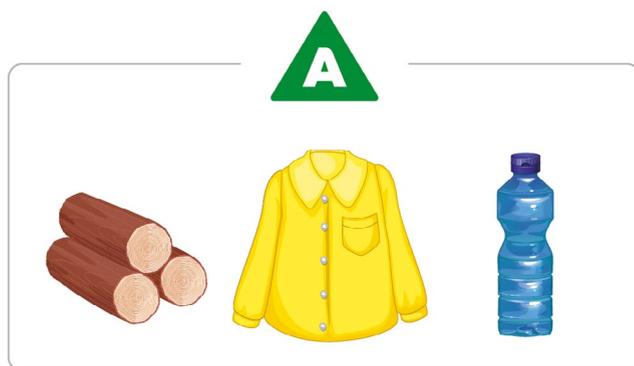
Fonte: CBMSC

### 3.4.1 INCÊNDIO CLASSE A

É o incêndio envolvendo materiais combustíveis sólidos, tais como: madeira, tecido, papel, borracha, plástico e fibras orgânicas. É caracterizado pela presença de cinzas e brasas como resíduos e também por queimar em razão do volume. Isto é, o processo de combustão se dá na superfície e em profundidade.

O método mais utilizado para extinguir incêndios de classe A é o uso de resfriamento com água, mas também se admite o uso de pós químicos secos de alta capacidade extintora ou ainda com o uso de espuma.

Figura 9. Materiais combustíveis sólidos.



Fonte: CBMSC

### 3.4.2 INCÊNDIO CLASSE B

É o incêndio envolvendo líquidos e/ou gases (inflamáveis ou combustíveis), óleos e graxas. O incêndio classe B é caracterizado por não deixar resíduos e por queimar apenas na superfície exposta e não em profundidade.

Os métodos mais utilizados para extinguir incêndios de classe B são por ordem:

1. abafamento (uso de espuma);
2. quebra da reação em cadeia (uso de pós químicos);
3. retirada do material;
4. resfriamento.

Figura 10. Líquidos e/ou gases inflamáveis ou combustíveis, óleos e graxas.



Fonte: CBMSC

### 3.4.3 INCÊNDIO CLASSE C

É o incêndio que envolve equipamentos elétricos energizados. É caracterizado pelo risco de vida que oferece, principalmente ao bombeiro combatente. A extinção do incêndio envolvendo equipamentos energizados deve ser realizada por agentes extintores que não conduzam a corrente elétrica (pós químicos ou gás carbônico). Para iniciar o controle e extinção deste incêndio deve-se priorizar o desligamento dos materiais ou redes energizadas antes da aplicação do agente extintor pelo bombeiro.

É importante registrar que a maioria dos incêndios de classe C, uma vez eliminado o perigo da eletricidade (presença de corrente elétrica), passam a ser tratados como incêndio de classe A.

Figura 11. Equipamentos elétricos energizados.



Fonte: CBMSC

### 3.4.4 INCÊNDIO CLASSE D

É caracterizado pela queima em altas temperaturas e por reagir com agentes extintores comuns (principalmente os que contêm água). O método mais adequado para extinguir incêndios

de classe D é o uso de pós especiais que separam o incêndio do ar e agem por abafamento.

Figura 12. Metais combustíveis pirofóricos.



Fonte: CBMSC

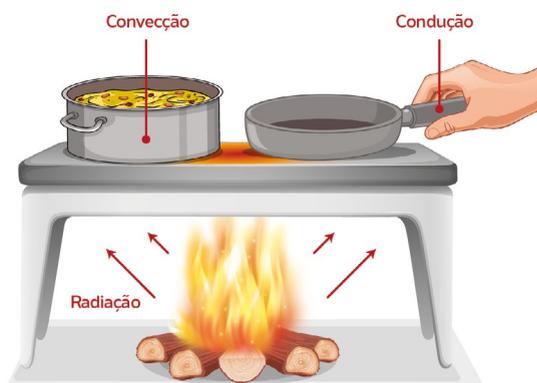
## 4 FÍSICA E QUÍMICA APLICADAS

### 4.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

O estudo da transferência do calor auxilia na identificação das diferentes formas de aumento e disseminação do fogo em edificações. O calor pode ser propagado nos ambientes a partir de três diferentes meios (figura 13):

- Por condução: ocorre principalmente nos materiais combustíveis no estado sólido.
- Por convecção: em líquidos e gases combustíveis.
- Por radiação: não há necessidade de um meio material para a propagação dessa energia.

Figura 13. Formas de propagação do calor.



Fonte: CBMSC

### 4.1.1 CONDUÇÃO

Condução é a transferência de calor em corpos sólidos, de molécula a molécula. A principal característica da condução é a transferência de energia sem que haja transferência de matéria. Ou seja, o calor passa de molécula para molécula sem que nenhuma delas seja transportada com o calor. Esse fenômeno pode ser percebido aproximando-se, por exemplo, a extremidade de uma barra de ferro de uma fonte de calor. Neste caso, as moléculas da extremidade irão absorver calor e vibrarão mais vigorosamente, fazendo com que as moléculas colidam com as moléculas vizinhas transferindo-lhes calor. Enquanto a barra for mantida exposta ao calor, o fenômeno permanece ininterrupto, de modo que o calor será conduzido ao longo da barra até atingir a extremidade fria fazendo com que ambas as extremidades possuam a mesma temperatura.

Figura 14. Fenômeno de condução em um ambiente edificado.



Fonte: CBMSC

### 4.1.2 CONVECÇÃO

É a transferência de calor que ocorre nos fluidos (gases e líquidos) por meio do movimento de suas massas, dentro de suas moléculas. Diferentemente da condução, na qual o calor é transmitido de átomo para átomo sucessivamente, na convecção a propagação do calor ocorre por meio do movimento envolvendo o transporte de matéria.

Ou seja, quando a massa de um fluido é aquecida, suas moléculas passam a mover-se mais rapidamente, afastando-se umas das outras. Assim, o volume ocupado por essa massa fluida aumenta tornando-se menos densa. Essa massa menos densa no interior do fluido tende a elevar-se ocupando o lugar das massas do fluido que estão com menor temperatura.

Figura 15. Fenômeno de convecção



Fonte: CBMSC

Esse processo é repetido inúmeras vezes enquanto o aquecimento é mantido, dando origem à chamada corrente de con-

vecção (Figura 15). Essa corrente mantém o fluido em circulação constante tornando-se a principal forma de propagação de calor em incêndios estruturais. Em uma edificação com vários andares, o calor é transferido para os andares superiores, quando os gases aquecidos encontram caminho por meio de escadas ou poços de elevadores, por exemplo.

### 4.1.3 RADIAÇÃO

É a transmissão de calor por meio de ondas de energia calorífica que se deslocam no espaço mesmo na ausência de matéria. Essas ondas de calor possuem a propriedade de deslocarem-se em todas as direções, sendo que a intensidade com que atingem novos corpos combustíveis dependerá da distância em que a fonte que emite o calor, atinja novos corpos combustíveis, além, da intensidade de calor em deslocamento.

As ondas responsáveis pela radiação são do tipo eletromagnéticas, e propagam-se na velocidade da luz, por meio do vácuo ou do ar. O calor propagado pelo processo da radiação possui a capacidade de penetrar em corpos translúcidos, como o vidro e a água.

O calor em propagação ao atingir um corpo combustível, dependendo da quantidade de calor e das características físico-químicas do combustível, poderá levá-lo a atingir o ponto de ignição e inflamar-se. Nesse caso, pode-se dizer que ocorreu uma "ignição remota". Esta situação é muito comum em incêndios que se propagam para edificações vizinhas.

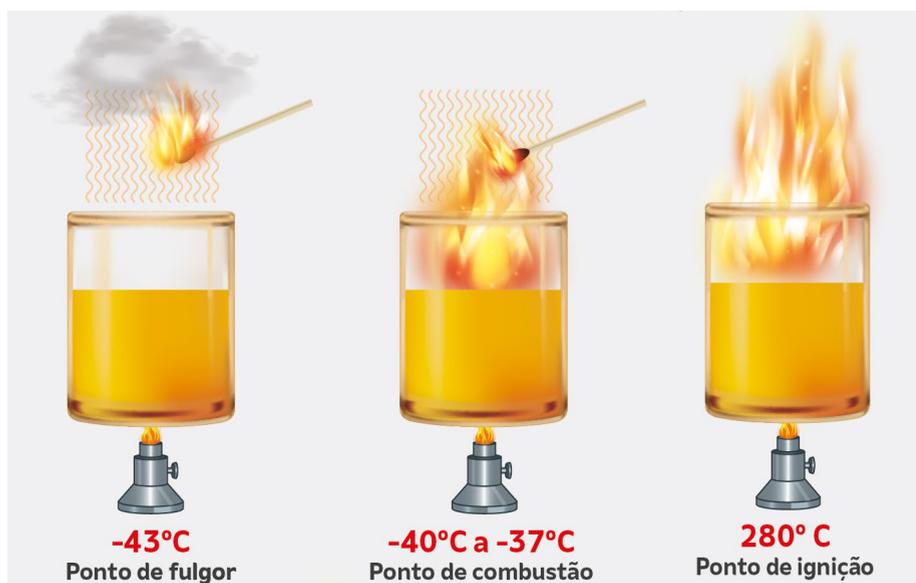
Em incêndios estruturais, devido às características construtivas do ambiente (delimitação do espaço por teto e paredes),

normalmente a quantidade de oxigênio disponível para o fogo é limitada e tende a decrescer, gerando como principais produtos monóxido de carbono e carbono presentes uma fumaça.

## 4.2 PONTOS DE TEMPERATURA

A medida que os materiais combustíveis vão sendo aquecidos, sofrem transformações até se combinarem com o ar atmosférico e entrarem em combustão (figura 16).

Figura 16. Pontos de temperatura



Fonte: CBMSC

Quadro 3. Pontos de fulgor e ignição

Substância	Ponto de Fulgor (°C)	Ponto de Ignição (°C)
Acetileno	Gás	335
Acetona	-17,7	538
Ácido acético	40	426
Álcool	11 a 12	371 a 426
Amônia	Gás	650
Asfalto	204	490
Éter	-45	180
Gasogênio	Gás	648
Gasolina	-42	257
Hidrogênio	Gás	584,5
Madeira	50	150
Metano	Gás	540
Monóxido de Carbono	Gás	650
Óleo diesel	66	400
Propano	Gás	470
Querosene	50	254

Fonte: CBMSC

Quando aquecido, o combustível pode alcançar certa temperatura, na qual inicia a liberação de vapores que podem incendiar, caso haja uma fonte externa de calor. Denomina-se ponto de fulgor a menor temperatura que um combustível atinge, podendo liberar vapor suficiente para formar uma mistura inflamável. Neste momento, mesmo que não ocorra a produção de chamas, devido a pequena quantidade de vapores combustíveis, ainda assim podem ocorrer faíscas que logo cessam.

Caso o aquecimento seja mantido, os gases que se desprendem do material podem incendiar caso haja uma fonte externa de calor (ignição). A temperatura mínima que afeta o combustível e inicia a sua combustão é chamado de ponto de combustão. Nesse momento o material continua queimando mesmo se retirada a fonte de ignição.

Com a continuidade de aquecimento, o combustível atinge o ponto de ignição, no qual o combustível, exposto ao ar, entra em combustão sem que haja fonte externa de calor (fonte original). O quadro 3 apresenta os diferentes pontos de fulgor e de ignição de diferentes materiais combustíveis.

## 4.3 CLASSIFICAÇÃO DA COMBUSTÃO

Para melhor entendimento dos cenários de incêndio, pode-se classificar as combustões quanto aos produtos liberados como resultado da queima em três tipos: completa, incompleta e espontânea, sendo esta última um fenômeno pouco comum.

### 4.3.1 COMBUSTÃO COMPLETA NOS INCÊNDIOS

A combustão completa, também chamada de combustão ideal, ocorre quando todas as moléculas do combustível reagem completamente com as moléculas de oxigênio, tornando seus produtos estáveis. Como produtos desse tipo de combustão são gerados apenas dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O).

Por exemplo, ao analisar a combustão do metano (CH<sub>4</sub>), este reage com o oxigênio (O<sub>2</sub>) formando duas moléculas de água (H<sub>2</sub>O) e uma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), conforme pode-se perceber na equação:



É importante salientar que essa equação descreve uma situação ideal, e que nos incêndios podemos encontrar outros produtos em maior proporção devido a diversidade de materiais combustíveis presentes nos ambientes.

### 4.3.2 COMBUSTÃO INCOMPLETA

A combustão incompleta ocorre em condições com quantidade de oxigênio insuficiente, gerando como produtos principais o monóxido de carbono (CO) ou fuligem (C) e (H<sub>2</sub>O). Esse processo pode ser exemplificado na equações da combustão do metano:

O monóxido de carbono (CO) é o produto encontrado em maior quantidade em condições de pouco oxigênio (combustão incompleta), estando presente principalmente em ambientes pouco ventilados. Geralmente, quanto mais escura a fumaça nos incêndios, mais monóxido de carbono está sendo produzido por causa da combustão incompleta.

### 4.3.3 COMBUSTÃO ESPONTÂNEA

A combustão espontânea ocorre quando várias substâncias combinam-se com oxigênio atmosférico, oxidação lentamente e produzindo calor. Quando o calor não é dissipado rapidamente, a temperatura sobe, acelerando a oxidação o que produz ainda mais calor, até que a substância chegue ao ponto de ignição.

Esse fenômeno ocorre, por exemplo, no armazenamento de certos vegetais que, pela ação de bactérias, fermentam produzindo calor e liberando gases que podem incendiar. Algumas substâncias conhecidas por serem suscetíveis à combustão espontânea são:

- Sólidos finamente divididos: pó de alumínio, bronze, zinco e magnésio.
- Material vegetal (especialmente os verdes ou úmidos): feno, palha, algodão, cevada, palha-milho, silagem, grão, linho, malte, tabaco, entre outros.
- Material animal: peles, adubo e óleo de peixe etc.
- Óleos vegetais: linhaça, feijão-soja, azeitona, semente de linho, noz, semente de algodão dentre outros.
- Mistos: serragem, carvão, farinhas e óleos de lustrar madeira.

## 4.4 EXPLOSÕES

A explosão decorre da ignição da mistura entre um gás (ou vapor de gás) e o oxigênio, exposto a uma fonte de calor, tendo como resultado uma expansão repentina e violenta do combustível gasoso. Essa ignição se dá em alta velocidade, gerando uma onda de choque que se desloca em todas as direções, de forma radial.

As explosões dividem-se em: mecânicas (caldeiras, tanques, cilindros), químicas e nucleares.

As explosões químicas (subclasse das pseudoexplosões ou explosões difusas) são o tipo de explosão mais comum. Essa subclasse abrange vapores inflamáveis e pós em suspensão.

### 4.4.1 EXPLOSÃO POR VAPORES INFLAMÁVEIS

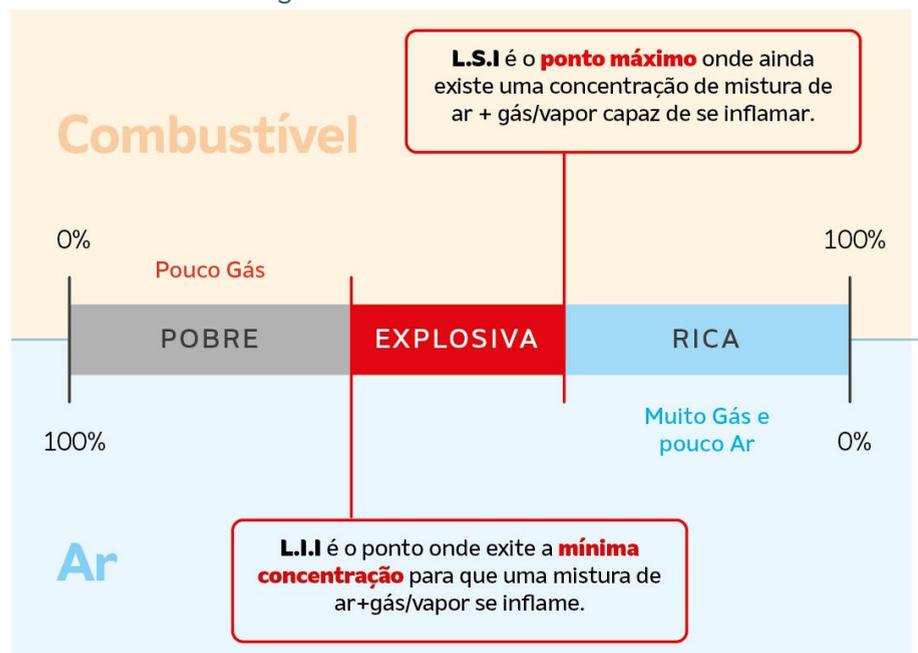
Este tipo de explosões decorrem da queima em alta velocidade de uma mistura ideal formada a partir do próprio combustível (líquidos ou vapores inflamáveis com o comburente, após o contato com uma fonte de ignição). Para que ocorram alguns fatores como ponto de fulgor e limites de inflamabilidade devem ser atingidos. Essa situação ocorre comumente em indústrias químicas.

### 4.4.2 LIMITE DE INFLAMABILIDADE

É a faixa de concentração de vapores de uma substância inflamável no ar. Pode também ser conhecido como limite de explosividade. Quando a concentração de vapores no ar é muito baixa, temos o limite inferior de inflamabilidade ou limite inferior de ex-

plosividade (LIE). O limite superior de explosividade ou (LSE) define quando a mistura ar e combustível é muito alta para queimar.

Figura 17. Limite de inflamabilidade



Fonte: CBMSC

Abaixo do LSE obtém-se uma mistura denominada mistura pobre, na qual a relação da mistura ar com o combustível possui uma baixa concentração de  $O_2$ . Acima do LSE tem-se uma situação contrária, na qual a relação da mistura do ar com o combustível possui grande concentração de  $O_2$ , ou seja, as concentrações acima ou abaixo do limite de inflamabilidade de um combustível gasoso inviabiliza a inflamação (Figura 17). O quadro 4 apresenta os limites de inflamabilidade de algumas substâncias. Combustí-

veis em estado gasosos, para se inflamarem, necessitam de uma composição ideal com o ar atmosférico (oxigênio) entre os limites inferior e superior de inflamabilidade.

Quadro 4. Limite de inflamabilidade de algumas substâncias

COMBUSTÍVEL	CONCENTRAÇÃO	
	LIMITE INFERIOR (LIE)	LIMITE SUPERIOR (LSE)
Metano	1,4%	7,6%
Propano	5%	17%
Hidrogênio	4%	75%
Acetileno	2%	80%
Monóxido de carbono	12,5%	74%

Fonte: CBMSC

#### 4.4.3 PÓ EM SUSPENSÃO

Existem situações similares a explosões, e que não são produzidas por gases mas sim, por poeira inflamável. Como o alumínio ou alguns componentes orgânicos (açúcar, leite em pó, grãos, plásticos, pesticidas, produtos farmacêuticos, serragem etc.).

Uma combustão dessa natureza é produto de uma reação em alta velocidade entre a mistura de poeira combustível com o ar exposta a alguma fonte de calor. A faixa de explosividade, nesse caso, depende de diversos fatores, dentre eles:

- tamanho das partículas em suspensão;
- umidade do ar;
- tipo de materiais presentes na mistura;
- tempo em que as partículas permanecem em suspensão (concentração de oxigênio).

Essa situação é bastante comum em silos. Nesses casos, as ocorrências de incêndio devem ser enfrentadas com muita cautela, observando algumas medidas como:

- evacuar e isolar a área;
- desligar maquinários e equipamentos elétricos energizados;
- umedecer o ambiente;
- realizar o rescaldo com rigor técnico.

É importante ainda, orientar proprietários e funcionários quanto as medidas básicas de segurança em caso de principio de incêndio.

## 4.5 COMPOSTOS ORGÂNICOS

A grande maioria dos materiais combustíveis presentes nos incêndios deriva de compostos orgânicos. Estes compostos são formados por cadeias de átomos de carbono ligados entre si ou a outros elementos químicos como os derivados do petróleo (gasolina ou óleo diesel), etanol, biocombustíveis, carvão, gás natural, polímeros sintéticos e naturais (plásticos e borrachas).

Esses compostos são divididos de acordo com suas proprie-

dades em grupos, denominados por funções orgânicas, das quais podemos citar as principais:

- Grupo funcional dos Hidrocarbonetos: possui somente átomos de carbono (C) e hidrogênio (H). Por exemplo: metano ( $\text{CH}_4$ ), propano ( $\text{CH}_3\text{H}_8$ ), butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), eteno ou etileno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), etino ou acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) e gasolina. A gasolina é composta por alcanos e alguns hidrocarbonetos aromáticos, dentre outros compostos em menor proporção. A mistura pode conter hidrocarbonetos de seis a doze carbonos na cadeia mas, a mais comum é a que possui oito (octano -  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ).
- Grupo funcional dos Álcoois: possui a hidroxila ligada ao carbono saturado ( $-\text{OH}$ ). Por exemplos: metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) e propanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ).
- Grupo funcional dos Fenóis: possui a hidroxila ligada ao carbono saturado ( $-\text{OH}$ ) ligado a um carbono insaturado de um anel benzênico (núcleo aromático) (figura 18). Os fenóis são mais ácidos que os álcoois, sendo também tóxicos. Estes elementos são muito usados na fabricação de perfumes, cosméticos, adesivos, resinas, tintas, vernizes, corantes e explosivos.

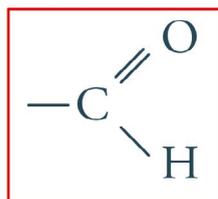
Figura 18. Representação do anel aromático do Fenol



Fonte: CBMSC

- Grupo funcional dos Aldeídos: possui a carbonila ligada a um hidrogênio (Figura 19), como exemplo podemos indicar o metanal (em solução aquosa é conhecido como formol) e etanal (acetaldeído). Estes componentes são muito usados como desinfetantes, líquido para conservação de cadáveres e como matéria-prima na fabricação de plásticos.

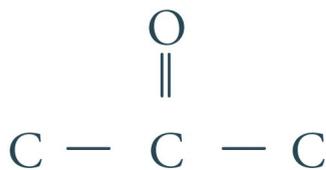
Figura 19. Carbolina de aldeído



Fonte: CBMSC

- Grupo funcional das Cetona: possui a carbonila ligada entre dois carbonos (Figura 20), por exemplo a propanona (CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>). Este componente popularmente conhecida como acetona, é o tipo de cetona mais comum, sendo usada como solvente de esmaltes, graxas, vernizes e resinas.

Figura 20. Cetona



Fonte: CBMSC

## 4.6 POLARIDADE DAS SUBSTÂNCIAS

Quanto à polaridade, as substâncias podem ser divididas em polares e apolares. A polaridade de uma ligação de uma molécula está relacionada à distribuição dos elétrons ao redor dos átomos. Ao analisarmos as estruturas das moléculas, podemos determinar se elas são polares ou não. Para isso, é preciso levar em consideração dois fatores importantes: a diferença de eletronegatividade entre os átomos e a geometria das moléculas.

Como substâncias polares podem-se citar principalmente a água (principal agente extintor utilizado pelos bombeiros) e os álcoois. O principal exemplo de substâncias apolares são os hidrocarbonetos derivados de petróleo.

## 4.7 MISCIBILIDADE DE SUBSTÂNCIAS

Algumas substâncias não se misturam em estado natural, tal como a água e os óleos. A miscibilidade, ou capacidade de se misturar, das substâncias está relacionada à polaridade. Deste modo, substâncias formadas por moléculas polares geralmente se dissolvem bem em solventes formados por moléculas também polares, assim como as substâncias formadas por moléculas

A análise para escolha do melhor agente extintor no combate às chamas é realizada em função da miscibilidade e, indiretamente, da polaridade da substância que compõe o combustível, em contraposição com o agente extintor.

apolares geralmente se dissolvem bem em solventes também formados por moléculas apolares. Em outras palavras, semelhante dissolve semelhante.

## 5 COMPORTAMENTO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS EM INCÊNDIOS

### 5.1 MATERIAIS PRESENTES NAS EDIFICAÇÕES

Uma edificação possui diversos tipos de materiais presentes no mobiliário, os elementos construtivos, como pisos vinílicos, revestimento de paredes, tetos etc., e os elementos estruturais propriamente ditos. Cada um desses materiais reage de um modo diferente ao ser exposto ao fogo.

Por isso, conhecer o comportamento dos diferentes elementos durante um incêndio é fundamental para o correto dimensionamento de cena e gerenciamento dos riscos, uma vez que, esses elementos possuem relação direta com o início, o desenvolvimento e a propagação do sinistro, bem como, com os possíveis colapsos estruturais.

A madeira, por exemplo, reduz sua seção gradualmente e o aço perde sua rigidez e resistência. Já o concreto, fragmenta-se quando exposto a elevadas temperaturas.

#### 5.1.1 AÇO

O aço é constituído principalmente de ferro, metal este que possui elétrons livres em sua composição. Isso faz com que ele seja um bom condutor de calor. Essa capacidade de condução permite que o calor seja transmitido com maior facilidade por meio de elementos estruturais produzidos com esse material, como vigas, colunas, painéis etc.

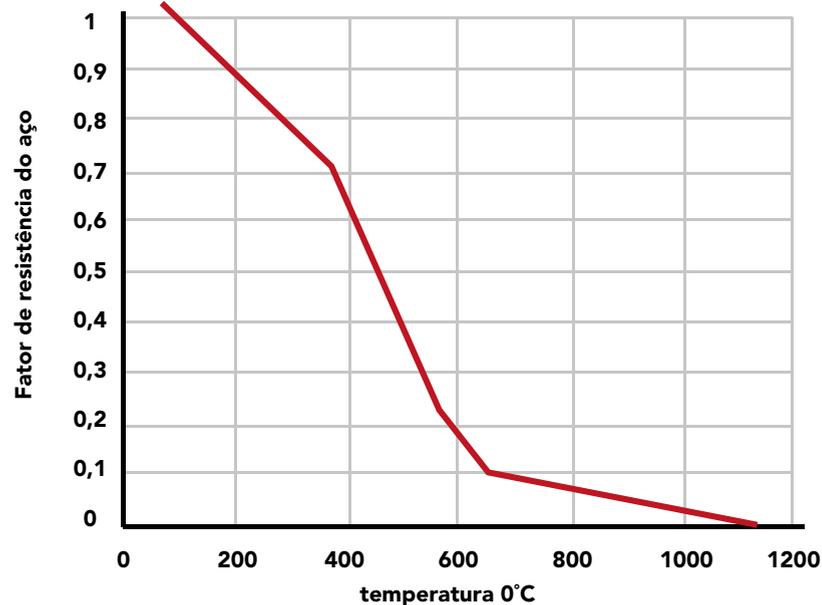
A temperatura de fusão do aço situa-se na faixa entre 1300 °C e 1400 °C. Dificilmente um incêndio típico de edificações residenciais atingirá essa temperatura. Porém, a resistência mecânica do aço reduz-se pela metade quando ele atinge a faixa entre 500 °C a 600 °C. Além disso, o calor faz com que o aço sofra grande dilatação, ou seja, uma viga de aço de 20 metros pode dilatar-se para 20,5 metros por volta dos 550 °C. Assim, o aço estrutural, submetido a essas temperaturas, pode perder metade de sua resistência inicial, em virtude da deformação dos pontos de suporte de cargas e da perda de sua resistência mecânica.

A perda de resistência do aço no interior de estruturas não ocorre somente em incêndios de grande escala, em pequenos ou médios incêndios podem alcançar mais de 500 °C e portanto, produzir deformações do material, desencadeando colapso da estrutura. De modo geral, todos os metais quando expostos à ação do calor apresentam alto risco de deformação e colapso.

É importante lembrar que estruturas de aço não apresentam sinais prévios de um eminente colapso estrutural.

Os bombeiros devem estar atentos aos locais onde as vigas e colunas de aço estão empregadas, pois como em um incêndio o aço atinge rapidamente altas temperaturas, sua resistência pode ser reduzida à metade. Outro fator a ser considerado é a dilatação dos elementos, que podem atuar sob as paredes, empurrando-as e, conseqüentemente, causar um colapso estrutural.

Figura 21. Fator de redução da resistência do aço das armaduras em função da temperatura



Fonte: CBMSC

Falhas no reconhecimento os riscos potenciais de cada tipo de construção e os efeitos que o fogo tem sobre seus elementos construtivos pode ser catastrófico para os bombeiros. Por segurança, sua e de seus companheiros, cada bombeiro deve ter um conhecimento básico sobre construção de edificações. Não somente a cerca dos materiais, mas também, do modo como eles estão dispostos no ambiente, especialmente construção que são mais comuns a sua região.

O concreto é um material composto por diversos elementos, como: o cimento, a água, os agregados graúdos e o aço (no caso do concreto armado). Esses constituintes não reagem da mesmo modo sob altas temperaturas, fazendo que o estudo da reação do concreto perante um incêndio seja um pouco mais específico. Como elemento estrutural possui boa resistência a altas temperaturas e a compressão, por outro lado apresenta baixa resistência a tração e a flexão.

### 5.1.1.1 Concreto armado

Para utilização nas estruturas das edificações, são inseridas barras de aço no interior do concreto, de modo a suprir suas deficiências, formando o que se conhece como concreto armado. O colapso estrutural do concreto armado está relacionado diretamente a alguns fatores: temperatura, tempo de exposição, traço do concreto e velocidade do resfriamento. Até 250 °C, o efeito da elevação da temperatura sobre a resistência mecânica do concreto é mínimo, agravando-se a partir dos 300 °C. A exposição a essas temperaturas, que ocorre normalmente até os primeiros 20 minutos do incêndio, pode desencadear um fe-

nômeno denominado *explosive spalling* (lascamento explosivo), caracterizado pelo destacamento de pequenas placas de forma abrupta e violenta, conforme pode ser observado na figura 22.

Esse tipo de lascamento também pode ser oriundo da desidratação do concreto, decorrente da evaporação da água presente na sua composição, em virtude da elevação na pressão interna da estrutura. Outro fenômeno que pode ocorrer com o concreto durante um incêndio é a corrosão, mesmo que de forma lenta, todo elemento construtivo de superfície porosa absorve os gases da combustão, geralmente ácidos.

Figura 22. Exemplo de lascamento explosivo



Fonte: CBMSC

Destaca-se que em um incêndio em que as temperaturas se mantenham entre 1000 °C e 1200 °C por mais de três horas, haverá um potencial extremamente danoso sobre o concreto armado. Nessas condições, os elementos do concreto chegam a corroer-se a uma velocidade de quatro centímetros por hora e as armaduras de aço deixam de cumprir sua função estrutural.

Contudo, o desempenho do concreto, especialmente o armado, perante a exposição a incêndios é considerado satisfatório, especialmente em edificações residenciais e comerciais (por apresentar carga de fogo baixa). O concreto armado possui como principais características grande resistência à penetração de chamas, baixa condutibilidade térmica e grande capacidade de suportar cargas mesmo quando exposto a altas temperaturas.

A resistência do concreto ao fogo contribui para a proteção do aço, em seu interior, contra o aumento excessivo de temperatura durante um incêndio. Quanto mais espessa for a camada de concreto, mais protegida a armadura de aço em seu interior. O bombeiro que combate um incêndio em uma estrutura de concreto deve utilizar a água de forma técnica, pois o concreto sofre uma perda considerável de resistência mecânica quando resfriado de forma abrupta.

O comportamento do aço (como seu elemento constitutivo) em uma situação de incêndio é fundamental para o correto dimensionamento da cena. O concreto é um mau condutor de calor e apresenta baixíssima dilatação térmica, enquanto o aço, é um excelente condutor e apresenta uma alta dilatação. Quanto a perda de resistência mecânica, no aço ocorre de forma linear até a temperatura de 400°C (aproximadamente), a partir desse valor, a perda de resistência decai acentuadamente. Desse modo, caso as armaduras na estrutura de concreto estiverem expostas durante um incêndio, ou ainda, se a temperatura da combustão estiver extremamente elevada pode ocorrer o a capacidade de tração e de flexão do concreto deve estar comprometida, prejudicando as vigas, podendo acarretar seu colapso. Além disso, em torno de 600 °C a aderência entre o aço e o concreto é

perdida completamente, devido as diferenças de dilatação, dos materiais, aumentando ainda mais os riscos relacionados de colapso estrutural.

### 5.1.1.2 Estruturas de concreto pré-moldado

A crescente utilização do concreto pré-moldado, principalmente em galpões utilizados como depósitos, indústrias e comércios em geral, faz com que seja necessário compreender o comportamento desse tipo de estrutura quando exposto ao fogo.

É interessante ressaltar que o aço perde metade da sua resistência mecânica na faixa compreendida entre 500°C e 600 °C. Diferentemente do aço, o concreto é um bom isolante térmico, atuando na proteção da armadura de aço em seu interior. Por isso, é preciso estar atento a locais de exposição da armadura, ou seja, quando o aço estiver exposto, seja devido a baixa qualidade da construção ou pela ocorrência do fenômeno de *spalling*.

A grande diferença entre as estruturas de concreto pré-moldado e as de concreto armado está na forma de utilização do aço em seu interior. Nos pré-moldados, a armadura de aço do concreto é protendida (ativa), ou seja, ela está constantemente tracionada no interior do elemento estrutural. Já no concreto armado comum, ela não é tracionada (passiva). O que parece apenas ser uma forma distinta de disposição do aço no interior do concreto, pode resultar na perda de resistência de 90% em temperaturas em torno dos 600 °C, ao passo que o concreto armado perde apenas 50% nas mesmas condições.

Além disso, a maneira como cada umas dessas estruturas de

concreto é construída também influencia na resistência da edificação como um todo. No caso do concreto armado comum, as armaduras de vigas e colunas estão interligadas (concretadas juntas). Assim se algum dos elementos estruturais for exposto a altas temperaturas, os demais exercerão certo “auxílio” no suporte da carga, em virtude da interligação entre as armaduras.

Já no concreto pré-moldado, no qual as vigas e colunas são interligadas em geral, apenas por pinos ou chapas. Assim, além da preocupação com a perda de resistência mecânica (que é bem maior que no concreto armado), deve-se prestar atenção especial às deformações da estrutura, uma vez que o colapso pode ocorrer em decorrência da desconexão entre os elementos estruturais (vigas e colunas). Deve-se ter cuidado redobrado ao enfrentar um incêndio em uma estrutura de concreto pré-moldado, pois é muito difícil identificar os sinais de um colapso estrutural. É preciso ter atenção principalmente a desalinhamentos entre vigas e colunas. E, por fim, é importante ter em mente que o tempo entre o surgimento de deformações e o colapso é bem menor do que no concreto armado comum.

Diferente de outros materiais, a madeira presente nas estruturas, antes de atingir seus pontos de ruptura emite sons (estalos) fortes, funcionando, assim, como sinais de colapso estrutural que pode ser identificado pelos bombeiros durante um incêndio.

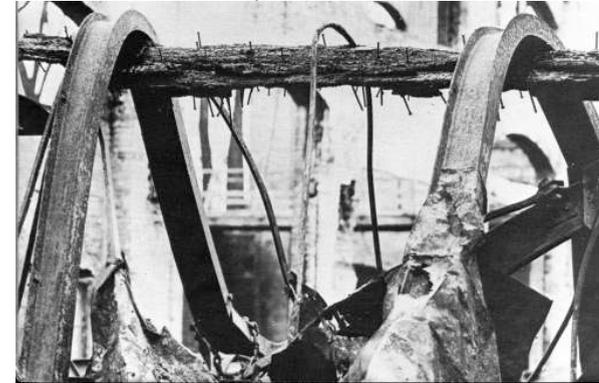
### 5.1.3 MADEIRA

A madeira, como elemento estrutural nas edificações, apresenta um fator diferente do aço e do concreto. Enquanto os dois últimos não iniciam nem propagam as chamas, a madeira é um material combustível, podendo participar do início e da propagação de um incêndio. Contudo, por mais paradoxal que possa parecer, a madeira apresenta desempenho superior ao aço e ao concreto durante um incêndio, sendo capaz de manter suas propriedades de resistência mecânica por um período de tempo superior.

Por apresentar baixa condutividade térmica, quando exposta ao fogo, a camada externa da madeira carboniza-se aumentando sua capacidade de isolante térmico em até oito vezes mais do que a madeira em estado natural. A transmissão de calor na madeira pode ser doze vezes menor que no concreto e duzentos e cinquenta vezes menor do que no aço.

A perda da resistência mecânica da madeira está diretamente relacionada com a perda do seu diâmetro, em um processo lento, condicionado a temperatura do incêndio e a espécie da madeira (pinus, eucalipto, peroba, canela etc.), uma vez que quanto mais densas forem as fibras da madeira, mais lenta será a perda da capacidade de seccionar.

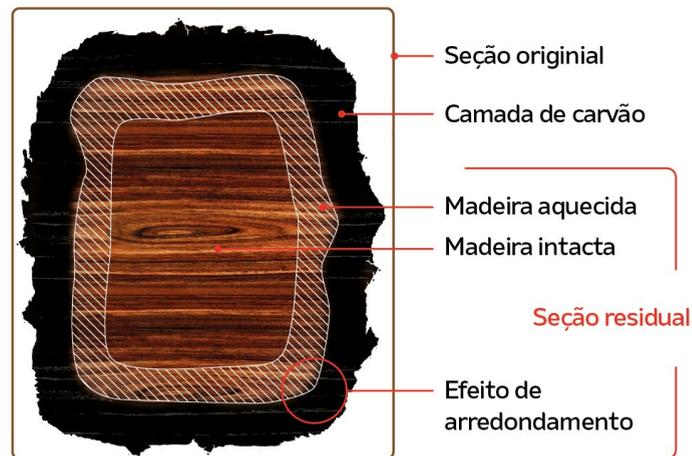
Figura 23. Vigas de madeira suportando estruturas de aço deformadas.



Fonte: CBMSC

É interessante lembrar que quando exposta ao fogo, a madeira primeiramente decompõe-se em gases (sofrendo pirólise) que, submetidos ao calor, transformam-se em chamas. Essas chamas, por sua vez, aquecem o combustível (madeira) e liberam mais gases, alimentando a combustão. Dentro desse ciclo, a parte mais superficial da madeira inicia um processo de carbonização. Essa camada externa de carvão inibe o desprendimento dos gases da pirólise e a propagação de calor para o interior da seção, diminuindo a velocidade de aquecimento e degradação do material (Figura 24). Desse modo, quanto mais densas forem as fibras da madeira, mais lenta será a perda de seção.

Figura 24. Partes da madeira após ser exposta ao fogo.



Fonte: CBMSC

Todo bombeiro deve ter em mente a maior quantidade de fatores possíveis ao realizar o dimensionamento de cena e gerenciamento dos riscos presentes. É necessário reavaliar as condições de segurança do trabalho e das equipes durante todas as fases do incêndio. Também é importante lembrar que a forma como os elementos estruturais estão dispostos ou interligados em uma edificação pode ter influência muito maior para um colapso do que a simples análise dos materiais expostos às altas temperaturas.

## 6 FENÔMENOS DOS INCÊNDIOS INTERIORES

Com a troca de experiências, as corporações de bombeiros passaram a observar que em alguns incêndios o comportamento do fogo era diferenciado, gerando fenômenos muitas vezes agressivos em relação a sua propagação e intensidade. Fenômenos como ignição súbita, ignição explosiva e ignição dos gases do incêndio, normalmente ocorriam em ambientes de incêndios interiores, apresentando características imediatamente percebidas pelos bombeiros.

O comportamento do fogo em incêndios interiores pode apresentar diversos fatores, que muitas vezes podem ser visualizados, ouvidos ou sentidos. Podemos separar em fatores estáticos que dizem respeito, por exemplo, às condições da estrutura da edificação, e fatores dinâmicos que dizem respeito ao comportamento do fogo, como, por exemplo, as condições da “fumaça” e das chamas.

Ao se deslocarem para um incêndio estrutural, todos os bombeiros precisam estar cientes da possibilidade das condições de ocorrência de um fenômeno relacionado a fatores dinâmicos no ambiente. As ações táticas focadas na extinção do incêndio deverão ser realizadas com o objetivo de evitar ou diminuir a gravidade de um comportamento extremo do fogo.

Os comportamentos extremos do fogo podem acontecer mesmo em ambientes com carga de incêndio baixa, o que ocorre normalmente em ambientes comuns, como um quarto ou ain-

da em um mercado, sem a necessidade de agentes aceleradores, como álcool, gasolina ou outros materiais combustíveis para causar tal fenômeno.

Os incêndios estruturais, conhecidos como incêndios interiores, caracterizam-se por:

- Ocorrem em espaço físico limitado (confinado e/ou compartimentado): geralmente a delimitação é feita por paredes e teto, nos quais acumulam os gases combustíveis e a fumaça no interior dos ambientes, principalmente se portas e janelas estiverem fechadas, impedindo o escoamento desses gases de dentro do ambiente para o exterior.
- Podem surgir com pouco tempo de queima: não sendo necessários longos períodos de queima para que um dos fenômenos de incêndios interiores ocorra. Porém, por vezes, uma queima mais prolongada produzirá mais calor, pressão e vapores combustíveis, ampliando a violência do evento. Podem acontecer em edificações com qualquer tipo de estrutura construtiva (concreto, alvenaria, madeira e metal). Salienta-se que o fenômeno *backdraft* tem maior probabilidade de ocorrer em edificações construídas em concreto ou alvenaria.

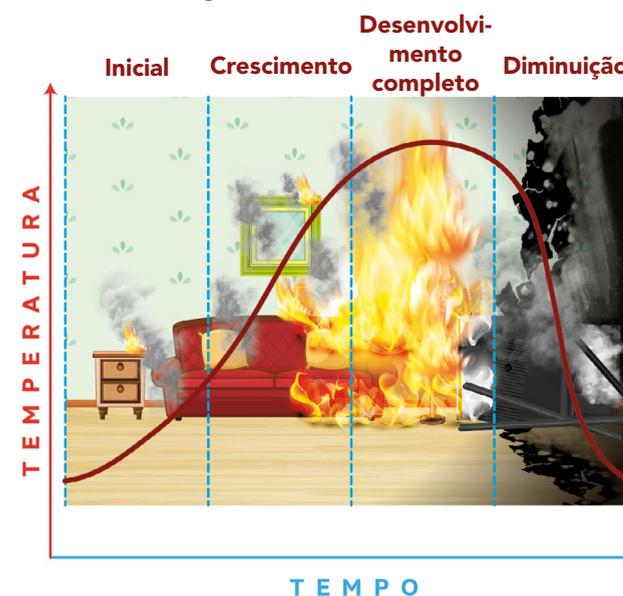
## 6.1 IGNIÇÃO SÚBITA GENERALIZADA (*FLASHOVER*)

Esse tipo de ignição ocorre no momento em que os gases combustíveis resultantes da queima e em virtude da progressiva elevação da temperatura no ambiente, entram em ignição simultaneamente, apresentando efeitos similares aos de uma explosão.

A ocorrência de um *flashover* no ambiente confinado generaliza o incêndio, pois parte muito significativa dos materiais com-

bustíveis presentes se inflamam simultaneamente ao atingir seus respectivos pontos de ignição, gerando muita energia em curtíssimo espaço de tempo. A ignição súbita generalizada é diferente dos processos mais elementares de transmissão de calor como a condução, a convecção e a radiação, pois as superfícies expostas ao calor atingem a temperatura de ignição mais ou menos simultaneamente, e o fogo se espalha rapidamente pelo ambiente. Isso pode representar o início do risco de um colapso estrutural ou ampliar drasticamente este risco (Figura 25).

Figura 25. Fases de incêndio



Fonte: CBMSC

O *flashover* ocorre entre o final da fase do crescimento e o início da fase de desenvolvimento total de um incêndio. É comum, na iminência da ocorrência do *flashover* a existência uma ou mais das seguintes situações:

- presença de fumaça densa no ambiente confinado, devido ao acúmulo contínuo dos gases e vapores derivados do incêndio. Vale lembrar que nessa fumaça haverá gases inflamáveis, aguardando o momento em que a temperatura alcançará seus respectivos pontos de ignição;
- ocorrência de “línguas de fogo” na camada de fumaça, direcionando-se para aberturas como portas e janelas: em condições de disponibilidade limitada do oxigênio no ambiente, as chamas na camada de “fumaça” irão se direcionar para qualquer abertura que permita seu contato com o comburente;
- localização da camada de fumaça “rolando” no nível do teto: rebaixamento crescente do plano neutro e aumento de turbulência (efeito ondular dos gases).

Considerando que a temperatura na camada de “fumaça” pode ultrapassar os 1000 °C, é importante que os bombeiros estejam o mais próximo do nível do solo. Isto implica na necessidade de trabalhar agachado ou ajoelhado, conforme ilustra a figura 3. Esse procedimento foi desenvolvido a partir de teste chamado Tactical Firefighting, por Paul Grimwood. Neste teste foi registrado uma diferença de temperatura de até 200 °C entre o ponto junto ao ombro do bombeiro e o topo de seu capacete, estando ele agachado no interior da edificação.

Figura 26. Ocorrência de flashover.



Fonte: 16ª Brigada de Incêndio.

## 6.2 IGNIÇÃO EXPLOSIVA (*BACKDRAFT*)

Normalmente, uma combustão que está em processo em um ambiente confinado gera determinados produtos. Caso o oxigênio no ambiente seja insuficiente para manter as chamas, a queima passará a se processar de forma incompleta, alterando a quantidade e as características dos produtos da combustão. Uma das principais características dos incêndios com restrição de oxigênio (principalmente abaixo de 15%) é a queima incompleta, produzindo monóxido de carbono (CO) no lugar do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), além de outros possíveis gases combustíveis. Contudo, verificou-se que o CO dificilmente atinge a concentração de 5% no ambiente confinado, lembrando que o limite inferior de inflamabilidade do CO é 12%.

Em um incêndio confinado, a limitação na ventilação pode gerar grande quantidade de produtos da queima, que podem vir a entrar em combustão quando uma abertura no ambiente for realizada repentinamente. Quando isso ocorre, o fluxo de ar forma uma corrente que se mistura com os produtos da pirólise, resultando em uma queima rápida dos resíduos da combustão incompleta. Essa combustão tende a se direcionar para a saída, formando uma “bola de fogo” ao atingir o ambiente externo (Pagni & Fleischmann, 1993) (Figura 27 e 28).

Figura 27. Pré-backdraft



Fonte: CBMSC

Figura 28. Cortina de fogo (*backdraft*)

Fonte: CBMSC

São condições para ocorrência deste fenômeno a restrição de oxigênio à temperaturas acima de 600 °C. A inserção abrupta de ar no ambiente pode ocorrer tanto pela entrada dos bombeiros (antes de providenciarem um escoamento eficiente da fumaça), quanto pela quebra de uma janela, em função da pressão exercida pela própria fumaça sobre os vidros. No momento que antecede um *backdraft*, é comum a existência um ou mais das seguintes situações:

- fumaça muito densa, em movimento de fluxo e refluxo, saindo de forma pulsante por meio de frestas ou qualquer outra abertura. Quando o incêndio está pouco ventilado, a fumaça tende a sair por qualquer abertura que lhe possibilite o fornecimento de ar. A forma pulsante ocorre pela expansão dos gases

combustíveis saindo do confinamento, produzida pelas combustões rápidas e de pequeno porte, enquanto a concentração de oxigênio ainda permite tal processo (acima de 15%);

- coloração da fumaça marrom, caracterizada pela elevada concentração de gases inflamáveis provocado pela termólise dos materiais;
- poucas chamas visíveis, que surgem quando encontram o ar fora da edificação. Ao sair do ambiente, os gases combustíveis presentes na fumaça tendem a reagir com o oxigênio e entrar em combustão, entretanto não o suficiente para fazer com que entre em ignição. Conseqüentemente, pequenas chamas acendem-se e apagam-se próximo às aberturas;

- fluxo de corrente de ar para dentro do ambiente intermitentemente de forma pulsante. É o movimento causado pela sucção de oxigênio para dentro do ambiente sinistrado. Após a fumaça sair em pulsos do interior, o ar entra pela mesma abertura em sentido oposto;
- janelas enegrecidas em decorrência da condensação da fumaça densa e escura que antecede o fenômeno. Neste caso, os vidros estarão escurecidos, com aspecto manchado;
- paredes, portas e maçanetas muito quentes. Situação decorrente da alta temperatura no interior do ambiente. Isso pode ser avaliado por meio da aplicação de pulsos de jato neblinado. Se a água evaporar rapidamente, deve-se considerar o risco de um *backdraft*;
- sons de assobio ou rugido. Este fenômeno ocorre devido a saída da fumaça e seus componentes, sob pressão, por frestas ou da própria sucção de oxigênio para o ambiente interior;
- ausência de chamas e crepitação visíveis no interior. Devido à falta de oxigênio as chamas diminuem e podem até desaparecer (tornando-se brasas). Se ainda houver muito calor mas não for possível visualizar chamas, é provável que ocorra a condição *pré-backdraft*;
- molduras de janelas com “depósitos de óleo”: tendo em vista que a combustão gera como produtos água e fuligem, a mistura desses elementos dará a impressão de que existe óleo no ambiente.

Figura 29. Características do *backdraft*.

Fonte: CBMSC

Pode ser que haja um espaço de tempo considerável entre uma abertura (porta ou janela) que ventile o incêndio e a ocorrência de um *backdraft*. Em alguns incêndios verificou-se que o *backdraft* ocorreu alguns minutos após a execução da abertura. Porém, na maioria dos casos, a combustão ocorre no momento ou em apenas alguns segundos após o bombeiro executar um acesso ao interior. Por isso, a abordagem e as técnicas de combate a um incêndio em ambiente fechado devem ser executadas conforme os protocolos pré definidos e de modo cuidadoso. Evitando assim que um fenômeno desses venha surpreender os bombeiros mesmo depois de já estarem há algum tempo dentro do ambiente incendiado.

## 6.3 IGNIÇÃO DOS GASES DO INCÊNDIO

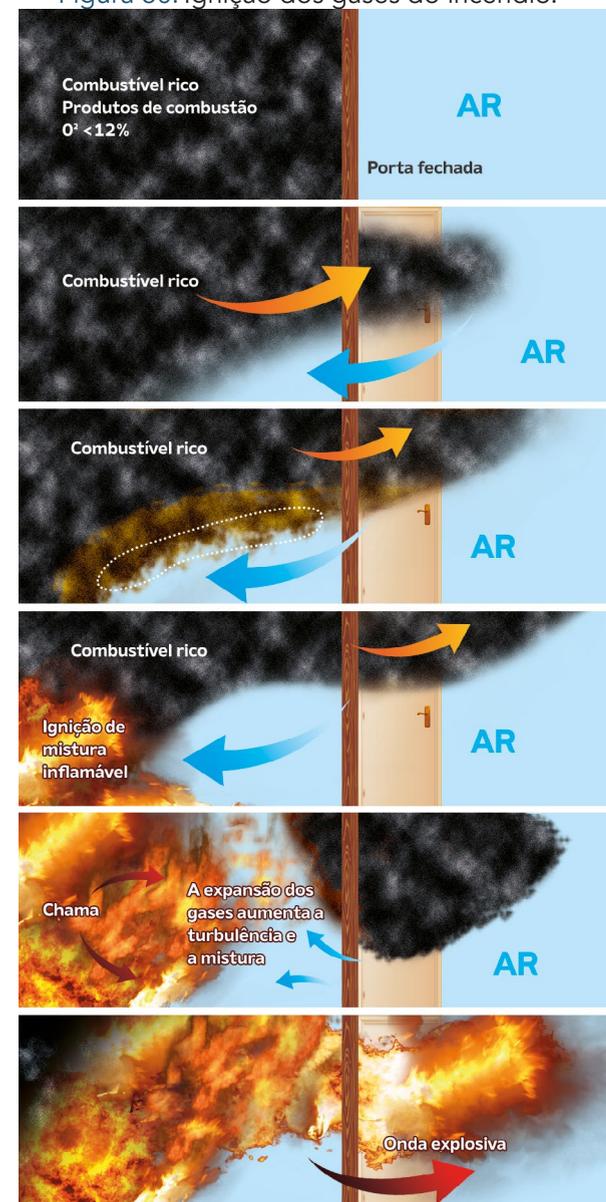
Durante a queima, nem todo combustível pirolisado é consumido na reação química. Por convecção, estes combustíveis remanescentes se acumulam no plano positivo, junto à fumaça e demais gases aquecidos.

Estando em um ambiente com oxigênio, o único elemento faltante para desencadear a combustão é uma fonte de ignição. Quando isto ocorre, tem-se uma ignição dos gases do incêndio que, dependendo da quantidade de combustível, pode ou não gerar uma onda de choque (Figura 30).

Mesmo que a fumaça apresente pouca fuligem (fumaça clara), é possível que ocorra uma ignição. Normalmente, após pouco tempo de suspensão, parte da fuligem desce e a fumaça clareia, porém, os gases do incêndio continuam inflamáveis, bastando que uma fonte de calor seja suficiente para deflagrá-los.

Uma das medidas mais eficientes para evitar a ignição dos gases do incêndio é não permitir o seu acúmulo no ambiente. Pode-se então, resfriar o ambiente, ainda que as chamas já tenham sido debeladas, exigindo o cuidado constante por parte dos bombeiros, inclusive na etapa do rescaldo.

Figura 30. Ignição dos gases do incêndio.



Fonte: Bombeiros Chile, Primera Quilpué.

## 6.4 FENÔMENOS DE INCÊNDIOS EM COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS E GASOSOS

Os incêndios em combustíveis líquidos necessitam de uma abordagem diferenciada por parte das guarnições de combate a incêndio, devido às suas características peculiares. O uso de agentes extintores não apropriados ou o erro no dimensionamento da cena, fator que pode conduzir a definição de estratégias inapropriadas, pode levar o incêndio a apresentar fenômenos extremos como por exemplo, **SLOP OVER**, **BOIL OVER** e **BLEVE**.

### 6.4.1 EXTRAVASAMENTO OU TRANSBORDAMENTO DO LÍQUIDO (SLOP OVER)

Caracterizado pela ebulição e espumação do líquido inflamável, ao nível da superfície, como consequência do extravasamento do combustível. Pode ocorrer após um período de queima relativamente curto de produtos como: petróleo, óleo cru, asfalto e outros líquidos que tenham ponto de ebulição acima do da água. A espuma pode contribuir para o resfriamento de tais inflamáveis, mas também pode causar a efervescência violenta dos mesmos causando seu derramamento para fora do tanque que o contém.

### 6.4.2 EJEÇÃO DO LÍQUIDO PELO VAPOR (BOIL OVER)

Sabemos que os combustíveis líquidos queimam apenas em superfície. Todavia, quando um recipiente com combustível líquido passa a incendiar-se ocorre o aquecimento de todo o líquido,

mesmo as camadas mais distante da superfície, podendo acelerar a vaporização do combustível e aumentar as chamas do incêndio.

Neste caso, se for lançada água sobre o combustível para seu resfriamento, especialmente jatos sólidos, boa parte dessa água (não vaporizada) pelo calor das chamas poderá passar para a parte inferior do reservatório. Isso ocorre porque a água é mais densa que o combustível, porém mesmo na parte mais baixa do recipiente essa água estará sujeita ao aumento da temperatura.

Quando grande parte da água que está no fundo do recipiente atinge o ponto de ebulição, por volta de 100 °C, cria uma bolha de vapor que ascende empurrando para fora do recipiente o combustível inflamado, podendo lançá-lo a grandes distâncias. Este fenômeno é chamado de *boil over* (Figura 30). Mesmo que não ocorra a violenta erupção turbilhonar, o *boil over* pode ocorrer se a evaporação da água poderá ocorrer em um processo lento e contínuo causando o transbordamento do líquido inflamado, conduzindo assim, as chamas a outros locais que não haviam sido atingidos.

Figura 31. Desenvolvimento do *boil over*.

Fonte: CBMSC

Para evitar acidentes durante ocorrências dessa natureza, as guarnições devem adotar uma postura defensiva, isolando a área e resfriando o recipiente com jatos neblinados amplos ou no máximo chuveiro, nunca jatos sólidos. Após o resfriamento os esforços devem ser conduzidos no sentido de controlar o vazamento. Lembre-se que a utilização de jatos sólidos, em especial do tipo contínuo, sobre os mesmos pontos pode enfraquecer o recipiente e precipitar seu colapso. Mesmo que não seja indicado o lançamento de água sobre líquidos inflamados, a ocorrência dessa situação não é incomum. Algumas corporações não dispõem de outros agentes extintores mais indicados para esse tipo de situação, utilizando portanto, a água de forma neblinada (abafamento), por isso é necessário tomar as devidas precauções para evitar acidentes.

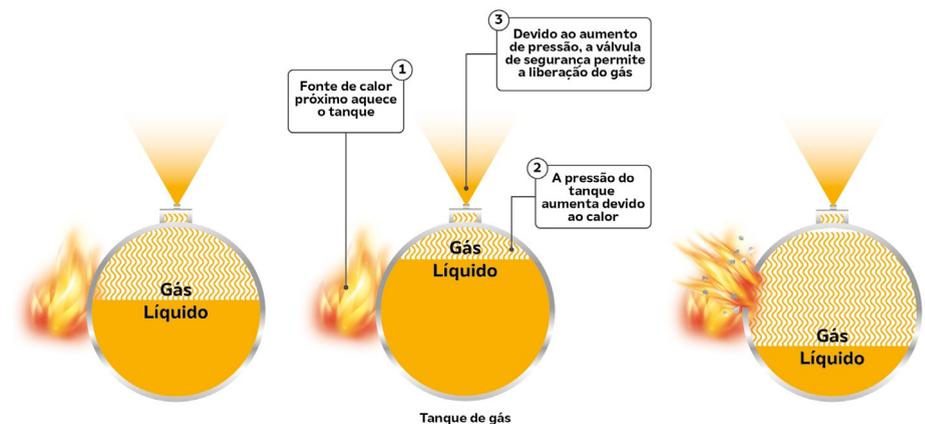
Destaca-se que o emprego de espuma é a tática mais correta nesses casos, porém, se essa espuma contiver água, também poderá causar o *boil over* se não for usada corretamente.

### 6.4.3 EXPLOÇÃO DECORRENTE DA EXPANSÃO DO VAPOR PELO AQUECIMENTO DO LÍQUIDO (BOIL LIQUID EXPANDING VAPOR EXPLOSION - BLEVE)

É um fenômeno que ocorre em recipientes fechados que comportam líquidos, sejam eles inflamáveis ou não. Acontece quando o calor é aplicado ao recipiente levando o líquido contido a um processo de ebulição, formando vapores ou gases no interior do recipiente, conseqüentemente, elevando a pressão interna do recipiente.

Para que ocorra o BLEVE, a pressão do vapor deverá aumentar até atingir um ponto em que o recipiente não suportará mais, causando uma ruptura em sua estrutura, liberando o vapor e/ou líquido de forma violenta (Figura 32).

Figura 32. Desenvolvimento do BLEVE



Fonte: CBMSC

Caso a estrutura fique fragilizada e ocorra ampla ruptura, haverá uma grande onda de impacto e calor. Se houver um vazamento pequeno e não gerar o colapso do recipiente, ocorrerá a liberação dos gases até alcançar a normalização da pressão interna (sem grande deslocamento de ar). O BLEVE também pode ocorrer em recipientes que contenham apenas gases, gases liquefeitos, líquidos inflamáveis e produtos perigosos, o que aumenta o risco para as equipes de resposta à emergência.

## 7 COMPORTAMENTO DO FOGO EM INCÊNDIOS INTERIORES

### 7.1 INTRODUÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DO FOGO (FASES DO INCÊNDIO)

Se um incêndio ocorrer em área ocupada por pessoas, há grandes chances de que ele seja descoberto logo no início e a situação resolvida mais facilmente. Mas se o incêndio ocorrer quando a edificação estiver deserta e/ou fechada, o fogo tenderá a se desenvolver e alcançar grandes proporções.

O incêndio interior também chamado de incêndio estrutural, ou incêndio em compartimento, pode ser definido como o incêndio que se produz dentro de uma edificação (estrutura), em um determinado espaço delimitado (por parede, forro, laje, telhado, portas, etc.). Este espaço delimitado pode ser restrito a alguns cômodos ou ainda representar toda edificação. Esse tipo de incêndio é sempre mais complexo que um incêndio em am-

biente aberto (incêndio em vegetação, por exemplo).

O grau de ventilação disponível no espaço em que ocorre o incêndio é o que irá determinar se este é apenas um incêndio interior comum ou se é um incêndio interior confinado.

- Incêndio interior comum é aquele que se desenvolve dentro de determinado espaço que possua acessos abertos para fuga de possíveis vítimas, entrada de bombeiros e livre troca de gases da combustão com o ambiente. Por possuírem boas condições de ventilação, dificultam o acúmulo crítico dos produtos da combustão na edificação.
- Incêndio interior confinado é aquele que se desenvolve dentro de determinado espaço fechado, impedindo ou dificultando a fuga de possíveis vítimas, entrada de bombeiros e troca de gases. Por estarem fechados (com pouca ou nenhuma ventilação no local), ocorre o acúmulo crítico dos produtos da combustão naquele ambiente. O surgimento e o desenvolvimento de um incêndio interior é algo complexo que depende de uma série de variáveis. Pode ser que nem todos os incêndios desenvolvam-se seguindo cada uma das fases descritas a seguir, no entanto, para melhor entendimento, serão consideradas as seguintes fases: ignição, crescimento, desenvolvimento completo e diminuição.

Espaço confinado é todo o ambiente não projetado para ocupação humana contínua, possuindo meios limitados de entrada e saída, sendo que a ventilação existente é insuficiente para remover agentes contaminantes ou reduzindo enriquecimento de oxigênio.

### 7.1.1 FASE INICIAL

A ignição do fogo descreve o período em que os quatro elementos do tetraedro do fogo juntam-se, iniciando o processo de combustão. Nessa fase o incêndio é pequeno e geralmente restringe-se ao material que incendiou primeiro.

A ignição do fogo surge por atuação de um agente causador que normalmente acrescenta o componente energia de ativação ao material combustível presente. Este por sua vez alcança o ponto de inflamação ou ignição e entra em processo de combustão. A combustão nesta fase pode desenvolver-se por abrasamento ou chamejamento. No abrasamento a combustão é gradual, podendo ter duração de algumas horas, sem chama visível e liberação de pouco calor, apesar de possuir potencial para preencher o compartimento com gases combustíveis e fumaça.

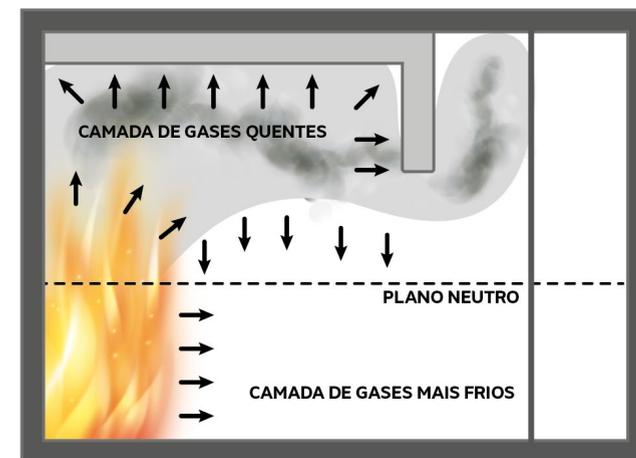
No chamejamento a combustão é um processo mais rápido e mais visual devido a presença de chama e fumaça. O desenvolvimento do calor, fumaça e gases combustíveis ocorre mais rapidamente.

### 7.1.2 FASE DO CRESCIMENTO DO FOGO

Pouco depois da ignição, o calor gerado no foco inicial (no material que primeiro sofreu ignição) propaga-se, determinando o aquecimento gradual de todo o ambiente e iniciando a formação de uma coluna de gás aquecido (pluma) sobre o combustível que queima. Quando se desenvolve, a pluma forma uma coluna térmica apresentando um mecanismo próprio de troca de gases. Os gases, vapores e fuligens aquecidos derivados da combustão

são lançados para o ponto mais alto da coluna térmica possibilitando assim, que o ar fresco rico em oxigênio seja aspirado para o nível mais baixo da coluna. À medida que os gases aquecidos elevam-se e tocam o teto, são também propagados para os lados. Ao alcançarem as paredes do compartimento confinado (com acessos fechados), esses gases se espalham de cima para baixo até preencher todo o ambiente (Figura 32).

Figura 33. Camadas de gases

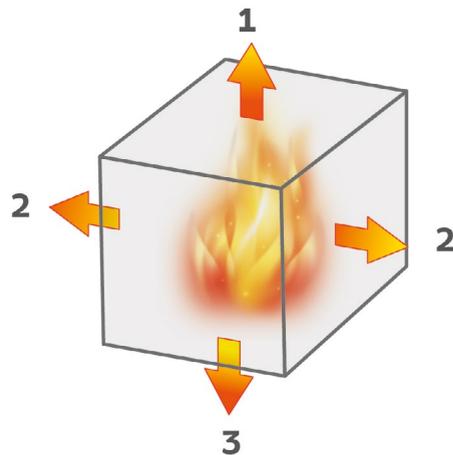


Fonte: CBMSC

É importante considerar o fato de que os gases aquecidos naturalmente se moverão para cima, depois lateralmente e só então para baixo. Tal fenômeno é explicado por meio do modelo cúbico da propagação do fogo (*cube model of firespread*). Este conceito é apresentado na Figura 33 de modo a facilitar o entendimento da propagação normal de um incêndio em compartimento.

Nessa fase de crescimento, o oxigênio contido no ar mantém-se relativamente próximo ao percentual encontrado na atmosfera. A combustão continua produzindo vapor d'água ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), monóxido de carbono ( $CO$ ) e outros gases. Grande parte do calor é consumido no próprio aquecimento dos combustíveis presentes e, neste estágio, a temperatura do ambiente apresenta-se ainda pouco acima do normal. À medida que o incêndio cresce, a temperatura da camada de gases no nível do teto eleva-se propagando calor para todo o ambiente.

Figura 34. Modelo cúbico da propagação do fogo



Fonte: CBMSC

### 7.1.2.1 Ponto da ignição súbita generalizada

É momento que determina a transição entre as fases de crescimento e de desenvolvimento completo do incêndio, podendo ser manifesto por meio de dois fenômenos distintos, *flashover*

ou *backover*, dependendo do nível de oxigenação do ambiente.

O *flashover*, termo usado para designar a ignição súbita generalizada, normalmente ocorre quando há oxigenação adequada com semelhante elevação de temperatura no ambiente incendiado. Em oposição a esta situação, quando a oxigenação é inadequada (falta de ventilação) e a temperatura elevada, pode ocorrer uma ignição explosiva (*backdraft*).

### 7.1.3 FASE DO DESENVOLVIMENTO COMPLETO

Nesta fase do incêndio, todos os materiais combustíveis do ambiente encontram-se envolvidos pelo fogo, assim como todo o compartimento, e a taxa de liberação de calor atinge o seu ponto máximo, podendo ultrapassar os  $1100^{\circ}C$  em condições especiais.

O calor liberado assim como os gases resultantes da combustão dependem da carga de fogo presente no local, bem como da quantidade do tamanho das aberturas de ventilação encontradas no ambiente incendiado.

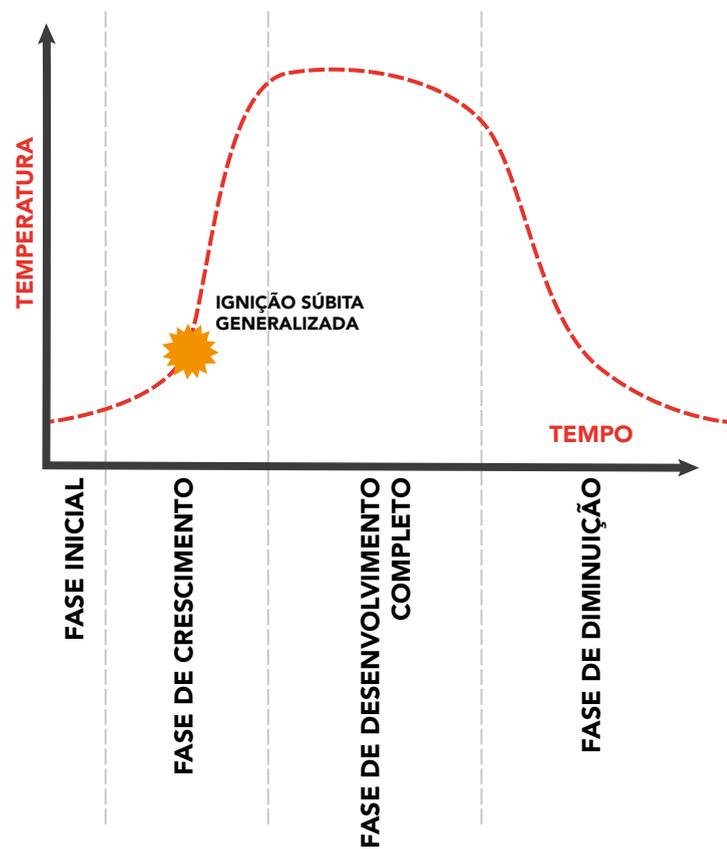
### 7.1.4 FASE DA DIMINUIÇÃO

À medida que o incêndio consome os combustíveis disponíveis do ambiente, a taxa de liberação de calor é reduzida e consequentemente as chamas tendem a diminuir até o momento em que se extinguem, no entanto a temperatura junto às brasas resultantes podem permanecer elevada durante algum tempo após a extinção das chamas.

Essa fase representa a decadência do fogo até o seu completo desaparecimento, seja pela extinção dos combustíveis,

pela carência de oxigênio ou mesmo pela supressão do fogo por meio da atuação de uma equipe de bombeiros combatentes.

Figura 35. Fases dos incêndios



Fonte: CBMSC

A água como agente extintor, por estar no mesmo estado físico que os materiais combustíveis desta classe, não devem ser empregadas. Seu uso somente será admitido com rigorosa disciplina técnica e dentro de um esquema tático adequado.

# REFERÊNCIAS

BARCELOS, Marcos Aurélio; VIDAL, Vanderlei Vanderlino. O Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina como organização de aprendizagem. **Ignis: Rev. Tec. Cient. CBMSC**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 98-111, mar./out., 2016.

Disponível em: <<https://periodicos.cbm.sc.gov.br/index.php/revistaignis>>.

Acesso em: 02 jun 2017.

BOMBEIRO OSWALDO. **Ventilação hidráulica**. Disponível em: <<http://3.bp.blogspot.com/-kPky52Ot3ko/UHBbVRS0ial/AAAAAAAAHsw/hygAn-Q4eeuA/s1600/202.bmp>> Acesso em: 02 abr 2018.

CASTRO, Carlos Ferreira de; e ABRANTES, José M. Barreira. **Combate a Incêndios Urbanos e Industriais**. 2ª edição, revista e atualizada. Escola Nacional de Bombeiros: Sintra, 2005.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Fundamentos do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo**. PCBPMEP. São Paulo, 2006.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Manual de combate a incêndio estrutural**. CBMSC. Florianópolis, 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO PARANÁ. **Apostila de Combate a incêndio 3**. CCB PMPR. 2009.

DIRECTION DE LA DÉFENSE ET DE LA SÉCURITÉ CIVILES. **Explosion de fumées**: embrasement généralisé éclair. Sous-direction des sapeurs-pompiers – BFASC: Février, 2003.

FLORES, Bráulio Cançado; ORNELAS, Éliton Ataíde; DIAS, Leônidas Eduardo. Fundamentos de Combate a Incêndio – **Manual de Bombeiros**. Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Goiânia, 1ªed: 2016, 150p.

HANDERMANN, Allan. **Oxidized Polyacrylonitrile Fiber Properties, Products and Applications**. Zoltek whitepaper. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/profile/Alan\\_Handermann/publication/298614209\\_Oxidized\\_Polyacrylonitrile\\_Fiber\\_Properties\\_Products\\_and\\_Applications/links/59b8116fa6fdcc68722c167c/Oxidized-Polyacrylonitrile-Fiber-Properties-Products-and-Applications.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alan_Handermann/publication/298614209_Oxidized_Polyacrylonitrile_Fiber_Properties_Products_and_Applications/links/59b8116fa6fdcc68722c167c/Oxidized-Polyacrylonitrile-Fiber-Properties-Products-and-Applications.pdf)>. Acesso em: 02 abr 2018.

KLANE, Bernard e SANDERS, Russel. **Structural Fire Fighting**. National Fire Protection Association - NFPA, 2000.

NBR 11861. **Mangueiras de Incêndio – Requisitos e métodos de ensaio**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, 1998.

OLIVEIRA, Marcos de;. **Estratégias, Táticas e Técnicas de Combate a Incêndios Estrutural**: Comando e controle em operações de incêndio. Florianópolis: Editograf, 2005. 136 p.

