



CBMAC CHOA/2022

CURSO DE HABILITAÇÃO DE OFICIAIS
ADMINISTRATIVOS

COMBATE A INCÊNDIO URBANO



ESTADO DO ACRE
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR
DIRETORIA DE ENSINO E INSTRUÇÃO



CHOA/2022

CURSO DE HABILITAÇÃO DE OFICIAIS ADMINISTRATIVOS

AULA 01

Instrutores

Daniela Marques da Silva – 2º Ten QOBMEC
Erico Jonas da Silva Oliveira – 2º Ten QOBMEC
Instrutores de Combate a Incêndio Urbano – CHOA 2022
Curso de Operações em Incêndio (COI) pelo CBMAM

Organização e Edição

Daniela Marques da Silva – 2º Ten QOBMEC

Material Base

Manual de Combate a Incêndio do Corpo de Bombeiros Militar De Goiás – CBMGO



Apresentação

Olá futuros Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Acre!

Nós, **Daniela** Marques da Silva - 2º Ten QOBMEC e Erico **Jonas** da Silva Oliveira - 2º Ten QOBMEC, estaremos ministrando a disciplina de Combate a Incêndio Urbanos à Turma de CHOA/2022, a qual terá um total de 60 horas aulas, sendo 30 horas EAD e 30 aulas presenciais.

Estaremos compilando os principais assuntos para as apostilas desta disciplina, as quais serão disponibilizadas por aulas, até atingir as horas de Educação a Distância.

Este material será de grande importância para os estudos, pois contém todo o conteúdo a ser elaborado às questões da prova, portanto não precisam focar na leitura dos manuais, já que resumimos o máximo de informações do manual de Combate a Incêndio do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás (CBMGO), juntamente com os materiais da grade do curso de Combate a Incêndio (COI).

Qualquer dúvida ou complementação de alguma informação do conteúdo podem entrar em contato conosco.



AULA 01

1. Sumário

1. Sumário.....	04
2. Introdução e conceitos gerais	05
2.1 Combustível	07
2.1.1 Combustíveis sólidos	09
2.1.2 Combustíveis líquidos	09
2.1.3 Combustíveis gasosos	10
2.2 Comburentes	12
2.3 Calor	13
3. Transmissão de calor	14
4. Pontos de temperaturas	15
5. Fases do incêndio	17
5.1 Fase inicial	17
5.2 Fase crescente	19
5.3 Fase totalmente desenvolvida	21
5.4 Fase final	22
6. Fumaça	22
7. Comportamentos extremos do fogo	24
7.1 Flashover	24
7.2 Backdraft.....	27
7.3 Ignição da fumaça	29



2. INTRODUÇÃO E CONCEITOS GERAIS

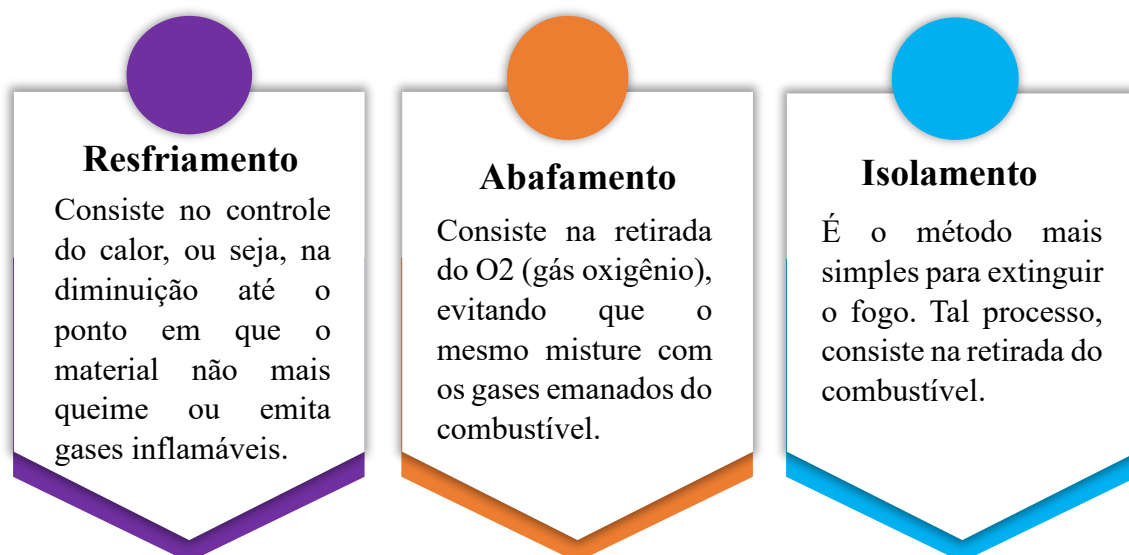
Como mencionamos na apresentação, o conteúdo base compilado neste material foi retirado do Manual de Incêndio do CBMGO, logo, a criação própria foi apenas a edição gráfica e comentários próprios a respeito do que foi selecionado daquele manual.

Iniciaremos então com uma breve revisão sobre os elementos que compõem o fogo, já que este é o principal “ser vivo”, como dizem alguns instrutores, pois ele nasce, cresce, se “reproduz” (desenvolve) e morre quando um dos elementos abaixo são retirados/extinguidos desse conjunto:

- **Combustível;**
- **Comburente e**
- **Calor**



Basicamente existem três formas de extinguir uma queima, que é suprimindo qualquer dos componentes acima utilizando as técnicas de:



O combustível, comburente e calor são elementos essenciais para que ocorra a **combustão**, que é uma reação química **exotérmica** que se processa entre uma substância combustível e o comburente produzindo luz e energia térmica.



Muitas pessoas confundem combustão com chamas, por isso vamos diferenciar, sendo esta uma consequência da liberação de luz que ocorre na **combustão**, que por sua vez é uma **reação química que libera energia térmica na forma de luz e calor**. Resumidamente a chama é a liberação de luz devido a combustão dos gases combustíveis.

Além dos três elementos do fogo, existe uma reação química, **reação em cadeia**, contínua entre combustível e comburente que é derivada do calor, responsável por liberar ainda mais calor mantendo assim a combustão.

Todavia, a reação em cadeia não é considerada um elemento do fogo, mas um processo gerado, como se fosse um ciclo, responsável pela sustentabilidade da combustão através da interação entre elementos do fogo.

Foi então que surgiu o denominado tetraedro do fogo:



A junção dos três elementos unidos pela reação em cadeia.

Agora vamos entender cada elemento e sua importância na combustão e ao combate em incêndio.

Ao aproximar uma fonte de calor a um material qualquer, seja este: sólido, líquido ou gasoso, vai modificar o seu estado físico ou químico, por conta da agitação das moléculas que o compõem, devido o seu aquecimento, ocorrendo uma reação química.

A exemplo, ao queimar um papel, o mesmo será aquecido e não vai liberar moléculas de celulose, pois este material que o compõe o papel já foi alterado pelo calor e vai liberar outros gases, instáveis, e se misturar com o oxigênio com o objetivo de alcançar sua estabilidade, então temos o calor, o combustível e os gases provenientes dele em contato com o oxigênio, gerando a combustão.



O processo que aconteceu, decomposição daquele papel, ou outra matéria qualquer, devido ao aquecimento, chama-se **pirólise**.



ATENÇÃO!

A **pirólise não depende da presença de chamas**, mas tão somente do aquecimento do material sem o contato direto com o fogo, sendo suficiente para iniciar o processo de decomposição química e liberação de vapores capazes de queimar.

Antes da ignição, os combustíveis sólidos e líquidos passam para o estado gasoso, porém ao contrário dos sólidos, grande parte dos combustíveis líquidos não sofrem decomposição térmica, ou seja, pirólise, logo as moléculas não sofrem alterações, sofrem apenas vaporização, sendo os vapores liberados que queimarão ao entrar em contato com uma fonte de calor.

Para liberar os gases combustíveis é necessária uma **fonte externa de calor**, denominada **energia de ativação**.



É a energia mínima para que os materiais sólidos, líquidos e gasosos, quando submetidos a ela, iniciem o processo de combustão.

Lembrando que essa energia mínima pode variar de acordo com a composição dos materiais. A energia de ativação faz com que os gases, vapores ou até mesmo materiais sólidos, no caso dos metais alcalinos, se inflamem gerando luz (chama) e calor, obtendo a combustão.

A seguir abordaremos sobre os três componentes do fogo:

2.1 Combustível

É tudo aquilo ao nosso redor que podem queimar e alimentar a combustão e define o campo de propagação do fogo.



Quanto ao **estado físico** os combustíveis são classificados em:

Sólidos	Líquidos	Gasosos
Madeira	Álcool	GLP
Papel	Gasolina	Metano
Carvão, etc.	Solventes, etc.	Acetileno, etc.

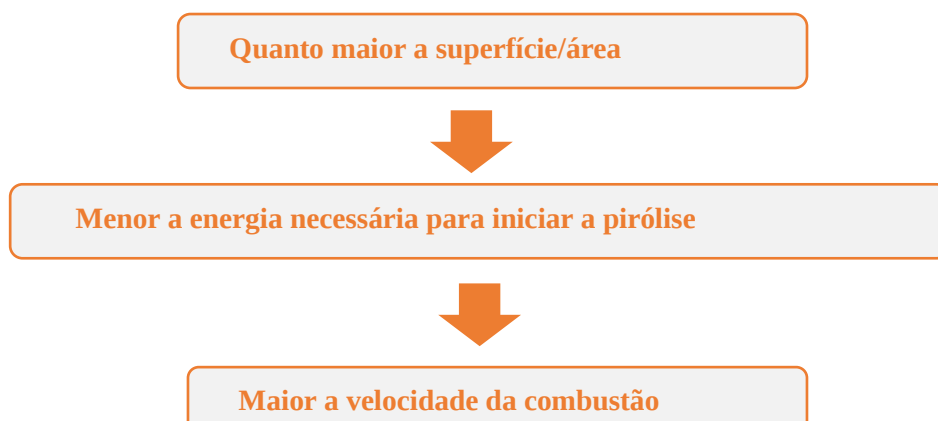
Quanto a **composição**:

Orgânicos	Inorgânicos
✓ Presença de hidrogênio e ✓ carbono em sua estrutura.	✓ Não possuem hidrocarbonetos em sua estrutura; ✓ Poucos combustíveis; ✓ Interferência pouco significativa na combustão.

Sobre a **velocidade da combustão**, depende de dois fatores:

- ❖ Combinação da substância com o comburente e
- ❖ Área superficial do combustível.

Esses dois pontos são primordiais para definir a velocidade da queima. Quando temos uma mistura ideal para combustão é porque determinado material possui substâncias que se misturou facilmente com o comburente, logo, mais rápido ocorrerá a combustão. O segundo fator, diz respeito à área superficial de determinado material que se encontra exposta ao calor. Resumindo:





Vamos ao exemplo da madeira!

Um tronco necessita de muito mais calor para iniciar a sua decomposição material (pirólise), por conseguinte a velocidade de queima será menor, até o material ser consumido.

Ao cortarmos esse tronco em várias tábuas, o calor necessário para que ocorra a pirólise será menor, logo a queima será mais rápida. Então imagine se essas mesmas tábuas fossem cortadas em lascas ou transformadas em pó?

Quanto ao estado físico dos combustíveis, farei um resumo básico sobre cada tipo.

2. 1. 1 Combustíveis sólidos:

Já sabemos que a maioria dos combustíveis sólidos necessitam passar para o estado gasoso, por meio da pirólise, para queimarem, com exceção dos metais alcalinos e a naftalina.

A queima em **superfície e profundidade** são outras características dos combustíveis sólidos, além de deixar **resíduos** (cinzas), pois em sua composição os sólidos possuem matérias que não estão aptas a queimarem.

2. 1. 2 Combustíveis líquidos:



ATENÇÃO!

Quanto a inflamabilidade, os combustíveis líquidos podem ser classificados como: **líquidos inflamáveis e líquidos combustíveis.**

Como já mencionado, esses combustíveis, em sua maioria, não sofrem pirólise, mas sim vaporização. Os vapores liberados entram em contato com o combustível presente no ar (oxigênio), formando uma mistura ideal que irão queimar ao entrar em contato com uma fonte de calor.

As principais características que diferem os líquidos inflamáveis e líquidos combustíveis são:



líquidos inflamáveis

Se inflamam com grande rapidez e facilidade, possuindo **ponto de fulgor inferior a 37,8°C**.

líquidos combustíveis

Não liberam vapores combustíveis em temperatura ambiente, **ponto de fulgor superior a 37,8°C**. Necessitam ser aquecidos para queimar.

2. 1. 3 Combustíveis gasosos:

São os combustíveis que se encontram na forma de **gás ou vapor**.

E qual a diferença entre gás e vapor?

Gás

Se apresentam no estado gasoso em condições normais de temperatura e pressão.

Vapor

Se apresentam no estado sólido ou líquido quando em condições normais de temperatura e pressão. Quando submetido a uma temperatura, viram vapor.

Tanto os **gases** como os **vapores não necessitam se decompor para reagir com o oxigênio**, por isso necessitam de pouquíssima energia para iniciar a combustão.

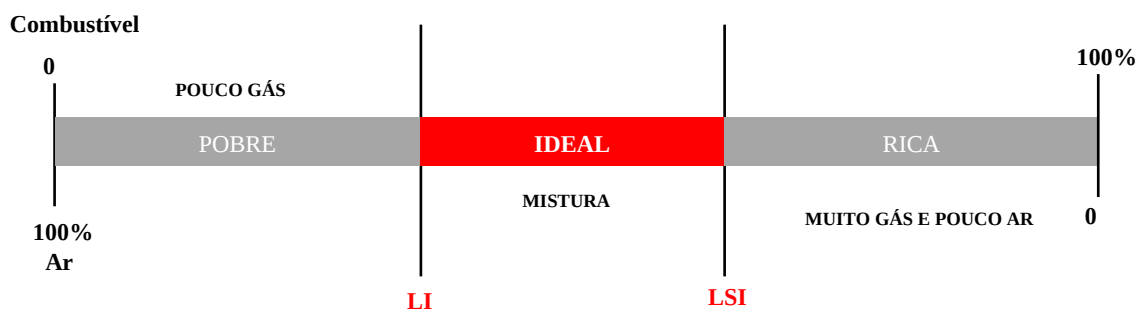
Para gerar a queima é necessário ter uma concentração adequada, “mistura perfeita”, entre os gases e vapores liberados dos combustíveis e o oxigênio. Toda substância tem o percentual que possibilita a inflamabilidade do material.

Aqui entra o limite de inflamabilidade, que são os extremos da faixa de concentração dentro da qual a combustão ocorre, são eles: Limite Inferior de Inflamabilidade e Limite Superior de Inflamabilidade. Quanto mais próximo do ponto estequiométrico, ou seja, da “mistura perfeita” maior será a velocidade de propagação das chamas.

Resumindo!



O **percentual máximo** de vapor ou gás misturado ao oxigênio que torna a mistura apta à queima é denominado **Limite Superior de Inflamabilidade** (LSI) e o **percentual mínimo** é o **Limite Inferior de Inflamabilidade** (LII). A queima dos combustíveis só ocorre quando a mistura for considerada ideal, conforme o esquema abaixo.



Conforme a imagem acima, podemos perceber que, não basta ter o combustível e comburente para que ocorra uma combustão, o produto inflamável deve estar dentro sua faixa de inflamabilidade para que ocorra a queima, sendo uma mistura ideal para a mesma.

Quando temos mais comburente do que o gás combustível dizemos que é uma mistura pobre. Por outro lado, quando temos uma mistura com uma quantidade baixa de oxigênio e uma quantidade elevada de gás, diz-se que é uma mistura rica.

Esta mistura de inflamabilidade é percebida também na pirólise dos combustíveis sólidos e vaporização dos combustíveis líquidos, em menor escala. Os vapores e gases desprendidos dos referidos combustíveis necessitam se misturar ao ar atmosférico com vistas a formar uma mistura adequada, que esteja dentro do limite de inflamabilidade. Só então será possível que este material queime, quando em contato com uma fonte de calor.

Os limites de inflamabilidade são afetados pela temperatura e pela pressão. o aumento da temperatura “alarga” a faixa de inflamabilidade (diminui o LII e aumenta o LSI); o aumento da pressão desloca para cima o limite superior de inflamabilidade.



Exemplos de LII e LSI para alguns produtos		
Produto	LII (% em volume)	LSI (% em volume)
Acetileno	2,5	80,0
Benzeno	1,3	7,9
Etanol	3,3	19,0

Analisando a tabela acima, podemos concluir que, em relação aos três produtos descritos, o acetileno é o elemento mais inflamável, pois a porcentagem entre o LII (2,5) e o LSI (80,0) é maior, ou seja, qualquer quantidade de acetileno entre esses dois pontos torna esse produto muito inflamável quando submetido a uma fonte de ignição. Caso tenhamos uma quantidade de 90% de acetileno já seria considerado uma mistura rica, não propensa à queima (se não afetados pela temperatura e pressão), pois saiu da sua faixa de inflamabilidade, deixou de ser uma mistura ideal juntamente.

2. 2 Comburente

Quando se fala em comburente, logo pensando em oxigênio, ar atmosférico, porém esquecemos que existem outros tipos de substâncias que podem ser comburentes como: o cloro, enxofre, os quais podem se tornarem comburentes em reações com cobre (combustível), o flúor, etc.

Por isso, é possível observar a presença de chamas em incêndios confinados quando os materiais que estejam queimando sejam a base de cloro, mesmo após o total exaurimento de oxigênio do ambiente.

O comburente é o elemento que entra em contato com os gases ou vapores desprendidos dos combustíveis e que vai gerar a combustão, sem comburente não há combustão, inclusive essa substância intensifica a queima. O oxigênio é um elemento essencial para entendermos alguns processos que ocorrem em um incêndio. Quando ocorre uma queima em um quarto fechado, a oferta de comburente diminui, logo, há diminuição da velocidade da queima e das chamas.



Oxigênio inferior a 14%



Sem chamas, apenas brasas

Oxigênio abaixo de 4%

SEM COMBUSTÃO

2. 3 Calor

É o elemento que dar início à combustão, a energia de ativação que falamos lá no começo da aula 01, e por conseguinte causa a pirólise nos combustíveis sólidos e vaporiza os combustíveis líquidos.

Lembrando que uma fonte de calor poderá ser qualquer material que cause a mudança de temperatura de um material fazendo com que ele libere os vapores capazes de se inflamarem.



Calor...

É a energia térmica em movimento que se transfere de um corpo para outro devido a diferença de temperatura.

CALOR

É o trânsito de energia térmica de um corpo para outro.



TEMPERATURA

É a medida da agitação das moléculas de um determinado corpo.



3. TRANSMISSÃO DE CALOR

Falando rapidamente sobre as formas de transmissão de calor, ou seja, as formas de propagação do incêndio, sabemos que existem três: **condução, convecção e irradiação**.

Comentarei brevemente sobre a convecção e a irradiação, já que a condução, como próprio nome já diz, o calor vai ser transmitido através do contato, de molécula a molécula e sempre entre materiais sólidos.

A transmissão de calor por convecção ocorre com a movimentação dos fluídos gasosos ou líquidos. Quando aquecemos esses fluídos, suas moléculas irão se expandir, tornando-os mais leve que a parte da temperatura ambiente, que ainda não foram aquecidos.

A parte aquecida faz um movimento ascendente, dando espaço para o fluído frio ocupe este lugar e assim vai ocorrendo a ascendência dos fluídos.

O que podemos concluir? Em um incêndio as massas de ar quente e de fumaça que se deslocam do local próximo ao fogo levam calor suficiente para aumentar a temperatura de outros cômodos ou pavimentos, com capacidade de inflamar outros materiais combustíveis, generalizando o incêndio.

No vídeo, disponibilizado no link ao lado, você vai perceber como que ocorre essa transmissão de calor por convecção. A fonte de ignição é ofertada fazendo com que o material desprenda gases (pirólise), esses fluídos gasosos irão aquecer, se tornar mais leves, movimentando-se para cima até chegar à altura da porta do cômodo e continuar a ascensão, podendo chegar, em caso de um edifício, em outros pavimentos acima do foco inicial. Por isso é tão importante que os moradores de um edifício desçam as escadas ao invés de subir para o terraço, o incêndio tende a se propagar para as áreas superiores.

Já na irradiação, a transmissão de calor ocorre devido às ondas eletromagnéticas que são emitidas pelas fontes de calor ou substâncias aquecidas.

Acontece que essas ondas se deslocam no espaço vazio, inclusive no vácuo e em todas as direções, não necessitando que haja continuidade molecular entre a fonte

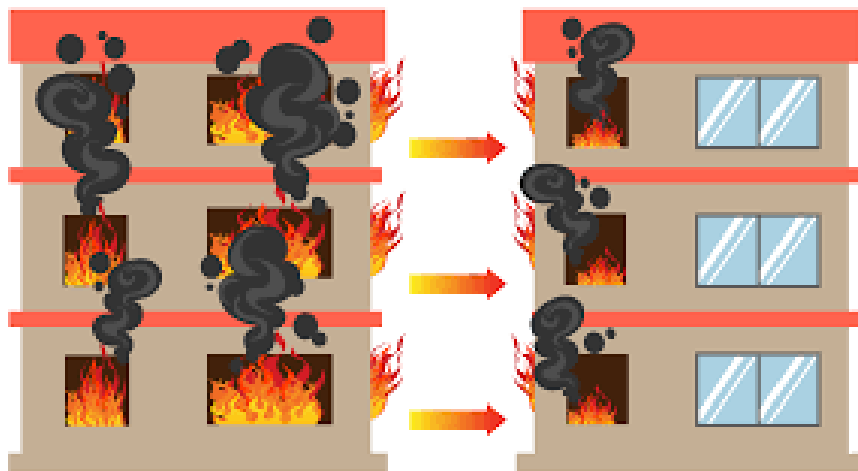
CLIQUE AQUI

Vídeo demonstrando a transmissão de calor por convecção.

irradiadora e o material exposto. Por isso em um incêndio podem haver propagação de uma casa para outra ao lado, mesmo com certa distância, porém a intensidade está diretamente ligada a distância que os corpos se encontram da fonte, isso porque as moléculas do ar atmosférico absorvem parte desse calor.

Por isso é importante avaliar o cenário na hora de combater um incêndio, por exemplo, as vezes não há mais o que salvar em uma casa onde o incêndio já se propagou, mas é necessário fazer a proteção, resfriando de outras casas vizinhas ou traçar uma tática de combate a incêndio retirando o material do ambiente sinistrado evitando a pirólise e ignição de outros materiais devido a irradiação.

Propagação do incêndio por irradiação.



Fonte: gestaodesegurancaprivada.com.br

A imagem acima mostra a propagação do incêndio para o prédio vizinho devido a irradiação de calor do prédio à esquerda. Por isso, tão importante quanto extinguir o incêndio de determinado local é resfriar, uma das formas de combate comentada nesta aula, as áreas adjacentes.

4. PONTOS DE TEMPERATURAS

Um outro tópico importante para entender o comportamento do fogo e analisar o combate a incêndio são os pontos de temperatura. Tudo o que está ao nosso redor é composto por moléculas, essas moléculas sofrem alteração física ou química quando aquecidas. Um material líquido sofre alteração física, quando o fervermos, ele vira vapor, já a madeira sofre alteração química quando submetida ao fogo, primeiro, ocorre a



secagem daquela madeira eliminando toda umidade, quando todo esse fluído virar vapor, vai acontecer a pirólise.

As partículas que compõe a madeira, ao ser aquecidas, vão se desprender em partículas menores sendo liberados em vapores combustíveis, que em contato com o oxigênio e uma fonte externa de calor irá pegar fogo.

Em síntese, cada material necessita de uma quantidade de temperatura para fazer com que ocorra a pirólise, a combustão. É aí que entra os pontos e temperatura, são eles:

- **Ponto de fulgor;**
- **Ponto de combustão e**
- **Ponto de ignição.**

PONTO DE FULGOR

É a **menor temperatura** na qual um material (líquido ou sólido) emite vapores em quantidade suficiente para formar com o ar, uma mistura capaz de ser inflamada por um agente ígneo, ocorrendo uma **queima rápida**, que **não se mantém**.

Veja que o material é capaz de queimar quando oferecemos uma fonte de calor, porém quando eu retiro esta fonte, as chamas desaparecem, pois a quantidade de vapor liberado foi muito pequena para fazer com que a combustão se mantenha.

PONTO DE COMBUSTÃO

É a **menor temperatura** na qual um material (líquido ou sólido) emite vapores em quantidade suficiente para formar com o ar, uma mistura capaz de ser inflamada por um agente ígneo, produzindo uma **queima contínua**.

O diferencial aqui é que, ao retirar a fonte de ignição, tem-se uma chama que se mantém, ou seja, a combustão é autossustentável.



PONTO DE IGNIÇÃO

É atingido quando o combustível é aquecido de forma gradual até uma temperatura que permite que os vapores combustíveis, dele emanados, **se incendeiem mesmo sem a presença de um agente ígneo.**

Cada tipo de material combustível tem seu ponto de temperatura individual.

5. FASES DO INCÊNDIO

Os incêndios passam por algumas fases que são classificados desde a sua etapa inicial até a sua finalização. Estas etapas são divididas em quatro fases: **Inicial, crescente, totalmente desenvolvida e final.**

É importante os bombeiros militares conhecerem cada uma delas e serem capazes de distingui-las em um incêndio, pois ao chegar em uma ocorrência podemos encontrar o fogo em qualquer uma dessas fases e, após a avaliação, definir a melhor forma de combate-lo.

5. 1 Fase inicial

Na fase inicial, o combustível e comburente são abundantes. É nesta fase que ocorre a ignição do material e a temperatura dentro do ambiente não tem grande variação, além disso o incêndio se mantém restrito ao foco.

Caso o a queima não seja suficiente para causar a pirólise, pela transferência de calor, de outros materiais no ambiente será inviável a sustentação da combustão acarretando a extinção do foco ainda nesta fase.

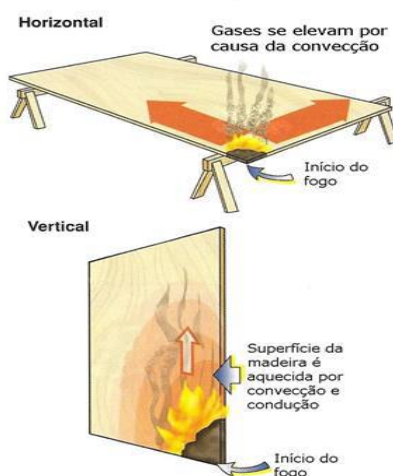
Na fase inicial a combustão vai depender, principalmente, da quantidade de combustível disponível para a queima e aliado a esta informação, sabe-se que alguns fatores influenciam bastante o desenvolvimento de um incêndio, são eles:

- **Relação superfície/massa do combustível:** quanto maior a superfície do material exposta, mais rápido se tornará o processo de aquecimento do mesmo, acelerando

a liberação de vapores combustíveis e, por consequência, o processo de combustão;

- **Posicionamento do combustível:** o fogo em um material sólido se propagará de acordo com sua forma e posicionamento. Devido às correntes de convecção a propagação do incêndio é mais acelerada na direção ascendente do foco. Desta forma, ao tomarmos como exemplo uma placa de madeira, perceberemos que o fogo se propagará de forma mais rápida se esta placa estiver na vertical.
- **Umidade do combustível:** A água presente no material combustível funciona como um retardante para a propagação do incêndio. Desta forma, quanto maior a umidade dos combustíveis, menor será a velocidade de propagação do incêndio;
- **Continuidade do combustível:** Continuidade é a proximidade dos combustíveis. Quanto mais próximos, mais facilmente o fogo se propagará no ambiente. Esta continuidade poderá ser horizontal (objetos próximos dispostos sobre o piso, divisórias inflamáveis, etc), ou vertical (empilhamento de materiais em estantes, forros de madeira ou PVC, etc);
- **Carga de incêndio do ambiente:** A quantidade de combustível disponível para queimar no ambiente influencia diretamente na liberação de calor e acelera o processo de combustão.

Propagação do fogo em razão da posição





5.2 Fase crescente

Esta fase é caracterizada pelo aumento considerável do volume das chamas e pela ignição da coluna de vapores que se forma em decorrência da pirólise do material combustível que compõe o foco inicial.

A temperatura nesta fase aumenta de 50 °C para 800 °C em um curto espaço de tempo.



Recordando!

As chamas dos incêndios são, em sua grande maioria, difusas o que nos leva a concluir que haverá liberação de **resíduos** decorrentes da queima para o ambiente (átomos de carbono e hidrogênio) que, além de serem **combustíveis**, contribuirão para a **coloração escura da fumaça**.

Se pensarmos em um incêndio em ambiente fechado, estes resíduos se depositarão rente ao teto físico da edificação, pela ação das correntes de convecção.

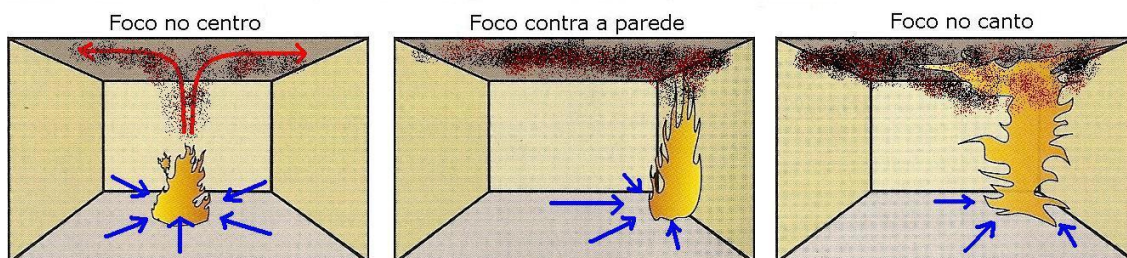
Por este motivo quanto menor a distância entre o piso e o teto da edificação, mais rapidamente ocorrerá a estratificação da fumaça (adensamento da fumaça), com a consequente saturação do ambiente pela mesma.

A interferência do ambiente nesta fase do incêndio é tão grande que o posicionamento do foco inicial dentro do cômodo e a limitação de entrada de comburente no ambiente é fator determinante para o seu desenvolvimento.

Como exemplo, utilizaremos um foco de incêndio em uma sala. Se o foco estiver localizado no meio da sala seu desenvolvimento será mais lento, haja vista que os vapores combustíveis originados pela decomposição térmica do material combustível recebem calor quase que exclusivamente em decorrência da convecção. Desta forma se aquecerão mais lentamente, o que fará com que atinjam a temperatura de ignição de forma mais lenta.

Se o foco estivesse localizado no canto da sala observaremos um desenvolvimento rápido das chamas. Isto ocorre pelo fato das paredes contribuírem para o rápido aquecimento dos vapores combustíveis emanados pelo material combustível, tendo em vista que recebem energia térmica do fogo por condução e irradiação direta e transferem

esse calor para os vapores combustíveis, fazendo com que alcancem seu ponto de ignição rapidamente conforme figura abaixo.



Com relação à ventilação do ambiente temos que, **quanto mais ventilado for, mais lentamente observaremos o fenômeno da estratificação da fumaça** e, por consequência, mais tardiamente o ambiente sofrerá as consequências da troca de calor entre ele e a fumaça.

Outra interferência da ventilação sobre o ambiente é a **limitação da altura da zona de reação**, também conceituada como **plano neutro**, que é o exato ponto visível de separação entre o ar atmosférico e a camada de fumaça onde ocorre a formação de chamas quando se tem a ignição da fumaça, como podemos observar na imagem abaixo.



Fonte: <http://www.tercera.org.py/new/plano-neutral/>

Quanto mais ventilado o ambiente mais alto estará a zona de reação. Essa zona é bem visível em uma queima no simulador tipo contêiner, no momento em que fechamos as portas do mesmo é possível visualizar a zona de reação descendo.



O final da fase crescente é marcado pelo atingimento do ponto de ignição e a consequente queima de quase todos os materiais do ambiente. Fenômeno este conhecido como *flashover*, que será estudado em tópicos posteriores.

5.3 Fase totalmente desenvolvida

É na fase totalmente desenvolvida que o incêndio tem a maior taxa de liberação de calor, consumindo em decorrência disso, combustível e comburente de forma mais rápida.

Nesta fase devemos analisar os incêndios em locais abertos (ventilados) e fechados (subventilados) sob prismas diferentes.

O incêndio ao ar livre será limitado apenas pelo combustível, sendo que consumirá todo ele na fase totalmente desenvolvida até que as chamas se extingam, restando apenas brasas, marcando sua passagem para fase final.

Os incêndios em ambientes fechados, em sua fase inicial, também são limitados apenas pelo combustível, assumindo assim características análogas aos incêndios ao ar livre.

Ocorre que, conforme a queima vai avançando, a quantidade de comburente disponível no ambiente vai se esgotando, passando, neste ponto, a ser limitado pelo comburente.

A fase totalmente desenvolvida dos incêndios confinados nos permite identificar claramente a zona de reação e o balanço térmico decorrente da separação do ar atmosférico mais denso e frio da fumaça, menos densa e quente.

Enquanto próximo ao piso ainda se tem concentrações de oxigênio que se aproximam da normalidade (21%), no teto o oxigênio é quase inexistente.

É perceptível a diferença de temperatura entre o teto físico, altamente aquecido, e o piso do ambiente. Esta variação se dá em decorrência da fumaça quente que se acumula próximo ao teto.

Nos ambientes fechados o incêndio vai consumir todo o oxigênio até que a fumaça decorrente da queima e da pirólise dos materiais combustíveis preencham praticamente todo o cômodo, fazendo com que as chamas diminuam gradativamente, até desaparecerem por completo (abaixo de 14% de oxigênio), restando apenas brasas, o que marca sua passagem para fase final.



5.4 Fase final

Nos incêndios **ventilados** a fase final é caracterizada pelo **consumo total do combustível** disponível para queima.

Já nos incêndios subventilados, a fase final é marcada pelo consumo da maior parte do combustível e comburente do ambiente. A área sinistrada estará saturada de fumaça, e haverá pouca ou nenhuma presença de chamas.

Importante destacar que mesmo nos ambientes fechados saturados por fumaça quente e sem a presença de chamas ou brasas (oxigênio abaixo de 4 %), **a pirolise dos materiais combustíveis continua ocorrendo.**

Isso se dá pelo fato de que **a decomposição térmica independe da presença de chamas.** Basta que a temperatura da fumaça seja superior ao ponto de fulgor dos materiais para que os mesmos continuem a liberar vapores combustíveis.

Por esta razão **incêndios estruturais confinados devem ser tratados com a máxima cautela**, haja vista que qualquer abordagem equivocada que permita a entrada de comburente de forma desordenada no ambiente pode causar a súbita ignição da fumaça (*backdraft*), podendo levar a guarnição a morte.

Todavia, se não houver incremento de oxigênio no ambiente, sua temperatura diminuirá lentamente, ocasionando a extinção dos focos que se encontram em seu interior.

Esta diminuição da temperatura do ambiente também pode ser feita utilizando-se técnicas de adentramento, que serão estudadas de forma aprofundada em tópicos posteriores.

6. FUMAÇA

Por muito tempo negligenciada pelas guarnições de bombeiros, a fumaça assume papel importantíssimo no combate a incêndio, pelo potencial de causar danos à saúde dos combatentes, pela capacidade de aceleração da propagação do incêndio e pela dificuldade gerada pela baixa visibilidade e abafamento acústico causado por ela.

Os manuais brasileiros apontam cinco características da fumaça que afetam diretamente as operações de combate a incêndio, a saber:



- **Quente:** em decorrência das correntes de convecção formadas pelo aquecimento dos gases, o produto resultante da queima, somado aos vapores combustíveis emanados do material combustível, elementos que compõem a fumaça, se aquecem e se acumulam nos locais mais altos do ambiente. Essa fumaça quente tem grande potencial de transmitir a energia térmica nela acumulada por convecção, o que contribuirá para a propagação do incêndio;
- **Opaca:** a opacidade da fumaça é causada pela fuligem em suspensão, composta por moléculas de carbono derivadas da queima incompleta do material combustível. Essa fuligem dificulta a visibilidade dos bombeiros no interior do ambiente incendiado;
- **Móvel:** por ser um fluido, sofre influência do processo de convecção, estando em constante movimento, podendo ocupar ambientes ainda não atingidos pelas chamas ao se deslocar por dutos, shafts, janelas ou qualquer outro tipo de abertura;
- **Inflamável:** a fumaça possui em seu interior intermediários reativos (radicais livres, íons instáveis, etc) provenientes da reação em cadeia da combustão com capacidade de reagirem com oxigênio e, ao entrarem em contato com uma fonte de calor ou atingirem a temperatura ideal, podem entrar em ignição;
- **Tóxica:** a depender do material combustível a fumaça pode apresentar em sua composição produtos tóxicos asfixiantes como o monóxido de carbono (CO), Ácido clorídrico (HCl), Ácido Cianídrico (HCN), Amônia (NH₃), Óxidos de Nitrogênio (N₂O, NO, NO₂, N₂O₄).

Para melhor memorização destas características foi criada a mnemônica **QOMIT**, onde cada letra representa uma das características acima listadas.

Ao se conhecer as características da fumaça, podemos adotar medidas essenciais no momento do combate ao incêndio tais como utilizar os equipamentos de proteção individual e respiratória, utilizar a técnica adequada para resfriar a camada de fumaça, utilizar os métodos de ventilação de forma correta e monitorar a fumaça de forma a observar se a mesma tem a possibilidade de se deslocar para outros ambientes ou pavimentos.



7. COMPORTAMENTOS EXTREMOS DO FOGO

De acordo com as principais literaturas que se dedicam ao estudo do incêndio, os comportamentos extremos do fogo são classificados em três fenômenos principais a saber:

- **Flashover**, ou generalização do incêndio;
- **Backdraft**, ou explosão da fumaça; e
- **Ignição da fumaça.**

Os comportamentos extremos do fogo decorrem, principalmente, do comportamento da fumaça no ambiente, ocorrendo em ambientes com espaço físico limitado, podendo surgir com pouco tempo de queima, o que os torna especialmente perigosos.

Passemos ao estudo de cada fenômeno.

7.1 Generalização do Incêndio – Flashover

É a generalização do incêndio em um ambiente, quando todos os materiais nele presentes entram em ignição quase ao mesmo tempo.

O *flashover* geralmente surge na transição entre a fase crescente e a fase totalmente desenvolvida do incêndio.

Neste fenômeno, o calor proveniente da irradiação do teto e paredes e da convecção dos fluidos faz com que os materiais combustíveis e a fumaça atinjam a temperatura de ignição, entrando em chamas quase simultaneamente.

Apesar de não haver onda de choque decorrente do *flashover*, as altas temperaturas por ele emanadas representam o risco de colapso estrutural do ambiente sinistrado.

Alguns sinais podem ser percebidos que irão identificar a iminência de ocorrência de um flashover. São eles:

- **Fumaça densa, escura e turbulenta**

A densidade da fumaça indica a quantidade de materiais propensos à queima em suspensão.



Já a coloração escurecida da fumaça indica a presença de chamas no ambiente, haja vista que o carbono proveniente da perturbação da ponta da chama difusa contribui sobremaneira para sua coloração enegrecida.

Essa fuligem gerada pela queima incompleta se depositará sobre beirais de janelas, moveis e pisos, proporcionando ao bombeiro militar envolvido na operação observar este sinal.

A movimentação turbulenta da fumaça indica sua alta temperatura. Quanto maior for a temperatura da fumaça, mais turbulenta e rápida será sua movimentação conforme imagem a seguir.



Fumaça densa rica em materiais combustíveis em suspensão.

- **Chamas na zona de reação da camada de fumaça**

Em decorrência da alta temperatura da fumaça surgirão chamas na interface correspondente à zona de mistura entre o combustível (própria fumaça) e o comburente.

Em decorrência da escassez de comburente justificada pelo seu consumo pelo processo de combustão, estas chamas se direcionarão para qualquer abertura que lhe permita contato com o oxigênio.



Presença de chamas na zona de reação.



Fonte: <http://kupce.ku.edu/kufire-home>

- **Rollover**

Caracteriza-se pela queima repentina de toda camada de fumaça. Recebeu esta denominação pelo movimento de rolamento que as chamas desenvolvem na camada de fumaça.

Esse fenômeno é responsável por grande liberação de fluxo de calor, que contribuirá diretamente para a ocorrência do *flashover*.



Rollover



- **Ignição esporádica e de pequenas proporções da fumaça (*Ghost Flames*)**

Caracteriza-se pelo aparecimento de pequenos clarões esporádicos na camada de fumaça, parecidos com o efeito luminescente dos relâmpagos dentro das nuvens, provenientes da queima rápida de parte dos gases e vapores combustíveis presentes na fumaça que atingiram a mistura combustível/comburente e a temperatura adequada para queima.

Sua ocorrência sinaliza que a fumaça está prestes a se incendiar por completo.

7. 2 Explosão da fumaça – *Backdraft*

É a deflagração da fumaça aquecida e acumulada no ambiente sinistrado quando entra em contato com o oxigênio. Ocorre em incêndios estruturais confinados.

Essa explosão da fumaça tem a capacidade de provocar uma onda de choque com força suficiente causar danos físicos aos bombeiros e colapsar as estruturas da edificação.

Neste fenômeno, a fumaça será o combustível, haja vista estar saturada de monóxido de carbono, que possui ampla faixa de explosividade, de 12 a 74%.

Desta forma, em um incêndio subventilado, a combustão consumirá o oxigênio do ambiente e, paralelamente aquecerá a fumaça nele acumulada. Quando o oxigênio atingir concentração menor que 14%, haverá o desaparecimento das chamas.

Ocorre que, mesmo sem chamas no ambiente, a decomposição térmica dos materiais ali presentes continuará em decorrência da alta temperatura atingida, o que contribuirá cada vez mais para a saturação da fumaça com vapores combustíveis.

Assim, a fumaça estará superaquecida e rica em vapores combustíveis, necessitando apenas de comburente para que entre em ignição. Esta ignição se dará de forma rápida e violenta com formação de onda de choque, cuja intensidade estará diretamente relacionada à quantidade de fumaça presente no ambiente.

Como visto, a ocorrência do *backdraft* dependerá do fornecimento de comburente em quantidade suficiente para que a mistura com o combustível se torne adequada para queima. Desta forma essa mistura poderá se tornar adequada em segundos ou demorar alguns minutos.

Esta imprevisibilidade do momento em que ocorrerá o fenômeno contribui sobremaneira para que ocorram acidentes com guarnições de combate a incêndio, que,



mediante uma análise equivocada do ambiente sinistrado, poderiam supor que o ambiente estaria estabilizado após decorridos alguns minutos de sua abertura e ventilação.

Importantíssimo salientar que enquanto o *flashover* é induzido pelo calor, o *backdraft* se dá em decorrência do comburente.

São sinais que identificam o risco iminente da ocorrência de um *backdraft*:

- **Fumaça de cor cáqui, densa e turbulenta:**

A fumaça é cáqui e densa em decorrência do acúmulo de gases e vapores provenientes da pirólise dos materiais que estão no ambiente, que continua a ocorrer mesmo sem chamas. É turbulenta porque está aquecida;

Verifica-se a fumaça saindo por meio de frestas, de forma pulsante, justificada pela expansão dos gases combustíveis, produzidas por pequenas combustões rápidas que ocorrem em áreas dentro do ambiente sinistrado que ainda possuem concentração de oxigênio que permita tal processo.

Ocorre ainda a saída de fumaça por frestas superiores de portas e janelas causada pela sobrepressão do ambiente. Quanto mais fumaça é produzida dentro do cômodo incendiado, maior será sua pressão fazendo com que essa fumaça escoe por qualquer fenda que lhe permita sair.

- **Ar sendo sugado para dentro do ambiente:**

Percebe-se ar atmosférico sendo sugado para o interior do ambiente principalmente por frestas localizadas próximas ao piso. É possível neste momento escutar sons parecidos com um assobio em decorrência do deslocamento do ar;

- **Presença de *flame over*:**

Se a fumaça que sai do ambiente se incendiar logo que entrar em contato com o oxigênio, significa que ela estará acima de seu ponto de ignição;

- **Portas e maçanetas aquecidas:**

Devido a alta temperatura da fumaça no interior do ambiente. Este é um importante sinal de alerta para a guarnição de bombeiros e de fácil identificação.

- **Sons abafados (efeito algodão):**

Pela alta densidade da fumaça, qualquer som dentro do ambiente soará abafado, como se os ouvidos estivessem recobertos por um chumaço de algodão.

- **Vidros e molduras das janelas com aspecto oleoso:**

A combustão gera fuligem e água, que se misturam e se depositam nas janelas dando a impressão de se tratar de óleo.



Backdraft

7.3 Ignição da fumaça

É a ignição dos produtos do processo de combustão que possuem energia suficiente para se inflamarem, independente do contato com fonte de calor (*flameover*), ou que se inflamam ao entrarem em contato com fonte de calor (*flashfire*)

No *flameover*, a fumaça encontra-se aquecida acima de seu ponto de ignição, porém, em decorrência do consumo de comburente pelo processo de combustão, a mistura entre ela e o oxigênio não está adequada para queima.



Essa fumaça aquecida desloca-se em direção de alguma abertura em busca de oxigênio e, ao se misturar com o comburente entra em ignição de forma imediata e espontânea. Por esta razão recebe o conceito de ignição espontânea da fumaça.

Justamente pela falta de oxigênio dentro do ambiente, somente haverá a presença de chamas na fumaça a partir da abertura.

Difere-se do *backdraft* porque neste o ar se movimenta em direção ao incêndio, enquanto no flame over a fumaça proveniente do incêndio se desloca buscando comburente.

No *flashfire*, a fumaça combustível está misturada adequadamente com o comburente, porém, não está aquecida o suficiente para entrar em ignição sem o contato com algum agente ígneo.

Dessa maneira, ao se movimentar nos ambientes sinistrados, essa fumaça poderá entrar em contato com uma fonte de calor, propiciando sua ignição.

A guarnição deve ter atenção redobrada haja vista que mesmo com pouca fumaça visível no ambiente, é possível ocorrer sua ignição.

A ignição da fumaça decorre principalmente de:

- Colapso de estruturas da edificação sinistrada, permitindo com que a fumaça antes confinada no ambiente entre em contato com uma fonte de calor ou com o comburente;
- Curto circuito da rede elétrica ou faiscamento de equipamento motomecanizados presentes no ambiente incendiado;
- Uso incorreto de ventilação por pressão positiva, que poderá direcionar a fumaça para um ambiente onde haja algum tipo de agente ígneo;
- Uso de jatos de água de forma indiscriminada e incorreta, tendo em vista que o deslocamento de ar gerado pela utilização desses jatos podem empurrar a fumaça para ambientes que contenham fontes de calor;
- Ação de rescaldo mal conduzida, tendo em vista que o rescaldo pode deixar a mostra materiais incandescentes com potencial para incendiar a fumaça.

Uma técnica que se mostra adequada para evitar a ignição da fumaça é seu resfriamento por linhas de mangueiras quando de sua saída do ambiente.



Ignição da fumaça

Por aqui finalizamos a aula 01, conforme o plano desta disciplina, em breve estaremos disponibilizando a aula 02 abordando os equipamentos de combate a incêndio.

BONS ESTUDOS!