

# CAPÍTULO 1 - TERMODINÂMICA DA COMBUSTÃO

## 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 - CONCEITO DE FOGO

Fogo é a resultante de uma reação química de oxidação com desprendimento de luz e calor. Pode-se dizer, ainda, que fogo é a parte visível de uma combustão. Conseqüentemente, o fogo pode se apresentar fisicamente de duas maneiras diferentes, as quais podem aparecer de forma isolada ou conjuntamente:

- a) Como chama;
- b) Como brasas.

Normalmente essas apresentações físicas do fogo são determinadas pelo combustível. Se for gasoso ou líquido sempre terá a forma de chamas. Se for sólido o fogo poderá se apresentar em chamas e brasas ou somente em brasa. Os sólidos de origem orgânica quando submetidos ao calor, destilam gases que queimam como chamas, restando o carbono que queima como brasa, formando o carvão. Alguns sólidos como a parafina e as gorduras se liquefazem e se transformam em vapores, queimando unicamente como chamas, outros sólidos queimam diretamente apresentando-se incandescentes, como os metais pirofóricos.

### 1.2 - CONCEITO DE INCÊNDIO

É a propagação rápida e violenta do fogo, provocando danos materiais ou perda de vidas humanas, após fugir o controle do homem.



Fig. 01 - Fogo que fugiu ao controle do homem

### 1.3 - ELEMENTOS ESSENCIAIS DO FOGO

Sabe-se que a combustão é uma reação química, logo, devem ter no mínimo dois elementos que reajam entre si, bem como uma circunstância que favoreça tal reação.

Estes elementos, por serem absolutamente necessários ao fenômeno da combustão, serão chamados de elementos essenciais do fogo: **combustível**, **comburente** e **calor**, os quais, para facilitar a compreensão do processo da combustão, serão representados, cada um, por um dos lados de um triângulo equilátero, chamado de “**triângulo do fogo**”.

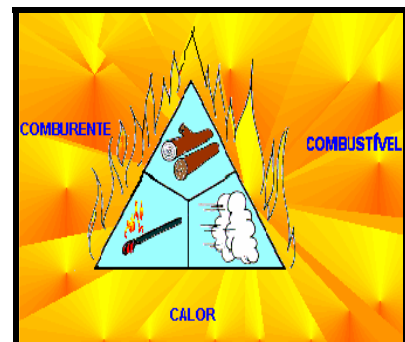


Fig.02 - Triângulo do fogo

### **1.3.1 - Combustível**

Combustível é o elemento que serve de campo de propagação do fogo. Na natureza tem-se materiais orgânicos, que são todos combustíveis, e os inorgânicos, geralmente incombustíveis nas condições normais de temperatura e pressão (CNTTP).

Os combustíveis podem ser sólidos, líquidos, e gasosos; porém a combustibilidade (capacidade de entrar em combustão) dos corpos combustíveis é maior no estado gasoso. A maioria dos corpos orgânicos (madeira, tecidos, papel, etc.) antes de se combinarem com o oxigênio para originar a combustão, transformam-se inicialmente em gases ou vapores. Outros sólidos primeiro transformam-se em líquidos e posteriormente em gases, para então se queimarem.

Todo material combustível que se gaseifica para combinar com o oxigênio, possui em sua estrutura um ou mais dos seguintes elementos químicos, chamados elementos combustíveis: Carbono, Hidrogênio e Enxofre. Portanto, um material combustível é aquele que contém na sua composição uma maior quantidade de um ou mais elementos combustíveis.

### **1.3.2 - Comburente**

É o elemento que proporciona vida às chamas, que ativa e intensifica o fogo. Como comburente natural existe o **oxigênio**, que é retirado do ar atmosférico ou oriundo da estrutura molecular de alguns compostos que são ricos em oxigênio, são eles o óxido de magnésio e a pólvora, entre outros, que, quando aquecidos, liberam oxigênio alimentando a própria combustão.

O oxigênio em si mesmo não é combustível, porém, sem ele nenhuma combustão é possível. É um gás inodoro, incolor e insípido, que pode ser obtido do ar (liquefação do ar) ou da água (decomposição elétrica da água).

Devida a extraordinária capacidade de reação do oxigênio puro, o emprego de lubrificantes combustíveis, como graxas e óleos, para lubrificação de equipamentos de oxigênio representa grande risco e deve ser evitado, pois, explodem à temperatura normal, se entrarem em contato com o oxigênio puro.

Outro comburente que se pode encontrar é o cloro ( $\text{Cl}_2$ ). É um gás mais pesado que o ar, de coloração amarelo-esverdeado, venenoso, corrosivo e largamente usado para tratamento e purificação da água, branqueamento e outros processos industriais. Não é inflamável, mas pode causar incêndio e explosões, pois em contato com determinadas substâncias, comporta-se como comburente semelhante ao oxigênio. Este fenômeno ocorre principalmente em contato com a amônia, terebentina e metais pulverizados. Onde houver possibilidade de formação deste gás, deve-se ter cuidados especiais.

### **1.3.3 - Calor**

O calor é objeto de estudo da Física através da Termologia, que se divide em: termometria e calorimetria.

#### **a) Termometria**

Estuda as diversas leis que regem a aferição da temperatura, bem como as diversas escalas existentes (Celsius, Kelvin, Fahrenheit e outras).

#### **b) Calorimetria**

Estuda os mecanismos das trocas de calor, bem como a sua medição, cujas principais escalas são: Caloria (Cal), British Thermal Unit (BTU), etc.

Com isso a definição de calor, do ponto de vista físico é a "energia térmica em trânsito, gerado pela vibração molecular entre os corpos a diferentes temperaturas", porém, faz-se necessário uma definição prática de calor, voltada ao estudo da Ciência do Fogo:



**Fig. 03 - oxigênio**

**Calor:** é a condição favorável que dá início, mantém e incentiva a propagação do fogo. Como principais fontes de calor temos:

- O calor ambiental;
- A chama;
- O calor provocado pelo choque, atrito e compressão;
- Energia radiante (raio laser);
- O calor das reações químicas exotérmicas (oxidações por exemplo);
- Energia elétrica (centelha).

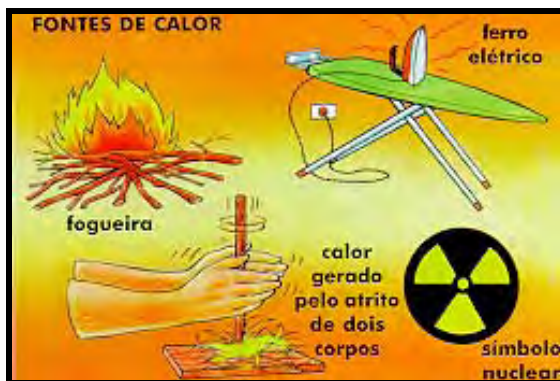


Fig. 04 - Fontes de calor

#### 1.4 - TETRAEDRO DO FOGO

Também conhecido como pirâmide do fogo ou quadrado do fogo, o tetraedro do fogo é uma evolução do triângulo do fogo, uma vez que estudos realizados mais recentemente descobriram um novo elemento essencial ao fogo: **a reação em cadeia**.



Fig.05 - Tetraedro do fogo

##### 1.4.1 - Reação em cadeia

A Combustão é uma reação química de oxidação, auto-sustentável, com liberação de luz, calor, fumaça e gases.

A cadeia de reações formada durante a combustão gera produtos intermediários instáveis, chamados radicais livres, prontos a combinar-se com outros elementos, gerando novos radicais, estes estáveis.

Aos radicais livres cabe a transmissão da energia química, gerada pela reação, que por sua vez se transformará em energia calorífica decompondo as moléculas, ainda intactas, e assim promovendo a sustentação e propagação do fogo.

#### 1.5 - COMBUSTÃO

É a reação química entre um corpo combustível e um corpo comburente, provocado por uma energia de ativação.

Do ponto de vista químico, a combustão é uma reação de oxidação irreversível e exotérmica processada através de radicais livres.

### **1.5.1 – Classificação da combustão**

#### **a) Quanto à velocidade da combustão**

A velocidade da combustão depende do grau de divisão da matéria, ou seja, quanto mais fracionado for o corpo combustível, maior será a velocidade da combustão.

De acordo com a velocidade em que se processa a reação química, a combustão pode ser classificada em: lenta, viva, muito viva ou instantânea.

##### **→ Lenta**

É a combustão em que o processo da reação se dá muito lentamente, e não há produção de chama ou qualquer outro fenômeno luminoso. Essa lentidão da reação é decorrente da temperatura ser baixa, geralmente inferior a 500°C. É o caso das oxidações que tem como produto a ferrugem.

##### **→ Viva**

É a combustão em que o processo da reação se dá com maior velocidade, havendo neste caso, além da produção de calor mais acentuado e bastante sensível, com conseqüente queima, a produção de chama.

Podem-se distinguir dois aspectos na combustão viva: as chamas e a incandescência.

As chamas são uma mistura de gases combustíveis e ar, em combustão viva, devendo as palavras inflamabilidade e inflamação, serem reservadas aos fenômenos em que se verifica a produção da chama.

A incandescência é produzida pela forma de combustão viva dos corpos sólidos chamada ignição. Este fenômeno revela-se pelo aparecimento de sinais luminosos nos sólidos.

A energia desenvolvida pela combustão é dissipada sob a forma de radiações não visíveis, são os raios infravermelhos. Ex: as combustões que ocorrem em madeiras, combustíveis líquidos, tecidos, etc.

##### **→ Muito Vivas**

São as combustões em que o processo da reação se dá com grande velocidade, (inferior a 300m/s). Neste tipo de combustão também há a produção do calor e da chama. É o caso, por exemplo, da combustão da pólvora negra ao ar livre.

##### **→ Instantâneas**

São as combustões que se processam com uma velocidade superior a 300 m/s e atingem de forma súbita toda a massa do combustível. Acontecem principalmente com gases e poeiras (aerodispersóides) e são também chamadas de explosão.

#### **b) Quanto à reação**

Quanto à reação, a combustão pode ser incompleta ou completa.

##### **→ Reação incompleta**

Quando a quantidade de oxigênio que entra na combustão é menor que a necessária, teoricamente, aparecem nos produtos da combustão, combustíveis, tais como: monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H<sub>2</sub>) e em casos de grande escassez de oxigênio até hidrocarbonetos de carvão em pó como a fuligem e o negro fumo. Neste caso, diz-se que a combustão é incompleta.



**Fig. 06**

## → Reação Completa



**Fig. 07**

Quando todos os elementos do combustível, possíveis de se combinarem com o oxigênio, reagirem com o mesmo, não restando, nos produtos da combustão, combustível algum, ou seja, quando a quantidade de oxigênio é compatível com a solicitação, diz-se que a combustão é completa.

### c) Quanto à proporção de oxigênio

→ Quando a proporção de oxigênio é maior que 13%, nesta faixa o oxigênio alimenta a combustão em sua plenitude;

→ Quando a proporção de oxigênio situar entre 13% a 6%, nesta faixa o oxigênio alimenta apenas uma incandescência;

→ Quando a proporção de oxigênio ficar abaixo de 6%, nesta faixa não há combustão.

Observação: A composição do ar atmosférico é de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de outros gases.

### 1.5.2 – Fatores que determinam a velocidade das combustões

O aumento da velocidade das combustões ocorre em decorrência dos seguintes fatores:

**a)** Da natureza do combustível, ou seja, se o combustível é bom ou mal e se queima com facilidade ou dificuldade;

**b)** Da relação superfície/massa do material combustível, ou seja, quanto maior for a superfície ocupada pela unidade de massa, maior será a velocidade de reação (Um livro fechado e um livro aberto, ou com as suas páginas soltas e espalhadas, pela dificuldade e facilidade em que ambos podem comburir, em relação a superfície/massa);

**c)** Da concentração ou estagnação de calor: quanto maior a quantidade de calor no ambiente, ou na massa do combustível, maior será a velocidade da reação;

**d)** Da presença de substâncias catalisadora, ou seja, presença de bons ou maus combustíveis, que possam acelerar ou retardar a reação.

### 1.5.3 – Pontos notáveis da combustão

#### **a) Ponto de fulgor**

É a menor temperatura, na qual uma substância libera vapores em quantidade suficiente para formar uma mistura com o ar, logo acima de sua superfície, que se incendiará pelo contato com uma fonte externa de calor. Entretanto, retirada a fonte de calor, a combustão não se manterá devido à insuficiência de vapores liberados a essa temperatura. É também chamado de Ponto de lampejo ou Flash-point.

### **b) Ponto de combustão**

É a menor temperatura na qual uma substância libera vapores em quantidade suficiente para formar uma mistura com o ar, logo acima de sua superfície, que se incendiará pelo contato com uma fonte externa de calor, havendo continuidade da combustão, mesmo retirando-se a fonte externa de calor. É também chamado de “Fire-point” ou Ponto de Inflamação. Normalmente este ponto é ligeiramente superior ao ponto de fulgor.

### **c) Ponto de ignição**

É a temperatura mínima, na qual os vapores emanados de um corpo combustível, entram em combustão apenas ao contato com o oxigênio do ar, independente de qualquer fonte de calor externa. Também é conhecido como Ponto de combustão espontânea ou ponto de auto-ignição ou “Flashover”.

→ **Flashover:** Na fase de queima livre, o fogo aquece gradualmente todos os combustíveis do ambiente. Quando determinados combustíveis atingem seu ponto de ignição, simultaneamente, haverá uma queima instantânea e concomitante desses produtos, o que poderá provocar uma explosão ambiental, ficando toda a área envolvida pelas chamas. Esse fenômeno é conhecido como "Flashover".

→ **Backdraft:** Na fase de queima lenta em um incêndio, em não havendo renovação de ar, a combustão é incompleta porque não há oxigênio suficiente para sustentar o fogo. Contudo, o calor da queima livre permanece e as partículas de carbono não queimadas (bem como outros gases inflamáveis produtos da combustão) estão prontas para incendiar-se rapidamente, assim que o oxigênio for suficiente. Na presença de oxigênio, estando os corpos combustíveis na sua temperatura de ignição, esse ambiente explodirá, ou seja, todos os corpos combustíveis, inclusive partículas em suspensão no ar, entrarão subitamente em combustão. A essa explosão chamamos "Backdraft".

## **1.6 - COMBUSTÍVEIS EM GERAL**

Ao iniciar o estudo dos combustíveis, o primeiro ponto a abordar é quando deve-se chamar uma determinada substância de Inflamável ou de Combustível.

Quando o processo de combustão em uma substância se desenvolve rapidamente, com alta velocidade de propagação das chamas, ela é chamada inflamável, entretanto, quando a combustão em uma substância se processa lentamente, com baixa velocidade de propagação, ela será denominada combustível.

Não há uma fronteira bem definida entre estas duas definições, pois os vapores de um líquido inflamável podem queimar em altíssima velocidade, caracterizando uma explosão; igualmente, um combustível pulverizado ou nebulizado em suspensão no ar, também pode queimar em altíssima velocidade produzindo uma explosão.

Também pode-se aumentar a velocidade e a intensidade da combustão de qualquer substância, pelo enriquecimento da atmosfera que a envolve com oxigênio.

### **1.6.1 – Combustíveis sólidos comuns**

São aqueles que podem entrar em combustão, ou seja, queimar, sofrendo substancial modificação química quando sujeito ao calor ou à chama. Os combustíveis sólidos representam a maioria absoluta dos incêndios, todos eles queimam em superfície e profundidade deixando, com isso, resíduos.

Poucos são os sólidos que combinam com o oxigênio gerando a combustão, independentemente de uma fonte externa de calor. Apenas o enxofre e os metais alcalinos, como por exemplo o potássio, o cálcio, etc, tem essa propriedade.



Fig. 08

A maioria dos corpos orgânicos, antes de se combinarem com o oxigênio, isto é, de se queimarem, transformam-se inicialmente em gases ou vapores, os quais reagem com o oxigênio. Outros sólidos primeiro transformam-se em líquidos e, posteriormente, em gases, para então se queimarem, como por exemplo: parafinas, ceras, etc.

### **1.6.2 – Combustíveis sólidos especiais**

São várias as substâncias sólidas que apresentam riscos especiais de incêndio, serão discutidos somente algumas classes e exemplos destas classes.

#### **a) Produtos reativos com a água (pirofóricos)**

Perigosos devido à quantidade de calor liberada, quando em contato com a água.

Exemplos: sódio, pó de alumínio, cálcio, hidreto de sódio, soda cáustica, potássio, etc.

#### **b) Produtos reativos com o ar**

São perigosos devido à quantidade de calor liberado, quando em contato com o ar.

Exemplo: carvão vegetal, fósforo branco, fósforo vermelho, etc.

#### **c) Halogênios**

Como exemplo característico tem-se o iodo, que se apresenta na forma de cristais voláteis, e que apresenta o risco de explosão, quando misturado a outros produtos.

### **1.6.3 – Combustíveis líquidos**

Nos líquidos, quando avalia-se seus riscos de incêndio, normalmente faz-se uma divisão entre líquidos combustíveis e líquidos inflamáveis.

#### **a) Líquidos inflamáveis**

São aqueles que produzem vapores que em contato com o ar, em determinadas proporções e por ação de uma fonte de calor, incendeiam-se com extrema rapidez. Para isso precisam no mínimo atingir os seus pontos de fulgor. O ponto de fulgor é inferior a 37,8°C

#### **b) Líquidos combustíveis**

São líquidos que possuem pontos de fulgor igual ou superior a 37,8°C

### **1.6.4 – Combustíveis gasosos**

Gás é o estado físico de uma substância que não tem forma e ocupa o espaço posto a sua disposição. O aumento de temperatura intensifica a movimentação das moléculas das substâncias gasosas, e as ligações entre elas praticamente deixam de existir.

**a) Gás inflamável:** é qualquer material que no estado gasoso, e sob temperatura ambiente e na pressão atmosférica, queimará quando em contato com uma concentração normal de oxigênio no ar, sob a ação de uma fonte de calor.

**b) Gás inerte:** É aquele que não sustenta a combustão, como, por exemplo, o nitrogênio, o gás carbônico, o argônio, o hélio, etc.

Os gases representam um fator de alta importância pelos riscos de: combustão, explosão (química e física) e toxidez.

Tendo em vista a sua extensa utilização industrial, domiciliar, comercial e medicinal, seus riscos não se limitam apenas onde é fabricado, utilizado ou armazenado, mas, pela necessidade do transporte, eles se estendem a todas as partes.

O perigo dos gases reside, principalmente, nas possibilidades de vazamentos, podendo formar com o ar atmosférico misturas explosivas. Quando escapam, podem facilmente atingir uma fonte de ignição onde se incendeiam rapidamente. Quando isto ocorre, o incêndio só deverá ser extinto após a supressão do fluxo de gás, pois, caso



**Fig. 09**

este continue, o gás poderá reincendiar-se facilmente ou então produzir uma mistura explosiva com o ar, estabelecendo condições mais perigosas que o próprio incêndio.

A densidade de um gás é fator muito importante devido à sua periculosidade, pois os gases mais pesados (mais densos) têm maior probabilidade de se incendiarem ao contato com uma fonte de ignição, em geral nas partes baixas, do que os mais leves, que ocupam as partes altas.

Os mais pesados se dissipam vagarosamente, embora as correntes de ar possam acelerar a difusão de qualquer gás. O gás canalizado rua (gás natural) e inúmeros outros gases utilizados na indústria são mais leves que o ar e, portanto, dissipam-se mais rapidamente que os vapores dos líquidos inflamáveis mais pesados que o ar (gás liquefeito do petróleo – GLP).

#### **1.6.4.1 - Substâncias gasosas que apresentam riscos de incêndios**

No caso de gases, pode-se afirmar que, exceto os gases não inflamáveis, os demais sempre apresentam risco de incêndio. São citados abaixo alguns exemplos de gases que apresentam risco de incêndio:

- a) Gás Liquefeito de Petróleo (GLP): propano e butano;
- b) Gás natural (GN): metano;
- c) Halogênio: neste caso temos o flúor e o cloro, sendo que ambos se apresentam em forma de um gás amarelo esverdeado;
- d) Gases para sistema de refrigeração: etano, iso-butano, amônia, cloreto de etila, etc.;
- e) Gases Inseticidas: gás cianídrico, bissulfeto de carbono, etc.;
- f) Gases Anestésicos: etileno, propileno, cloreto de etileno, etc.

#### **1.6.4.2 – Características do GLP**

O refino do petróleo resulta em uma seqüência de produtos derivados. Entre eles estão, em ordem, os óleos combustíveis, a gasolina, o querosene, o diesel, a nafta e, finalmente, o gás liquefeito de petróleo. O GLP é o último da cadeia de extração por ser o mais leve deles.

Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) ele se apresenta em estado gasoso, tornando-se líquido quando submetido a pressões relativamente baixas ou quando resfriado.

O GLP dentro do recipiente (botijão ou cilindro) encontra-se no estado líquido e no de vapor. Do volume total do recipiente, cerca de 85% é de gás em fase líquida, e cerca de 15% em fase de vapor. Isso constitui um espaço de segurança que evita uma pressão elevada dentro do recipiente.

Os gases propano e butano são inodoros (sem cheiro), porém é acrescentado substância orgânica (mercaptantes) para que produza odor para fácil percepção em caso de vazamento.

A densidade média do GLP é 2,50 kg/m<sup>3</sup>, portanto, 1m<sup>3</sup> de GLP pesa 2,50 kg (a 15 °C e à pressão atmosférica). Como a densidade do ar é 1,22 kg/m<sup>3</sup>, o GLP pesa mais que o ar.

#### **a) Dicas preventivas**

→ O botijão ou cilindro deve ficar longe de tomadas, interruptores, instalações elétricas e ralos, para onde o gás pode escoar e causar acidentes.

→ Mantenha o botijão ou cilindro em local ventilado (exteriormente à edificação). centrais de GLP devem ser dimensionadas conforme ABNT-NBR 13523.

→ **Nunca** deite e nem vire o botijão ou cilindro para saber se todo o gás foi usado.

→ Não aqueça o botijão. Esses procedimentos podem causar acidentes.

→ Ao sentir cheiro de gás, não acione interruptores elétricos, não acenda fósforos ou isqueiros, não fume e não mexa em aparelhos elétricos. Feche, imediatamente, o registro do botijão ou cilindro e abra portas e janelas, principalmente para o exterior do ambiente.

→ Jamais instale queimador ou lampião diretamente no botijão. A proximidade da chama pode aquecer o botijão e causar acidentes graves.

→ Use sempre o regulador de gás.

→ Tenha muito cuidado ao utilizar botijões de 2kg, pois este não possui dispositivos de segurança anti-explosão (plug-fusível).



### **b) Cuidados na compra do botijão ou cilindro**

- Não aceite botijão ou cilindro enferrujado, com amassamentos acentuados, alça solta ou a base danificada.
- Verifique a existência da identificação da companhia de gás no botijão ou cilindro e no caminhão.
- Observe se há vazamento na válvula.
- Veja a existência do rótulo de instruções e o lacre sobre a válvula com a marca da companhia de gás.
- Nunca compre botijões ou cilindros de gás distribuídos por caminhões de venda clandestina.

### **c) Cuidados na instalação do botijão**

- Use sempre o regulador de pressão (registro) com a inscrição NBR 8473 em relevo.
- Troque o regulador a cada 5 anos ou quando apresentar defeito. Sempre observar a validade do regulador tomando o cuidado de utilizá-lo dentro do prazo.
- Use sempre a mangueira correta, com uma "malha" transparente e com uma tarja amarela, onde aparece a inscrição NBR 8613, o prazo de validade e o número do lote.
- Ao instalar o regulador, gire a "borboleta" para a direita, até ficar firme. Nunca utilize ferramentas.
- A mangueira deve ser fixada no regulador com braçadeiras apropriadas. Nunca com arames ou fitas.
- Nunca instale qualquer acessório no botijão, além do regulador de pressão e da mangueira.
- Após a instalação, veja se há vazamento usando apenas espuma de sabão.
- Se houver vazamento, repita a operação de instalação. Se o vazamento continuar, leve o botijão para local bem ventilado e chame a empresa que entregou o gás.
- Nunca passe a mangueira por trás do fogão. Se a entrada do fogão precisa ser modificada, chame a assistência técnica do fabricante ou pessoa credenciada para o serviço.

### **d) Em caso de vazamento sem fogo no botijão**

- Feche o registro ou retire-o para um local aberto e ventilado.
- Agir de maneira rápida e consciente nessa situação é muito importante e exige que a pessoa mantenha a calma e não se impressione com o vazamento de gás.
- O ato de aproximar-se do botijão para removê-lo do local ou para fechar o registro não causa risco à saúde, o gás de botijão só é perigoso à saúde quando toma todo o ambiente, expulsando dali o oxigênio, o que pode causar asfixia. Deve-se tomar extremo cuidado para evitar o risco de um incêndio.
- Desligue a energia elétrica.
- Abra todas as portas e janelas, principalmente para o exterior do ambiente.
- Isole o restante do ambiente.
- Retire o botijão para um local isolado e ventilado, evitando arrastar o botijão ou contato com qualquer objeto que possa soltar faísca, podendo causar um incêndio.
- Chame a assistência técnica gratuita da sua distribuidora.

### **e) Em caso de vazamento com fogo no botijão**

- Utilize o EPI indicado (luva).
- Aproxime-se do botijão e rapidamente, de baixo para cima, interrompa o fluxo de gás. Tendo em vista a pressão no interior do botijão, o fogo começará apenas a alguns centímetros da sua parte superior.
- Proceda como no caso anterior.

#### **f) Em caso de vazamento em edificações com centrais de GLP ou GN**

→ Nestes casos, um vazamento em qualquer unidade pode ser contido através do fechamento do registro correspondente, ou, no caso de falha deste, pode-se proceder o fechamento do registro geral.

→ Nunca esquecer de cortar o fornecimento de energia elétrica da unidade com vazamento e, se possível, promover sua ventilação.

→ Na dúvida, nunca entre na unidade com vazamento, promova o isolamento do mesmo e chame o Corpo de Bombeiros.

#### **1.6.5 - "Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion" (BLEVE)**

BLEVE ou "Bola de Fogo" é uma combinação de incêndio e explosão, com uma emissão intensa de calor radiante, em um intervalo de tempo muito pequeno. O fenômeno pode ocorrer, por exemplo, em um tanque no qual um gás liquefeito é mantido abaixo de seu ponto de ebulição atmosférico. Se houver um vazamento instantâneo de um vaso de pressão, por exemplo, devido a uma falha estrutural, todo, ou a maior parte de seu conteúdo, é expelido sob a forma de uma mistura turbulenta de gás e líquido, que se expande rapidamente dispersando-se no ar sob a forma de nuvem.

A ignição dessa nuvem gera a "Bola de Fogo", que pode causar danos materiais e queimaduras a centenas de metros de distância, dependendo da quantidade de gás liquefeito envolvida no fenômeno.

### **1.7 - CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS**

Com a evolução do estudo sobre os incêndios, tornou-se necessário classificá-los, para que seu estudo e técnicas de extinção fossem aprimorados. Para tal, eles foram classificados quanto à proporção e quanto ao combustível.

#### **1.7.1 - Quanto à proporção**

Para esta classificação será levado em conta sua dimensão, intensidade, e os meios empregados para extinção:

##### **a) Princípio de incêndio**

Também conhecido como incêndio incipiente, é um evento de mínimas proporções que requer para sua extinção, um ou mais aparelhos extintores portáteis. São incêndios em sua fase inicial.

Ex.: Fogo numa cesta de lixo ou fogo em um aparelho eletrodoméstico.

##### **b) Pequeno incêndio**

É um incêndio que, para sua extinção, requer pessoal (Bombeiros Militares ou Bombeiro Profissional Civil) e material especializados, porém, sendo extinto com facilidade. Não apresenta risco imediato de propagação.

Estes incêndios podem ser extintos com uma linha de mangueiras armada no sistema preventivo fixo da edificação ou em uma viatura do Corpo de Bombeiros.

Ex.: Fogo que ocorre em um quarto ou outro cômodo qualquer.



**Fig. 10**

##### **c) Médio incêndio**

Devido à sua intensidade, necessita de um socorro básico de incêndio (Corpo de Bombeiros) para sua extinção, além de apresentar grande risco de propagação.

Ex.: Incêndio em uma residência, loja, etc.

#### **d) Grande incêndio**

Devido ao risco de propagação ser elevadíssimo, e a grande área atingida, exigem mais de um socorro básico (Corpo de Bombeiros) para sua extinção.

Ex.: Incêndio em Edifícios.

#### **e) Incêndios extraordinários**

São aqueles provocados por fenômenos da natureza ou por bombardeios.

Ex.: Vulcões, tempestades elétricas, bombardeio nuclear e outros.

### **1.7.2 – Quanto ao combustível**

A determinação precisa da classe do combustível envolvida irá determinar que técnicas de combate devem ser empregadas, bem como, qual o agente extintor e a forma de emprego correta a ser utilizada.

#### **a) Classe A**

São aqueles materiais de fácil combustão, com a propriedade de queimarem em sua superfície e profundidade, deixando resíduos sólidos após a queima (cinzas).

Como maior exemplo temos os combustíveis sólidos (madeira, papel, palha, tecido, etc.).



**Fig. 11 – Fogo em madeira**

#### **b) Classe B**



**Fig. 12 – fogo em óleo diesel**

São aqueles materiais considerados combustíveis ou inflamáveis que queimam somente em sua superfície, não deixando resíduos. Como melhor exemplo tem-se os líquidos combustíveis ou inflamáveis: gasolina, óleos, graxas, tintas, álcool, vernizes, etc.

#### **c) Classe C**

São os incêndios que ocorrem em equipamentos elétricos energizados, como: motores, transformadores, quadros de distribuição, fios, etc. Estes incêndios, após os equipamentos serem desenergizados, podem ser combatidos como outra classe, normalmente "A". Todavia, deve-se ter cuidado com aparelhos que possuem acumuladores de energia como capacitores ou baterias.



**Fig. 13 – motor elétrico**

#### **d) Classe D**



**Fig. 14 – metal combustível**

São aqueles que ocorrem em metais pirofóricos, como por exemplo: magnésio, potássio, alumínio em pó, zinco, sódio, titânio, etc.

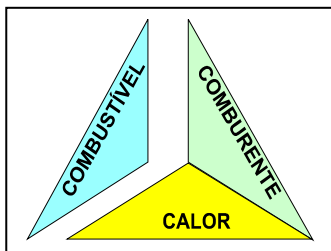
## **1.8 - MÉTODOS OU PROCESSOS DE EXTINÇÃO DOS INCÊNDIOS**

Conhecido o triângulo do fogo, este só existirá quando estiverem presentes os três elementos essenciais da combustão. Calcado neste conhecimento é que se baseiam os métodos modernos de combate a incêndios. Portanto, para extingui-lo, basta desfazer o triângulo, isto é, retirar um de seus lados. Logo, existem três possibilidades básicas para a extinção de um incêndio.

Os três primeiros métodos são bem conhecidos: retirada do combustível ou isolamento, abafamento e resfriamento.

Existe o quarto método, com o qual forma-se outro elemento geométrico figurativo, o tetraedro do fogo, que utiliza-se da supressão dos radicais químicos livres ou extinção química. Embora já seja usado na prática há algum tempo, somente há alguns anos teve sua conceituação determinada e explicada pelos químicos e físicos.

### **1.8.1 – Retirada do combustível ou isolamento**



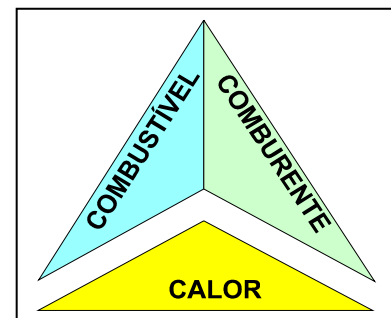
**Fig. 15**

A retirada do material ou controle do combustível, é o método de extinção mais simples na sua realização, pois, não exige aparelhos especializados, consistindo na retirada, diminuição ou interrupção do campo de propagação do fogo, ou seja, do material ainda não atingido pelo incêndio. Como exemplo do emprego deste tipo de extinção, citamos o acero praticado nos casos de incêndio florestais, que interrompem a continuidade do fogo, facultando o seu domínio.

O esvaziamento, por bombas, de um tanque de armazenamento de líquido inflamável ou combustível incendiado, assim como, o transvazamento do gás contido em um vaso de pressão incendiado, constituem exemplos da aplicação deste princípio.

### **1.8.2 - Resfriamento**

O resfriamento ou o controle do calor, é o método de extinção mais usado. Consiste em retirar calor do material incendiado até um ponto determinado, abaixo do qual ele não queima ou não emite mais vapores que, por efeito do calor, reagem com o oxigênio produzindo a combustão. O agente usado comumente para combater incêndio por resfriamento é a água. Esta substância além de existir em grande abundância na natureza, devido as suas características e propriedades, é simples sua utilização pelos bombeiros. Também é a substância com maior capacidade de absorver calor (seu calor específico e o seu calor latente são mais altos do que o de outros agentes extintores).

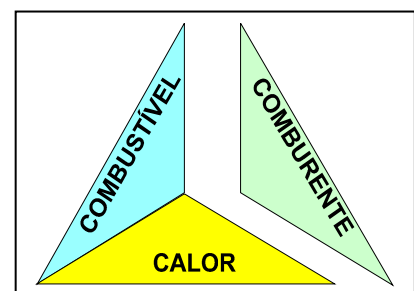


**Fig. 16**

### **1.8.3 - Abafamento**

O abafamento ou controle do comburente, é o método de extinção mais difícil, pois somente os pequenos incêndios podem ser abafados com tampas de vasilhames, panos, cobertores, etc., enquanto que para outros de maiores proporções, são necessários equipamentos e produtos específicos para se conseguir o abafamento.

Consiste na eliminação do oxigênio das proximidades imediatas do combustível, e desde modo, interrompendo o triângulo do fogo e, conseqüentemente, a combustão. A eliminação do oxigênio para a extinção da combustão, não precisa ser total, basta diminuir sua porcentagem. Segundo experiências em laboratórios, verificou-



**Fig. 17**

se que as chamas existem somente em ambientes com mais de 13% de oxigênio, portanto, qualquer meio de abafamento empregado e que consiga reduzir a porcentagem de oxigênio abaixo desta taxa, dominará as chamas. Como consequência, todos os incêndios em corpos líquidos ou gasosos ficarão completamente extintos. Se o combustível for sólido, o fogo permanecerá sob a forma de combustão lenta, sem chamas, e assim permanecerá até que a concentração de oxigênio atinja a proporção de 6%, abaixo da qual nenhuma forma de combustão existirá.

A extinção mediante abafamento não pode ser realizada em certos compostos, como por exemplo, o nitrato de celulose, o qual contém o seu próprio suprimento de oxigênio em sua composição química.

#### **1.8.4 – Extinção química**

Desde há algum tempo, tem sido do conhecimento dos especialistas, que a eficiência de certos hidrocarbonetos halogenados e sais inorgânicos, como agentes extintores, deve-se a alguma propriedade especial destes agentes. Quando foi desenvolvido pela primeira vez o pó químico seco (a base de bicarbonato de sódio) como agente extintor, os especialistas pensavam que sua eficiência era devido ao fato de que, quando o pó se aquecia, um dos seus produtos principais era o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) gerado. Esta hipótese foi abandonada quando se demonstrou que o pó químico seco era, aproximadamente, duas vezes mais eficiente que um volume igual de dióxido de carbono.



Fig. 18

As pesquisas recentes vieram de encontro à teoria da extinção química, a qual atribui a eficiência da extinção dos hidrocarbonetos halogenados e dos sais inorgânicos, a uma reação química que interfere na cadeia de reações que se realiza durante a combustão. A citada reação rompe a cadeia e assim, interrompe a combustão.

### **1.9 - O CALOR NOS INCÊNDIOS**

Fator que mais dificulta a ação dos bombeiros durante a extinção dos incêndios, o calor, como já foi visto, é um dos elementos essenciais à combustão. Conhecer seus efeitos e sua maneira de propagação, são fatores de grande importância tanto no combate como na prevenção de incêndios.

A teoria moderna do calor explica que, devido ao seu efeito, as partículas que compõe os átomos dos corpos entram em movimento sob sua ação, intensificando-se de acordo com a elevação da temperatura, portanto, o calor é a energia cinética (do movimento) dos átomos.

“Calor é a energia térmica em trânsito, entre corpos ou sistemas, decorrentes apenas da existência de uma diferença da temperatura entre eles”.

Como consequência do aumento de intensidade do calor nos corpos, estes apresentarão sucessivas modificações, inicialmente físicas e posteriormente químicas. Assim, por exemplo, se aquecido um pedaço de ferro, inicialmente aumentará sua temperatura, a seguir seu volume, continuando o aquecimento, troca de cor, perde a forma, até atingir seu ponto de fusão, quando se transforma em líquido. Insistindo no aquecimento, ele gaseifica-se e se queima em contato com o oxigênio, transformando-se em outra substância.

O calor pode ser produzido das seguintes maneiras:

- a) Pela transformação da energia mecânica em energia calorífica, como acontece quando friccionamos um corpo sobre outro, e quando há pressão ou choque;
- b) Pela transformação da energia química em energia calorífica, através das reações endotérmicas e exotérmicas (como se apresenta nos incêndios); e
- c) Pela transformação de energia elétrica em energia calorífica, como acontece na passagem de uma corrente elétrica através de um corpo condutor.

### 1.9.1 – Efeitos físicos do calor

#### a) **Elevação de temperatura**

O primeiro efeito do calor é a elevação da temperatura. Este fenômeno se desenvolve com maior rapidez em alguns corpos, por exemplo, os metais, que são bons condutores de calor, enquanto nos maus condutores de calor, a transmissão é feita com maiores dificuldades.

Estes conhecimentos são de grande valia na prevenção, pois nunca se deve deixar materiais combustíveis em contato com corpos bons condutores, sujeitos a uma fonte de aquecimento.

#### b) **Variação de volume**

O segundo efeito do calor é a variação de volume dos corpos, fenômeno que, durante os incêndios, pode provocar graves acidentes como: desmoronamentos, rupturas de tubulações e, até explosões. Todos os corpos sólidos, líquidos ou gasosos se dilatam e se contraem segundo o aumento ou a diminuição da temperatura.

A atuação do calor durante os incêndios, através de sua elevação ou sua repentina redução, pela ação da água durante o combate ao fogo, não se faz de maneira uniforme sobre todos os materiais, acrescenta-se ainda o fato de que o coeficiente de dilatação ou contração dos diversos materiais são diferentes, como consequência dos trabalhos provocados pelo calor nos diferentes corpos, formam-se tensões internas no mesmos, provocando rupturas que podem ocasionar desmoronamento

O aumento de volume dos gases é a causa das explosões. Se um gás for aquecido num recinto fechado, de modo que não possa se expandir, a pressão aumentará na mesma proporção.

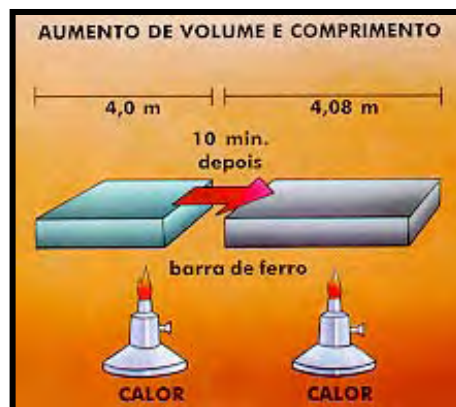


Fig. 19

#### → **Dilatação linear**

É aquela que resulta somente das variações das dimensões lineares como comprimento, largura, altura, diagonal, raio ou qualquer outra dimensão linear do sólido. Exemplo: uma barra de aço de 4m de comprimento se alonga a aproximadamente 4,08m, como amostra a figura 19.

#### → **Dilatação superficial**

Considera-se como sendo aquela em que um corpo, após ser submetido a uma temperatura inicial, dilata-se bidimensionalmente. Exemplo: chapas de pouca espessura.

#### → **Dilatação volumétrica ou cúbica**

Característica de materiais que se dilatam em todas as direções, ou seja, tridimensionalmente. Exemplo: 1 litro de água se dilata 43 cm<sup>3</sup> ao passar de 40°C a 100°C, com proporção de variação volumétrica da ordem de 4,3%.

#### c) **Variações do estado da matéria**

É a mudança do estado físico da matéria, os corpos sólidos vão perdendo a forma e se transformam em líquidos, estes por sua vez em gases. Este efeito do calor, além de provocar derramamentos que podem facilitar a propagação do fogo, podem ocasionar início de incêndios, devido à gaseificação de materiais combustíveis e mesmo ocasionar explosões.

As variações do estado por efeito do calor são denominadas:

- Fusão: do estado sólido para o líquido;
- Solidificação: do estado líquido para o sólido;
- Sublimação: do estado sólido direto ao gasoso e vice-versa;
- Condensação: do estado gasoso ao líquido;

e) Vaporização: do estado líquido ao gasoso;

### **1.9.2 – Efeitos químicos do calor**

Fenômeno químico, é aquele que ao combinarmos substâncias diferentes, geram uma outra substância. Podemos citar como exemplo a água ( $H_2 + O_2 = H_2O$ ). Quando aos efeitos químicos do calor, convém lembrar que determinadas substâncias aumentam sua afinidade de reagir com outras, podendo dar lugar a reações perigosas que produzem explosões ou gases venenosos, isto sem considerar os fenômenos da oxidação que constituem a combustão normal.

### **1.9.3 – Efeitos fisiológicos do calor**

Em relação aos efeitos fisiológicos do calor, sabe-se que ele desempenha importante papel tanto na vida animal como na vegetal, pois é absolutamente necessário permanecer dentro de um limite de temperatura. O calor em níveis muito elevados ou muito baixos ocasiona distúrbios em vários níveis a saber:

#### **a) Exaustão pelo calor**

Os indivíduos submetidos ao calor perdem grandes quantidades de eletrólitos pela transpiração, podendo em pouco tempo sofrer desmaio (estado de choque).

#### **b) Danos ao sistema respiratório**

São queimaduras internas, assemelhando-se a queimaduras químicas, pela inspiração do ar aquecido e/ou vapores aquecidos.

#### **c) Vaso dilatação periférica**

Quando a quantidade de calor que o corpo perde por condução, convecção ou radiação é menor que o calor ganho, a primeira ação corretiva que se procede no organismo é a vaso-dilatação periférica, que implica num maior fluxo de sangue na superfície do corpo e num aumento da temperatura da pele, estas alterações resultam em um aumento da quantidade do calor perdido ou em uma redução do calor ganho.

#### **d) Desidratação**

No estágio inicial reduz o volume de sangue e promove a exaustão. Em casos extremos produz distúrbios na função celular, provocando até a deterioração do organismo, uremia temporária, febre que pode levar ao óbito.

#### **e) Distúrbios visuais**

Geralmente ocorrem com indivíduos que trabalham com exposição direta ao calor, como exemplo: a catarata dos vidraceiros.

#### **f) Envelhecimento precoce**

O calor acelera as reações químicas, portanto, organismos expostos por longos e contínuos períodos ao calor apresentam envelhecimento precoce, pois o metabolismo é acelerado, acelerando o envelhecimento.

#### **g) Queimaduras**

Afecções resultante da atuação do calor sobre o revestimento cutâneo, podendo ser térmicas, químicas, elétricas e resultantes de radiação.

#### **h) Choque térmico**

É devido a um distúrbio do mecanismo termo-regulador, que fica impossibilitado de manter um adequado equilíbrio térmico entre o indivíduo e o meio.

### 1.9.4 – Transmissão de calor

É de fundamental importância a transmissão do calor, quer nos trabalhos de extinção, quer nos trabalhos de prevenção.

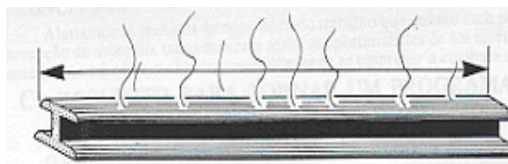
O calor pode se propagar de três diferentes maneiras: condução, convecção e irradiação. Como tudo na natureza tende ao equilíbrio, o calor é transferido de objetos com temperatura mais alta para aqueles com temperatura mais baixa. O objeto mais frio absorverá calor até que esteja com a mesma quantidade de energia calorífica do outro.

#### a) **Condução**

Condução é a transferência de calor através de um corpo sólido de molécula a molécula. Colocando-se, por exemplo, a extremidade de uma barra de ferro próxima a uma fonte de calor, as moléculas desta extremidade absorverão calor; elas vibrarão mais vigorosamente e se chocarão com as moléculas vizinhas, transferindo-lhes calor.

Essas moléculas vizinhas, por sua vez, passarão adiante a energia calorífica, de modo que o calor será conduzido ao longo da barra para a extremidade fria. Na condução, o calor passa de molécula a molécula, mas nenhuma molécula é transportada com o calor.

Quando dois ou mais corpos estão em contato, o calor é conduzido através deles como se fossem um só corpo.

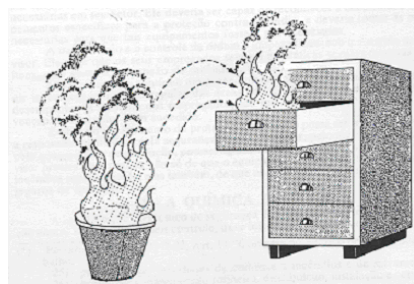


**Fig. 20**

#### b) **Convecção**

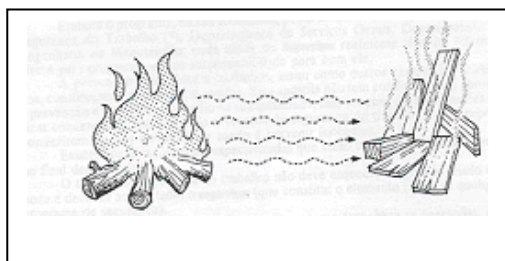
É a transferência de calor pelo movimento ascendente de massas de gases ou de líquidos dentro de si próprios.

Quando a água é aquecida num recipiente de vidro, pode-se observar um movimento, dentro do próprio líquido, de baixo para cima. À medida que a água é aquecida, ela se expande e fica menos densa (mais leve) provocando um movimento para cima. Da mesma forma o ar aquecido se expande e tende a se deslocar para as partes mais altas do ambiente, enquanto o ar frio toma lugar nos níveis mais baixos. Em incêndio de edifícios, essa é a principal forma de propagação de calor para andares superiores, quando os gases aquecidos encontram caminho através de escadas, poços de elevadores, etc.



**Fig. 21**

#### c) **Irradiação**



**Fig. 22**

É a transmissão de calor por ondas de energia calorífica que se deslocam através do espaço. As ondas de calor propagam-se em todas as direções, e a intensidade com que os corpos são atingidos aumenta ou diminui à medida que estão mais próximos ou mais afastados da fonte de calor.

Um corpo mais aquecido emite ondas de energia calorífica para um outro mais frio até que ambos tenham a mesma temperatura. O Bombeiro profissional civil (BPC) deve estar atento aos materiais ao redor de uma fonte que irradie calor para protegê-los, a fim de que não ocorram novos incêndios. Para se proteger, o BPC deve utilizar roupas apropriadas e água (como proteção).