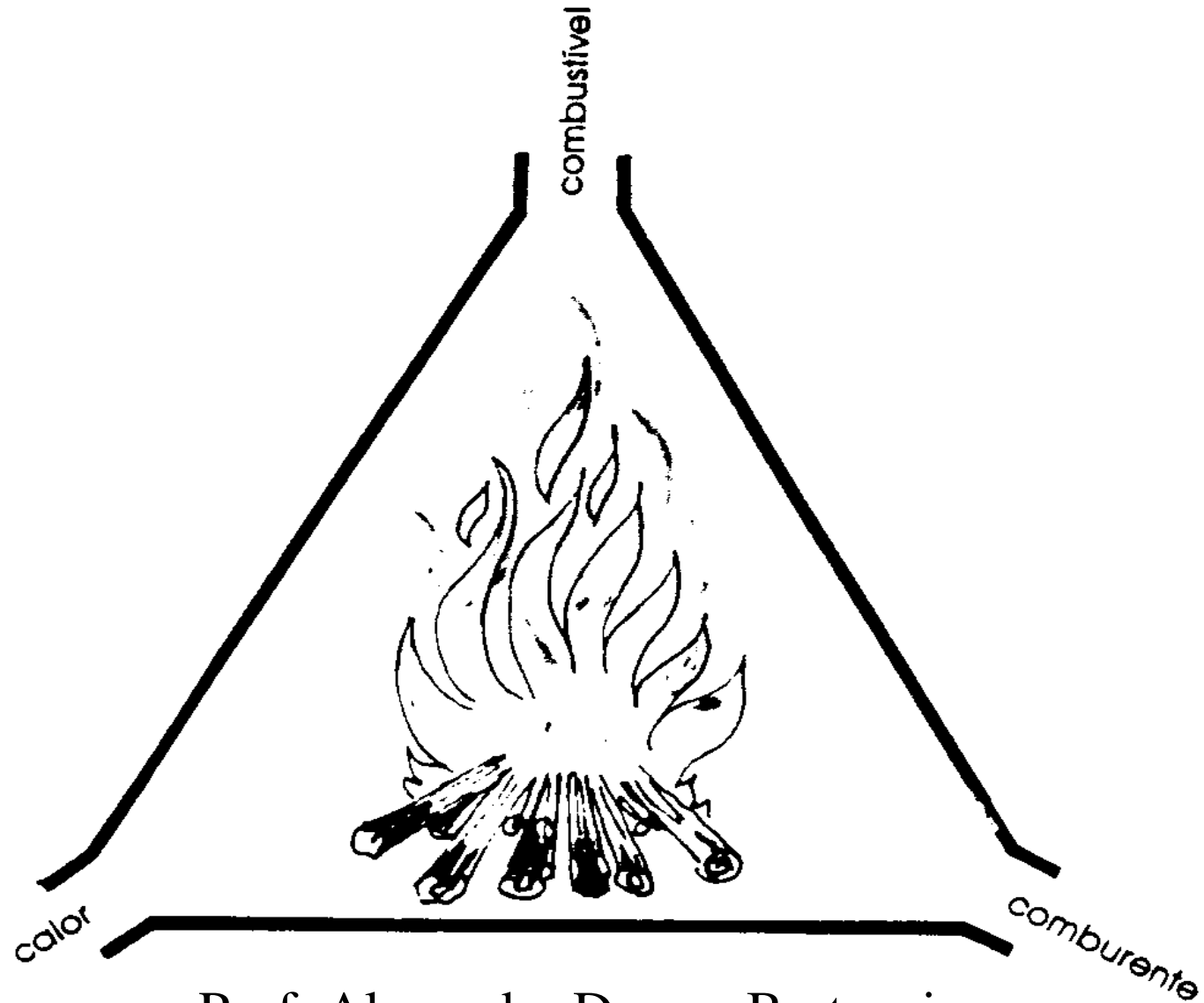


Proteção contra Incêndios - 2



Prof. Alexandre Dezem Bertozzi

2 COMBUSTÃO

A combinação dos três elementos do triângulo do fogo sob condições propícias permite a ignição e a continuação das reações químicas, as quais podem ser classificadas em:

- a) oxidação lenta,
- b) combustão simples,
- c) deflagração,
- d) detonação,
- e) explosão.

O parâmetro empregado para classificar as combustões é a velocidade de propagação.

A **velocidade de propagação** é definida como a velocidade de deslocamento da frente de reação, ou a velocidade de deslocamento da fronteira entre a área já queimada (zona dos produtos da reação) e a área ainda não atingida pela reação (zona não destruída).

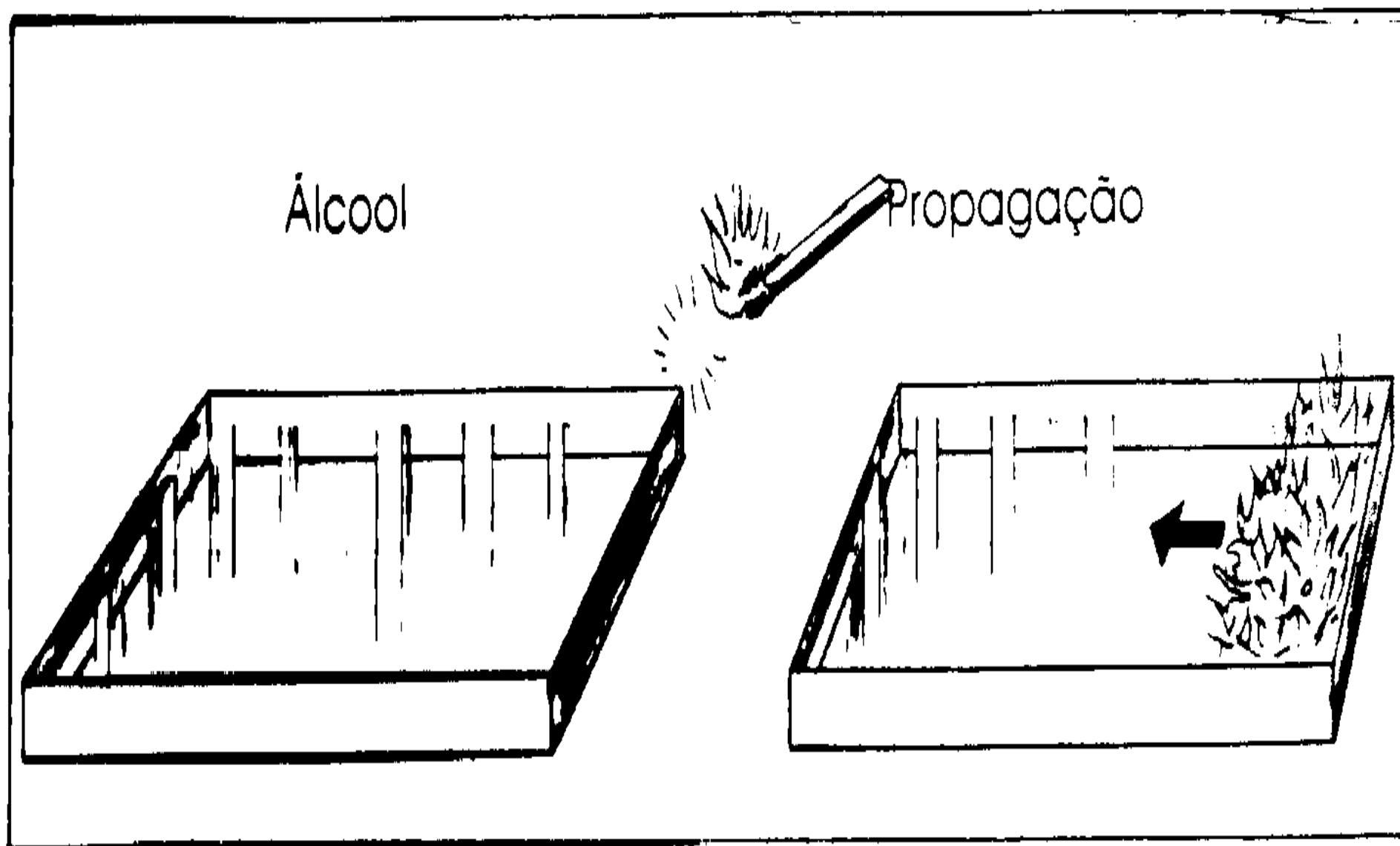


Figura 11 — Ignição e propagação em um combustível.

2.1 Classificação

Oxidação lenta — A energia dispendida na reação é dissipada no meio ambiente sem criar um aumento de temperatura na área atingida (não ocorre a reação em cadeia). É o que ocorre com a ferrugem (oxidação do ferro) ou com o papel, quando fica amarelecido. A propagação ocorre lentamente, com velocidade praticamente nula.

Combustão simples — Há percepção visual do deslocamento da frente de reação, porém a velocidade de propagação é inferior a 1 metro por segundo (m/s). Os incêndios normais, como a combustão de madeira, papel, algodão, são exemplos de combustão simples, onde a energia desprendida na reação é dissipada, indo parte para o ambiente e sendo parte utilizada para manter a reação em cadeia, ativando a mistura combustível-comburente.

Deflagração — A velocidade de propagação é superior a 1 m/s, mas inferior a 400 m/s. Surge o fenômeno de elevação da pressão com valores limitados entre 1 e 10 vezes a pressão inicial. Ocorre a deflagração com a pólvora, misturas de pós combustíveis e vapores de líquidos inflamáveis.

Detonação — A velocidade de propagação é superior a 400 m/s. Pela descontinuidade das ondas de pressão geradas, cria-se uma onda de choque que pode atingir até 100 vezes a pressão inicial. Ocorre com explosivos industriais, como a nitroglicerina, e, em circunstâncias especiais, com mistura de gases e vapores em espaços confinados.

... e, em circunstâncias especiais, com mistura de gases e vapores em espaços confinados.

Explosão — O termo pode ser aplicado genericamente aos fenômenos onde o surgimento de ondas de pressão produzem efeitos destrutivos.

Deve-se observar que muitos autores denominam como explosão a ocorrência de deflagração ou de detonação, pois em qualquer dos dois casos aparecerão efeitos destrutivos, quando o ambiente onde ocorre a reação não pode suportar a pressão gerada.

2.2 Comportamento do combustível

Peios efeitos possíveis de uma combustão em função da velocidade de propagação, fica evidente a necessidade de se conhecerem os fatores que influem na velocidade de propagação, para que o técnico prevencionista possa calcular os riscos oriundos de determinada mistura combustível-comburente.

2.2.1 Estado físico

Para avaliação do risco de incêndio, o estado físico do combustível é o primeiro aspecto a ser analisado:

a) Combustível sólido — em condições normais, o aquecimento de um combustível no estado sólido provoca inicialmente a vaporização da umidade, obtendo-se um resíduo sólido (carbono fixo); posteriormente, pela ação do calor, são liberados compostos gasosos que reagirão com o oxigênio em presença do calor, até que seja consumida toda a matéria combustível.

b) Combustível líquido — a combustão dos líquidos, de composição $C_n H_m$, é decorrente de dois processos:

b) 1 Teoria da hidroxilação

Quando sob a

Os hidrocarbonetos pulverizados são decompostos, quando sob a ação do oxigênio e do calor, em compostos hidroxilados (tipo aldeído) de cadeia menor. A ação contínua do calor e do oxigênio acaba por transformar estes compostos em espécies químicas mais simples, como monóxido de carbono e hidrogênio, que sofrerão nova combustão, produzindo, finalmente, dióxido de carbono e água. Assim, a chama azul produzida no Bico de Bunsen, indicativa de combustão de monóxido de carbono e hidrogênio, teria explicação através desta teoria, pois no interior do Bico teríamos um gradiente de temperatura e a consequente formação de compostos hidroxilados complexos.

b) 2 Teoria do "craking"

Os hidrocarbonetos pulverizados, em mistura com o ar, ao serem submetidos a um aquecimento brusco, cindem, produzindo diretamente carbono e hidrogênio, que reagirão com o oxigênio, resultando dióxido de carbono e água como produtos finais. Esta teoria pode ser explicada através da queima de uma vela, pois a parafina liquefeita, ao se vaporizar no pavio, cinde diretamente em carbono e hidrogênio, quando em contato com a chama. A presença do carbono pode ser facilmente de-

tectada por meio da introdução de uma superfície fria no interior da chama, o que implicará um depósito de fuligem (carbono) sobre aquela.

Convém notar que, na prática, esses dois processos ocorrem simultaneamente, com predominância de um ou outro, dependendo do caso.

c) Combustível gasoso — em mistura com o oxigênio em proporções adequadas pode entrar em combustão pela ação de um pequeno arco voltaico, ou faísca gerada por atrito.

Pelas teorias apresentadas, conclui-se que o combustível sólido ou líquido entra em combustão somente após a vaporização ou produção de gás, a partir de sua decomposição, resultante da ação do calor e do oxigênio.

de oxigênio.

No entanto, há substâncias que são excluídas da regra geral, como o carvão vegetal e os metais piróforos, que, expostos ao oxigênio, entram espontaneamente em combustão.

2.2.2 Temperatura

Todo material possui certas propriedades que o diferenciam de outros, em relação ao nível de combustibilidade. Por exemplo, pode-se incendiar a gasolina com a chama de um isqueiro, não ocorrendo o mesmo em relação ao carvão coque. Isso porque o calor gerado pela chama do isqueiro não seria suficiente para levar o carvão coque à temperatura necessária para que ele liberasse vapores combustíveis.

temperatura necessária para que ele libere esse vapor é chamado de ponto de fulgor.

Cada material, dependendo da temperatura a que estiver submetido, liberará maior ou menor quantidade de vapores. Para melhor compreensão do fenômeno, definem-se algumas variáveis, denominadas:

- ponto de fulgor;
- ponto de combustão;
- temperatura de ignição.

a) Ponto de fulgor

É a temperatura mínima em que um combustível começa a desprender vapores que, se entrarem em contacto com alguma fonte externa de calor, se incendiam. Só que as chamas não se mantêm, não se sustentam, por não existirem vapores suficientes. Se aquecermos pedaços de madeira dentro de um tubo de vidro de laboratório, a certa temperatura a madeira desprenderá vapor de água; esse vapor não pega fogo. Aumentando-se a temperatura, em certo ponto começarão a sair gases pela boca do tubo. Aproximando-se um fósforo aceso, esses gases transformar-se-ão em chamas. Por aí, nota-se que um combustível sólido (a madeira), a certa temperatura, desprende gases que se misturam ao oxigênio (comburente) e que se inflamam em contacto com a chama do fósforo aceso.

O fogo não continua porque os gases são insuficientes, formam-se em pequena quantidade. O fenômeno observado indica o "ponto de fulgor" da madeira (combustível sólido), que é de 150°C (cento e cinquenta graus centígrados). O ponto de fulgor varia de combustível a combustível: para a gasolina ele é de -42°C (menos quarenta e dois graus centígrados); já para o asfalto é de 204°C (duzentos e quatro graus centígrados).

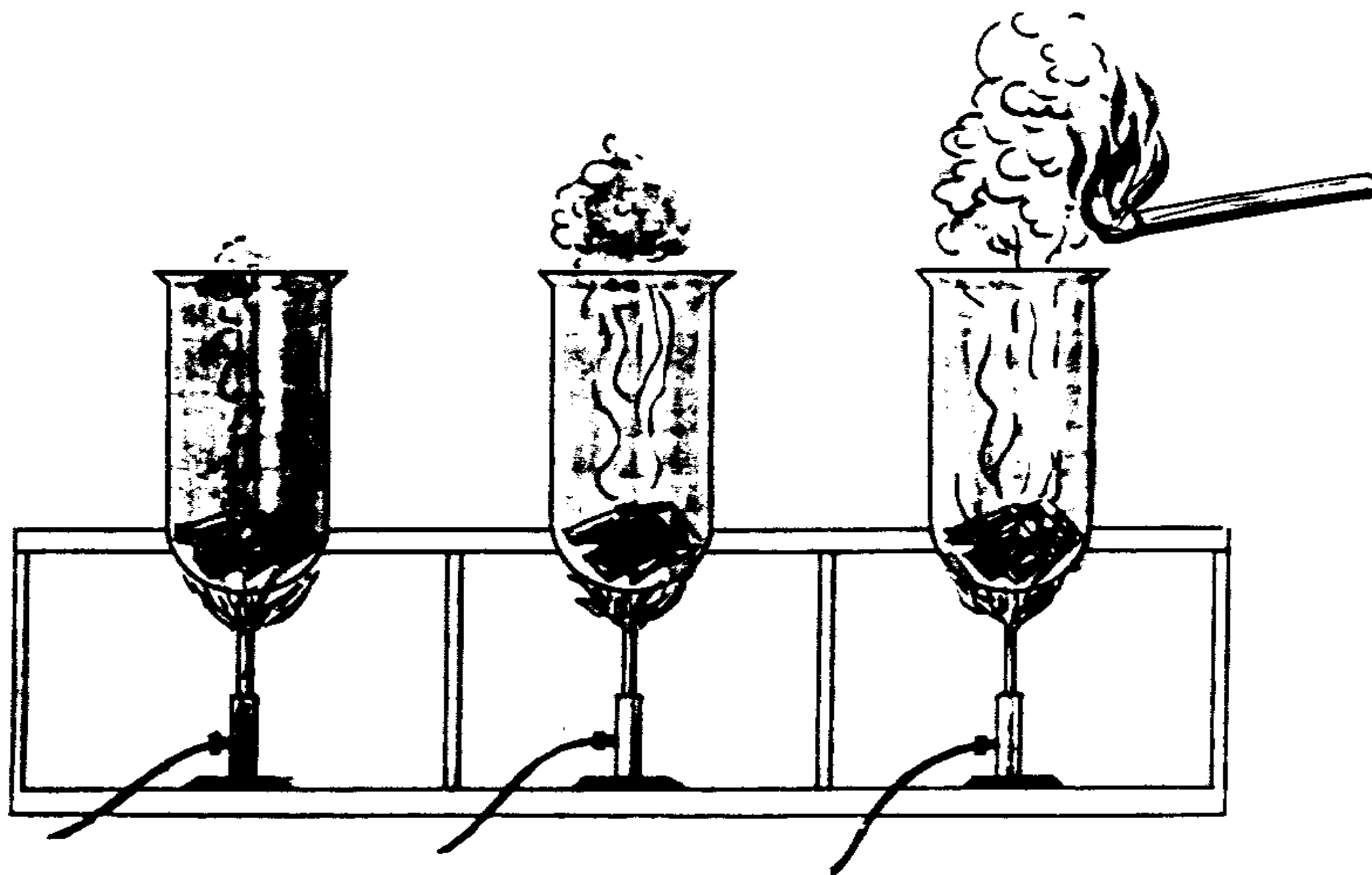


Figura 12 — Atuação da temperatura sobre a madeira.

b) Ponto de combustão

Na experiência da madeira (Figura 12), se o aquecimento prosseguir, a quantidade de gás expelida do tubo aumentará. Entrando em contacto com a chama do fósforo, ocorrerá a ignição, que continuará, mesmo que o fósforo seja retirado. A queima, portanto, não pára. Foi atingido o "ponto de combustão", isto é, a temperatura mínima a que esse combustível sólido, a madeira, sendo aquecido, desprende gases que, em contacto com fonte externa de calor, se incendiam, mantendo-se as chamas. No ponto de combustão, portanto, acontece um fato diferente, ou seja, as chamas continuam.

c) Temperatura de ignição

Continuando o aquecimento da madeira, os gases, naturalmente, continuarão se desprendendo. Em certo ponto, ao saírem do tubo, entrando em contacto com o oxigênio (comburente), eles pegarão fogo sem necessidade da chama do fósforo. Ocorre, então, um fato novo: não há mais necessidade da fonte externa de calor. Os gases desprendidos do combustível, apenas ao contato com o comburente, pegam fogo e, evidentemente, mantêm-se em chamas. Foi atingida a "temperatura de ignição", que é a temperatura mínima em que gases desprendidos de um combustível se inflamam, pelo simples contacto com o oxigênio do ar. O éter atinge sua temperatura de ignição a 180°C (cento e oitenta graus centígrados) e o enxofre a 232°C (duzentos e trinta e dois graus centígrados).

Uma substância só queima quando atinge, pelo menos, o ponto de combustão. Quando ela alcançar a temperatura de ignição, bastará que seus gases entrem em contacto com o oxigênio para pegar fogo, não havendo necessidade de chama ou de outra fonte de calor para provocá-lo. Convém lembrar que, mesmo que o combustível esteja no ponto de combustão, se não houver chama ou outra fonte de calor não se verificará o fogo.

Grande parte dos materiais sólidos orgânicos, líquidos e gases combustíveis contêm grandes quantidades de carbono e/ou de hidrogênio. Citamos como exemplo o gás propano, cujas porcentagens em peso são, aproximadamente, 82% de carbono e 18% de hidrogênio. O tetracloreto de carbono, considerado não combustível, tem aproximadamente, em peso, 8% de carbono e 92% de cloro.

2.2.3 Ventilação

Quanto mais ventilado for o local onde ocorre a combustão, mais viva ela será, pois haverá renovação do ar com a entrada de mais oxigênio, permitindo manter a reação em cadeia.

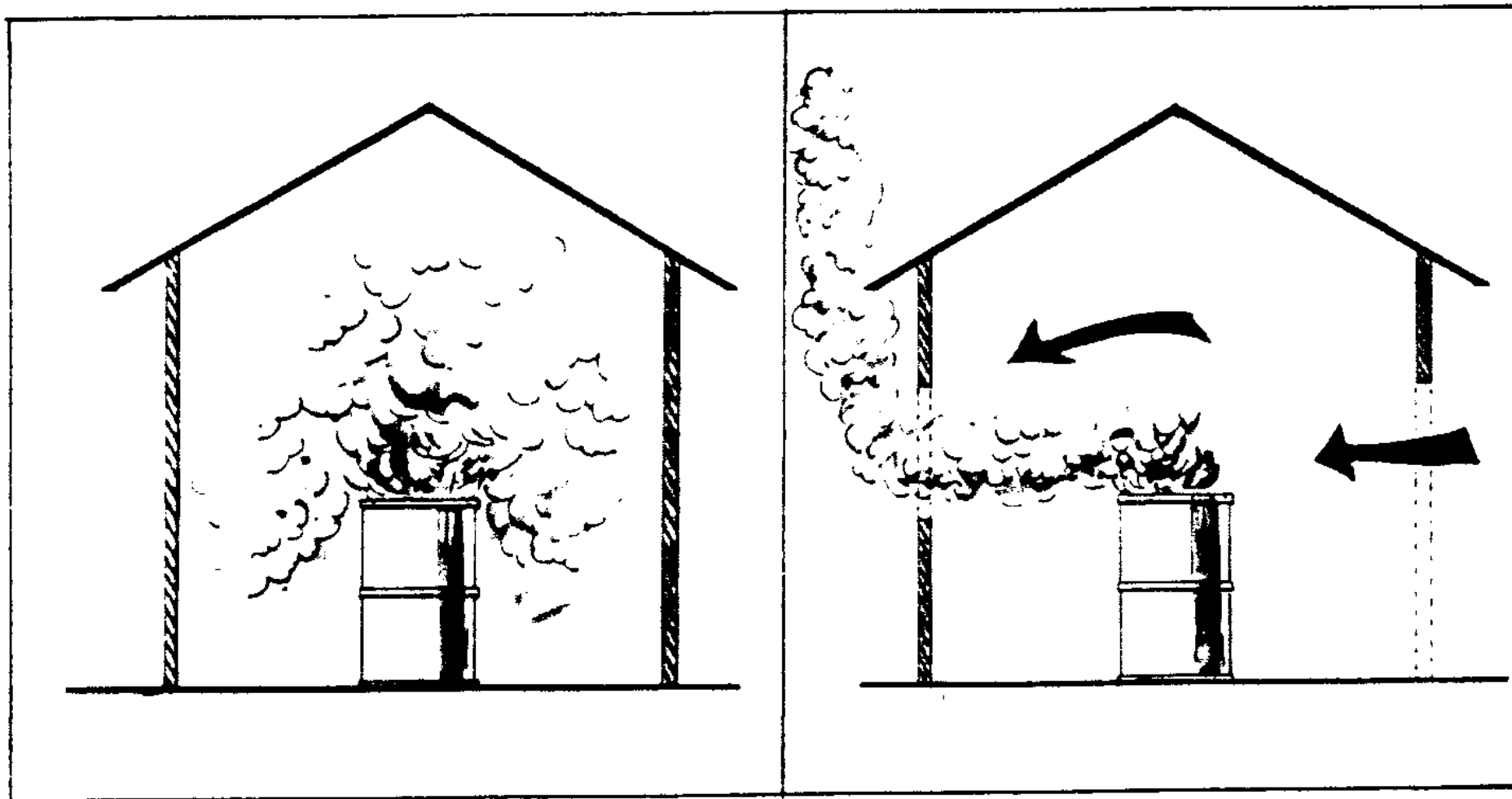


Figura 13 — Extinção por falta de oxigênio.

Figura 14 — Renovação de ar com incremento da combustão.

É por esse motivo que se recomenda à pessoa cujas roupas estejam em chamas, que não corra, pois, dessa forma, aumentará a ventilação e, conseqüentemente, as chamas. A pessoa deve deitar-se e rolar pelo chão até abafarem-se as chamas.

2.2.4 Forma física

Quanto mais subdividido estiver o material, mais rapidamente entrará em combustão. A Figura 15 mostra um exemplo clássico, pois a velocidade de propagação é muito maior na serragem do que na madeira maciça, embora a composição seja a mesma.

Isso se deve à maior superfície de contato entre combustível e comburente.

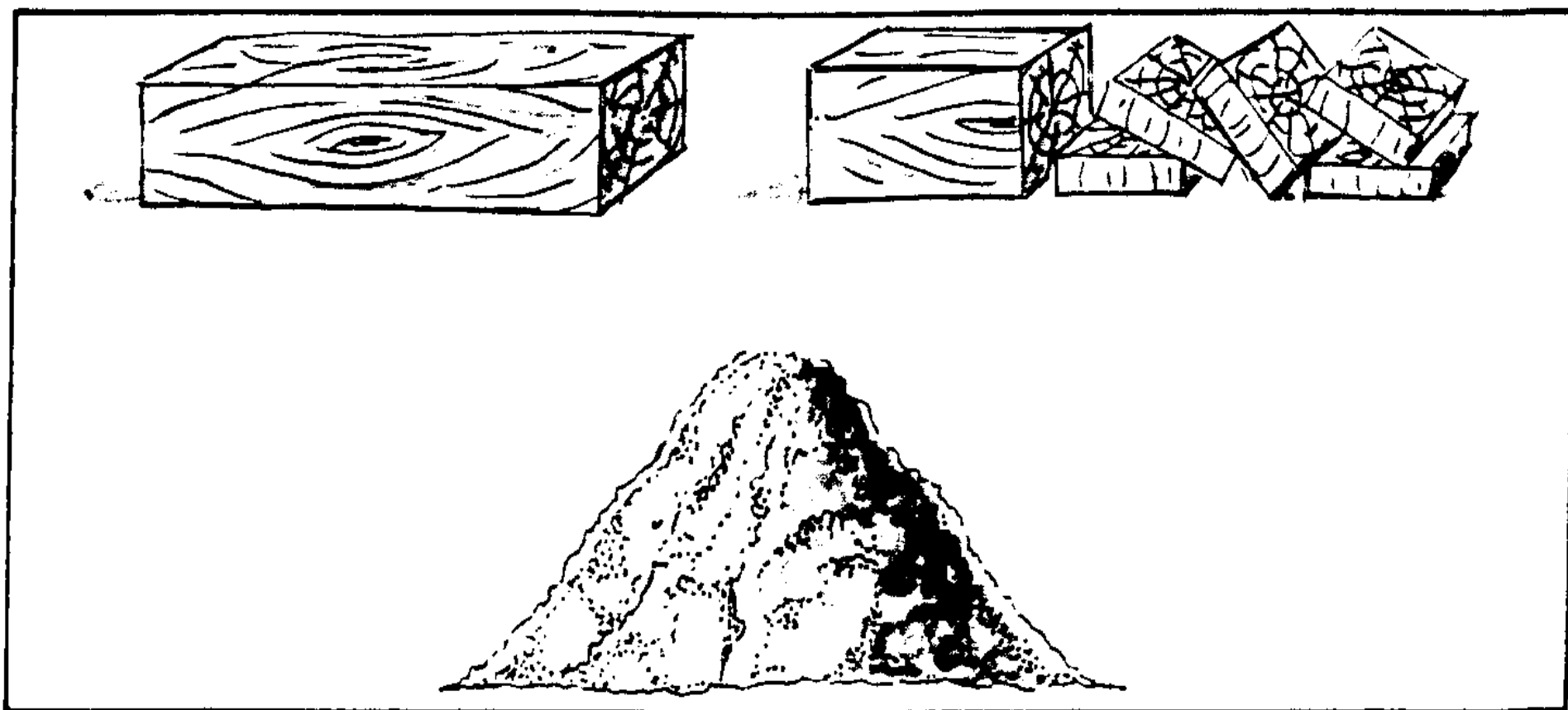


Figura 15 — Combustão em madeira.

Outro exemplo é o da gasolina em recipientes com aberturas de dimensões diferentes. Na Figura 16 a queima será muito mais rápida e intensa no 2.º caso, embora a quantidade de líquido seja a mesma.

Outro exemplo é o da gasolina em recipientes com aberturas de dimensões diferentes. Na Figura 16 a queima será muito mais rápida e intensa no 2.º caso, embora a quantidade de líquido seja a mesma.

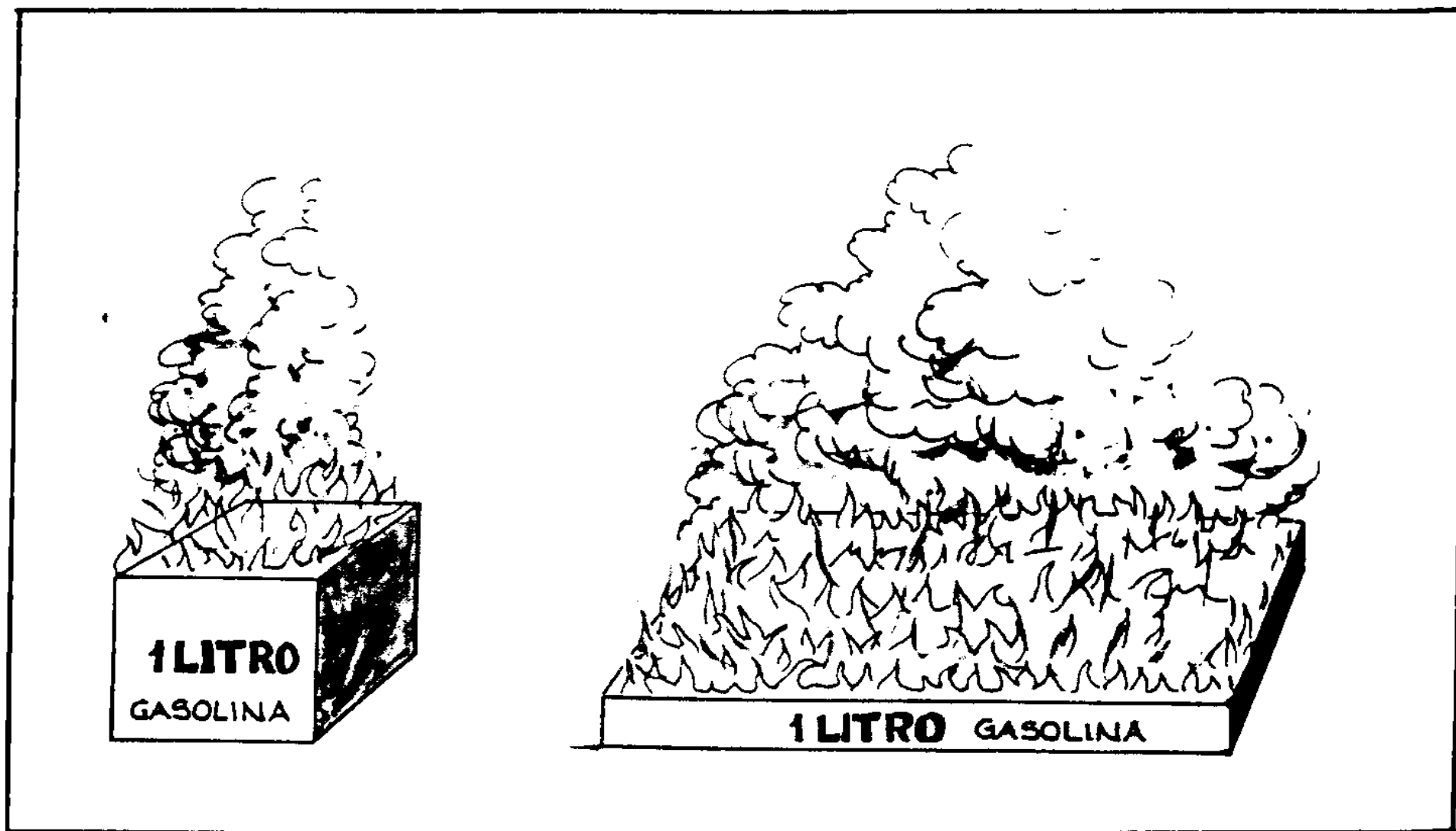


Figura 16 — A combustão depende da superfície combustível-comburente.

2.3 Comportamento do comburente

Considerando genericamente a combustão como uma reação de oxidação, a composição química das substâncias determinará o grau de combustibilidade do material.

Há substâncias que liberam oxigênio em certas condições, como o clorato de potássio. Outras podem funcionar como comburentes: por exemplo, uma atmosfera contendo cloro. Tais casos são mais esporádicos e seu estudo envolveria uma complementação de conhecimentos.

Em condições normais, a maior fonte de comburente é o próprio ar atmosférico que, em sua composição, possui cerca de 21% de oxigênio.

A partir de 16% de O_2 (oxigênio) no ambiente, já pode haver combustão com labaredas, e quanto maior a presença de oxigênio, mais viva será essa combustão.

Com a presença de oxigênio numa proporção entre 8 e 16%, não haverá labaredas, e numa proporção ainda menor, praticamente não haverá combustão.

Em ambientes hospitalares ou industriais, onde se manipule oxigênio puro (100%), deve ser feita uma análise de riscos mais severa.

Na presença de gases combustíveis, como propano, butano, metano, o limite inferior de concentração de oxigênio necessário para a combustão está próximo a 12%, e para o hidrogênio esse limite está próximo a 5%.

Dessa forma, as medidas de prevenção devem ser intensificadas.

2.4 Fontes de calor

As fontes de calor em um ambiente podem ser as mais variadas:

- a chama de um fósforo;
- a brasa de um cigarro aceso;
- uma lâmpada;
- a chama de um maçarico etc.

A própria temperatura ambiente já pode vaporizar um material combustível; é o caso da gasolina, cujo ponto de fulgor é de, aproximadamente, -40°C . Considerando-se que o ponto de combustão é superior em apenas alguns graus, a uma temperatura ambiente de 20°C já ocorre a vaporização.

O calor pode atingir determinada área por condução, convecção ou radiação.

2.4.1 Condução

A propagação do calor é feita de molécula para molécula do corpo, por movimento vibratório. A taxa de condução do calor vai depender basicamente da condutividade térmica do material, bem como de sua superfície e espessura. É importante destacar a necessidade da existência de um meio físico.

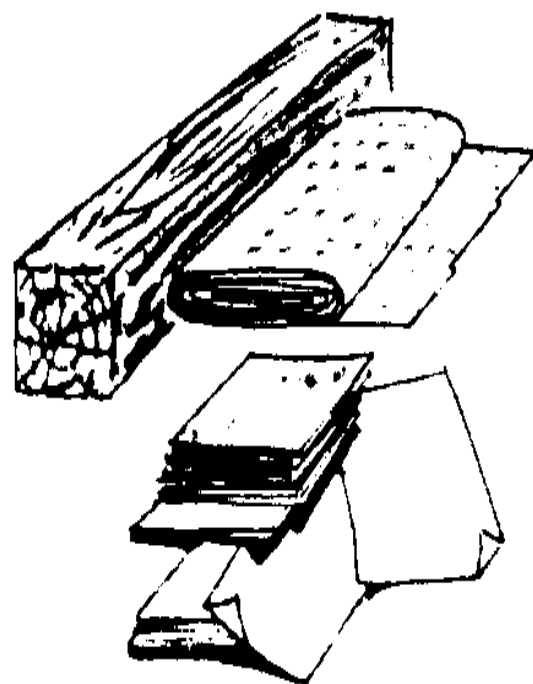
2.4.2 Convecção

É uma forma característica dos fluidos. Pelo aquecimento, as moléculas expandem-se e tendem a elevar-se, criando correntes ascendentes a essas moléculas e correntes descendentes às moléculas mais frias. É um fenômeno bastante comum em edifícios, pois através de aberturas, como janelas, poços de elevadores, vãos de escadas, podem ser atingidos andares superiores.

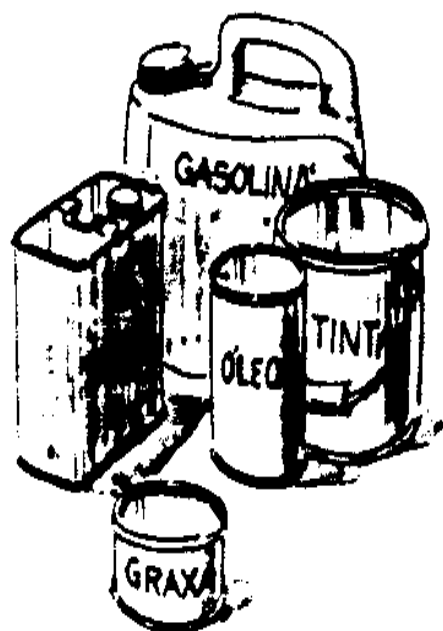
2.4.3 Radiação

É a transmissão do calor por meio de ondas. Todo corpo quente emite radiações que vão atingir os corpos frios. O calor do sol é transmitido por esse processo. São radiações de calor as que as pessoas sentem quando se aproximam de um forno quente.

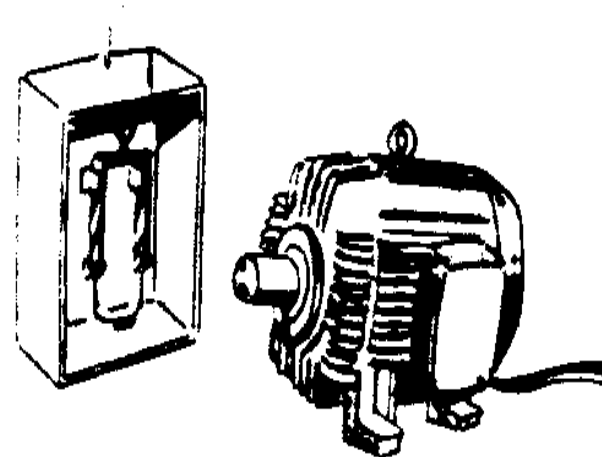
• *Classes de incêndio*



classe A



classe B

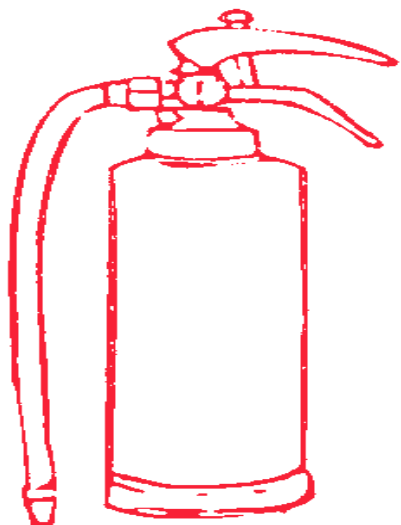


classe C

TIPOS DE AGENTES EXTINTORES DE VÁRIAS CLASSES DE FOGO

Classificação do fogo	Descrição	Efeito de Extinção Necessário	Extintores
Fogo de Classe A	Materiais de combustão comum: madeira, papel, tecido, entulho, etc.	Refrescante extintor	ácido, soda, espuma, água, cloreto de cálcio ou jato carregado
Fogo de Classe B	Líquidos inflamáveis, graxas, óleos, gasolina, tintas, resinas, etc.	Abafador cobertura	espuma, dióxido de carbono, pó químico, areia, soda, serragem
Fogo de Classe C	Equipamento elétrico	Agente não condutor	Líquido vaporizável, tetracloreto de carbono, dióxido de carbono, pó químico

AGENTES EXTINTORES

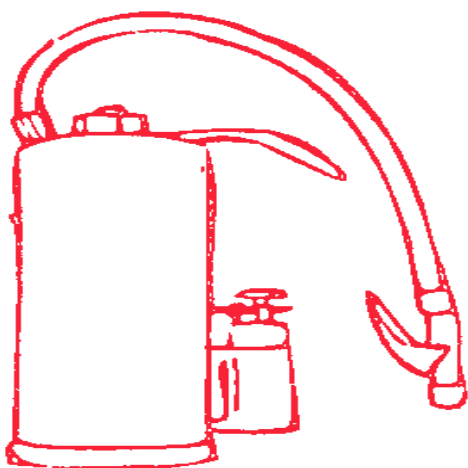


Fogo Classe A

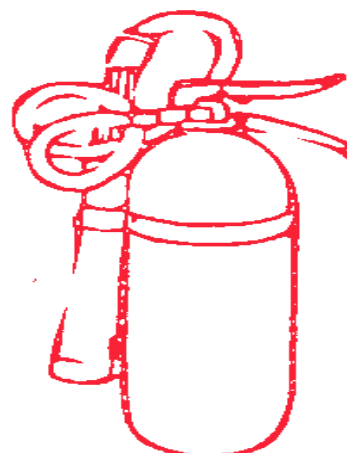


Não mais Utilizado

Fogo Classe B



Fogo Classe B



Fogo Classe C

Riscos inerentes

A avaliação dos riscos deve considerar ainda características inerentes a cada substância. As principais são:

Limite de inflamabilidade ou explosividade

São concentrações de vapor ou gás em ar, abaixo ou acima das quais a propagação da chama não ocorre, quando em presença de fonte de ignição. O limite inferior é a concentração mínima, abaixo da qual a quantidade de vapor combustível é muito pequena (mistura pobre) para queimar ou explodir. O limite superior é a concentração máxima acima da qual a quantidade de vapor combustível é muito grande (mistura rica) para queimar ou explodir.

Intervalo de inflamabilidade ou explosividade

É o intervalo entre os limites inferior e o superior de inflamabilidade ou explosividade.

Densidade de vapor ou gás

É a relação entre os pesos de iguais volumes de um gás ou vapor puro e o ar seco, nas mesmas condições de temperatura e pressão.

...e o aumento da temperatura é previsto.

Combustão espontânea

Reação exotérmica que ocorre com algumas substâncias como os metais piróforos ou pirofóricos, ao entrarem em contato com o oxigênio do ar ou com agentes oxidantes. Por um processo de aquecimento espontâneo, ao atingir a sua temperatura de ignição, entram em combustão.

Esse aquecimento, na maioria dos casos, processa-se lentamente, como, por exemplo, em estopas embebidas em graxa. O controle de elevação da temperatura e a armazenagem em recipientes de segurança são medidas recomendadas.

