INCÊNDIOS E ARQUITETURA

TEODORO ROSSO

1975

INCÊNDIOS E ARQUITETURA

TEODORO ROSSO
Engenheiro Civil

Março 1975

PRIMEIRA PARTE

INCÊNDIOS E ARQUITETURA

INTRODUÇÃO

TEODORO ROSSO
Engenheiro Civil

SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS E TECNOLOGIA DA ARQUITETURA

1. As consequências dos incêndios são frequentemente fatais para o homem, devendo-se portanto considerar a segurança contra o fogo como um requisito essencial de habitabilidade.

   Em geral os países culturalmente mais adiantados adotam medidas destinadas a garantir a incolumidade humana, através de códigos e regulamentações de prevenção e mediante a organização de serviços especializados de combate.

   A partir da segunda guerra mundial, a problemática da segurança contra o fogo tem sido colocada em termos de uma abordagem global, em bases científicas e essa mudança de atitude deve-se não somente à influência do progresso técnico e científico, mas certamente também à observação do aumento sensível da frequência e da severidade dos incêndios em proporção direta do desenvolvimento industrial de um país.

   Com este enfoque a segurança passa a ser fruto muito mais de uma ação de prevenção e confinamento exercida no projeto do que o efeito de meios de combate utilizados após o início do fogo.

2. Nestes termos, cabendo ao arquiteto o domínio dos requisitos de habitabilidade, destaca a responsabilidade deste profissional e a oportunidade de incluir nos "curricula" escolares a tecnologia da segurança contra incêndios.

   Propõe-se esta tese em primeiro lugar colocar e desenvolver os fundamentos para um programa desta natureza a ser ministrado numa faculdade de arquitetura.

3. Por outro lado nos move também a posição pessoal em relação à formulação dos Códigos de Edificações, segundo a qual, condições de habitabilidade, isto é segurança, higiene e conforto, não podem ser ditadas objetivamente sem o perfeito conhecimento dos fenômenos que as governam.

As palavras que a seguir citamos, de autoria de T. Z. Harmathy, referem-se à segurança contra o fogo e ilustram claramente este nosso ponto de vista, mas é fácil sua extrapolação para qualquer outro tema de regulamentação de edificações:

" ... stereotyped measures for the fire safety by various building codes are inadequate in that they can result in both under-protected and over-protected buildings. With a better understanding of the characteristic features of compartment fires, the building designer will be in a better position to predetermine the nature of fire and select the most appropriate way of dealing with it.

... In some respect, the process of designing a building for fire safety may be described as faithfully executing code regulations, since the most important aspects of providing fire safety in buildings are governed by strict codes. There are encouraging signs, however, that this situation will change during the coming years and the designer will be free to select the most effective means of coping with the fire problem. " (1)

4. O trabalho é dividido em quatro partes principais nas quais é feita a anatomia do incêndio e destacado o papel do arquiteto:

1) Introdução
2) Fenômenos característicos e parâmetros típicos
3) Desempenho de materiais e componentes
4) Critérios de projeto

Sob o prisma metodológico o trabalho foi desenvolvido considerando-se a ação contra o fogo como sendo conduzida em quatro fases que definimos de:

1) Prevenção
2) Confinamento
3) Combate
4) Rescaldo

---

(1) ZARMATHY T.Z., Design Approach to Fire Safety in Buildings, Progressive Architeture, Abril 1974.

5. Tendo em vista a amplitude do tema, é dada mais ênfase no estudo da problemática relativa a edifícios residenciais e de escritórios, com referência especial aos edifícios altos.

Dedico este trabalho à memória do Prof. EngQ Eládio Petrucci - cuja palavra e exemplo me estimularam a realizá-lo.

SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS E TECNOLOGIA DA ARQUITETURA

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO

1.1.0 REQUISITOS DE HABITABILIDADE

1. Os requisitos de habitabilidade de uma edificação destinam-se a assegurar a satisfação de exigências de natureza fisiológica, sociológica, psicológica e econômica que definem o processo bionômico humano. Estes requisitos são domínio de várias áreas, sistemicamente interrelacionadas mas que por ordem de valor devem ser representadas por:

- Segurança
- Higiene
- Conforto
- Economia

Segurança e higiene são diretamente relacionadas com a incolumidade e a sobrevivência do homem, mas o desenvolvimento econômico e industrial e o crescimento urbano acelerado e desordenado, têm por efeito uma prevalência sempre mais acentuada dos acidentes sobre as doenças.

Do que a peste, cólera, gripe espanhola e outras doenças epidêmicas fizeram à humanidade na sua história atribulada, só nos resta a lembrança nos tópicos de algumas enciclopédias que consultamos movidos mais por curiosidade do que por outra razão.

Entretanto sabemos que a tranquilidade que nós, leigos, mostramos perante esses males terríveis é o resultado de uma luta sem quartel que muitos abnegados enfrentaram em várias frentes: nas regiões atacadas, nos hospitais, nos laboratórios, nas escolas e que culminaram na estruturação de um sistema permanente de alerta e

prevenção no qual todos os países se uniram sob a égide da OMS, Organização Mundial da Saúde.

2. Hoje entretanto, algo pior ameaça a humanidade: é a epidemia dos acidentes. Este mal do século que o progresso nos trouxe e constantemente alimenta e incrementa, é muito mais árduo de ser submetido a controle, eis que apresenta uma infinidade de causas e efeitos, cuja profilaxia ainda não encontrou uma sistemática válida e para os quais é difícil imaginar meios terapêuticos próprios.

1.2.0 CATEGORIAS DE RISCOS E SEGURANÇA DAS EDIFICAÇÕES

1. Risco é a probabilidade de ocorrência de um evento perigoso.

Em tese, os riscos podem ser agrupados em três categorias principais:

1) riscos correntes devidos ao habitat do homem,
2) riscos oriundos de causas externas que envolvem a capacidade ou habilidade condicionadora do homem,
3) riscos totalmente independentes nas suas causas e efeitos da capacidade condicionadora do homem.

Podemos ainda classificar os riscos em:

- decorrentes do meio ambiente natural
- decorrentes do meio ambiente artificial
- previsíveis e controláveis
- imprevisíveis e incontroláveis

1.2.1 RISCOS EM EDIFÍCIOS

1. Em edifícios podem se verificar os seguintes riscos típicos:

1. Colapso estrutural
por erro de concepção, dimensionamento insuficiente, não obediência às normas, descuido nos dese-

nhos, má qualidade dos materiais, técnicas de execução impróprias, execução deficiente, etc.

2. Colapso material
por deterioração ou destruição decorrente de ações químicas, físicas, químico-físicas, atmosféricas, geológicas, micro-biológicas (ação de organismos, môfos, insetos, etc), estabilidade do solo, choques mecânicos internos e externos, etc.

3. Ações mecânicas externas e internas, vibrações, explosões.

4. Quedas.

5. Inconvenientes de circulação e obstáculos internos.

6. Eletrocussão e raio.

7. Incêndio.

8. Inundações.

9. Vento.

10. Asfixia e afogamento.

11. Chuva e granizo.

12. Radiações.

13. Iluminação e visibilidade insuficiente, ofuscamento direto ou indireto.

14. Ruído excessivo.

15. Intrusão e devassamento humano.

16. Intrusão de animais.

17. Ações bélicas.

18. Pânico

etc.

2. A partir da classificação apresentada, podemos estabelecer uma sistemática na abordagem do estudo da segurança nos edifícios.

Riscos totalmente independentes da capacidade condicionadora do homem ou seja, totalmente aleatórios e incontroláveis - como a queda de um avião sobre um edifício não permitem utilizar medidas diretas de qualquer tipo a não ser mas com caráter limitado, as de controle urbanístico. Fora disso podem caber sòmente medidas indiretas de caráter securitário.

Riscos decorrentes de causas externas parcialmente previsíveis e controláveis exigem medidas preventivas, corretivas e educativas.

1.3.0 SEGURANÇA E CÔDIGOS DE EDIFICAÇÕES

1. É evidentemente impossível eliminar diretamente todos os riscos que podem por em jogo a segurança humana, pois eles estão em parte condicionados a fatores imponderáveis/ e uma ação global seria anti-econômica. Uma abordagem unitária para a eliminação do risco deveria ser conduzida em três frentes, preventiva, corretiva, e educativa.

   Assim um estudo objetivo a partir de estatísticas dignas/ de fé, deveria analisar a relação entre a frequência de acidentes e o custo das medidas necessárias para seu contrôle, procurando com meios matemáticos a otimização da solução. O critério econômico permitiria definir um nível de segurança desejável e um alcançavel. Sem considerações de caráter securitário, admitir-se que a vida humana não/ tem preço, não significa necessáriamente que os riscos devam ser eliminados totalmente pois está condição é materialmente impossível. Definido portanto um nível de segurança desejável a análise das várias opções deveria ser baseada no custo adicional compativel com o empreendimento (2).

2. Atualmente o recurso mais imediato para assegurar um certo grau de segurança é representado pelo Código de Edificações.

   Vale a pena lembrar que o primeiro documento moderno é o London Building Act que foi promulgado principalmente em conse

---

(2) LIE T.T., Economic Design for Fire Safety, em Build International, Agosto 1974, Londres.

quência do grande incêndio que assolou a capital britânica em 1966, com o intuito de que se repetisse no futuro.

Segundo o critério mais acatado atualmente na formulação da regulamentação da edificação que se baseia essencialmente na preocupação de assegurar o desempenho da edificação nas suas partes e no seu todo, devem ser focalizados vários aspectos, físicos, materiais, psicológicos, espaciais, etc.

Outros aspectos não menos importantes dizem respeito ao homem como objeto do risco, devendo-se considerar a sua capacidade de prevenção condicionada ao seu nível cultural e social e a influência da faixa etária no que tange os reflexos e às condições físicas.

Na prática um estudo dessa natureza apresenta conotações de extrema complexidade mas em princípio a segurança é prioritária em relação à higiene e ao confôrto.

1.4.0. SEGURANÇA CONTRA O FOGO E EXIGENCIAS HUMANAS

1. Incêndio é um fogo selvagem, incontrolado e de extensão incomum que atinge e põe em risco vidas e bens.

A ação contra o fogo pode ser orientada por três critérios :

1) garantir a incolumidade das pessoas
2) assegurar a salvaguarda dos bens
3) permitir a recuperação da edificação.

Em geral cabe ao poder público assegurar a primeira condição, enquanto as exigências das companhias de seguro se destinam principalmente a obter as outras duas condições em têrmos essencialmente econômicos.

São duas abordagens diferentes que se refletem na formulação das normas respectivas e, embora o substrato tecnológico seja o mesmo, geralmente os códigos de edificações, com raras exceções como os russos, são apenas orientados pelo primeiro critério.

Assim mesmo não podemos ignorar que a prevenção tem por objetivo não sòmente resguardar a incolumidade física de vidas que

não têm preço, mas também proteger o patrimônio público e privado. Verificaremos, no decurso do estudo que, embora não seja econômicamente viável assegurar sempre a recuperação de um edifício atingido pelo fogo, é entretanto possível reduzir os danos, obedecendo a algumas regras de concepção e escolhendo materiais de acordo com seu desempenho previsível em relação ao fogo.

1. ações de contra
2. contratempo

2. Partindo dessa premissa, é oportuno estabelecer o que entende-se por incolumidade. Os riscos decorrentes do fogo não são somente queimaduras fatais ou não, e escaldaduras, mas também: asfixia, envenenamento, contusões, irritações, cortes, colapsos, síncopes, etc., decorrentes de efeitos secundários do fogo, tais como: radiações, falta de oxigênio, gases nocivos, agressivos ou tóxicos, fumaça, explosões, colapsos materiais ou estruturais, pânico, etc.

alterações no padrão de atividade do sistema nervoso.

Incolumidade portanto significa salvaguarda das vidas humanas contra o efeito fatal de todos esses riscos. É evidente que não é possível garantir uma incolumidade absoluta pois os fatores que influem sobre a ação do fogo são inúmeros e extremamente aleatórios, portanto frequentemente imprevisíveis.

emboscada, ilada

3. A insídia mais perigosa atinge indivíduos adormecidos, durante a noite: portanto uma primeira condição é que a propagação do fogo não se realize violentamente, com desenvolvimento instantâneo de gases que provoquem asfixia durante o sono, ou com rapidez tal que impeça qualquer reação por parte dos moradores.

4. De dia ou de noite é necessário que as pessoas possam ser colocadas a salvo, com a menor incidência possível de riscos diretos ou indiretos, com recursos próprios ou graças aos socorros externos.

Esta condição encerra uma série de requisitos que escapam inclusive ao controle da edificação individualmente considerada para atingir a área do urbanismo e da

técnica do combate ao fogo. Com efeito, tendo em vista que devemos garantir a incolumidade da população fixa ou acidental da edificação, a questão fundamental a ser proposta é relativa ao tempo em que essa condição deve ser mantida. Isto envolve considerações a respeito da edificação e de sua locação; uma habitação térrea ou um sobrado podem permitir a evacuação dos moradores sem recorrer a equipamentos dos bombeiros. Quando a edificação tem vários pavimentos a saída direta nem sempre é possível e a intervenção dos bombeiros é indispensável; neste caso é preciso considerar as condições, primeiro, do percurso entre o quartel e o local, e segundo, de acesso ao próprio local. Temos assim um condicionamento ao trânsito e aos característicos da rua ou de logradouro em que a edificação se situa: largura, declividade, tipo e condição da pavimentação, posteamento e redes aéreas, abastecimento de água, que condicionam a intervenção e operação mais correta e eficiente dos meios de combate e salvamento.

5. Portanto o prazo em que deve ser conseguida a incolumidade pode variar de local a local e esta é também uma condição de zoneamento, na qual os parâmetros básicos são o raio de ação máximo de cada quartel e a velocidade máxima de locomoção dos carros em função do trânsito mais desfavorável.

página importante a ser apresentada em um gráfico de argila letras

Durante esse prazo deve-se afastar o perigo de colapso estrutural e material da edificação e de suas partes: em outras palavras cada parte e cada componente devem manter intacta sua capacidade de atender às funções para as quais forem projetadas.

processo de transmissão de calor que é acompanhado por um transporte de massa efetuado pelos correntes.

6. Mas um estudo rigoroso envolve também a legislação urbanística em outros aspectos que dizem respeito à transmissão do calor por convecção e radiação e da propagação direta do fogo aos edifícios vizinhos o que implica necessariamente a definição de medidas destinadas a limitar esses efeitos, tais como: recuos laterais e de fundo, larguras de rua, etc.

parte da mecânica que estuda os movimentos

processo físico de emissão e propagação de energia seja por um processo de fenômenos ondulatórios ou por partículas dotadas de energia cinética

7. Uma quarta exigência diz respeito à garantia assegurada a certos locais de circulação interna horizontal e vertical, para permitir aos moradores alcançarem pontos onde seja possivel aguardar sem risco, a intervenção de meios externos, utilizando-os na hora oportuna/ com facilidade, ou em edificios altos, prever locais a prova de fogo, onde seja possível garantir condições - mínimas de sobrevivência até a extinção do incêndio.

8. Quando os edificios forem de grande altura, superior - ao alcance máximo das escadas mecânicas dos bombeiros/ requisitos adicionais devem ser exigidos para a circulação vertical das pessoas. Em geral as escadas Magirus, em dotação ao Corpo de Bombeiros da Capital, têm sua altura limite em torno de 45 metros que, tomando - por base uma altura de pavimento média de 2,65, corresponde a um edificio de 17 pavimentos. (3)

Este dado mostra a precariedade de grande número de edificios que deveriam ser dotados de recursos adicionais para o salvamento de seus habitantes e na realidade nem dispoõem dos requisitos mínimos.

Estas medidas complementares incluem, como veremos, escadas de segurança e eventualmente também elevadores - de segurança com caixas estanques ao fogo, servindo setores diferentes nos quais a edificação é dividida por meio de vêdos corta-fogo verticais e horizontais.

9. Isto encerra também precauções para evitar condições - favoráveis ao surgimento ou mesmo provocação de pânico. ?
Este é um estado de espirito, de terror que pode ser definido como um comportamento de fuga provocado pelo/ mêdo, com caráter irracional, não adaptativo e anti-social que reduz as probabilidades de salvação de um grupo no seu conjunto. Os estudos e pesquisas experimentais não podem ser considerados conclusivos e os resultados de inqueritos com pessoas envolvidas em incêndios são bastante controvertidos para que se possa - tomá-los como diretriz para medidas destinadas a evitar pânico.
Geralmente as pessoas preferem afastar-se do local de um incêndio quando percebem a ameaça, antes que lutar para dominá-lo ou circunscrevê-lo. (2A)
Sôbre o comportamento agem sem dúvida as condições da população, a faixa etária, o estado de saúde, o conhecimento dos meios de emergência, mas para o surgimento

pânico

(3) Tipo americano mais moderno com plataforma de braço articulado (Firebird) pode atingir 54 metros, mas sua operação é dificil em ruas estreitas.

(2A) WOOD. P.G., Behaviour of People in Fires, Fire Research Note 953/BRE-UK., 1972.

do pânico concorrem a propagação rápida da fumaça que impede a visão, a aglomeração repentina de pessoas provocada pelo impedimento dos caminhos de evacuação e a reação consequente ao comportamento de algumas pessoas. Embora este risco seja de difícil controle, existe a possibilidade de reduzir sua ocorrência mediante a organização da circulação. Em geral nos edificios destinados a habitação, o estado de alerta em relação ao incêndio é progressivo e o resgate pode ser escalonado, o que não ocorre em salas de espetáculo em que o alarme é geral, movimentando de forma quase instantânea grandes massas humanas, favorecendo portanto o pânico.

10. Recorrer a heliponto no topo do edificio nem sempre é solução possível ou conveniente e de qualquer maneira é válida somente quando fôr possível assegurar o acesso/ desde os pavimentos inferiores.

11. Resta ainda a considerar-se o fato de que os acessos externos devem ser localizados em pontos ao alcance das escadas dos bombeiros, e este requisito envolve localização oportuna das escadas internas.

1.5.0 AÇÃO CONTRA O FOGO

1. A ação contra o fogo é exercida em duas frentes:
   - passiva: proteção
   - ativa: ataque

   configurando quatro fases bem definidas:

   - prevenção
   - confinamento
   - combate
   - rescaldo

2. Na primeira fase são tomadas as medidas que visam controlar a sua ocorrência. Na segunda são tomadas as medidas que permitem extinguir o fogo na própria fonte, ou confiná-lo numa condição que assegure, num tempo determinado, a incolumidade e o salvamento das pessoas. Na terceira é dado combate visando sua extinção. O fim da segunda e o inicio da terceira fase facilmente se confundem. A quarta, de rescaldo, destina-se a eliminar os possíveis focos de reavivamento do fogo, ocultos nas cinzas, entulho e escombros.

As medidas da primeira incluem em parte, projetos elaborados corretamente, utilizando-se materiais cujos características de ignição sejam perfeitamente conhecidos, isolando-se as partes do edifício caracterizadas por riscos previsíveis de surgimento, deflagação ou alastramento de fogo, especificando-se produtos e técnicas construtivas perfeitamente definidos em normas pertinentes.

A ação do projetista deve ser nesta fase apoiada em Códigos de Edificações e em Posturas Municipais às quais cabe compulsoriamente definir as medidas de prevenção, assim como garantir permanentemente o destino do edifício. É elevada a incidência de incêndios decorrentes de utilização imprópria parcial ou total de edifícios, diferente daquela para a qual foram projetados: nenhuma atividade comercial, artesanal ou industrial deveria ser realizada em edifícios residenciais ou de escritórios, quando estas atividades implicam ... riscos de acidentes de qualquer natureza. Esta proibição deve ser mais severamente exigida quando o risco é de incêndio.

3. Veremos mais adiante porém que dentre os riscos mais comuns de incêndio registram-se alguns que escapam a um controle preventivo direto e devem ser objeto de uma ação educativa profunda. Decorre desta constatação a importância da segunda fase e do papel que cabe ao arquiteto; a este respeito reproduzimos aqui as palavras com que A. Tosi prefacia o seu ótimo livro "Tecnologie Antincendi nelle Construzioni":

"... Na realidade o incêndio é a consequência e, de certa maneira a expiação de uma imprudência, de um esquecimento, de uma negligência e frequentemente de uma ignorância. O teatro do incêndio é quase sempre um edifício. O projetista deve lembrá-lo e não deve ele também de maneira simplista cometer o grave erro de considerar seguro contra os perigos de incêndio um edifício

somente porque é incombustível. Os objetos contidos no mesmo, ainda que de simples decoração, já podem dar origem a grandes incêndios mas por outro lado o fato de não serem combustíveis não significa sempre que as estruturas de um edifício sejam resistentes ao fogo.

O projetista, se obviamente não pode impedir que se verifiquem futuramente incêndios no edifício por ele concebido, pode entretanto determinar as medidas eficazes para salvaguardar a vida das pessoas, para impedir a propagação do incêndio, para assegurar que as estruturas resistam a uma ação térmica severa, para limitar portanto amplamente os danos a pessoas e bens".

4. As medidas da segunda fase são principalmente objeto do projeto e das posturas mas incluem a operação de equipamentos de detecção do fogo, tais como alarmes automáticos, ou de confinamento imediato tais como, chuveiros automáticos (sprinklers), extintores, hidrantes, etc. Abrangem também medidas visando orientar e disciplinar o movimento das pessoas e organizar sua circulação horizontal e vertical para atingir os pontos de refúgio onde está previsto resgate eventual por equipamento externo, ou os pontos de evacuação definitiva externa, segundo o tipo de edifício.

Técnicas de comunicação visual altamente sofisticadas podem conseguir resultados apreciáveis, mas obviamente o recurso ao treinamento periódico é indispensável para garantir que o equipamento seja utilizado corretamente, no momento oportuno, pela pessoa mais qualificada. Isto nos leva a propor que seja seriamente considerada pelas autoridades competentes a oportunidade de constituição de CIPAS prediais. De conformidade com a CLT e a portaria 32 do DNSHT, as Comissões Internas de Prevenção de Acidentes, são obrigatórias em toda indústria que registre mais de 100 empregados. Percebe-se facilmente que essa exigência pode ser colocada também

para edifícios residenciais ou comerciais observadas as devidas proporções, com representação do pessoal da administração e da população fixa. Decisão semelhante foi adotada em vários países da Europa, durante a última guerra, conseguindo-se ótimos resultados.

5. As medidas principais entretanto, que, como já frizamos, devem ser previstas no projeto e nas posturas, dizem respeito à correta utilização de materiais e componentes no que tange ao comportamento ao fogo e à escolha de partidos e soluções arquitetônicas que assegurem o escoamento ou resgate das pessoas sem riscos apreciáveis.

6. A ação de combate, que constitui a terceira fase é prerrogativa e responsabilidade do Corpo de Bombeiros, dos Órgãos de Segurança e das equipes especializadas - de várias repartições e concessionárias como SABESP, LIGHT, etc.

7. Realça entretanto observar que precauções complementares podem ser sugeridas visando facilitar a ação de combate: entre elas a mais importante é assegurar em reservatório privativo a disponibilidade de volume de água suficiente para o início imediato da ação de combate.

Das considerações acima ressalta o papel que cabe aos órgãos fiscalizadores, especialmente na fase de prevenção. A ação de conscientização, prevalentemente educativa, é oportuno que se diga, deve alcançar também os que têm a responsabilidade de assegurar o respeito de normas e posturas. Esta responsabilidade é coletiva, pois todo cidadão tem o dever de zelar pela segurança contra qualquer risco de acidentes. A conscientização, entretanto deve ser dirigida não somente àqueles que desempenham funções executivas mas sobretudo aos que, pela natureza dos cargos que ocupam e pelo poder de decisão que possuem, têm o dever de propiciar os meios e os recursos para que a ação fiscalizadora seja realiza

da de maneira eficiente e sistemática.

A ação contra o fogo visa portanto atingir quer as causas, como os efeitos deste fenômeno.

1.6.0 CAUSAS DE INCÊNDIOS

1. Os riscos de incêndios podem ser internos e externos. Internos quando decorrem de fontes internas ao edifício e externos quando são transmitidos pelo ambiente externo, tais como raios, explosões ou por propagação direta ou por radiação de incêndios próximos.
Neste tópico serão caracterizadas as causas mais comuns e sugeridas medidas gerais deprevenção. O exame detalhado do comportamento dos materiais será entretanto desenvolvido na terceira parte deste trabalho.

2. Pesquisa abrangendo 14 países, realizada alguns anos atrás por K. Kawagoe, revela que mais avançado o nível de industrialização de um país, mais alta é a incidência de incêndios e de mortes. Isto mostra que em geral/ as causas mais frequentes de incêndios devem ser procuradas nas próprias condições criadas pelo progresso e nos instrumentos destinados a melhorar a qualidade de vida do homem.

3. Segundo dados coletados por Caravaty e Haviland (4) nos Estados Unidos, onde o fogo causa cerca de 12.000 vítimas fatais por ano, o aquecimento doméstico e o preparo de alimentos são as fontes mais frequentes de incêndios, seguindo-se as de origem elétrica e de cigarros e fósforos (ver quadro 1). (4B).

No Brasil, segundo o Anuário Estatístico do IBGE de 1974 registraram-se em 1972, 6006 incêndios dos quais 3219 nas Capitais.

---

(4) CARAVATY R. and HAVILAND D.S., Fireproof Construction, Build International, Vol 4/nº 5, Roterdão, 1971.

(4B) Em 1973 houve segundo o Fire Journal , 1.050.200 incêndios nos Estados Unidos.

Do total, cerca de 52% ocorreram durante o dia e o restante à noite.

Segundo a origem 46% foram casuais, 3,4% propositais/ e o restante 50,6% permanecem desconhecidos.

Segundo a causa apurada ou presumida, registraram-se/ as seguintes incidências:-

- curto circuito	19,3%
- ignição expontânea	7,1
- fagulhas	9,2
- balão	0,2
- cigarros	2,5
- outras	61,7

Nos edificios e bens atingidos observou-se uma maior/ incidência em habitações como mostram os dados abaixo:

- estabelecimentos comerciais	21,1
- estabelecimentos industriais	19,5
- edificios residenciais	38,9
- edificios públicos	3,6
- depósitos em geral	5,4
- matas, bosques e estabelecimentos agro-pecuários	3,3
- outras	8,2

Dados mais precisos são fornecidos por pesquisa realizada na África do Sul, cobrindo as ocorrências de 1957 a 1962, bastante semelhantes aos brasileiros mas, com êstes divergentes dos americanos. Reproduzimos os dados mais interessantes da pesquisa africana, eis que refere-se a um pais com nível de industrialização mais próximo do nosso. (5)

O quadro 2, confirmando a opinião geral, mostra que a incidência máxima é observada em edificios residenci-

---

(5) DAM DANNENFELDT H. T. H., A Statistical Analysis of the Occurrence of Fires in South Africa for the years 1957-62, NBRI Bull. 62, Pretoria 1971.

ais. Isto confirma as informações de Kawagoe.
Segundo outra fonte, na França a imprudência dos fumantes é causa de 16 % de mortes e a inflamabilidade de líquidos perigosos é responsável por 11% dos casos fatais.

4. Revelam também as estatísticas que a asfixia decorrente da impossibilidade de deixar o local atingido é responsável por elevada parcela de casos fatais registrados em incêndios; nos Estados Unidos em média 25 % de mortes em habitações, são causadas pela impraticabilidade de uso da escada única por efeito do fogo.
Entretanto os riscos de incêndio são vários e nem sempre perfeitamente definidos. Além disso a incidência depende frequentemente de condições locais.

A comparação dos dados das estatísticas brasileiras com as de outros países, mostra que sem dúvida os levantamentos são incompletos quanto ao número.
A elevada alíquota de causas desconhecidas deixa o quadro não muito claro e talvez uma apuração melhor revelaria uma maior congruência com os dados de outros paises.
Ainda recentemente os Bombeiros da Capital revelaram que a incidência entre as causas de incêndios em residências é mais elevada para a negligência no manuseio de botijões de gás alcançando índices da ordem de 30 %. Este dado corrobora o americano , cis. que está relacionado com o preparo dos alimentos e a economia doméstica, mas esta causa não é sequer mencionada na estatística brasileira.

QUADRO 1

CAUSAS DE INCÊNDIOS NOS ESTADOS UNIDOS

CAUSAS DE INCÊNDIO	NÚMERO DE INCÊNDIOS (x 1000)			
	50	100	150	200
- crianças (c/ fósforos)	___			
- eletricidade	_____			
- líquidos inflamáveis	____			
- aquecimento e preparo de alimentos	_____			
- chamas abertas e faíscas	____			
- lixo e refugos	_____			
- cigarros e fósforos	_____			
- indeterminadas	____			

5. No que tange aos riscos em habitações, várias fontes consultadas mostram que em geral as incidências mais elevadas são para:

- eletricidade
- equipamento de cozinha
- cigarros e fósforos
- líquidos inflamáveis.

É portanto evidente que as causas variam de país a país de acordo com o seu estágio de desenvolvimento industrial e sócio-econômico. Influem entretanto também usos e costumes locais assim como técnicas construtivas regionais.

6. O grau de obsolescência do patrimônio imobiliário tem também uma influência a ser considerada uma vez que certas causas estão correlacionadas com o envelhecimento ou a insuficiência de algumas instalações, principalmente as elétricas.

QUADRO 2

INCIDÊNCIA DE INCÊNDIOS POR TIPO DE LOCAL NA ÁFRICA DO SUL

LOCAL	NÚMERO DE INCÊNDIOS	
	Nº	%
1. Agrícola	60	0,7
2. Militar ou policial	16	0,2
3. Clubes, Hotéis, Restaurantes, etc.	613	7,0
4. Comercial (atacado)	244	2,8
5. Comercial (varejo)	522	6,0
6. Concessionárias de gás, água, eletricidade	78	0,9
7. Industrial (Fábricas)	863	9,9
8. Industrial (Oficinas)	422	4,8
9. Hospitalar	87	1,0
10. Mineração	35	0,4
11. Escritório	135	1,5
12. Diversão Pública	69	0,8
13. Educação e Culto	142	1,6
14. Residencial	4.726	54,0
15. Armazens	300	3,4
16. Transporte e Comunicação	286	3,3
17. Outros Edifícios	147	1,7
TOTAL	8.724	100,0

7. Para a Inglaterra, por exemplo, as estatísticas mais recentes acusam prevalência de grandes incêndios provocados por:

1) instalações e equipamentos elétricos
2) piromania ou dolo
3) cigarros

responsáveis por cerca de 75% dos danos. Destes grandes incêndios, 60 responderam pelos danos mais graves tendo-se revelado as seguintes origens por ordem de frequência:

1) instalações e equipamentos elétricos
2) ignição intencional ou dolosa
3) queima de lixo
4) crianças brincando com fogo
5) cigarros e fósforos
6) causas várias
7) causas desconhecidas.

Em geral, num país industrialmente desenvolvido os locais onde se registra o início de incêndios mais severos, são em ordem de frequência:

1) lojas, depósitos, seções de embalagem e empacotamento, seções de expedição;
2) oficinas mecânicas e de montagem, fábricas, usinas, e refinarias;
3) escritórios, despejos, cozinhas, padarias, bares e restaurantes;
4) terras incultas, praças e áreas abertas
5) outros

As estatísticas inglesas mostram também que nos maiores sinistros causados pelo fogo, negligência e ignorância estão presentes não somente nas causas como também nos efeitos. (6)

---

(6) UNDERDOWN G. W., Practical Fire Precautions, Gower Press, Londres 1973

1.6.1 INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

1. As instalações e os equipamentos elétricos são causa de incêndios por deficiência de projeto, execução e manutenção e principalmente em virtude de:
   - sobrecarga ou sobrecorrentes
   - curto circuito
   - terra defeituoso

2. Projetos executados por profissionais competentes são dignos de confiança: nem sempre entretanto o rigor do projeto é observado na execução, quando por razões de economia, utiliza-se material diferente do especificado. Cabe à fiscalização da obra verificar e acompanhar a execução das redes lembrando que a segurança de uma rêde é tão importante quanto aquela de uma estrutura.

3. A fase de manutenção, que cobre toda a vida útil do edificio, deve ser também considerada com o máximo cuidado, pois as instalações envelhecem sob o efeito de agentes externos.
   Frequentemente também sofrem modificações executadas/ por leigos, com desprezo absoluto da técnica e da segurança.

4. Das causas mais comuns a sobrecarga decorre de dimensionamento insuficiente do condutor e seu consequente aquecimento.
   O dimensionamento insuficiente pode ser por falha de projeto ou de execução, principalmente como resultado de condenáveis critérios econômicos. Mas pode também/ resultar de utilização da rede de forma diferente da-prevista.
   A crescente variedade de aparelhos e equipamentos elétricos, concorre para a rápida obsolescência funcional das instalaçoẽs. Por outro lado a proteção dos circuitos é muitas vezes precária, mas o efeito é agravado/

pelo fato de leigos modificarem os característicos das chaves ou dos fusíveis de proteção impedindo que desempenhem sua função.

A sobrecarga aquece o condutor ou o equipamento embora para este o aquecimento excessivo possa resultar de outras causas como uma ventilação deficiente. O calor prejudica o revestimento isolante do condutor que paulatinamente perde sua eficácia. Para isto concorrem também o envelhecimento natural, a abrasão e outras ações mecânicas. Logo, embora lentamente, o calor é transmitido aos materiais mais próximos que podem desenvolver gases inflamaveis os quais alcançada a temperatura de ignição, podem pegar fogo.

A observância das normas da ABNT e das companhias concessionárias, já pode ser considerada uma orientação correta para o dimensionamento satisfatório e a proteção das rêdes.

É óbvio que a qualidade do material utilizado influi no seu desempenho e na escolha dos materiais é sempre oportuno pautar-se também nas especificações dessa entidade. Assim mesmo é importante sempre recorrer a um profissional habilitado e experiente quer para a elaboração do projeto como para a execução.

A proteção dos circuitos para o efeito da sobrecorrente deve ser feita preferivelmente com disjuntores térmicos. É entretanto oportuno submeter as instalações a revisões periódicas, devendo-se para tanto registrar nos quadros/ para cada circuito a carga original de projeto e manter/ um diário no qual anotar os resultados de cada verificação.

A periodicidade das inspeções deve ser inversamente proporcional à idade da instalação. Em princípio pode-se prever uma inspeção após cinco anos do teste inicial para em seguida passar a uma inspeção cada dois anos. Decorridos 25 anos a instalação deve ser examinada com maior cuidado e as inspeções passam a ser anuais. A partir daí/ é mais provável a necessidade de substituições e reformas

substanciais.

Se os resultados das inspeções quanto às cargas dos circuitos revelarem situações críticas, medidas imediatas - devem ser tomadas para reconduzí-las à normalidade ou então mesmo antes da obsolescência física as instalações - deverão ser reformadas.

5. Um curto circuíto pode ser assimilado a um caso extremo/ de sobrecarga, mas o risco para a origem de um incêndio/ é maior pois é acompanhado de faíscas ou arco.
Curtos circuítos são geralmente ocasionados por causas - acidentais mas a sua ocorrência em instalações prediais/ é mais frequente quando os condutores já sofreram ação - do tempo e o seu revestimento protetor estiver deteriorado. Derivações precárias, conexões imperfeitas especialmente quando executadas por leigos, tomadas de corrente- defeituosas, podem provocar um curto circuíto.
Para proteção dos circuítos são utilizados dispositivos/ constituidos de fusíveis, disjuntores de relê térmico ou disjuntores de relê eletromagnético. Enquanto os disjuntores térmicos são aconselháveis para a proteção da sobrecorrente, os outros dois devem ser preferidos para proteção dos curto-circuítos. Os fusíveis de encaixe calibrado (sistema Diazed) oferecem segurança contra a troca do êlo de fusão e contra a substituição por elemento de capacidade maior. A proteção deve prever a seletividade dos circuítos e a combinação dos vários dispositivos segundo a capacidade de atuação de cada um.

6. Aparelhos e equipamentos elétricos estão sujeitos aos - mesmos inconvenientes sofridos pelos circuítos, mas como fontes de ignição outros riscos devem ser considerados.
Em edificios comerciais e de escritórios são bastante - comuns ocorrências de incêndios originados por defeitos/ de aparelhos de iluminação mas não são raros os casos de superaquecimento e subsequente ignição de materiais inflamáveis ocasionados por lâmpadas: com 100 watt já podem constituir um risco para o papel, mesmo o de parede/ enquanto com 200 e 300 watt o aquecimento pode ser suficiente para provocar a ignição de objetos e componentes- de madeira.
Atenção deve ser dada a lustres de desenho particularmente apto a reter o calor e a "plafonniers" embutidos nas lajes e nos forros: nestes os condutores são facil

mente deteriorados pelo calor, deixando os fios sem proteção.

Nestes casos a necessidade de aberturas de ventilação é evidente, o mesmo ocorrendo com armários de banheiros embutidos nas paredes, dotados de iluminação interna e nos quais são habitualmente guardados líquidos inflamáveis.
Deve-se observar que não é prudente deixar condutores e aparelhos, especialmente quando fôr provável seu aquecimento, em contato direto de divisórias, forros ou equipamentos de madeira, ou genericamente inflamáveis.

Soquetes soltos podem também provocar a ruptura dos fios e causar curto circuíto.

Riscos adicionais são comuns em lâmpadas portáteis utilizadas em trabalhos especiais.

Os cabos de extensão podem ser danificados por ações físicas, mas perigo maior está presente quando estas lâmpadas são utilizadas para iluminar locais cuja atmosfera pode conter pós, gases e vapores explosivos ou materiais inflamáveis. Logo, antes do uso deve-se proceder a uma inspeção da lâmpada e dos acessórios. É oportuno também proteger o bulbo para evitar que choques acidentais provoquem a sua ruptura.

7. Cuidados adicionais devem ser tomados em locais úmidos. Estas recomendações são também válidas para o emprego de ferramentas elétricas.

Aquecedores elétricos de ambiente, quando do tipo aberto devem ser mantidos afastados de materiais inflamáveis e do alcance de crianças que não têm noção dos riscos próprios destes aparelhos.

Deve-se também evitar que a radiação seja dirigida para materiais que acumulando calor sejam passíveis de ignição.

Fogões elétricos devem ser sempre providos de resistências fechadas. Cuidados especiais devem ser tomados na instalação de condicionadores externos de ar, que provocam a condensação da umidade, internamente, enquanto estão sujeitos às intempéries do lado externo. Além disso trata-se de aparelhos instalados geralmente depois da conclusão do edifício, sem obedecer muitas vêzes aos requisitos de boa técnica, como ocorreu infelizmente no caso do Edifício Joelma.

Todo motor elétrico, a não ser quando blindado, deve ser resguardado da umidade evitando-se também usá-lo em ambiente com atmosfera impregnada de gases corrosi-

vos ou inflamáveis ou poluída de pós e poeira. Caso contrário a manutenção deverá incluir uma limpeza semanal com jato de ar.

É óbvio que o circuito deverá ser provido de dispositivo adequado e que a instalação deverá ficar a cargo de profissional habilitado.

8. Aparelhos domésticos não exigem tais cuidados devendo-se apenas prever ligação terra por razões de segurança e cuidados com as extensões e as tomadas mais sujeitas a defeitos.

As tomadas de piso atualmente muito em voga não são recomendáveis devendo-se nas residências utilizar exclusivamente as de parede enquanto nos escritórios é preferível recorrer a tomadas com pendentes de forro.

É oportuno também identificar claramente cada tomada com relação à voltagem de utilização. Em edificações - não residenciais que não têm expediente ou serviço de vigilância noturno, é recomendável desligar a chave geral, no fim do expediente.

9. É importante notar que para as instalações elétricas as companhias concessionárias em geral estipulam exigências "até o medidor". Não é raro o caso em que " depois do medidor" são feitas as maiores barbaridades e o incêndio do Joelma merece ser seriamente meditado eis que foi a consequência da imprudência e negligência de instaladores. A correta utilização de dispositivos de proteção deve ser sempre considerada essencial e muitas vezes com um custo adicional mínimo pode ser assegurada a salvaguarda de centenas de pessoas (7).

---

(7) BOLLING J., Análise dos dispositivos elétricos de proteção, em Mundo Elétrico, São Paulo, Março de 1974.

1.6.2 ELETRICIDADE ESTÁTICA

1. A eletricidade estática tem várias origens: pode ser produzida por frição, por atividade biológica ou por fenômenos naturais da atmosfera terrestre.

Determinadas circunstâncias podem provocar acúmulo suficiente para dar lugar a uma centelha. No que tange à eletricidade atmosférica esta centelha toma grandes proporções em ocasião de temporais e chamamos a este fenômeno de raio.

A eletricidade estática provavelmente ocasiona muitos incêndios classificados como de causa desconhecida, especialmente quando seus efeitos se manifestam em proximidade de materiais inflamáveis ou em atmosfera impregnada de gases ou partículas explosivas.

A produção de eletricidade estática é mais sensível em ambientes quentes e secos o mesmo ocorrendo em dias que apresentem umidade relativa muito baixa.

Esta eletricidade acumula-se na superfície de materiais maus condutores e alguns produtos têm propensão a facilitar sua geração.

A borracha, alguns plásticos e o nylon em particular, assim como os cabelos humanos são entre os sólidos os mais sujeitos ao fenômeno em questão.

Dentre os líquidos os hidrocarbonetos, especialmente o querosene e o tolueno utilizados na aviação, são considerados os mais perigosos e é bastante comum a ocorrência de acidentes na simples descarga ou transferência destes líquidos.

Também entre os gases verificam-se riscos devidos à eletricidade estática, como é o caso do dióxido de carbono ou do próprio vapor d'água em forma de jato de alta pressão.

Para evitar a ocorrência de contêlhas é suficiente aterrar a peça que se supõe seja carregada com eletricidade estática.

Esta medida é entretanto difícil de realizar na maior parte dos casos.

Parece portanto mais importante evitar que o ambiente ou a atmosfera contenham materiais de baixa temperatura de ignição ou de baixo ponto de fulgôr, ou maus condutores.

Com efeito, se para a ocorrência de uma descarga a uma distância de 1 metro em atmosfera normal são necessários cerca de 3500 KVA, numa atmosfera saturada de hidrocarbonetos, apenas 100 a 400 KVA provocam o fenômeno.

A movimentação de líquidos inflamáveis através de tubulação exige alguns cuidados específicos: a conexão, entre todos os elementos deve ser contínua e a ligação terra, efetiva: um simples contato por meio de uma corrente de ferro sobre o piso de concreto não é suficiente.

Entretanto o risco pode ser controlado reduzindo-se a velocidade do líquido.

Pisos de borracha ou plástico acumulam eletricidade estática, mas adicionando-se carbono à sua composição tornam-se condutores na medida suficiente para dissipar as cargas.

2. No que tange à eletricidade atmosférica e os riscos subjacentes no fenômeno do raio, as estatísticas não são muito ilustrativas.

Em geral nas zonas urbanas, pela adoção compulsória do para-raio, os riscos são desprezíveis.

Entretanto a crescente utilização de antenas de televisão tem mais recentemente despertado a atenção sobre o incremento de risco que essa prática encerra.

Três tipos de para-raio podem ser utilizados de acordo com a área a proteger: de Franklin, de Faraday e radioativo.

O primeiro pode proteger um espaço delimitado por um cone cujo raio de base corresponde à altura de colocação/ de haste do captor.(7A).

O segundo também chamado de gaiola, é constituido de uma malha de captores terminais com altura não menor do que 32 cm e colocados em todos os pontos mais salientes do telhado ou da cobertura, ligados entre si e à terra/ por fios de cobre, sendo que a malha não pode ter espaçamento maior do que 320 cm.

O para-raio radioativo gera grandes quantidades de ions formando um canal condutor na atmosfera, de grande eficiência, podendo-se conseguir proteção até um raio de 250m e sobre uma área de cerca de 200.000 m^2.

Em São Paulo, devem ser obedecidas as normas estabelecidas no Decreto Municipal nº 3.556.

Ressalta observar que ligações terra de outras instalações (elétricas, telefônicas, etc) não devem ser utilizadas para o para-raio e tampouco encanamentos de gás ou de líquidos inflamáveis, mas é conveniente mesmo que a ligação terra seja bem afastada desses encanamentos.

1.6.3 FOGUEIRAS - QUEIMA DE LIXO E QUEIMADAS

1. Fogueiras festivas ou não, queima de lixo e de refugos em áreas mais ou menos limitadas podem constituir-se em risco sério quando não forem devidamente controladas.

   Uma medida positiva é mantê-las afastadas pelo menos de 20 m de qualquer vão aberto que possa permitir a entrada de fagulhas.

2. A queima de lixo deveria ser feita preferivelmente em incineradores fechados apesar de ser uma prática discu

---

(7A) Segundo alguns autores a eficiência do para-raio de Franklin em zonas urbanas de elevada densidade é duvidosa.

tível em virtude do efeito poluidor sobre a atmosfera.

3. As queimadas constituem um primitivo e irracional recurso de preparo da terra ainda comum na nossa lavoura, e conduzem por falta de controle a incêndios de vastas - proporções com danos ingentes.

Devem portanto ser evitadas, ainda mais porque são nocivas à vegetação, destroem a camada vegetal superficial, modificam e empobrecem o sistema ecológico, favorecem a erosão e provocam a degradação progressiva do habitat/ natural.

1.6.4 AÇÃO DAS CRIANÇAS

1. As crianças sofrem uma grande atração pelo fogo, do qual não sabem avaliar os riscos e as consequências.

Cigarros, fósforos e isqueiros nas maõs das crianças - são um risco potencial muito sério e não devem ser deixados a seu alcance.

1.6.5. ACIDENTES DOMÉSTICOS

1. A maioria das operações domésticas caracterizadas por risco de incêndio se desenvolvem na cozinha, onde o fogo é um dos principais agentes de trabalho. A maioria - das ocorrências é atribuida à ignição de gorduras superaquecidas quer em panelas de frituras quer em fornos.

Uma boa dona de casa ou uma cozinheira experiente, sabem como lidar com essas coisas mas em geral, a distração contribui para que os fatos aconteçam.

Nesses casos deve-se desligar a fonte de calor e em seguida extinguir ou confinar o fogo com panos úmidos mas nunca jogando água ou utilizando extintor de espuma.

2. Os riscos decorrentes de equipamentos de cozinha, excluindo-se os elétricos, são relacionados com uma operação/

imprópria de fogões a lenha e a gás e de aquecedores.

A grande facilidade e economia propiciada pelo gás de petróleo fez praticamente cair em desuso o fogão a lenha nas cidades.

Nas regiões rurais entretanto recorre-se ainda a fogões rústicos de alvenaria com grelhas metálicas, com tiragem realizada por chaminés de seção imprópria.

Fagulhas e brasa são origem comum de incêndios de casebres rurais: a prevenção, nestes casos, é extremamente difícil pois está relacionada com a problemática da sub-habitação rural cuja solução, ainda não foi colocada nos planos prioritários das autoridades responsáveis.

A prevenção de incêndios ocasionados por fogões a gás baseia-se essencialmente na segurança das válvulas dos botijões e nos dispositivos de alerta nos casos de vazamentos.

O mais simples é utilizar aditivos que acentuem o cheiro de gás para possibilitar uma percepção imediata.

2. O gás de iluminação ou de rua, de uso ainda bastante difundido nas grandes cidades, além de venenoso por seu conteúdo de monóxido de carbono, é fonte de explosões especialmente em decorrência de operação errada de fornos de fogões, quando o registro é deixado imprudentemente aberto um tempo excessivo antes da ignição.

Este gás tem um cheiro característico e qualquer vazamento é facilmente percebido, mas uma boa ventilação da cozinha é sem dúvida uma medida recomendável.

3. Cortinas, toalhas e materiais inflamáveis devem ficar afastados dos fogões, mas isto não pode ser conseguido em posturas.

Medida de certa utilidade prática poderia ser a de exigir dos fabricantes de fogões que imprimissem de forma

visível instruções sobre o uso e precauções para evitar incêndios.

4. Em geral, entretanto é oportuno localizar os botijões - nas áreas externas e dotar as cozinhas de ventilação - permanente através de furos praticados na altura do piso.

5. Risco bastante comum está relacionado com o uso de ferros depassar que, deixados inadvertidamente ligados, podem ocasionar incêndios pela ação do calor sobre tábuas de passar, mesas e roupas.

A proteção nêste caso pode ser feita por vários meios. Em primeiro lugar pode-se inserir na tomada uma lâmpada vermelha, a indicar que o ferro está ligado. Em segundo lugar é conveniente utilizar sòmente ferros dotados de termostáto de regulagem da temperatura máxima. Pode-se/ também utilizar um disjuntor com relê bimetálico para - temperatura ambiente, instalado na própria tábua de passar.

1.6.6 AÇÕES CRIMINAIS E DOLOSAS

1. Incêndios voluntários podem ser criminosos quando deliberadamente ocasionados para matar ou ocasionar danos às pessoas ou às suas propriedades.

Os dolosos são provocados para tirar proveito próprio - especialmente pela cobrança de seguros, ou para ocultar outros crimes, suprimir provas, completar extorções.

Piromania e insanidade mental, assim como ações de sabotagem política e eventos bélicos podem ser causa de incendios voluntários.

Todas as causas acima citadas são de difícil controle uma vez que tem relação com uma ação humana premeditada/ e maliciosa.

1.6.7 CIGARROS

1. Os riscos decorrentes de cigarros e fósforos são também de difícil controle, pois entram na categoria de riscos domésticos condicionados não sòmente ao nível de educação do indivíduo, mas também ao seu estado físico, emocional, psicológico.

Os cigarros são realmente um risco muito sério de incêndio quer porque o vício de fumar é muito difundido em todas as classes sociais, quer porque uma ponta em brasa pelo seu tamanho ao cair pode ficar oculta e afoguear um material inflamável, despercebidamente.

Claro é que a distração e o desleixo contribuem para dar aos cigarros um lugar de destaque nas estatísticas, e a disponibilidade de cinzeiros parece ser um remédio eficiente, especialmente em locais de trabalho.

Para evitar que o fogo permaneça latente nos próprios cinzeiros, estes devem ser do tipo auto-extingüível evitando que mais tarde ao ser feita a limpeza ocorra a ignição do lixo.

Uma medida de grande alcance é também a proibição de fumar na última meia hora de expediente.

1.6.8 MATERIAIS INFLAMÁVEIS E EXPLOSIVOS

1. Os materiais mais comumente sujeitos à auto-ignição são: a serragem de madeira verde, os óleos vegetais, especialmente o de linhaça, o papel úmido, o carvão especialmente quando em pó, fibras vegetais e animais especialmente quando úmidas ou contaminadas, materiais para pintura etc. O fenômeno é em parte decorrente de fermentações ou da ação de micro-organismos ou elementos catalizadores.
Cavacos de madeira, serragem, papel corrugado e aparas não devem nunca ser guardados numa habitação ou nas suas dependências.

2. Em edifícios de escritórios, os locais mais facilmente atacados pelo fogo são os depósitos de materiais para limpeza, despejos e depósitos de lixo e papel, copas, seções de impressão, especialmente quando utilizam mimeógrafos a alcool, bibliotecas, e arquivos mortos.

3. É óbvio que em habitações e escritórios, líquidos e outros materiais inflamáveis, podem representar um risco sério se não forem utilizados com cuidado ou guardados em local seguro, conhecido pelos moradores e assinalado com destaque.

Entretanto o aspecto mais importante é a identificação de um líquido inflamável.

Como veremos em outra parte deste estudo a inflamabilidade é caracterizada pelo ponto de fulgor, mas este nem sempre é conhecido pelo leigo.

Assim a medida recomendável é que qualquer líquido ou material inflamável seja identificado com embalagem ou rotulo padronizado.

Nos edificios industriais podem ser identificadas vários outros agentes de ignição. Seus característicos podem ser encontrados em publicações especializadas e sua análise é aqui omitida em virtude do caráter dêste trabalho.

Veremos mais adiante o mecanismo de ocorrência das explosões. Trata-se de combustões muito rápidas de materiais inflamáveis no estado gasoso ou pulverizado.

Em edificios residenciais e comerciais (escritórios) o depósito de explosivos deveria ser restrito aos de uso doméstico, em quantidades mínimas.

Em edificações industriais os explosivos são objeto de cuidados especiais que fogem à apreciação dêste trabalho.

Nas habitações, explosões podem ocorrer nas cozinhas e nos banheiros, como efeito de vazamentos de gás, nas garagens, provocadas também por gases de gasolina, e enfim nas dispensas onde são guardados líquidos inflamáveis utilizados nas operações domésticas.

Explosões provocadas por pós podem ser mais frequentes em depósitos de materiais celulósicos ou sujeitos à formação e acumulação de pó, como serrarias ou mesmo em arquivos mortos onde a limpeza é pouco freqüente.

Locais onde pode ser prevista a existência de gases explosivos, devem ser abundantemente ventilados.

Botijões de gás, como foi assinalado na primeira parte

dêste trabalho, e aquecedores, é oportuno sejam localizados em áreas externas.
Para os pós, deve-se evitar sua formação e acúmulo, mas isto evidentemente foge ao alcance do arquiteto. Para/ edificios industriais, a problemática é muito vasta e complexa, mas em princípio valem as mesmas regras acima, complementadas pelo contrôle das eventuais fontes de ignição e pelo dimensionamento das estruturas compatíveis com a tipologia de edificios e com as condições em que a explosão pode ocorrer.
A êste propósito é oportuno lembrar o acidente ocorrido em Ronan Point na Inglaterra, num edificio pré-fabricado com grandes painéis, que sofreu a destruição - parcial de vários pavimentos em consequência de uma - explosão de gás. Por essa razão as normas de cálculo/ estrutural de edificios desta natureza foram em seguida modificadas.

1.7.0 CLASSIFICAÇÃO TIPOLÓGICA DOS EDIFICIOS

1. Uma classificação dos edificios em relação ao seu comportamento ao fogo como um todo, é necessária tendo/ em vista a própria sistematização dos riscos e das correspondentes medidas de ação contra o fogo, nomeadamente para a sua inclusão nos códigos de edificações.
Isto posto, quatro critérios se nos afiguram como determinantes para um edifício:
1) os característicos de sua população
2) a sua função
3) a sua natureza
4) a sua situação
Se em princípio, podemos identificar uma correlação entre os caracteristicos da população e a função do edificio, isto não ocorre sempre com a sua natureza.

2. Quanto à população importa conhecer:
1) a distribuição etária
2) a composição da parte fixa e da temporária ou flutuante
3) o número de pessoas, sua distribuição no edificio- e a taxa de ocupação.
4) as condições físicas, psicológicas, culturais,
5) as reações previsíveis de comportamento em relação ao fogo
6) o grau de conhecimento do edificio e do seu meio.

7) o grau de permanência do edifício.

3. Quanto à <u>função</u> a classificação deve levar em conta:

1) a finalidade do edifício e a natureza das atividades que abriga
2) os riscos de ocorrência de incêndio
3) o potencial térmico acidental (8)

Quanto à <u>natureza</u> do edifício, deve-se considerar:

1) o partido adotado
2) os materiais de construção utilizados e as técnicas aplicadas
3) a obra bruta e os acabamentos
4) o grau de obsolescência
5) os riscos de ocorrência de incêndio
6) a forma
7) a área total e a área de cada pavimento
8) a altura total e o pé-direito
9) o volume
10) as aberturas de ventilação
11) o potencial térmico permanente

4. Quanto à <u>situação</u>, a classificação deve considerar:

1) o clima e os micro-climas
2) a situação em relação às divisas e ao alinhamento
3) a largura das ruas e as condições de acesso
4) a distância do quartel mais próximo do Corpo de Bombeiros e a facilidade de trânsito
5) o abastecimento de água
6) os meios de comunicação

5. Em princípio pode ser proposta a <u>seguinte classificação</u>:

1. <u>Edifícios Residenciais</u>

1.1 Habitações monofamiliares térreas ou assobradadas

1.1.1 isoladas

1.1.2 geminadas

1.2 Habitações coletivas de altura média

---

(8) O potencial térmico ou calorífico é um parâmetro que representa a quantidade de material combustível existente num determinado local. Será definido na segunda parte deste trabalho.

1.3 Habitações coletivas de grande altura

1.4.Hotéis térreos, motéis, hospedarias

1.5 Hotéis de altura média, internatos, seminários

1.6 Hotéis de grande altura

2. HOSPITAIS

2.1 Clínicas para adultos

2.2 Clínicas infantis

2.3 Clínicas psiquiátricas

2.4 Casas de repouso para velhos, hospícios

3. Casas de Detenção

3.1 Cadeias

3.2 Presídios, penitenciárias

3.3 Reformatórios

4. Escolas e Edifícios Culturais

4.1 Jardins de infância e creches

4.2 Escolas inferiores e médias

4.3.Faculdades

4.4 Bibliotecas

4.5.Auditórios

4.6 Escolas técnicas

4.7 Laboratórios

4.8 Museus e galerias de arte

5. Edifícios Comerciais

5.1 Edifícios de escritórios de altura média

5.2 Edifícios de escritórios de grande altura

5.3 Arquivos

5.4 Lojas

5.5 Oficinas

5.6 Supermercados

5.7 Centros comerciais (shopping-centers)

5.8 Bancos

6. Edifícios de Reunião

6.1 Igrejas

6.2 Assembléias

6.3 Cinemas e teatros

6.4 Circos

6.5 Ginásios cobertos

6.6 Salões de festas
6.7 Salões de baile
6.8 Restaurantes
6.9 Exposições
6.10 Estações ferroviárias
6.11 Estações aeroportuárias
6.12 Terminais rodoviários

7. Edificios Militares
7.1 Quartéis
7.2 Depósitos
7.3 Edificios burocráticos
7.4 Comandos

8. Edifícios Industriais
8.1 Indústrias de risco elevado, onde ocorre manuseio ou elaboração de:
1. materiais sujeitos a auto-ignição e combustíveis
2. substâncias corrosivas
3. substâncias produtoras de gases tóxicos
4. agentes oxidantes
5. substâncias exotérmicas
6. substâncias com temperatura de ignição inferior a 120ºC
7. explosivos
8.2 Indústrias que utilizam equipamentos perigosos - tais como:
1. caldeiras
2. transformadores de voltagem elevada
3. soldadoras
4. destiladores
5. instalações de craqueamento
etc.
8.3 Indústrias de risco normal:
não incluidas nos tópicos anteriores

9. Depósitos
9.1 Depósitos de inflamáveis
9.2 Depósitos de explosivos
9.3 Depósitos de materiais a granel sujeitos a auto-ignição
9.4 Depósitos de resíduos
9.5 Depósitos de lixo

9.6. Centros de abastecimentos

9.7. Silos

10. Garagens e Hangares

10.1 Garagens individuais

10.2 Garagens coletivas

10.3 Garagens industriais

10.4 Hangares

11. Edificios Rurais

11.1 Casas

11.2 Estábulos

11.3 Depósitos e silos

11.4 Adegas

6. Uma das primeiras e mais importantes distinções a serem feitas refere-se à altura, para a qual a classificação pode ser: altura normal e grande altura, sendo que/ para esta os critérios de projeto e as medidas de segurança tem um caráter especial, como veremos mais adiante neste trabalho. Isto ocorre quer para edificios residenciais como para os comerciais.

7. Algumas categorias de edificios, especialmente hoteis, escritórios e repartições públicas, apresentam a peculiaridade de ter uma população constituída de uma parte fixa e outra temporária. Esta é portanto mais sujeita a uma reação negativa frente ao fogo por não estar familiarizada com o edificio. Em geral nestas condições as pessoas ao sair procuram o caminho que fizeram ao entrar. Em edificios dotados de elevadores, uma vez que estes em geral deixam de funcionar, a localização das escadas deve-lhe ser bem próxima para facilitar o acesso.

8. Da composição etária é importante que se observe o reflexo sobre o comportamento: em edificios comerciais a preponderância de jovens, consequência da própria distribuição etária brasileira, deixa supor uma maior propensão ao pânico, como mostrou o trágico incêndio do Joelma. A falta de preparo para enfrentar o perigo decorrente de uma natural tendência da educação atual e da própria i

nexperiência da vida coloca os jovens em situação de inferioridade perante as calamidades.

9. À própria função do edifício cabe naturalmente maior influência na classificação.
Da natureza das atividades que um edifício abriga, decorrem naturalmente :
- os característicos da população e a taxa de ocupação
- os riscos de ocorrência de incêndios
- a severidade provável relacionada com o potencial térmico.

Deve-se considerar também que num mesmo edifício são desempenhadas várias funções e desenvolvidas várias atividades, segundo as partes e os locais.

Pode-se por exemplo distinguir os locais segundo o grau de permanência, que pode ser:
- prolongada
- transitória
- acidental

No primeiro item são incluidos todos os locais em que os indivíduos passam boa parte do dia ou da noite, em funções normais ou desenvolvendo atividades.
No segundo item , são incluidos os locais em que os indivíduos transcorrem apenas alguns minutos ou no máximo algumas horas.
No terceiro, são incluidos os locais em que não é exigida a presença de pessoas a não ser muito excepcionalmente.
Exemplos para o primeiro caso são :
- dormitórios, salas, escritórios, lojas, enfermarias, oficinas, indústrias,etc.
Exemplos para o segundo caso são:
- escadas,corredores, halls,banheiros,lavanderias,etc.
Enfim, exemplos para o terceiro caso são :
- depósitos, sotãos, adegas caseiras, câmaras frigoríficas. etc.

Existem também locais com permanência variável e de ca-

ráter especial, tais como: salas de espetáculos, cinemas, auditórios, igrejas, laboratórios, garagens, etc.

Outra importante distinção é a que divide os locais em - diurnos e noturnos, estes últimos entendidos os que se - destinam ao repouso.

Logo, numa mesma tipologia podem ser identificadas várias categorias de riscos:

1) a probabilidade de ocorrência de um incêndio

2) a probabilidade de mesmo se propagar e alcançar determinado grau de severidade

3) a probabilidade de atingir a incolumidade das pessoas/ e alcançar determinado grau de gravidade.

10. Um depósito de inflamáveis localizado em área rural pode/ ter um risco elevado da primeira categoria, mas mínimo - na segunda e terceira,

Vice-versa um depósito de papel numa loja pode revelar um risco extremo nas três categorias: com efeito, representa um potencial térmico elevado e os indivíduos atingidos so frem as consequências da aglomeração de pessoas e do desconhecimento dos percursos de evacuação e das saídas.

Um hotel em geral pode acumular as três categorias de risco, embora a propagação possa ser moderada pela com - partimentação: mas a população está sujeita a ser apanhada pelo evento durante as horas de sono, condição agravada pela pouca familiaridade com os caminhos de escape.

Numa penitenciária as duas primeiras categorias podem - ser de pouca expressão enquanto a terceira extremamente/ agravada pela própria condição de confinamento da popula

ção.

Um hospital pode acumular as três categorias de risco em grau variável, mas é certo que a terceira é também extremamente agravada pelas condições físicas e psicológicas/ das pessoas.

Em todos os casos a gravidade do risco de terceira categoria é proporcional à densidade populacional local e essa a razão porque os códigos em geral adotam classificações a partir do índice de ocupação ou de lotação.

Maspodemos observar - e trata-se de uma constatação óbvia - que cada categoria é diretamente condicionada à anterior: em outras palavras se evitamos a ocorrência do incêndio a incolumidade será assegurada, o mesmo acontecendo se a propagação não fôr permitida.

11. No que tange à natureza do edifício todas as categorias/ de risco estão presentes, embora não exista correlação / com o caráter da população. Se a obsolescência física/ de uma instalação elétrica pode constituir um risco da primeira categoria, o fato de ser a edificação por exemplo constituída em prevalência de madeira, representa um risco da segunda categoria.

Há aqui entretanto a considerar mais uma categoria de risco, configurada pela probabilidade de colapso material e estrutural. Com efeito é necessário que a natureza do edificio seja tal que o desempenho de suas partes/ fique inalterado durante o tempo necessário para garantir a incolumidade das pessoas. É da consideração dessa categoria de risco que surge um parâmetro fundamental na tecnologia do incêndio: a resistência ao fogo.

Um material, um componente ou uma parte de uma edificação podem contribuir para o desenvolvimento e propagação do fogo e por outro lado podem resistir à ação do fogo/ sobre os seus característicos físico-químicos e funcionais. A natureza do risco é portanto diferenciada.

12. As dimensões também influem diretamente sôbre alguns dos riscos mencionados.
Com efeito, quanto maior o espaço a ser considerado tanto maior o risco implícito.
As regulamentações existentes consideram portanto individualmente ou em conjunto a área construída, o volume - construído e a altura total.
Uma generalização de critérios não é entretanto possível eis que a influência das dimensões é diretamente relacionada com o destino do edifício. Num armazém ou depósito/ industrial pequenas variações de altura conduzem a variações sensíveis de potencial calorífico especialmente - quando é previsto o uso de meios mecânicos de empilhamento.

13. É portanto a severidade do incêndio a ser condicionada - pela altura.
Num edificio residencial o pé-direito pode não ter influência sensivel sôbre o potencial térmico, mas a altura / condiciona a ação dos bombeiros e, sobretudo, a facilidade de afastamento e resgate das pessoas.
Por outro lado, como vimos de início, o resgate depende/ do equipamento disponível aos bombeiros e das condições/ de operação que são limitadas pela situação do edifício/ e pelo próprio contexto urbano. Não é portanto sempre - simples e imediato conseguir definir o que deva-se considerar por edificio alto. Essa a razão porque, qualquer - que seja o equipamento disponível não conta-se exclusivamente hoje com sua utilização, preferindo-se assegurar o afastamento através de escadas dotadas de requisitos especiais de estanqueidade à fumaça e resistência ao fogo/ ou optando-se, em edificios de grande altura, pelo recurso a locais de refúgio que devem assegurar condições de vida até a extinção do fogo.
Por outro lado a área permite obter dados quanto à população e ao potencial térmico servindo em determinados casos como parâmetro do risco.

14. A respeito da situação do edifício é fácil observar que as quatro categorias de risco já anteriormente identificadas estão também aquí presentes.

A proximidade de outras edificações da mesma natureza ou caracterizadas por um risco maior, se o afastamento não levar em conta o efeito da radiação, pode-se traduzir em elevado risco de surgimento de incêndio por propagação.

A localização numa área de trânsito congestionado ou numa região muito afastada do quartel dos bombeiros dificulta ou impede a ação imediata das equipes de combate permitindo a propagação do fogo e seu desenvolvimento até a inflamação generalizada. Isto posto é possível que determinadas condições como as que acabamos de indicar, sugiram a adoção de coeficientes de segurança mais severos, especialmente no que tange à resistência ao fogo.

Um aspecto a considerar diz respeito também à situação em relação à via pública a fim de propiciar condições de acesso mais favoráveis às equipes de combate.

A regulamentação de Londres exige para êsse efeito, que não sòmente a via pública tenha uma largura compatível com o tamanho da edificação, mas que também uma parte do perímetro do prédio, proporcional a seu volume, seja livre e desimpedida, permitindo o acesso direto do equipamento dos bombeiros.

Percebe-se que aquí também não é possível uma generalização dos riscos e que estes são definidos por condições locais que variam de cidade a cidade e de região a região de uma mesma cidade. Logo, não sòmente não são válidas as generalizações como tampouco o são as extrapolações.

A elaboração de uma codificação pertinente, se não se adaptar às condições urbanas efetivas não somente deixará de cumprir a sua finalidade como também poderá prejudicar inutilmente o "jus aedificandi".

15. Vistos assim em grandes linhas os quatro critérios que no nosso entender governam a classificação de edificações em relação às várias categorias de riscos configuradas pelo incêndio, é oportuno observar que na prática situações anômalas podem se apresentar ao arquiteto. Isto acontece especialmente quando a edificação tem finalidades mistas

ou quando trata-se de conjuntos de edificações diferentes, o que hoje é bastante comum em grandes empreendimentos imobiliários ou em estabelecimentos industriais de vulto.
À guisa de exemplo, um conjunto imobiliário pode ser constituido de um bloco retangular de base que abriga um centro de compras (shopping), cinemas, garagens ou estacionamentos e uma ou mais lâminas ou torres de escritórios.
Por outro lado , uma fábrica pode ter edifícios, separados ou não, destinados a oficinas, depósitos, escritórios.
Quando não fôr possível uma separação física nítida afastando entre si os edifícios de finalidade diferentes, ou setorizando-os com cortinas corta-fogo verticais ou horizontais, o grau de risco a considerar será o correspondente à condição mais desfavorável.

16. Ao encerrarmos estas considerações preliminares é lícito tirarmos uma conclusão: a problemática da segurança contra incêndios é por demais complexa para que a regulamentação inerente possa ser esquematizada em poucas normas de aplicação prática, fácil e imediata.
Simplismo e generalização excessiva conduziriam fatalmente à necessidade de interpretação sempre que situações imprevistas se apresentassem com consequentes disputas entre o arquiteto autor do projeto e o funcionário incumbido da aplicação das normas.
Seria assim perpetuada a filosofia dos códigos históricos em que prevalecem sempre os meios sôbre os fins.

17. É certamente aconselhável que o arquiteto proceda a uma análise cuidadosa de todos os fatores envolvidos na definição dos riscos quer de surgimento do incêndio quer dos seus efeitos sôbre a incolumidade humana e a salvaguarda dos bens.
Para isso o procedimento mais eficiente baseia-se na montagem de matrizes as quais permitem não somente identificar os riscos como também avaliá-los , Finalmente dando a êstes pêsos diferentes e proporcionais à sua gravidade seria possível obter uma avaliação razoavelmente objetiva das várias opções que se apresentam ao arquiteto.
Um método semelhante poderia ser adotado nos Códigos , à exemplo do que já faz a regulamentação italiana.

18. Ao encerrarmos esta primeira parte podemos identificar os campos de ação do arquiteto explicitada através do projeto. Lembrando as quatro categorias de riscos, analisadas nos tópicos anteriores, a saber :

- riscos do fogo ocorrer
- risco do fogo se alastrar e se desenvolver atingindo determinado grau de severidade
- risco do fogo atingir a incolumidade das pessoas com determinado grau de gravidade
- risco do fogo provocar o colapso material e estrutural da edificação,

podemos definir a ação contra o fogo como destinada a :

1) impedir que se alastre ràpidamente interna e externamente
2) impedir que alcance a inflamação generalizada
3) controlar os efeitos dos seus sub-produtos
4) controlar a combustão para minimizar a duração e a temperatura máxima atingida
5) controlar os efeitos sôbre a edificação para evitar o colapso material e estrutural
6) impedir que atinja os percursos de fuga ou os locais de refúgio e prejudique as pessoas,
7) facilitar a intervenção dos bombeiros.

SEGUNDA PARTE

FENÔMENOS CARACTERÍSTICOS E PARÂMETROS TÍPICOS

SEGUNDA PARTE

FENÔMENOS CARACTERÍSTICOS E PARÂMETROS TÍPICOS

2.1.0 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES

1. A análise do comportamento das edificações como um todo e das propriedades dos materiais e componentes relacionadas com seu desempenho perante o fogo, é parte de uma abordagem geral da problemática que inclui:

   - a determinação da magnitude do potencial térmico das edificações segundo uma tipologia correspondente às condições da prática,
   - o estudo do processo de desenvolvimento do fogo em ambientes fechados e da influência exercida pelas variações das propriedades dos combustíveis em geral e dos vêdos em particular e dos efeitos da ventilação,
   - a investigação das propriedades térmicas dos materiais no campo de variação das temperaturas a ser consideradas num incêndio e dos efeitos da temperatura sobre as suas propriedades físico-químicas,
   - a investigação da resistência ao fogo dos componentes
   - o desenvolvimento de métodos de investigação e ensaio.

2. Na tecnologia de incêndios, definir os materiais e componentes construtivos em combustíveis e incombustíveis não tem muito sentido, eis que se tal critério fôsse adotado, parte dos materiais de aplicação mais comum seria fatalmente condenada sem contar que outros definidos incombustíveis não poderiam ser, em qualquer condição, considerados resistentes ao fogo.

3. Isto posto não é fácil definir posições claras que permitam classificar univocamente materiais e componentes e identificar critérios a serem adotados em regulamentações e códigos.

Com efeito é preciso entender melhor os fenômenos físico-químicos relacionados com a combustão para poder dizer de uma forma linear quais materiais queimam e como queimam.

Realmente, como já tivemos oportunidade de destacar, verifica-se uma grande discrepância nos critérios de julgamento adotados nos países que há mais tempo dotaram sua regulamentação de edificação de instrumentos de controle da ação do fogo.

No começo da década de 60, seis países associados à ISO, (Alemanha, Bélgica, Dinamarca, França, Holanda e Inglaterra) encetaram uma pesquisa para verificar a concordância de resultados de ensaios visando caracterizar a inflamabilidade de 24 materiais diferentes de acabamento de parede, segundo os métodos adotados em cada um desses países.

As observações foram desanimadoras e mostraram a necessidade de uma revisão radical dos critérios adotados. Com efeito, por exemplo um certo material constituído de uma chapa de revestimento à base de espuma fenólica, resultou ser o mais seguro dentre os 24 analisados, segundo o ensaio padrão alemão e o mais perigoso segundo o ensaio padrão dinamarquês.

Por outro lado, uma chapa de revestimento folheada de acrílico, resultou ser o mais seguro segundo o ensaio dinamarquês e vice-versa o terceiro em graduação de inflamabilidade segundo o ensaio alemão.

Os dados obtidos nesta pesquisa foram recentemente analisados por Emmons (10) do qual transcrevemos as observações - no nosso entender - mais conclusivas:

" O que os ensaios mostram é que ninguém sabe quais os característicos que um material deveria ter para ser seguro num incêndio. Cada um dos ensaios nacionais foi ba-

---

(10) EMMONS H. W., Fire and Fire Protection, in Scientific American, Vol. 231 nº 1, Julho 1974.

seado num melhor julgamento:assim, cada teste mediu algo diferente sob o título da inflamabilidade. Inevitavelmente os resultados deveriam divergir.

O desenvolvimento de uma abordagem melhorada exige que a natureza básica do incêndio num edifício seja entendida o bastante para definir um ensaio que meça os característicos certos".

4. Assim, a ação contra o fogo não deve ser apenas formulada apreciando-se quantitativamente os resultados de determinados ensaios simulados relacionados com o comportamento individual ao fogo dos materiais, mas analisando-se qualitativamente o comportamento individual e em conjunto dos materiais nas situações reais de um incêndio de um edifício. Ao se adotar este procedimento, verifica-se que se o conhecimento do comportamento ao fogo dos materiais é importante para orientar sua utilização correta, o domínio da tecnologia de prevenção exige o conhecimento dos fenômenos característicos e dos seus parâmetros principais.

É este domínio que permite ao arquiteto realizar no projeto a ação mais importante de segurança contra o fogo, facultando ainda a adoção de medidas corretas sem dispor de resultados de ensaios. Com efeito a caracterização de materiais e componentes em relação ao seu comportamento ao fogo exige a realização de testes para os quais é necessário utilizar equipamentos complexos e caros, os quais todavia não se acham em dotação aos nossos laboratórios.

A satisfação de exigências estipuladas em normas e códigos vai portanto ainda depender da extrapolação de resultados conseguidos em laboratórios estrangeiros e destarte de uma correta interpretação dos fenômenos que acompanham os incêndios e dos parâmetros que os caracterizam.

Esta segunda parte do trabalho se propõe analisar esses fenômenos.

2.2.0 COMPORTAMENTO AO FOGO

2.2.1 Critérios

1. Definir um material ou componente "à prova de fogo" é cometer uma impropriedade eis que todos os materiais e componentes sofrem alterações ao serem submetidos à ação do fogo, de acordo com as temperaturas atingidas e a sua duração.

O comportamento ao fogo dos materiais de construção depende não somente de sua natureza como também de sua utilização e aplicação: este aspecto influencia notadamente o estágio do incêndio no qual eles reagem à temperatura do ambiente. Materiais expostos ou dotados de uma proteção leve serão atingidos logo nos primeiros momentos, enquanto os que se encontram no corpo da construção ou que são protegidos por outros materiais possivelmente com essa função específica, sofrerão efeitos importantes somente quando o incêndio estiver bem desenvolvido. Na primeira parte deste trabalho mostramos que o objetivo principal da segurança ao fogo é garantir a incolumidade dos moradores que deve ser assegurada nomeadamente antes da inflamação generalizada, numa fase entre prevenção e combate que chamamos de confinamento. Portanto é importante - limitar em princípio a velocidade de crescimento e propagação. O comportamento ao fogo contudo deve ser analisado para todo o seu ciclo de desenvolvimento no qual como veremos mais adiante, podem ser identificadas três fases principais.

2. Os critérios para esta análise são fundamentalmente dois:

1) a reação ao fogo
2) a resistência ao fogo

Com frequência os dois são confundidos mesmo conscientemente para equivocamente atribuir a certos materiais a qualidade de serem à "prova de fogo".

Contribui para isso o fato da problemática dos incêndios ser abordada mais pelas exigências securitárias do que pelo princípio da incolumidade dos moradores.

Sendo este um princípio básico no exame dos riscos decorrentes da ação do fogo, esses dois critérios permitem desenvolver uma análise sistemática como será possível verificar no decorrer deste trabalho.

3. Entende-se por reação ao fogo a capacidade de um material contribuir para o desenvolvimento do fogo.

4. Resistência ao fogo é definida como a capacidade de um componente construtivo conservar durante um certo tempo o desempenho das funções para as quais foi projetado e às quais seja condicionada a segurança de pessoas e bens.

5. A reação ao fogo de um material se realiza na alimentação e na propagação, dando lugar a sub-produtos constituídos de chamas, calor, gases, fumaças e cinzas.

6. No que tange à alimentação do fogo importa conhecer o processo da combustão e os fatores que exercem influência direta sobre a evolução do fogo enquanto na propagação devem merecer atenção os mecanismos e as formas de transmissão do calor e do alastramento das chamas.

7. Quanto à resistência ao fogo, objeto de definição são as funções dos materiais e dos componentes, a serem preservadas.

2.2.2 Reação ao Fogo

2.2.2.1 Combustão

O fogo tem uma evolução frequentemente imprevisível e seu desenvolvimento é complexo: pode começar a temperaturas diferentes, na sua propagação pode seguir caminhos, modalidades, e velocidades diferentes e a severidade ser também extrema-

mente variável. Entretanto todos os incêndios são governados por três princípios comuns:

1. Não se verificam nem se desenvolvem sem a presença de um material combustível, de oxigênio e de uma fonte de calor.

2. O material deve sofrer um aquecimento prévio suficiente para desprender gases combustíveis antes do início da queima.

3. O material continuará a queimar até ser consumido ou até que o oxigênio fôr insuficiente para manter a combustão ou até que a temperatura baixar a um nível em que os gases não são mais destilados. passar uma substância do estado líquido ao gasoso, e depois de novo o líquido, por condensação do vapor

O fogo é portanto nada mais do que uma combustão viva, isto é um processo de queima no qual uma substância combina com oxigênio.

Com mais propriedade definimos combustão viva de uma substância, uma reação exotérmica de oxidação acompanhada de chamas e ou incandescência que se desenvolve independentemente da causa que a provocou, em que o agente oxidante é o oxigênio do ar atmosférico ou libertado por decomposição da própria substância que é destilada progressivamente.

4. Elementos essenciais da combustão são portanto:

1) o calor inicial
2) o comburente
3) o combustível

A combustão viva de qualquer substância seja ela líquida, sólida ou gasosa, exigindo uma velocidade de reação suficiente para que as quantidades de calor libertadas permitam mantê-la em vida, define uma temperatura mínima para cada substância, chamada ponto de combustão ou de ignição (ignition point). A combustão pode ser caracterizada por chamas ou por incandescência. No primeiro caso

ardem gases produzidos por pirólise ou vaporização de subsâncias sólidas ou líquidas, por efeito do calor (11).
As chamas visíveis,assim como as fumaças, evidenciam uma combustão incompleta.
No segundo caso, que ocorre com combustíveis sólidos, uma vez consumidos todos os gases, a combustão passa a realizar-se sem chamas, por combinação direta do oxigênio com material sólido, revelada por incandescência.

5. Combustíveis são portanto substâncias sólidas, líquidas ou gasosas, que numa reação de oxidação, libertam calor.
6. Comburente, é o oxigênio. A reação entre carbono e oxigênio produz CO_2. A combustão típica dos incêndios é incompleta dando lugar também a CO e em virtude do combustível não ser constituido exclusivamente de carbono, outros produtos são originados. O hidrogênio também combina com o oxigênio para dar lugar a água no estado de vapor. Teoricamente são necessários cerca de 5 m^3 de ar para a combustão de 1 kg de combustível. Na prática a quantidade de ar depende das condições ambientes, da distribuição do combustível e de suas propriedades , especialmente a porosidade e a superfície específica. O oxigênio é contido no ar, na proporção de 21 % em volume. Quando essa proporção descer abaixo de 13 % a combustão de líquidos e gases cessará, enquanto para os sólidos êste limite é de 6 %.
7. A partir do que acabamos de dizer, teoricamente para efeito da reação ao fogo já seria possível definir um critério de combustibilidade que permita classificar os materiais em combustíveis e incombustíveis. Com efeito, considerando que as temperaturas ocorrentes nos incêndios, como veremos mais adiante, raramente passam de 1250ºC , poderiamos definir como incombustíveis os materiais cuja temperatura mínima de combustão fosse maior do que 1250ºC.

---

(11) Pirólise ou craqueamento é a transformação de compostos ou materiais orgânicos em compostos mais simples, por efeito da temperatura. A destilação interna da madeira(sem contato com o ar) é uma pirólise.

Segundo a recomendação ISO/R 1182/1 define-se não combustível um material de construção que não mostre nenhuma manifestação exterior que revele uma produção notável de calor, quando submetido a um aquecimento programado num ensaio padrão. (12)

8. A pirólise começa antes da combustão propriamente dita. Assim cada material tem tendência a liberar gases cuja/ natureza e quantidade são suscetíveis de produzir uma combustão em fase gasosa quando em presença de uma chama piloto. Esta propriedade é a inflamabilidade e pode ser determinada em ensaio normalizado. Portanto outra temperatura característica além do ponto de ignição pode ser definida para as substâncias líquidas e para as sólidas/ sublimáveis, isto é capazes de passar diretamente do estado sólido para o gasoso. Trata-se do ponto de inflamação, ou seja a temperatura mínima necessária para assegurar na superfície livre uma concentração de gases suficiente para propagar a chama, desde que seja mantida a causa que a originou.

Observe-se que na literatura anglo-saxônica é definida também uma temperatura identificada como "flash-point" à qual se registra a inflamação de líquidos, em presença de uma fonte de calor. Alguns autores nacionais chamam essa/ temperatura de "ponto de fulgor".

Auto-extinção, é a propriedade de alguns materiais produzirem gases que extinguem o fogo.

9. Inflamação expontânea ou auto-ignição é a temperatura à qual certos materiais combustíveis iniciam a combustão sem a presença de uma chama. Na auto-ignição deve-se distinguir entre a que ocorre com exposição ao calor, sem presença de chamas, própria dos materiais celulósicos e a que se verifica sem exposição direta a uma fonte de calor externa, mas por acumulação de calor produzido pelo próprio material.

Embora aparentemente simples possam parecer os fenômenos/ que se relacionam com a combustão, as definições dos res

(12) LNEC, Ação do Fogo nos Edificios, relatório Parcial, Lisboa 1970. Ver também tópico 2.2.2.4.

pectivos parâmetros no domínio da tecnologia de incêndios, são entretanto bastante confusas, em virtude especialmente de assentarem nos critérios adotados por cada país no estabelecimento dos ensaios de caracterização dos materiais e componentes.

Isto conduz frequentemente à falsa suposição de não contribuição ao fogo de materiais não inflamáveis.

10. Se a quantidade de oxigênio fôr pequena a reação será lenta e o material combustível queimará lentamente e com produção de fumaça: acabando o oxigênio a combustão cessará. Os princípios da combustão valem quer para os sólidos como para os líquidos embora os efeitos na prática possam revelar-se muito diferentes. A produção de gases inflamáveis verifica-se mais rapidamente com os líquidos do que com a maioria dos sólidos, exigindo a aplicação de quantidade de calor bem menor. Os líquidos mais perigosos o são justamente por passarem ao estado gasoso à temperatura ambiente sendo classificados como líquidos de baixo ponto de fulgor. Já vimos que o ponto de fulgor é a temperatura à qual ocorrem gases em quantidade suficiente para permitir a inflamação. Estes gases formando uma mistura com o ar estão sujeitos a inflamar-se facilmente eis que o calor necessário é diminuto, criando-se situação propícia para explosão.

Esta entretanto ocorre somente quando a proporção dos gases em relação ao ar está situada em limites bastante definidos.

11. O ponto de fulgor ou de inflamação é evidentemente mais baixo do que o de combustão e a diferença está no fato de no primeiro caso a temperatura e o calor serem insuficientes para produzir gases na quantidade necessárias para manter a chama.

O ponto de inflamação também serviria para definir um critério de reação ao fogo. Praticamente entretanto verifica-se que face à complexidade dos fenômenos que ocor-

rem num incêndio, a classificação dos materiais segundo os parâmetros indicados não é suficiente. De fato quer para a reação como para a resistência ao fogo, verifica-se a influência de vários fatores dos quais alguns são relacionados com o edifício, considerado nas suas partes ou no seu todo, evidenciando a influência da disposição/ e do projeto.

12. Uma substância ao ser aquecida é objeto de reações de decomposição e de oxidação que embora presentes a temperaturas ordinárias, são aceleradas de acordo com o aumento de temperatura. Em geral o efeito destas reações é uma produção de calor, embora certos materiais, como os celulósicos, sofram reações endotérmicas e exotérmicas.

O comportamento real varia muito e Seekamp (12A) estimou que existem pelo menos 2000 combinações de fatores que - influenciam a combustão da madeira.

Esta produção de calor pode ser representada com uma função exponencial da temperatura e pode-se mostrar que à temperatura ambiente o calor gerado por exemplo numa - prancha de madeira é desprezível, podendo-se calcular - "grosso modo" em 10 anos o tempo necessário para elevar de 1º C a temperatura da prancha na hipótese de todo o calor gerado ser acumulado no material, o que na prática não ocorre.

A uma temperatura de 200ºC entretanto são necessários apenas alguns segundos para que se verifique o mesmo aumento. Aumentando a temperatura, a produção de calor interno torna-se gradualmente mais rápida até ultrapassar/ a velocidade de perda de calor para o meio ambiente, fato que dá lugar à acumulação de uma parte do calor gerado, no próprio material.

Daí em diante a velocidade aumenta rapidamente até alcançar uma temperatura à qual ocorre a ignição. Esta condição é conhecida como <u>combustão expontânea</u> ou auto-ignição.

Na prática a auto-ignição verifica-se com frequência em depósitos de materiais ou substâncias como pilhas de madeira, silos de sementes, fardos de algodão, etc. As di

(12A) Citado por JACKMAN e SAUNDERS em "The Fire Performance of Timber", Theory of Ignition, TRADA, 1972.

mensões do material, o tipo de embalagem, a forma de estocagem, a temperatura ambiente e a ventilação do local/ são fatores que governam este fenômeno. A ventilação deficiente favorece o aumento de temperatura eis que falta a troca de calor por convecção.

. Em geral quanto maior o volume do material tanto menor a quantidade de calor que pode alcançar a superficie por condução e aí ser dissipado por convecção.

13. Para um material exposto à radiação proveniente de uma combustão próxima ou de um incêndio num edifício adjacente, a duração da exposição é curta e destarte a intensidade para alcançar o ponto de combustão deve ser relativamente elevada.

Neste caso as dimensões dos materiais expostos ao efeito da radiação não têm importância.

Uma tábua de madeira por exemplo que receba radiação numa face tem a região mais quente na camada de material/ subjacente dessa face e a ela paralela.

Uma prancha, 3 ou 4 vezes mais espessa que a tábua, revela as mesmas condições.

O ponto de combustão depende principalmente das propriedades do material, da intensidade da radiação incidente e da duração da exposição.

O calor desenvolvido localmente por efeito da radiação,- destila gases quentes do material através da superfície, os quais se misturam com o ar até que o seu teor e a temperatura permitam à mistura ignizar-se.

Quando a combustão tiver início mediante uma chama piloto, constituída por exemplo de uma fagulha ou de um tição, se não houver contato entre esta fonte auxiliar e a superficie, chamaremos ao fenômeno de <u>ignição piloto</u>.

Quando o contato se realizar chamaremos de <u>ignição superficial</u>. Nos dois casos a intensidade da radiação será - bem menor do que a necessária para a <u>combustão exponta - nea</u>.

Estudos de Lawson e Simms, citados por Lie, mostraram ser possível tomar como critério de fixação do ponto de combustão de materiais celulósicos a temperatura superficial, correspondente aos três tipos de ignição considerados. (13)

14. Abaixo de uma certa intensidade da radiação incidente - não é possível aumentar a temperatura para alcançar a - de ignição. A intensidade à qual verifica-se a combustão do material, após um tempo de exposição teoricamente infinito, é definida como intensidade crítica, medida em cal/cm^2s. Alguns valores desse parâmetro são dados no Quadro 3. Para as aplicações pode-se adotar como valor/ médio (ignição piloto) a intensidade crítica de 0,3 - cal/cm^2s ou também 10800 $Kcal/m^2h$, o que representa cerca de 13 vezes a radiação solar direta.

15. Um material combustível cuja ignição tenha ocorrido, queima a uma velocidade relativamente baixa dependendo da superficie exposta ao oxigênio do ar.

Em determinadas condições contudo a combustão pode realizar-se a alta velocidade com desprendimento de grande quantidade de calor e grandes volumes de gases cuja pressão aumenta repentinamente em consequência do aquecimento rápido. É este o fenômeno da explosão e ocorre geralmente com duas categorias de materiais:

- pós inflamáveis
- líquidos e gases inflamáveis

No primeiro caso a ocorrência da explosão depende dos seguintes fatores:

- concentração do pó
- composição do pó e do ar ambiente
- forma e tamanho das particulas
- carga eletro-estática das particulas

Observe-se que a velocidade de combustão é diretamente proporcional à superficie específica do combustível. Embora a quantidade de calor desenvolvida seja a mesma, - quanto maior a velocidade, mais elevada será a temperatura alcançada.

---

(13) LIE T.T., Fire and Buildings, Applied Science Publishers Ltd, Londres 1972.

QUADRO 3

MATERIAL	INTENSIDADE CRÍTICA PARA IGNIÇÃO		
	SUPERFICIAL	PILOTO	EXPONTÂNEA
		(cal/cm^2 s)	
Madeira	0,1	0,35	0,7
Madeira com pintura comum	-	0,4	0,55 - 1,2
Chapas de fibras isolantes termica	-	0,15	0,6
Chapas de fibras isolantes com tratamento retardante	-	0,2 - 1,0	-
Chapas duras	0,1	0,25	-
Tecidos	-	-	0,85
Canhamo, Juta e Linho	-	-	1,0
Cortiça	-	0,08	0,55
Cobertura saturada c/asfalto	0,07	-	-
Cobertura protegida com chapas de aluminio	1,8	-	-

A explosão se verifica quando a concentração do pó alcança um limite mínimo, que para a maioria dos pós inflamáveis é da ordem de 0,02 kg/m^3, e em presença de uma fonte de calor cuja temperatura alcance o ponto de ignição/ do material, que se situa em geral entre 400 e 600º C.

Para os líquidos e os gases inflamáveis a explosão pode verificar-se pela interrelação de quatro parâmetros:

- os teores limites geralmente medidos em porcentagem de volume no ar,

- o ponto de fulgor ("flash-point")
- a densidade do gás ou do vapor medida em relação ao ar
- a temperatura de ignição (ponto de combustão)

Em geral os combustíveis líquidos quando suficientemente aquecidos tornam-se inflamáveis, mas podem adquirir a mesma propriedade quando pulverizados.

Os mais perigosos são aqueles que possuem um ponto de fulgor inferior à temperatura ambiente.

Para cada substância desta natureza pode-se determinar o teor limite inferior e o superior, isto é as concentrações em porcentagem de volume de ar abaixo e acima das quais a explosão não ocorre.

Temos por exemplo:

SUBSTÂNCIA	LIMITES (%) (VOL.)	
	INF.	SUP.
Gasolina	1,3	6
Álcool	3	19
Eter	1,7	48
Gás de Rua	3	35

16. A importância destes limites pode ser ilustrada com um exemplo comum: se jogarmos um fósforo num tanque de gasolina cheio não se verifica qualquer explosão eis que seu teor é maior do que o limite superior de 6%. Mas se fizermos o mesmo com um tanque praticamente vazio pode ocorrer uma violenta explosão em virtude da mistura do gás com o ar se encontrar entre os dois limites.

Quanto aos líquidos também a temperatura de inflamação joga um papel importante. Com efeito gasolina, álcool, eter, acetona, substâncias habitualmente utilizadas nas atividades domésticas de uma habitação, têm ponto de ful

gor à temperatura ambiente ou mesmo inferior.

A "National Fire Protection Association" dos E.U.A. classifica os líquidos inflamáveis em três categorias de periculosidade:

- Classe I : PF < -4ºC
- Classe II : -4ºC ≤ PF < 21ºC
- Classe III : 21ºC ≤ PF < 93ºC

Assim, na primeira classe encontramos: eter, gasolina, acetona, disulfeto de carbono (formicida); na segunda: álcool, toluol; na terceira: óleo combustível, terebentina, querosene.

A densidade, medida em relação ao ar é uma propriedade que afeta a concentração. Gases ou vapores mais leves do que o ar sobem e num ambiente fechado podem acumular-se junto ao forro, o inverso ocorrendo com os mais pesados que descem e determinam uma concentração maior junto ao piso. Normalmente numa habitação, chamas piloto são encontradas à altura de até um metro e meio, devendo-se portanto evitar gases explosivos pesados. Dos gases de uso doméstico mais comum destacam-se o de rua, o propano e o metano, sendo que estes dois últimos misturados e liquefeitos constituem o "gás engarrafado".

Para estas substâncias temos:

	TEMPERATURA DE IGNIÇÃO (ºC)	LIMITES (%)	
		INF.	SUP.
- Gás de Rua	500	3	35
- Metano	538	5,3	14
- Propano	465	2,3	9,5

O metano e propano são mais pesados do que o ar e inodoros. Para reduzir os riscos decorrentes de vazamentos são usados aditivos odoríferos.

Para os gases e líquidos inflamáveis a temperatura de combustão e a de auto-ignição coincidem.(13B).

2.2.2.2.DESENVOLVIMENTO DO FOGO

1.Se encostarmos a chama de um fósforo a uma tora de madeira esta provavelmente queimará no ponto de contacto, mas a combustão não continuará ao se apagar o fósforo.

Se encostarmos algumas centenas de fósforos acêsos a tora queimará e quase certamente as chamas continuarão depois de extinguidas as dos fósforos.

Em todos os casos a temperatura da fonte é a da chama do fósforo, portanto a mesma, mas a combustão da madeira sómente se realizará quando o fluxo do calor fôr suficiente para destilar do próprio material gases em quantidade mínima indispensável para alimentar a combustão. Esta é um fenômeno complexo para a madeira como veremos no tópico 3.2.14. mas sucintamente podemos observar que às temperaturas mais baixas até cerca de 250 ºC desenvolvem-se lentamente vapores d'água e gases com reações internas prevalentemente endotérmicas. Sòmente por volta de 270-300 ºC a reação interna torna-se exotérmica e a produção de gases é mais enérgica,criando condições para a ignição piloto. A temperaturas mais elevadas, a emissão de gases continua aumentando:à cerca de 500ºC a auto-ignição dos gases ocorre. Nas primeiras fases há produção de fumaças brancas (vapor) e em seguida de fumaça espessa e escura.

2. É evidente que a produção de calor interno e a consequente emissão de gases crescerá em quantidade e intensidade proporcionais à profundidade alcançada pelo calor externo, mas num certo instante o calor interno prevalecerá sôbre o externo : são estas as condições que diferenciam o ponto de inflamação do ponto de ignição.

3. É importante notar a influência da <u>massa</u> e da <u>forma</u>. De fato a intensidade local será tanto maior quanto menor fôr a massa do material que absorve e difunde calor. A influência da forma pode ser revelada pelo comportamento diferente evidenciado pelas aparas se com

---

13B) Para pontos de fulgor e de combustão de alguns materiais veja-se o quadro 17A .

parado com o da tora.

O contato com a chama de um fósforo provoca a imediata inflamação e combustão das aparas o que não acontece com a tora, decorrente este fato da relação superfície / volume ser muito maior nas primeiras, as quais possuindo menos massa de material através do qual o calor possa se difundir, sofrerão uma elevação local de temperatura muito mais rápida.

4. Deve-se também registrar a influência da ventilação, uma vez que governa a alimentação de oxigênio. Mas, aumentando a tiragem do ar pode-se provocar uma rápida difusão dos gases combustíveis libertados pelo material, que assim pode esfriar a uma temperatura inferior ao seu ponto de combustão.

5. Outro fator de grande importância é o teor de umidade. Sua influência deve-se:

   1) ao aumento da condutibilidade térmica resultante do preenchimento dos poros pela água,

   2) ao calor absorvido na passagem da umidade para o estado de vapor,

   3) à diluição do oxigênio na superfície, ocasionada pelo vapor que se liberta do material. Assim a umidade retarda a temperatura de inflamação.

6. O aquecimento prévio a temperaturas baixas pode ocasionar a perda de gases retardando também a inflamação. Por outro lado, dependendo das circunstâncias, pode também eliminar a umidade interna antecipando o ponto de inflamação. Os conhecimentos a respeito são limitados, não permitindo tirar conclusões definitivas sobre a sua influência real.

7. O estudo exige a esta altura que se proceda à definição de alguns parâmetros fundamentais diretamente relacionados com a combustão, a saber: quantidade de calor, massa específica, calor específico, transmissão do calor, poder calorífico, difusibilidade térmica.

2.2.2.3 PARÂMETROS GERAIS

2.2.2.3.1 Quantidade de Calor

O calor é uma forma de energia que pode ser medida em várias unidades: joule, caloria, kilocaloria, megacaloria, megajoule.

A densidade superficial do fluxo é expressa em:

- $cal/cm^2.s$
- $kcal/m^2.s$
- W/m^2
- $Btu/ft^2.s$

Entre as principais dessas unidades existem as seguintes/ relações:

- 1 Mcal = 4,186 MJ
- 1 $cal/cm^2.s$ = $3,6 \times 10^4$ $kcal/m^2.h$
- 1 $cal/cm^2.s$ = 4,186 $J/cm^2.s$
- 1 $kcal/m^2.h$ = 1,163 W/m^2

2.2.2.3.2. Calor Especifico

O calor específico é a quantidade de calor absorvida pela unidade de massa de um corpo para aumentar sua temperatura de 1ºC. Varia portanto de acôrdo com as substâncias, mas também com a própria temperatura, adotando-se normalmente um valor médio.

É expresso em:

- cal/g.ºC
- kcal/kg.ºC
- J/ºC

Entre essas unidades observam-se as seguintes relações:

- 1 cal/g.ºC = 1 kcal/kg.ºC
- 1 kcal/kg.ºC = 4,186 J/kg.ºC

O calor específico mede a capacidade térmica de um material: esta é tanto maior quanto menor é a elevação de temperatura a paridade de massa e de calor absorvido.

Deve ser também considerada a sua variação de acôrdo com -

as condições de pressão ou de volume constante, especialmente para os fluidos.

Materiais que contém água livre ou químicamente combinada apresentam valores variáveis de acordo com a temperatura. Dentre os materiais mais comuns sujeitos a essa variação/ podemos citar o gesso e o cimento.

2.2.2.3.3. Poder Calorífico

1. Poder calorífico, ou calor de combustão, é a quantidade - de calor produzido pela unidade de massa de um material - no decurso completo da combustão. É geralmente expresso - nas mesmas unidades da quantidade de calor por unidade de massa ou pêso.
   Quando a substância contém água, deve ser considerada a quantidade de calor obtida condensando o vapor d'água produzido na combustão e resfriando-o até a temperatura ambiente (15ºC): temos nêste caso o poder calorífico superior.
   Quando êste calor de condensação não fôr considerado temos o poder calorífico inferior.
   Quando fôr determinado na bomba calorimétrica, com capacidade fechada, teremos o poder calorífico a volume constante.
2. Para a madeira, dependendo do conteúdo de umidade, pode - variar de 2.800 kcal/kg (madeira verde) até 4.500 kcal/kg (madeira sêca).
3. O poder calorífico não deve ser confundido com o potencial calorífico ("fire-load") que representa o poder calorífico de todos os componentes e objetos contidos em determinada/ área de edificação, como resultado de combustão completa. Este será definido e analisado no tópico 2.2.3.1.

2.2.2.3.4 Transmissão do Calor

1. Teoricamente a transmissão do calor pode efetuar-se segundo três formas fundamentais: a condução, a convecção e a radiação.
   Num incêndio as três formas geralmente são concomitantes, embora em determinado momento uma delas seja preponderante.

2. Chamamos de condução à transmissão através de um material sólido de uma região de temperatura elevada em direção a uma região de baixa temperatura. O fluxo de calor é proporcional à diferença de temperaturas extremas (na unidade de tempo, de superfície e de espessura) a um coeficiente "λ", característico de cada material, dito de condutibilidade térmica e expresso em kcal/mh°C ou W/m°C.

O fluxo é portanto $Q = \lambda (t-t_o)$.

3. Chamamos de convecção à transmissão através de um fluído, líquido ou gás, entre dois corpos submersos no fluído ou entre um corpo e o fluído. O fluxo é proporcional à diferença de temperatura entre o corpo e o fluído e (na unidade de tempo e de superfície) a um coeficiente α dito de convecção e expresso em kcal/m^{2}h°C.

O fluxo é portanto: $Q = \alpha (t-t_o)$. Nos incêndios, a convecção se realiza através do ar e dos gases gerados pelo calor.

4. Chamamos de radiação à transmissão de calor através de um gás ou do vácuo, na forma de energia radiante. A intensidade da radiação é proporcional à diferença das quartas potências das temperaturas absolutas do corpo e do ambiente e a um coeficiente característico (na unidade de tempo e de superfície) igual para o corpo preto a 4,93. Obtem-se para o fluxo uma intensidade:

$$I = C \left[\left(\frac{T}{100}\right)^4 - \left(\frac{T'}{100}\right)^4 \right] \text{ Kcal/m}^2\text{h} \qquad (T = 273 + t\ ^\circ C)$$

2.2.2.3.5 Difusibilidade Térmica

A difusibilidade térmica é a relação entre a condutibilidade e a capacidade térmica de um material. Pode ser expressa por:

$$a = \frac{\lambda}{\rho c} \ (m^2/h)$$

onde: λ é a condutibilidade (kcal/mh°C)
ρ a massa específica aparente (kg/m^3)
c o calor específico (kcal/kg°C)

A difusibilidade térmica de um material é a medida da velocidade de propagação do calor da face exposta do material em direção ao interior do mesmo.

Com efeito uma difusibilidade elevada significa que o material tem uma condutibilidade elevada ou uma baixa capacidade térmica sendo que ambas estas propriedades concorrem/ para acelerar a propagação do calor da região mais quente/ para a mais fria.

2.2.2.4 DEFINIÇÃO DE INCOMBUSTIBILIDADE

Das considerações feitas até esta altura do nosso trabalho pode-se concluir que as circunstâncias necessárias para a combustão dos materiais são bastante complexas para que se possa definir perfeitamente o comportamento ao fogo.
Assim, verificou-se ser preferível utilizar um critério de combustibilidade independente das condições de inflamação.
Sendo condição necessária para a combustão a ocorrência de uma reação exotérmica contínua, a paridade de outras condições, reconhece-se ser básica a quantidade de calor libertado, isto é o calor de combustão, visto ser este calor diretamente responsável pela manutenção da concentração gasosa e da velocidade de reação. O calor de combustão, característico de cada material é definido pelo poder calorífico, de acôrdo com o que foi visto no tópico 2.2.2.3.3. e - sua utilização como parâmetro de combustibilidade depende/ de definir-se a quantidade de calor abaixo da qual não se verifica reação ao fogo do material considerado.
Dois ensaios padrão são recomendados pela ISO: o "Ensaio - de não-combustibilidade para materiais de construção" (ISO R 1182/70) e o "Ensaio de bomba calorimétrica" (ISO Draft/ Recommendation 1716/68).
No primeiro, a amostra é colocada num forno pré-aquecido a 750ºC durante não menos de 10 minutos e a variação de temperatura é medida no meio da mesma e num outro ponto da camara. Um material é então classificado não combustível se testando-se três amostras não se verificam:

1 - Aumentos de temperatura sôbre a temperatura inicial maiores do que 50ºC quer da amostra quer do forno
2 - produção de chamas de duração maior do que 10 segundos/

O segundo ensaio é realizado numa bomba calorimétrica da alta pressão, na qual a amostra é queimada em atmosfera de oxigênio. São medidos os valores do poder calorífico superior e inferior. Como critério de combustibilidade é sugerido o limite de 500 kcal/kg de material para o poder calorífico inferior.
Estes ensaios não têm aplicação generalizada; isto mostra/ a dificuldade em definir-se um parâmetro aparentemente tão simples (13A).
As opiniões a respeito não são entretanto ainda unânimes.

(13A) G.BELLISSON, "L'Essai ISO d'incombustibilité", Cahiers du CSTB nº 1058/122 Paris, 1971.

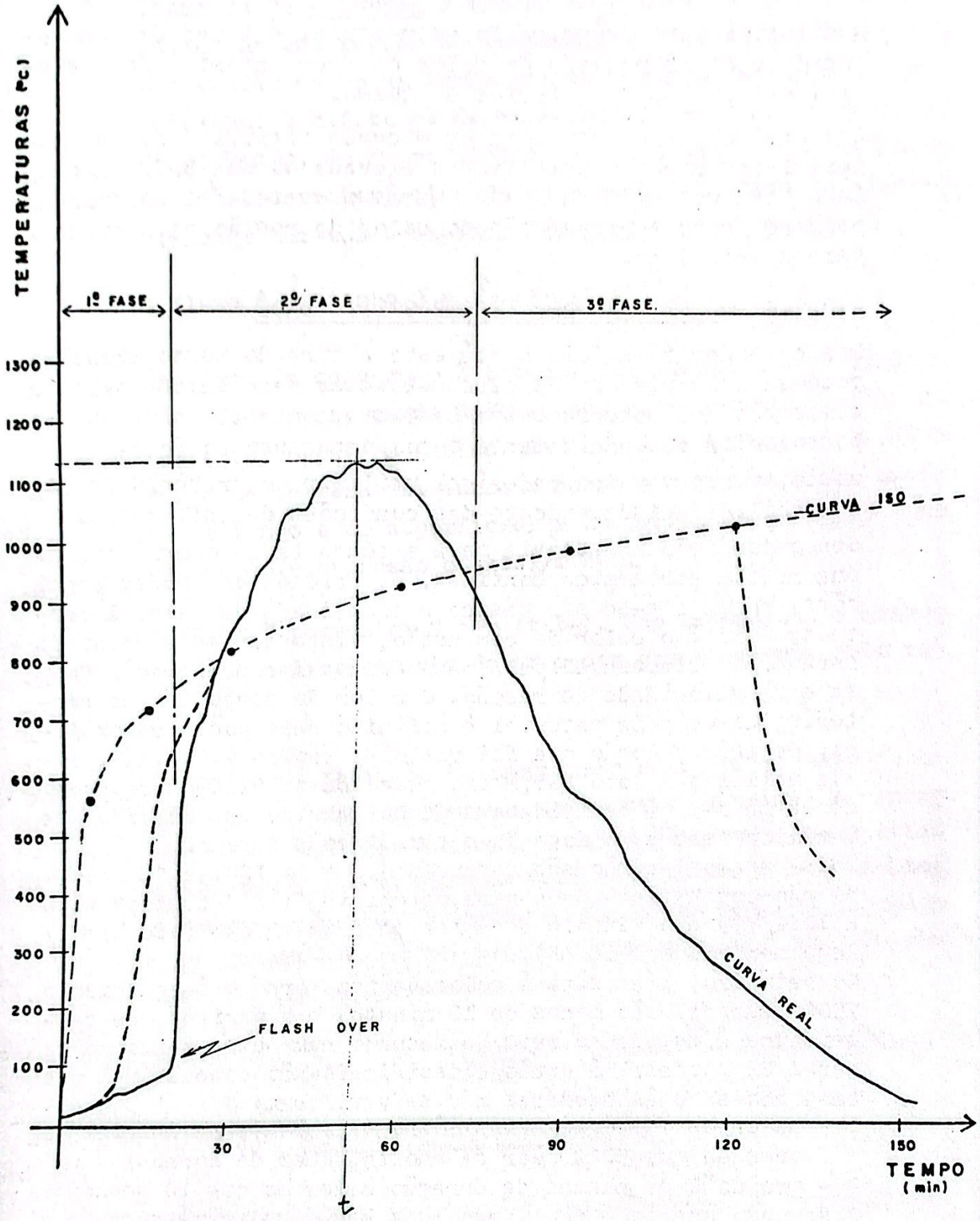

TEMPERATURAS (°C)
1º FASE
2º FASE
3º FASE
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
CURVA ISO
CURVA REAL
FLASH OVER
30
60
90
120
150
TEMPO
(min)
t

FIGURA I

2.2.3. EVOLUÇÃO DO FOGO

1. Observações realizadas em vários países sôbre incêndios reais mostraram que na evolução do fogo num local pode ser identificado um ciclo com três fases características (Ver fig. 1):

1) fase inicial de elevação progressiva da temperatura ("growth")
2) fase de inflamação generalizada ("fully developed fire")
3) fase de decadência e extinção ("decay")

2. A primeira fase inicia-se com o ponto de inflamação inicial e caracteriza-se por grandes variações de temperatura de ponto a ponto ocasionadas pela inflamação sucessiva dos objetos existentes no recinto e de acordo com a alimentação de ar. Nesta primeira fase, nem sempre o fogo se manifesta com chamas. Pode ocorrer uma combustão incompleta, com baixo consumo de oxigênio. É o fenômeno conhecido pelo termo inglês "smouldering" (13). Esta fase termina na inflamação generalizada do local ("flash-over") quando todos os materiais combustíveis dos objetos existentes e dos componentes da construção participam do fogo.

O desenvolvimento desta primeira fase é favorecido principalmente por grandes superfícies de materiais combustíveis, tais como paredes, divisórias, forros, especialmente quando contínuas, e por outros fatores, a saber:

1) quantidade, volume e espaçamento dos materiais combustíveis no local,
2) tamanho e situação das fontes de combustão,
3) área e locação das janelas,
4) velocidade e direção do vento,
5) forma e dimensões do local.

A posição relativa dos objetos e a natureza dos revestimentos toma evidência pois a transmissão do calor ocorre nesta fase principalmente por convecção e radiação.

Ressalta contudo a posição do fogo inicial com relação à janela mais próxima. Se esta estiver fechada a evolução é condicionada à ruptura do primeiro vidro e sucessivamente a dos demais. As temperaturas às quais a ruptura dos vidros ocorre, variam de 70 a 200ºC, podendo-se considerar como mais provável a de 100ºC.

Ao se verificar o "flash-over", a temperatura alcança 400-600ºC

---

(13) Algo de semelhante ocorre na post-combustão: em italiano diz-se "il fuoco cova".

Veremos mais adiante, detalhadamente, a influência da ventilação. Lembramos aqui que para assegurar a combustão de 1 quilograma de madeira são mediamente necessários 5,5 m^3 de ar. Para um local de 3 x 4 m, isto é com 12 m^2 de área e 2,5 m de pé-direito o volume de ar disponível (com todas as aberturas externas fechadas e sem considerar chaminés de coifas ou lareiras) é igual a 30 m^3. Considerando-se que numa habitação existam mediamente 50 kg/m^2 de madeira ou material equivalente, o volume de ar necessário para a sua combustão completa seria de 3300 m3. Portanto o disponível não alcança 1% do necessário.

Esta observação esclarece a ocorrência de explosões nesta primeira fase do incêndio (14).

Com efeito, esgotada num local, a disponibilidade inicial de oxigênio, o fogo pode diminuir de intensidade e extinguir-se. Contudo se (por transmissão de calor de outros locais), a isto não corresponde uma queda de temperatura, mais gases continuam a ser destilados e sua concentração aumenta especialmente junto ao forro até que a ruptura de vidros provoca a entrada de ar suficiente para com eles formar uma mistura detonante que explode com grandes chamas.

Ao se verificar a inflamação generalizada observa-se fenômeno semelhante. De fato a temperatura ambiente torna-se mais uniforme mas o incremento muito rápido da velocidade de combustão provoca um desajustamento em relação à alimentação de ar, registrando-se uma combustão incompleta de grandes quantidades de gases que ao sairem pelas aberturas externas, inflamam repentinamente com grandes chamas.

2.2.3.1 INFLUÊNCIA DO CONTEÚDO DE COMBUSTÍVEL E DEFINIÇÃO DE POTENCIAL CALORÍFICO

1. O desenvolvimento e a duração de um incêndio são evidentemente influenciadas pela quantidade de combustível a quei

---

(14) No incêndio do Ed. Andraus verificou-se elevada ocorrência de explosões atribuídas pela imprensa a botijões de gás.

mar. Com efeito, a duração é dada dividindo-se a quantidade de combustível pela taxa ou velocidade de combustão. Foi portanto definido um parâmetro que exprime o poder calorífico médio da massa de materiais combustíveis por unidade de área de um local. Chama-se potencial calorífico (ou térmico) unitário e corresponde à "fire load density" dos países anglo-saxônicos.

Nestes materiais estão incluídos não somente os componentes de construção, tais como revestimentos de pisos e forros, assoalhos, divisórias e tabiques, esquadrias, revestimentos e acabamentos de paredes, etc., mas também peças de mobiliário e elementos de decoração, livros e papéis, peças de vestuário e roupa de cama e mesa, materiais de uso ou de consumo e materiais armazenados, conforme a finalidade da edificação, configurando uma parte fixa e uma variável.

Este parâmetro foi concebido por Ingberg em 1928 (15) e logo passou a ser adotado por várias regulamentações e ainda hoje é um dos elementos básicos da tecnologia do fogo. Segundo esse autor a resistência ao fogo , tal como será definida mais adiante, deveria ser determinada em relação à severidade potencial do incêndio e esta por sua vez dependeria exclusivamente do potencial calorífico unitário. Com efeito o risco depende da natureza, quantidade e distribuição do material combustível, mas o peso total deste último não pode ser assumido como critério. A reação ao fogo de um material mede-se em primeiro lugar pela quantidade de calor desenvolvido na combustão, representada pelo poder calorífico definido nas páginas anteriores. A quantidade de combustível e a sua distribuição configuram a carga térmica do local e cotejando-se esta com a superfície útil, obtem-se o potencial térmico unitário.

O conteúdo de combustível é contudo raramente uniformemente distribuído e concentrações elevadas podem registrar-se em determinadas áreas. Não se deve portanto adotar o potencial térmico unitário médio, mas o efetivo local quando este resulta ser maior ou igual ao dobro do médio.

---

(15) O trabalho de Ingberg foi publicado na revista da National Fire Protection Association, americana.

2. O potencial calorífico é medido em kcal/m^2 ou em Mcal/m^2, mas visando simplificar seu uso, convencionou-se também expressá-lo em quilogramas de madeira por metro quadrado de superfície útil do piso do local. (15A)

Segundo as pesquisas de Ingberg para potenciais térmicos até 146 kg/m^2 (30 lb/ft^2) a duração do fogo (para fins de exigências de resistência) seria de 0,1 h para cada/ 4,88 kg/m^2 (1 lb/ft^2) de potencial.

3. Embora constitua um passo importante no desenvolvimento/ da tecnologia de incêndios, o conceito de "fire load" revelou-se com o tempo insuficiente para definir claramente o desenvolvimento do fogo. De fato estudos e pesquisas efetuadas nos últimos 15 anos mostraram ser também determinante a influência da ventilação. É o que veremos mais adiante.

O potencial calorífico unitário representa contudo um dos parâmetros a considerar nos cálculos e merece maior/ atenção.

Ele varia bastante em função da natureza da edificação, podendo alcançar valores de até 2700 Mcal/m^2, que se registram em depósitos e fábricas. As estatísticas de vários países mostram também variações regionais sensíveis, fato que não parece autorizar a simples adaptação/ de uma norma de um país para outro.

Os estudos a que nos referimos revelaram também algumas/ divergências na própria conceituação do potencial calorífico.

4. A expressão usual desse parâmetro é:

$$W_o = \frac{\sum m\,q}{A_F} \quad (\text{Mcal/m}^2)$$

e também:

$$W_o = \frac{\sum m\,q}{4{,}5\,A_F} \quad (\text{kg/m}^2) \text{ (peso equivalente de madeira)}$$

(15A) Nêste trabalho, exceto indicação em contrário, o potencial calorífico unitário, será sempre expresso em pêso equivalente de madeira e indicado com a notação W_o (kg/m^2).

onde: m = peso total do material combustível (kg)
q = poder calorífico do material (Mcal/kg)
A_F = área do piso (m^2)

5. Na Suécia em lugar de A_F, adota-se a área total das superfícies que definem o espaço do local, incluindo os vedos verticais e o forro (16).

Tem-se então:

$$W'_o = \frac{\sum m\,q}{A_T}$$

e, em peso equivalente de madeira:

$$W'_o = \frac{\sum m\,q}{4,5\,A_T} \quad (kg/m^2)$$

e também:

$$W'_o = W_o \frac{A_F}{A_T}$$

Como será visto nos parágrafos seguintes a análise do balanço térmico de um local considera o fluxo através dos vedos e não apenas do piso e para os estudos realizados na Suécia, a formulação do potencial térmico unitário revela-se mais coerente com essa análise.

Isto posto, é evidente que se o potencial calorífico é responsável pela severidade do incêndio, ele determina proporcionalmente a gravidade dos danos, como prova também o exame de edifícios atingidos pelo fogo (17). Esse é sem dúvida um dos motivos de sua grande aplicação como parâmetro de avaliação de um edifício para efeitos securitários.

Recente pesquisa efetuada pela Building Research Station inglesa em dois grandes edifícios de escritórios de Londres revelou potencial térmico unitário médio de 20kg/m^2 enquanto 95% das salas tinham um potencial t.u. menor do que 60 kg/m^2. Foram encontrados poucos casos de valores

---

(16) PETTERSON O., Principles of Fire Engineering Design and Fire Safety of Tall Buildings, Lund Institute of Technology, Lund 1973

(17) ELSTNER R.C. et al., Lessons from the Avianca fire in Bogota, Colombia, em Concrete Construction, Vol 19, nº8, Elmhurst (USA) 1974

da ordem de 110 kg/m^2. Estes dados têm uma significação relativa eis que, como já ressaltamos, o potencial térmico tem característicos regionais e deve ser objeto de levantamentos estatísticos locais. Veja-se a fig. 5.

6. Na Inglaterra uma pesquisa realizada para o Ministério/ das Obras Públicas alguns anos atrás, permitiu classificar os edificios em três categorias de acôrdo com seu - potencial calorífico unitário (17A). Para cada uma é fixado um valor médio e um máximo admissível em áreas limitadas e desde que o combustível seja isolado. O quadro-4 fornece os valores em kcal/m^2 e em kg/m^2 de madeira equivalente, calculado este para um poder calorifico da madeira igual a 4.500 kcal/kg.

QUADRO 4

CATEGORIA	W_o Médio		W_o Máximo	
	kcal/m^2	kg/m^2	kcal/m^2	kg/m^2
- potencial calor. unitário baixo	< 270.000	60	540.000	120
- Potencial calor. unitário médio	> 270.000 ≤ 540.000	60 120	1.080.000	240
- Potencial calor. unitário elevado	> 540.000 ≤ 1.080.000	120 240	2.160.000	480

A essas três categorias corresponde uma severidade de incêndio igual respectivamente a 1 h, 2 h, 4 h.

No quadro 5 seguinte estão registrados os tipos de edificações dos quais esses potenciais são característicos.

QUADRO 5

W_o	TIPO DE EDIFICIO
- baixo	habitações, escritorios, locais de reunião
- médio - elevado	comércio e indústrias depósitos de materiais a granel

(17A) Estes dados serviram de base para a regulamentação inglesa e foram publicados em "Fire Gradings of - Buildings, Ministry of Works Post-War Building Studies nº 20". Atualmente as "Buildings Regulations/ 1972" e sua emenda de 1973, relacionam a resistência ao fogo diretamente com a categoria de edificios, sua altura, área e volume.

7. O incêndio do Joelma mostrou sem dúvida um potencial calorífico unitário maior do que deveria-se admitir para essa categoria de edifício. Na época da vistoria, a documentação colocada à disposição da comissão do IE, não incluia os projetos das divisões, dos salões, da decoração e da disposição física do mobiliário e do equipamento, mas apenas os projetos arquitetônicos. Assim não foi possível efetuar um cálculo de verificação. O valor de 25 kg/m^2 registrado no tópico 3.3 do laudo serviu apenas para ilustrar o mecanismo da ventilação, mas os pavimentos inferiores não atingidos pelo fogo deixam supor um valor da ordem de 60-80 kg/m^2.

Embora o combustível não queime sempre integralmente, o potencial deverá sempre ser expresso pelo valor integral do poder calorífico da madeira existente somado ao de outros materiais, medido em peso equivalente.

Para essa equivalência, para os materiais plásticos mais comuns encontrados em residências ou escritórios, podem ser utilizados os fatores registrados no quadro abaixo.

QUADRO 6

MATERIAL	FATOR
Polietileno	2,4
Polipropileno	2,3
Cloreto de polivinilo	1,0
Poliestireno	2,1
Nitrato de celulose	0,9
Polimetil metacrilato	1,3
Fenol formaldeido	1,3
Espuma de poliuretano	1,4

8. A título ilustrativo calculamos a seguir o potencial térmico de um salão de escritórios com área útil de 2.500 m^2.

1) Divisórias de madeira
(com portas).....440 m^2 x 20 = 8.800 kg
2) Forro de chapas de fibras de madeira..... 2500 m^2 x 15 = 37.500 kg
3) Forração de piso (nylon sôbre base de algodão)..... 2500 m^2 x 32 = 80.000 kg
4) Mesas de madeira ..... 280 u x 75 = 21.000 kg
5) Poltronas e sofás..... 30 u x 20 = .600 kg
6) Revestimento de poltronas e sofás.....30x15 m^2 x 32 = 14.400 kg
7) Cadeiras..... 350 u x 5 = 1.750 kg
8) Papel..... 280 u x 5 = 1.400 kg
9) Revestimento das cadeiras..... 70 m^2 x 32 = 2.240 kg
10) Arquivos (pastas e papel)..... 140 u x 10 = 1.400 kg

W TOTAL.....= 169.090 kg

POTENCIAL CALORÍFICO UNITÁRIO $W_o = \frac{W}{A_p} = \frac{169.090}{2.500}$

$W_o = 67,63 \ kg/m^2$

Algumas regulamentações ao definir o potencial calorífico classificam os materiais de acôrdo também com sua velocidade de combustão, estabelecendo fatores para as várias categorias. No quadro a seguir estão relacionados materiais combustíveis que no cômputo do potencial devem ter seu pêso equivalente multiplicado pelos fatores 1 e 2 (veja-se também quadro 17B),(17B) :

Quadro 6A

fator	material
1	madeira, papel, algodão, lã, seda, palha, grãos e sementes, açucar.
2	óleos vegetais e animais, gorduras, ceras, petrôleo e seus sub-produtos, asfalto, alcool, naftalina, etc.

A importância do potencial calorífico, como parâmetro da severidade de um incêndio é evidente eis que representa a carga de combustível. Mas na combustão é necessária a presença do comburente e à paridade de quantidade de combustível, a combustão será governada pelo oxigênio disponível no ar atmosférico.

(17B) A Prefeitura de São Paulo adotou na legislação pertinente critério semelhante mas até esta data não publicou as listas de materiais , tornando impraticável a classificação e as aplicações.

Segundo Ingberg a relação entre a duração e o potencial calorifico seria linear segundo a expressão:

$$t = 1,2\ W_o\ (min)$$

onde W_o = potencial calorífico unitário em kg/m^2 em peso equivalente de madeira.

Pesquisas posteriores realizadas especialmente por Kawagoe e Sekine mostraram ser indispensável tomar em consideração o efeito da ventilação, podendo-se determinar - dois regimes de combustão, em função da ventilação disponivel, um governado pela ventilação, outro pelo potencial calorífico. Êste último conceito foi ulteriormente desenvolvido por Simms, Wesbster, Thomas, Harmathy, Law, permitindo definir a severidade por meio de índices mais próximos dos reais.

Deve-se considerar que se no tempo de Ingberg, os vaõs/ de ventilação tinham dimensões modestas, decorridos hoje 45 anos, podemos observar uma grande evolução de arquitetura, marcada especialmente por concepções totalmente diferentes dêsses vaõs.

Isto não pode ser ignorado, especialmente pelos Códigos de Edificações, que em muitos casos ainda se pautam nos critérios de Ingberg.

2.2.3.2 INFLUÊNCIA DA VENTILAÇÃO

1. Durante um incêndio o calor destila gases dos materiais combustiveis. Outros gases são produzidos pela

própria combustão. Estes gases podem ser mais ou menos densos de acordo com a temperatura. Sua densidade é entretanto sempre menor da que registra o ar externo frio/ ou a uma temperatura inferior à dos gases de combustão.

Esta diferença provoca um movimento ascensional dos gases quentes que são paulatinamente substituidos pelo ar. Já vimos que para a combustão se realizar a quantidade/ de ar interno é insuficiente, sendo portanto necessária a alimentação externa. Esta realiza-se através de vãos/ de janelas desde que abertos. Observa-se que o fluxo - dos gases e fumaças quentes uma vez atingido o forro , se dá em direção ao exterior através dos vãos abertos - nos vedos, que também dão entrada, na sua parte inferior ao ar frio. (fig.2)

De acôrdo com a quantidade do combustivel, da sua disposição, da área do local e das dimensões das aberturas , a taxa de combustão pode ser determinada pela velocidade de suprimento do ar. Quanto maiores as aberturas tanto mais rápida a combustão. Entretanto quando a vazão - do ar fôr superior às necessidades da combustão, esta - não será mais controlada pelo ar, aproximando-se neste caso a um fogo aberto e ao que se verifica ao ar livre.

Temos portanto dois casos típicos, No primeiro, a combustão é controlada pela ventilação, portanto pela seção útil das aberturas. No segundo, a combustão é controlada pela quantidade de combustível, portanto pelo - potencial calorífico unitário.

No primeiro caso, de combustão controlada pelo ar, nos vãos de ventilação observa-se a existência de um plano neutro que separa as duas seções de entrada do ar, em baixo, e de saída dos gases em cima. (fig.3)

2. Kawagoe, Yakoi, Lie e outros estudaram o fenômeno e Lie relaciona a taxa de combustão com a vazão do ar. Utilizando as mesmas notações do autor citado, temos:

$$V' = a\, H'\, B\, v'_m$$

onde:

V' = vazão do ar introduzido

a = coeficiente de descarga

H' = altura da seção do vão de ventilação abaixo do plano neutro

B = largura do vão

v'_m = velocidade média do ar

Se L fôr o volume de ar necessário para a combustão de 1 kg de madeira, a taxa máxima de combustão será dada por V'/L isto é:

$$R = \frac{a\, H'\, B\, v'_m}{L}$$

Segundo os autores citados pode-se definir a seguinte expressão para a taxa de combustão, representando a quantidade em pêso de madeira equivalente, consumida na unidade de tempo:

$$R = CA_v \quad H \quad (Kg/min)$$

onde:

C = constante = 5,0 - 6,0 podendo-se adotar médiamente = 5,5

A_v = HB = área da seção de ventilação m^2

H = altura da seção m

Kawagoe denomina $A_v \sqrt{H}$ de <u>fator de ventilação</u>.

Quando os vãos de ventilação forem mais que um, deve-se utilizar um fator global igual a

$$\sum A_i \sqrt{H_i}$$

Expressando H e B metros, R será em kg/min.

Temos portanto

$$R = 5,5 \quad A_v\sqrt{H} \quad (kg/min)$$

$$R = 330 \quad A_v\sqrt{H} \quad (kg/hora)$$

3. Percebe-se que além da superfície também o formato da secção influe na velocidade de combustão, uma janela alta propiciando uma velocidade maior do que uma larga. Com efeito para uma janela de 2 m^2, (2 x 1), teremos:

R = 15,4 kg/min quando a altura fôr = 2
R = 11,0 kg/min quando a largura fôr = 2

Se o local tiver 12 m^2, portanto um potencial calorífico total igual a 12 x 50 = 600 kg, com o vão de ventilação acima, a combustão durará respectivamente 39 e 54 min.

Realça observar que a expressão encontrada é válida somente quando a porta do local em exame estiver fechada ou ainda não tiver sido destruída pelo próprio fogo, eis que neste caso a velocidade de ventilação seria outra e a vazão do ar superior às necessidades da combustão.

2.2.3.3 SEVERIDADE DE UM INCÊNDIO

1. A severidade de um incêndio é determinada pela evolução da temperatura. Admitindo-se a prevalência do princípio da incolumidade dos moradores sobre a preservação dos bens materiais, é na primeira fase que as operações de salvamento têm maiores probabilidades de êxito. Com efeito esta fase, como vimos, é caracterizada pelo "flash over" e somente a partir da ocorrência deste é que os riscos tornam-se extremamente sérios. Segundo Ligtemberg em cerca de 10% dos incêndios verifica-se inflamação generalizada pelo menos num local o que, segundo estatísticas holandesas, corresponde à probabilidade desse fenômeno ocorrer em pelo menos 5% dos edifícios existentes no país.

Entretanto o tempo gasto para alcançar a condição de inflamação generalizada é relativamente curto e depende

essencialmente dos revestimentos e acabamentos, embora seja também influenciado pelas circunstâncias em que o fogo começa e se desenvolve. A probabilidade de um incêndio em determinado local ter um período de crescimento mais longo é maior quando os acabamentos não contribuirem para o fogo.

Segundo Lie o tempo para a ocorrência do "flash over" pode variar de 20 para 5 min de acordo com acabamento das paredes.

2. Isto posto, é evidente que não há possibilidade em cidades com trânsito difícil e lento, da ação de salvamento externa se realizar na primeira fase, devendo os moradores se afastarem dos locais ou dos edifícios incendiados por recursos próprios. Como na maior parte dos casos esta condição é rara, a severidade do incêndio não pode ser avaliada pelo tempo de ocorrência do "flash-over", devendo ser considerada a conclusão da segunda fase determinada pelo fim da combustão viva e o início da decadência e extinção, caracterizada pelo ponto de temperatura máxima.

3. A severidade de um incêndio, relacionando temperaturas, e tempos, condiciona diretamente a resistência ao fogo dos componentes construtivos medida pelo tempo em que eles, sob a ação do fogo preservam sua capacidade de desempenho das funções para as quais foram projetados e que condicionam a segurança de pessoas e/ou bens.

É evidente que um incêndio extremamente severo, em que temperaturas mais elevadas são alcançadas mais rapidamente, representa um risco maior. Com efeito, o fluxo de calor nos componentes é mais rápido, agindo diretamente sobre a velocidade de desenvolvimento de processos químicos e físicos que afetam a integridade dos mesmos, além de dar lugar a choques térmicos extremamente prejudiciais.

É portanto importante conhecer a evolução da temperatura num incêndio real e os fatores que a influenciam diretamente.

Observações de eventos reais e investigações de laboratório, abrangendo ensaios em escala real, permitiram determinar-se com aproximação razoável leis empíricas de evolução da temperatura no decurso de um incêndio, facultando avaliar a severidade e estabelecer por outro lado um programa térmico normalizado a ser aplicado nos ensaios. Nas teorias mais antigas formuladas a partir dos trabalhos de Ingberg, admitia-se em todos os incêndios uma evolução da temperatura diretamente proporcional ao potencial calorífico.

Nos paragrafos seguintes será apresentado sucintamente/ o desenvolvimento das teorias que levam em conta o efeito da ventilação permitindo definir alguns critérios básicos de projeto.

2.2.3.4 BALANÇO TÉRMICO DE UM LOCAL FECHADO

I. Durante um incêndio, um local recebe e perde calor. Podemos expressar o balanço com a seguinte equação:

$$Q_c + Q_a = Q_v + Q_r + Q_g$$

onde:

Q_c = calor produzido pela combustão

Q_a = calor suprido pelo ar introduzido

Q_v = calor transmitido aos vedos por radiação e convecção e por êstes transmitido por condução

Q_r = calor transmitido ao ambiente externo por radiação através das aberturas

Q_g = calor perdido por convecção através dos gases ou absorvido pelos mesmos

Verificações experimentais mostraram aproximadamente as seguintes relações:

$$Q_g = 0,60\ Q_c$$
$$Q_v = 0,25\ Q_c$$
$$Q_r = 0,15\ Q_c$$

embora em determinadas circunstâncias pode ocorrer até $Q_v = 0,50\ Q_c$, dependendo em grande parte das condições da ventilação e da própria natureza dos vedos.

A natureza das paredes é portanto importante: se sua difusibilidade fôr baixa o calor transmitido por condução será pequeno e a temperatura do local se elevará rapidamente aumentando a fração transmitida e absorvida pelos gases, dando lugar a chamas muito maiores através das aberturas.

2. Já vimos que a taxa de combustão é proporcional ao fator de ventilação.

Temos portanto:

$$Q_c = q.R = 5,5\ q\ A_v\sqrt{H} \quad \text{(kcal/min) ou}$$
$$Q_c = 330\ q\ A_v\sqrt{H} \quad \text{(kcal/hora)}$$

onde:

q = poder calorífico da madeira

2.2.3.5 EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA

1. Embora a evolução da temperatura dependa de vários fatores é possível caracterizá-la por meio de dois valores - que abrangem vários parâmetros. Para incêndios, nos - quais a combustão é controlada pela ventilação, são eles o fator de abertura (janelas) F_o e o fator de duração F_d ambos definidos a partir do fator de ventilação.

2. Temos, segundo Kawagoe (19):

$$F_o = \frac{A_v \sqrt{H}}{A_T} \quad (m^{1/2})$$

$$F_d = \frac{A_F}{330\ A_v \sqrt{H}} \quad \left(\frac{m^2 h}{kg}\right)$$

Dêste último obtem-se a duração teórica do fogo (combustão viva) na hipótese de ser constante a taxa de combustão:

$$t = W_o\ F_d = \frac{W_o\ A_F}{330\ A_v \sqrt{H}} \quad \text{(horas)}$$

$$= \frac{W}{R}$$

onde:

A_v = área total das aberturas de ventilação do local em m^2

A_F = área do piso em m^2

A_T = área da superfície interna dos vedos (m^2)

H = altura das aberturas em m

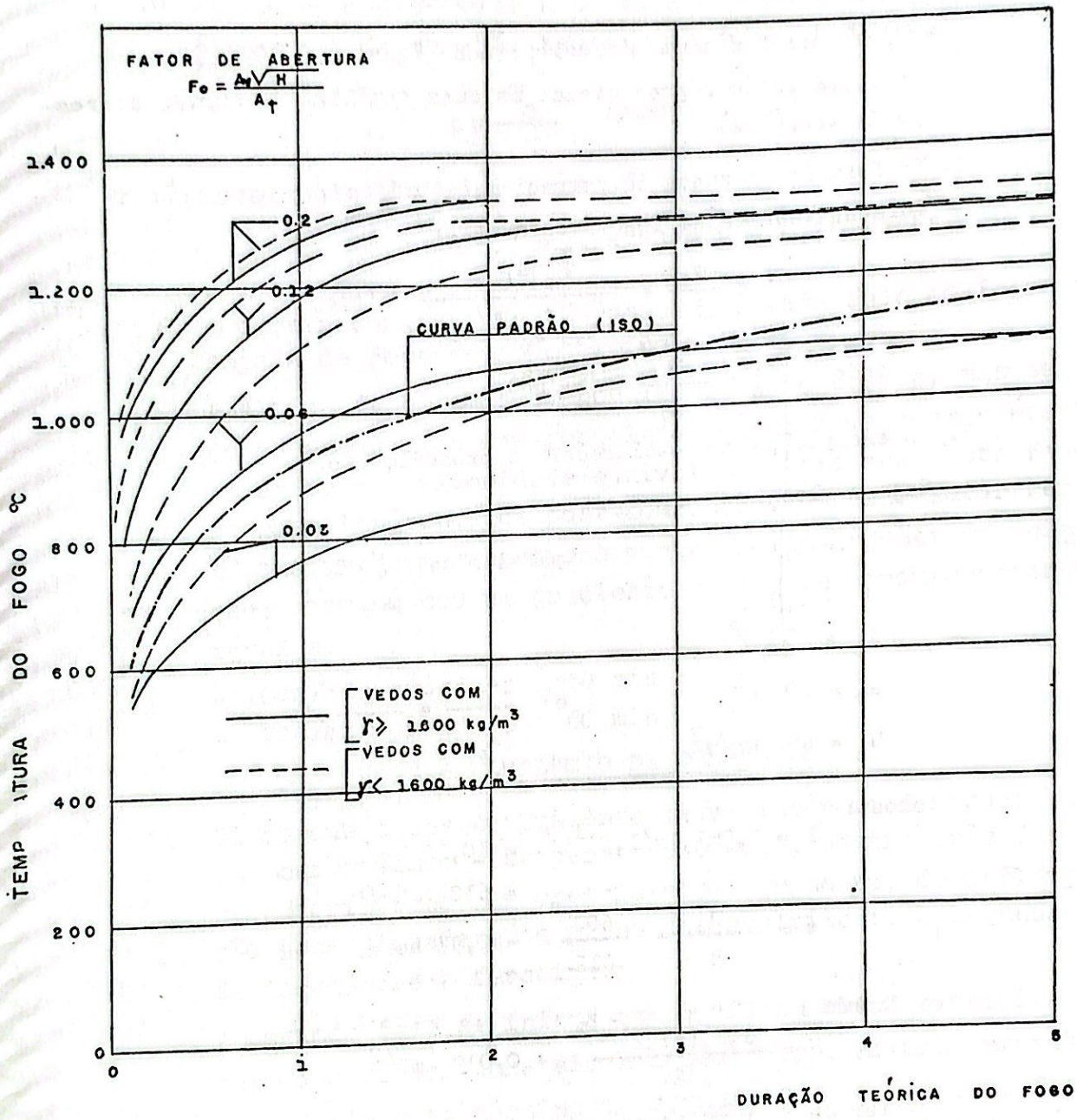
W_o = potencial calorífico unitário em kg/m^2

W = potencial calorífico total (kg)

R = taxa de combustão (kg/h)

3. Kawagoe e Sekine calcularam as temperaturas correspondentes a séries de valores de F_o em função de t para dois/ tipos de vedos, pesados e leves. Verificou-se que para a maioria dos locais os fatores de abertura são compreendi

(19) KAWAGOE K. e SEKINE T., Estimation of Fire Temperature-Time Curve in Rooms, Building Research Institute, Rep. nº 11e 17, Tokio 1963/64.



$$T = \frac{W A_F}{330 A_V \sqrt{H}} \text{ HORAS} \qquad \text{(LIE)}$$

FIGURA 4

dos entre 0,034 e 0,22.

Os autores citados adotaram portanto dois tipos de vêdos :

	massa específica aparente γ kg/m^3	condutibilidade λ kcal/m h °C
normais	$\geqslant$ 1600	1,0
leves	$<$ 1600	0,5

e nos dois casos uma difusibilidade igual a 0,002 m^2/h.

Na fig.4 estão representadas as duas famílias de curvas correspondentes.(19A)

4. Na formulação sueca do potencial calorífico, a expressão da duração teórica do fogo é dada por :

$$t = \frac{W}{R} = \frac{W'_o A_t}{5{,}5\, A_v H^{1/2}} \quad \text{(min)}$$

onde $W'_o = \dfrac{W}{A_t}$ (kg/m^2)

5. Um exemplo poderá esclarecer o procedimento.

Seja um local com :

$A_v = 1{,}7$ m^2 paredes com $\gamma > 1600$ kg/m^3

$H = 1{,}2$ m $\lambda = 1{,}0$ kcal/m h °C

$A_t = 48$ m^2

$A_F = 10$ m^2 e $\dfrac{A_v}{A_F} = \dfrac{1}{8}$

$W_o = 60$ kg/m^2

temos :

$$R = 5{,}5 \times 1{,}7 \times (1{,}2)^{1/2} = 10{,}19 \text{ kg/min}$$
$$= 612 \text{ kg/h}$$

$$t = \frac{W}{R} = \frac{600}{612} = 0{,}97 \text{ horas}$$

e também :

$$F_o = \frac{1{,}7\,(1{,}2)^{1/2}}{48} = 0{,}039 \text{ m}^{1/2}$$

O valor de F_o permite no gráfico da fig.4 identificar a temperatura máxima atingida.

Observe-se que a taxa de combustão não depende da área do local, mas dos característicos geométricos dos vãos de ventilação. Portanto quanto maior a área e o potencial calorífico total, tanto maior a duração.

(19A) Alguns autores ,supondo que a combustão seja incompleta,adotam na expressão da duração apenas 2/3 de W_o . Quando a combustão é governada pelo potencial esta hipótese não se verifica na prática e parece-nos arriscado admití-la.

Do gráfico mencionado pode-se verificar que a temperatura correspondente será da ordem de 920ºC.

Pode-se ainda observar que $\frac{A_F}{A_V}$ é uma relação regulamentada em vários códigos de edificações, podendo-se adotar um valor médio igual a 6. Isto conduz a uma expressão aproximada da duração teórica da combustão viva:

$$t = \frac{W_o}{H} \quad \text{(min)}$$

No exemplo anterior teremos:

$$t = \frac{160}{1,2} = 54 \text{ min} = 0,90 \text{ horas}$$

6. A partir do instante t, começa a última fase do fogo ou seja a de decadência e extinção.

A última fase tem sido geralmente subestimada, mas segundo os estudos de Kawagoe ela deve ser levada em conta para definir a severidade equivalente, eis que nesta fase/ ocorrem fenômenos de post-combustão. O mesmo autor verificou que as temperaturas diminuem linearmente em relação ao tempo com um gradiente constante aproximadamente/ igual a:

- 10ºC/min quando t $\geq$ 60 min
- 7ºC/min quando t $<$ 60 min

2.2.3.6 EVOLUÇÃO DA COMBUSTÃO

1. Vimos que o desenvolvimento de um incêndio de acordo com uma curva tempo - temperatura típica, mostra três fases/ características, de crescimento a primeira, de inflamação generalizada e de pleno desenvolvimento a segunda e de decadência a terceira.

A segunda fase se inicia com o "flash over" e termina quando a temperatura alcança seu ápice. Alguns autores consideram como término da segunda fase o ponto da fase/ decrescente da temperatura correspondente a 80% da máxima. Todos os cálculos de duração são entretanto feitos para a temperatura máxima.

É nesta fase que se realiza completamente a queima dos materiais combustíveis. Na fase preliminar até a ocorrência do "flash-over", nota-se mais a propagação superficial das chamas do que em profundidade. Logo, enquanto a primeira fase tem interesse mais para o confinamento inicial do fogo, é na segunda que são determinadas as condições em que a segurança estrutural ou material pode ser afetada.

A análise dos incêndios é realizada portanto para ambientes nos quais as únicas aberturas consideradas são as de ventilação e para a condição de "fogo plenamente desenvolvido"("fully developed fire").

A taxa de combustão determinada a partir dessas hipóteses, admite também que a ruptura dos vidros se dê na fase inicial, permitindo a plena eficiência da ventilação. Esta condição geralmente se verifica na prática mas por outro lado, a ventilação pode ser incrementada pelo efeito de chaminé, devido à altura do edifício ou afetada por eventuais diferenças de pressão existentes entre o local considerado e a atmosfera externa.

2. Já vimos que a combustão desenvolve-se segundo dois regimes. No primeiro o comburente é em quantidade inferior às exigidas pelo combustível nas proporções necessárias à reação e as suas variações condicionam a taxa de combustão. No segundo o comburente é em quantidade maior do que a exigida pelo combustível : nêste caso a taxa é a máxima admissível e as variações do combustível condicionam a taxa de combustão. Qualquer quantidade adicional de comburente não tem qualquer efeito sobre essa taxa. Portanto nêste caso a ventilação adicional tem por consequência o aumento das trocas por convecção, resultando numa diminuição da temperatura máxima.

Mas deve-se observar que se a ventilação num local pode variar, o combustível, iniciada a combustão, não sofre alterações a não ser para menos por efeito da própria combustão. Isto posto, a expressão definida por Kawagoe não é válida para o regime governado pelo combustível ou seja pelo potencial térmico . Vários autores (20) estudaram o fenômeno e mais recentemente Harmathy(21) apresentou uma análise muito interessante definindo os limites entre os dois regimes para materiais celulósicos.

Partindo de uma definição modificada do fator de ventilação ,tem-se:

---

(20) THOMAS P.H. et Al.,"Fully-developed compartment fires,two kinds of behaviour" Fire Research Technical Paper nº18,HMSO,Londres 1967.
MAGNUSSON S.E. et Al.,"Temperature-time curves of complete process of fire development " Acta Polytecnica Scandinavica nº65,Estocolmo 1970.

(21) HARMATHY T.Z.,"A new look at compartment fires",R.P.566,Division of Building Research,NRCC,Ottawa 1972.
HARMATHY T.Z., "Design Approach to Fire Safety in Buildings",Progressive Architecture 1974

$$\phi = \rho_a g^{1/2} A_v H^{1/2}$$

onde ϕ = fator ou parâmetro de ventilação
ρ_a = densidade do ar
A_v = área das aberturas de ventilação
H = altura das aberturas de ventilação

quando:

$$\frac{\phi}{A_f} \geqslant 0{,}263$$

o regime de combustão é controlado pelo potencial calorifico

e :

$$\frac{\phi}{A_f} < 0{,}263$$

o regime é controlado pela ventilação

portanto:

$$\phi = 0{,}263 \; A_f$$

é o valor crítico de transição.

(A_f = área efetiva da camada de combustível)

No primeiro caso a taxa de combustão é dada por

$$R = 0{,}0062 \; A_f \quad (kg/s)$$

e no segundo por:

$$R = 0{,}0236 \; \phi \quad (kg/s)$$

segundo o mesmo autor no regime governado pelo potencial calorífico, os característicos geométricos da camada de combustivel influem no próprio regime.
Êstes característicos são representados pela superfície/ especifica do combustivel (madeira):

$$\varphi = \frac{A_f}{W} \quad (m^2 kg^{-1})$$

onde:

W = massa do combustivel (potencial calorifico)

cujos valores normais são:

$$0{,}1 < \varphi < 0{,}4 \quad (m^2 kg^{-1})$$

Isto posto, segundo Harmathy a duração da segunda fase - do fogo, considerado o limite superior no ponto da curva descendente igual a 80% da temperatura máxima, é igual - a :

$$t = \frac{151}{\varphi} \text{ (s) para } \frac{\phi}{A_f} \geq 0{,}263$$

$$t = \frac{39{,}7\ W}{\phi} \text{ (s) para } \frac{\phi}{A_f} < 0{,}263$$

Logo, no regime governado pelo potencial calorífico, isto é quando a ventilação é excedente, a duração não depende/ da quantidade de combustível, ou seja do potencial.
Em outras palavras, se o potencial calorífico fôr elevado e a ventilação reduzida, a combustão será governada pelo/ fluxo de ar e os materiais irão queimando paulatinamente. Aumentando a seção das aberturas e seu número, a ventilação aumentará e em consequência também a combustão passará a se desenvolver mais rápidamente. Se o potencial térmico fôr pequeno e a ventilação fôr muito eficiente, o fluxo de ar será suficiente para determinar e sustentar a combustão simultânea de todos os materiais, mas além de um certo valor excederá as necessidades.
Nêste caso aplicando as expressões acima verifica-se que/ a duração será dada no caso mais desfavorável por:

$$t = \frac{151}{\varphi \times 60} = \frac{151}{0{,}1 \times 60} = 25 \text{ minutos}$$

A temperatura máxima atingida é nêste caso também menor. De fato o ar excedente proveniente do ambiente externo e portanto mais fresco mistura-se aos gases e no balanço térmico (ver item 2.2.3.4.) influi favoravelmente nas parcelas de calor transmitido por convecção.
Para fins práticos Harmathy determinou o valor crítico de transição entre os dois regimes, em relação ao potencial/ calorífico. Desde que seja aproximadamente:

$$\frac{W}{A_V} = 150 \text{ kg/m}^2$$

onde:

W = potencial térmico total (kg de madeira)
A_V = área total das aberturas de ventilação (m^2)

tem-se a passagem da combustão controlada pela ventilação para a controlada pelo potencial calorífico.
Aplicando os dados conhecidos, podemos expressar essa condição, também por:

$$A_V \geq \frac{W_o\ A_F}{150}$$

$$W_o \leq 150\ \frac{A_V}{A_F}$$

A partir dessa expressão podemos calcular para várias relações entre área de ventilação e área do piso o valor de W_o que delimita os dois regimes :

$\frac{A_v}{A_P}$	W_o (kg/m^2)
1/2	75,0
1/3	50,0
1/4	37,5
1/5	30,0
1/6	25,0
1/8	18,7
1/10	15,0

Observações práticas mostraram que para valores de $W_o \leq 30$ kg/m^2 o efeito da ventilação age antes sôbre a temperatura máxima, reduzindo-a, do que sôbre a duração que não varia substancialmente.

3. As hipóteses adotadas admitem também que em qualquer circunstância o calor de combustão seja absorvido sempre na mesma proporção pelos vêdos do local.
Isto não se verifica na prática, dois que cada incêndio reflete as condições variáveis do local onde se desenvolve; destarte os vêdos têm propriedades térmicas de acôrdo com sua natureza e a absorção depende da difusibilidade do material.

Por outro lado a altura do pé-direito concorre também para alterar a proporção de absorção de calor.
Com efeito, se a taxa de combustão fôr baixa e o pé-direito fôr alto, a combustão desenvolver-se-á completamente no interior do local e todo o calor desenvolvido será absorvido pelos vêdos.
Comportamento diferente ocorrerá no outro caso: se a taxa fôr alta

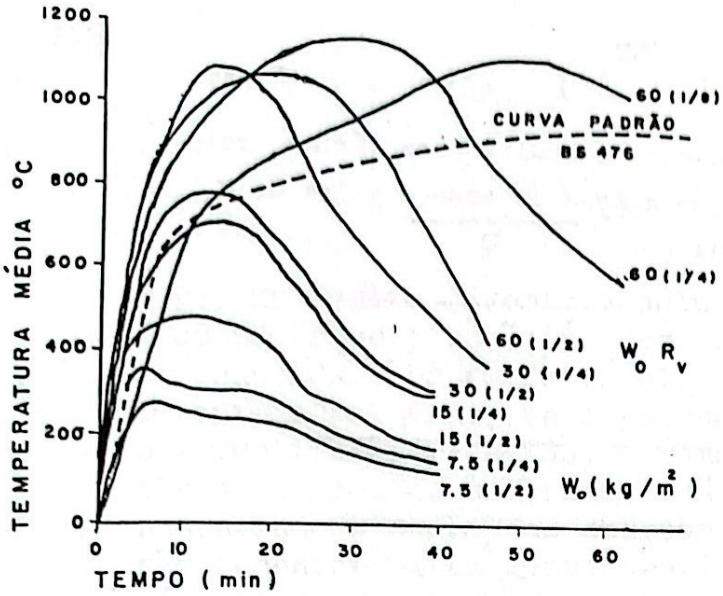
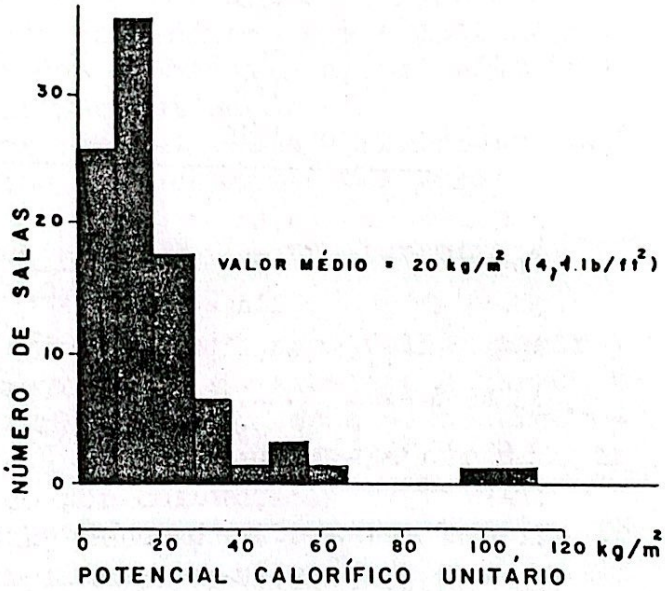


FIG.6

Curvas típicas temperatura tempo, relacionadas com o potencial calorífico unitário Wo e Rv, onde Rv expressa a relação entre a área de ventilação e a área do vêdo. (FRS)

FIG. 5

Histograma de um levantamento do potencial calorífico unitário em dois edifícios inglêses. (BRS/FRS)



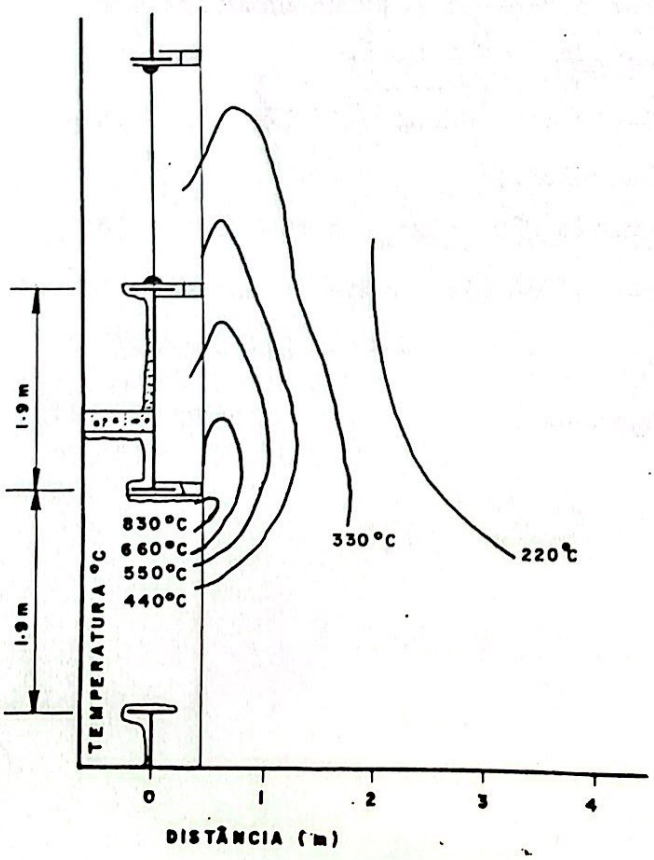


FIG. 7

Temperaturas médias das chamas emergentes de um vão de ventilação, verificadas no teste do edifício American Trenton, citado por COOKE.

(COOKE G., New methods of fire protection for external steelwork, The Architects' Journal, Agosto 1974).

e o pé-direito baixo, as chamas por terem um comprimento maior, sairão do local através dos vãos de ventilação. Assim uma parte considerável do calor desenvolvido pela combustão será dissipado na atmosfera externa, podendo representar até mais de 50% do total (22).

Neste segundo caso, embora a deflexão externa das chamas possa agravar as condições de propagação do fogo para os pavimentos superiores, o fluxo térmico que atinge os vedos e os componentes estruturais é menos intenso, fato que pode justificar, como veremos, menos rigor nas exigências de resistência ao fogo destes componentes.

4. Em geral as temperaturas internas atingidas são proporcionais ao potencial calorífico, mas crescem rapidamente com o aumentar da vazão de ventilação. No regime de combustão controlada pela ventilação, no caso em que as chamas saiam do local através das janelas, a temperatura máxima é menor e o declínio começa mesmo antes que se verifique a combustão completa dos materiais. Passando ao regime de combustão controlada pelo potencial térmico, que ocorre quando o fluxo do ar excede o exigido pela combustão, a temperatura também decresce rapidamente, uma vez/ que já é mais influenciada pela ventilação, por convecção.

Ensaios efetuados na Fire Research Station, citados por Harmathy, mostram que um fluxo de ar maior que 7 kg/s, poderá manter a temperatura média abaixo de 550º C que é a temperatura crítica do aço, desde que o potencial térmico unitário seja no máximo igual a 15 kg/m^2. Para um potencial térmico de 25 kg/m^2, o fluxo de ar deveria ser/ maior que 11,5 kg/s.

No regime controlado pelo potencial térmico, como vimos/ em que o fluxo do ar é excedente, a duração da segunda fase é relativamente curta, em geral menor de 20min e não depende-

---

(22) Este parece ter sido o caso do Joelma.

... do potencial térmico.

Os trabalhos de Harmathy, Law, Magnusson e outros autores, complementando os estudos pioneiros de Kawagoe, Sekine, Odeen conduziram paulatinamente a uma abordagem sempre mais voltada para os efeitos da ventilação (23).

5. Para esclarecer contudo melhor o assunto, e dar uma base mais ampla às conclusões, resolveram os países membros do CIB, desenvolver um programa de pesquisas sobre incêndios plenamente desenvolvidos em locais isolados, cujos resultados acabam de ser publicados e estão sofrendo as primeiras análises críticas dos especialistas.

2.2.3.7 A PESQUISA DO CIB

1. O objetivo do programa era de proporcionar conhecimento e dados para relacionar a resistência R_f exigida de componentes estruturais, e a severidade do incêndio (24).

Foi examinado o efeito das seguintes variáveis:

1) Dimensões relativas ao local (largura, altura, comprimento)
2) Pé-direito
3) Área relativa das aberturas de ventilação
4) Potencial calorífico unitário
5) Espessura da camada de combustível
6) Disposição do combustível
7) Vento (velocidade e direção)

As primeiras conclusões foram as seguintes:

1) A velocidade de combustão e a temperatura de um incêndio num local dependem principalmente do formato e do tamanho do mesmo e do tamanho e formato de suas aberturas de ventilação, mas também em certo grau do potencial térmico unitário assim como da disposição do combustível, enquanto a espessura não tem muita impor

---

(23) Veja-se também bibliografia na obra citada de LIE.
(24) THOMAS P.H. and HESELDEN A.J.M., Fully- developed Fires in Single Compartments. A co-operative Research Programme of the Conseil International du Bâtiment, CIB Report nº 20, Agosto 1972

tância.

2) Embora a velocidade de combustão varie bastante com o tamanho do local, a velocidade de combustão unitária (por unidade de área de piso) para incêndios em locais com aberturas de ventilação total, depende minimamente do pé-direito. Para grandes aberturas de ventilação o pé-direito não tem qualquer efeito.

3) A velocidade de combustão e a temperatura são em pequeno grau influenciados pelas propriedades térmicas do forro e das paredes.

4) A intensidade da radiação das aberturas de ventilação pode ser relacionada com a velocidade de combustão, com a área das aberturas e com a temperatura do local.

5) A intensidade da radiação das chamas pode ser relacionada com a velocidade de combustão, com a intensidade da radiação das aberturas de ventilação e com as dimensões do local.

6) Em geral o efeito do vento revelou-se complexo e muito influenciado pelas condições do ensaio. O fenômeno mais importante observado foi a deflexão das chamas saindo das aberturas que numa situação real provocaria um incremento de risco de propagação do fogo para locais contíguos (25). Esta deflexão foi observada também no interior dos locais.

Posto que o vento aumenta em geral a velocidade de combustão sem contudo causar um aumento proporcional de temperatura, a severidade global de um incêndio sob a ação do vento pode ser menor do que a que se verifica com ar parado. Logo, a resistência ao fogo determinada para condições normais de ventilaçaõ seria também suficiente para condições de vento atuante.

2. Os resultados desta pesquisa foram analisados por Margareth Law da Fire Research Station inglesa (26) e com con

---

(25) Este fenômeno foi bem evidente no caso do Joelma em São Paulo.

(26) LAW M. Prediction of Fire Resistance in Fire-resistance requirements for buildings- a new approach- HMSO Londres, 1973

clusões que modificam parcialmente os critérios definidos por Kawagoe.

Com efeito, Kawagoe considera a altura H das aberturas/ na determinação da duração teórica da combustão viva, segundo a expressão:

$$t = \frac{W_o \; A_F}{5,5 \; A_v H^{1/2}} \text{ (min)}$$

onde: W_o = potencial térmico unitário

A_F = área do piso

A_v = área total da aberturas de ventilação

H = altura das aberturas

Segundo Law dos resultados da pesquisa do CIB e de outras realizadas em vários países pode-se formular uma outra expressão em que a altura H não está presente, a saber:

$$t = k \frac{W_o \; A_F}{(A_t A_v)^{1/2}} \text{ (min)}$$

onde, k é mediamente igual a 1,3 mas varia de acordo com o espaçamento da carga combustível . As demais notações/ são as mesmas e A_t é igual à área total dos vedos através dos quais realizam-se as trocas de calor com exceção das janelas (A_v), ressalvando que na pesquisa do CIB está área não incluiu os pisos, por ter sido considerada desprezível sua participação nas trocas.

3. A análise dessas expressões mostra que a duração é proporcional ao potencial térmico total ($W = W_o A_F$) mas na segunda, a taxa de combustão depende apenas da área de ventilação e daquela dos vêdos.

A paridade de outras condições, quadruplicando a seção útil das janelas, podemos reduzir o tempo à metade.

Esta observação é sem dúvida importante e complementa as conclusões de Harmathy.

Segundo Law, a necessidade de distinguir-se entre regime de combustão controlado pelo potencial calorífico e regime controlado pela ventilação, parece ter sido removida. A mesma autora analisando pesquisas de vários países concluiu que seria mais oportuno adotar na expressão de t , um valor de k = 1 . Teriamos portanto :

$$t = \frac{W_o A_F}{(A_t A_v)^{1/2}}$$

Esta expressão propicia valores da duração um pouco mais altos dos que se obtêm aplicando a de Kawagoe.
A análise dos resultados da pesquisa do CIB está ainda em andamento e já foi iniciada uma segunda investigação com a participação de nove laboratórios de diferentes países. É portanto prematuro tirar conclusões definitivas, devendo-se por enquanto utilizar os critérios de Kawagoe, levando em conta os efeitos da ventilação segundo as conclusões de Harmathy.
Pesquisas e ensaios realizados pela Fire Research Station inglêsa apoiam essas conclusões como ilustram as curvas registradas no gráfico da Fig.6 . Estas mostram que o efeito da ventilação torna-se mais sensível à medida que aumenta o potencial calorífico unitário. Para valores de $W_o \leq 30$ kg/m^2 não há efeito sensível. Para $W_o = 60$ kg/m^2 , o efeito da ventilação reduz a duração a menos da metade, sem revelar aumentos sensíveis de temperatura como deveria ocorrer mantendo-se a mesma severidade.
Em nenhum caso para os potenciais em exame a duração efetiva passa entretanto de uma hora. Observa-se contudo que as temperaturas máximas são maiores daquelas da curva padrão BS , que não difere substancialmente do programa ISO. O que isto pode significar na prática será visto no tópico 2,2.3.10.

2.2.3.8. TEMPERATURAS MÁXIMAS

As temperaturas máximas das chamas, segundo as substâncias e as taxas de alimentação do ar, variam de 1200 a 1600 ºC , mas observações de incêndios reais mostram que raramente

ultrapassam os 1250ºC.

As temperaturas são caracterizadas por cores diferentes das chamas fato que permite identificá-las com certa aproximação. É o seguinte o espectro de cores:

Cor	Temperatura (ºC)
vermelho escuro	500 - 700
vermelho cereja escuro	800
vermelho cereja	900
vermelho cereja vivo	1000
alaranjado escuro	1100
alaranjado vivo	1200
branco	1300
branco vivo brilhante	1400
branco ofuscante	1500

2.2.3.9 CURVA NORMALIZADA TEMPERATURA-TEMPO (ISO)

Para os ensaios de resistência ao fogo adota-se um programa térmico estabelecido numa curva tipo cuja expressão é (segundo a recomendação ISO R 834F) igual a:

$$T - T_o = 345 \log_{10} (8t + 1). \quad (ºC)$$

Esta curva representa com aproximação aceitável (para testes de simulação) as temperaturas médias reais observadas em incêndios em vários países.

Com a expressão acima pode-se calcular a seguinte série de valores:

Tempo (min)	$T-T_o$ (ºC)
5	556
10	659
15	718
30	821
60	925
90	986
120	1029
180	1090
240	1133
360	1193

onde : t = tempo (minutos)

T_o = temperatura inicial (ºC)

T = temperatura no instante t (ºC)

2.2.3.10. EQUIVALENCIA ENTRE A SEVERIDADE TEÓRICA E A EFETIVA

1. Um programa térmico padrão , como o estabelecido pela recomendação ISO R 834 F, destina-se à execução de ensaios simulados de resistência ao fogo, em condições que permitam cotejar resultados característicos de componentes construtivos diferentes. Este programa assume portanto uma severidade padrão, isto é uma relação temperatura-tempo que não se verifica na prática, eis que dificilmente se verificam dois incêndios idênticos.

As curvas de variação temperatura-tempo reais apresentam um andamento diferente e variável porque são função de pelo menos dois fatores : ventilação e potencial calorífico. Estes são característicos de um determinado ambiente.

Embora não completamente inoportuno , e alguns códigos já se orientam nêsse sentido, é pelo menos trabalhoso verificar todas as condições decorrentes de várias hipóteses.

Nos códigos o que importa é estabelecer que a edificação nas suas partes essenciais, e em consequência no seu todo, não sofra colapso material ou estrutural antes da extinção do incêndio, colapso que poria em risco a vida dos moradores. Destarte é importante estabelecer esta relação entre a duração suposta do incêndio e a duração do ensaio que se propõe verificar a resistência dos componentes (27). Podemos de fato observar na fig.1. onde é traçada a curva padrão junto com a curva genérica de um incêndio, que a temperatura máxima desta é maior do que a máxima da curva padrão.

Por outro lado um "flash-over" muito rápido pode dar lugar a um desenvolvimento mais rápido no qual temperaturas mais elevadas são alcançadas em tempos mais curtos daqueles do programa térmico ISO.

Embora o aspecto mais crítico seja, como veremos , a resistência das estruturas , especialmente do aço, cuja temperatura crítica é da ordem de 550 ºC, alcançada logo no primeiro estágio do programa térmico, é sem dúvida importante esclarecer que os índices restipulados nos códigos são dos ensaios e não do fenômeno real.

Deve-se esclarecer também que, quer no forno de ensaio, quer nas condições reais, a temperatura efetiva do componente não é , em determinado instante, igual à temperatura das chamas ou dos gases,

---

27) A resistência R_f é medida por definição ,pelo tempo durante o qual uma amostra satisfaz a determinados requisitos de estabilidade, estanqueidade e isolamento.

eis que é afetada por uma inércia térmica determinada por vários fatores que se resumem em dois parâmetros : a difusibilidade e a massividade.

Enquanto o primeiro leva em conta os característicos físicos, o segundo expressa os geométricos, eis que é representado pela relação entre a área da seção transversal da peça e o seu perímetro, correspondendo ao raio hidráulico. Aspectos da influência dêstes parâmetros serão analisados na terceira parte dêste estudo. Aqui importa assinalar que à paridade de temperatura do programa térmico, dois componentes que desempenham a mesma função, poderão revelar R_f diferente.

Alguns autores estudaram a equivalência entre a severidade padrão e a efetiva. Ingberg, que formulara o conceito de severidade, já tinha elaborado um método para a sua determinação.

Outro foi desenvolvido por Mourachev e Kawagoe. Considerando que a troca de calor entre dois pontos é proporcional à diferença de temperatura entre êstes pontos e à duração do fenômeno , a área circunscrita pela curva temperatura-tempo mede a quantidade de calor transferida da fase exposta ao interior do elemento. Igualando-se as áreas sob as curvas, obtem-se as durações equivalentes como mostra a fig. 8B.(28 A).

O desenvolvimento dêste método proposto pelos autores citados, encontra-se no Cap.E3 do R.E.E.F. do CSTB francês.

Supõe o método que para cada caso seja calculada a curva de desenvolvimento do incêndio de acôrdo com os critérios já expostos concebidos por Kawagoe. Este autor para facilitar a tarefa deduziu famílias de curvas em função de potenciais caloríficos e fatores de abertura diferentes, montando ábacos de consulta imediata (28). Para fins práticos pode ser adotado o gráfico da figura 8, de autoria de Lee e baseado também na curva ISO. Mais adiante será feita uma aplicação dêste gráfico.

É interessante aquí observar que para fatores de abertura

$$F_o \leq 0{,}03 \quad \text{obtem-se} \quad t_e < t$$

$$F_o > 0{,}03 \quad \text{obtem-se} \quad t_e > t$$

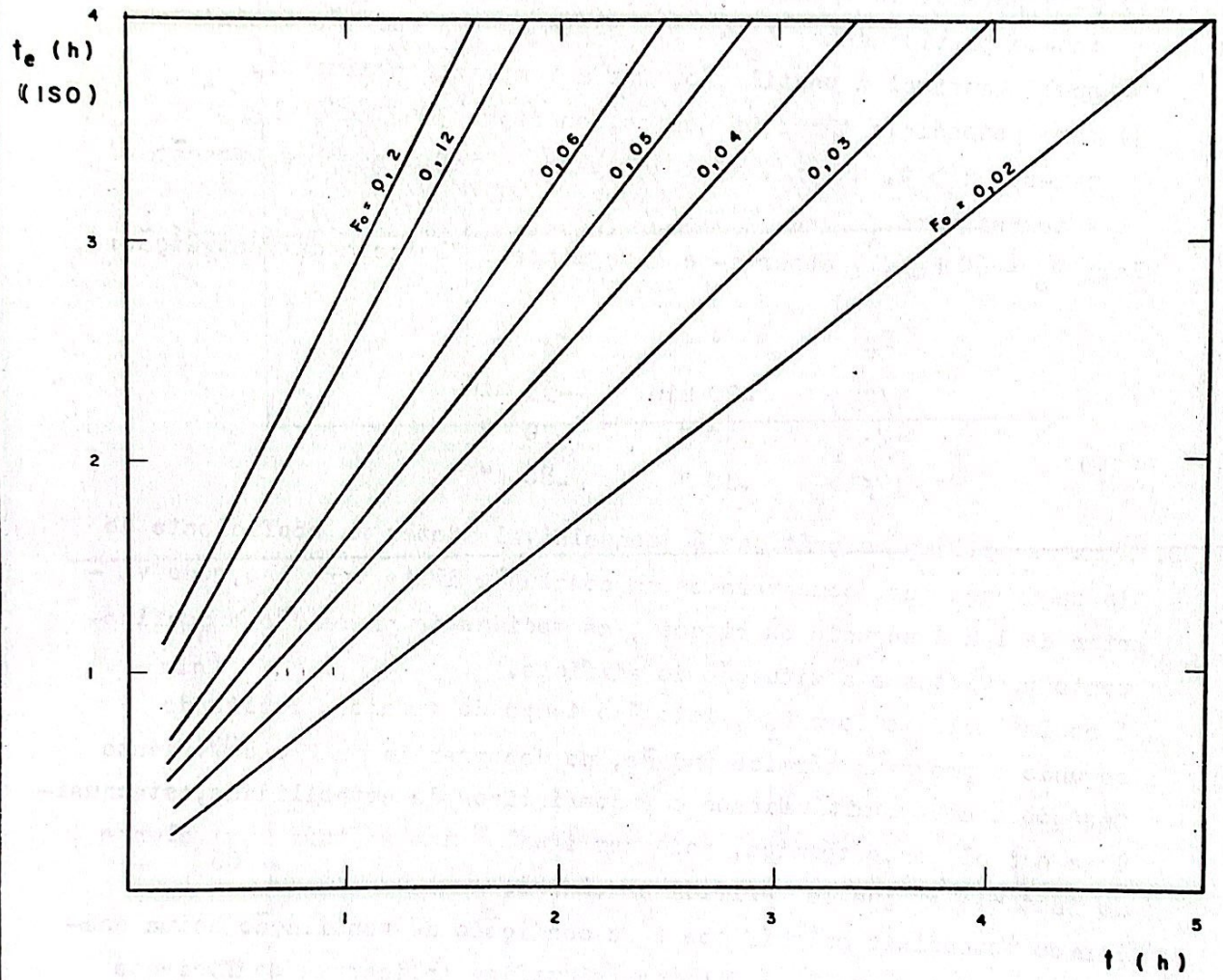
Segundo Kawagoe é em geral :

$$0{,}034 < F_o < 0{,}22$$

---

(28) KAWAGOE K., Fire and Modern Building Design, em Building Cost and Quality, Proceedings of the Fourth CIB Congress, Rotterdam 1968.

(28A) As temperaturas abaixo de 300 °C são desprezadas.



t = DURAÇÃO CALCULADA (KAWAGOE)

$$t = \frac{W_o \cdot A_f}{330\, A_v \cdot \sqrt{H}}$$

t_e = DURAÇÃO EQUIVALENTE NA CURVA PADRÃO ISO

$$F_o = \frac{A_v \sqrt{H}}{A_T}$$

(LIE)

FIG. 8

Outras observações experimentais realizadas especialmente na Fire Research Station permitiram esclarecer melhor o papel da ventilação. A fig.6 registra parte dêsses resultados e de sua análise destaca que :

1) para potenciais térmicos baixos, ou seja $W_o < 20$ kg/m^2 e janelas normais tem-se $t_e < t$; nêste caso a duração é indiferente à ventilação, mas a temperatura diminui,
2) para potenciais térmicos maiores ou seja $20 < W_o \leq 30$ kg/m^2 tem-se praticamente $t_e = t$; nêste caso a duração é ainda pouco sensível à ventilação, mas a temperatura diminui,
3) para potenciais térmicos médios, ou seja $30 < W_o \leq 60$ kg/m^2 tem-se $t_e > t$, mas a ventilação passa a influir sôbre duração e temperatura.

Para $W_o = 60$ kg/m^2, observa-se a seguinte influência da ventilação:

R_v	t	t_e
1/2	~20 min	~55 min
1/4	~30 "	~70 "
1/6	~40 "	~80 "

2. Para as aplicações práticas é aconselhável adotar um coeficiente de de segurança que, como veremos na conclusão dêste trabalho, pode variar de 1 a 4 segundo os riscos , as medidas de prevenção e confinamento previstas e a situação do edifício.
A resistência ao fogo R_f , isto é o tempo do ensaio , realizado segundo o programa térmico padrão, no decorrer do qual o componente testado mantem aceitáveis seus características de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico, pode ser igual à temperatura equivalente do instante em que se verifica o colapso.
Para os potenciais caloríficos e as condições de ventilação acima analisadas, adotar uma R_f = 2 horas, significa aplicar um coeficiente de segurança igual a 1,5 - 2. É portanto evidente a conveniência de manter o potencial calorífico unitário abaixo de 60 kg/m^2, assim como assegurar o efeito de ventilação.
Quando fôr $W_o > 60$ kg/m^2, a resistência ao fogo deverá ser de 3 a 4 horas. Em edifícios residenciais esta condição é pouco comum. Nos edifícios de escritórios pode ocorrer. Em depósitos e lojas é frequente, o mesmo acontecendo em garagens, desde logo exige maior rigor.
Deve-se observar que a resistência ao fogo é apenas um aspecto da incolumidade dos moradores e é ilusório supôr que esta incolumidade seja conseguida apenas adotando valores elevados de R_f.
3. Na Inglaterra, como vimos no tópico 2.2.3.1., a regul mentação baseia-se na correspondência seguinte entre potencial calorífico

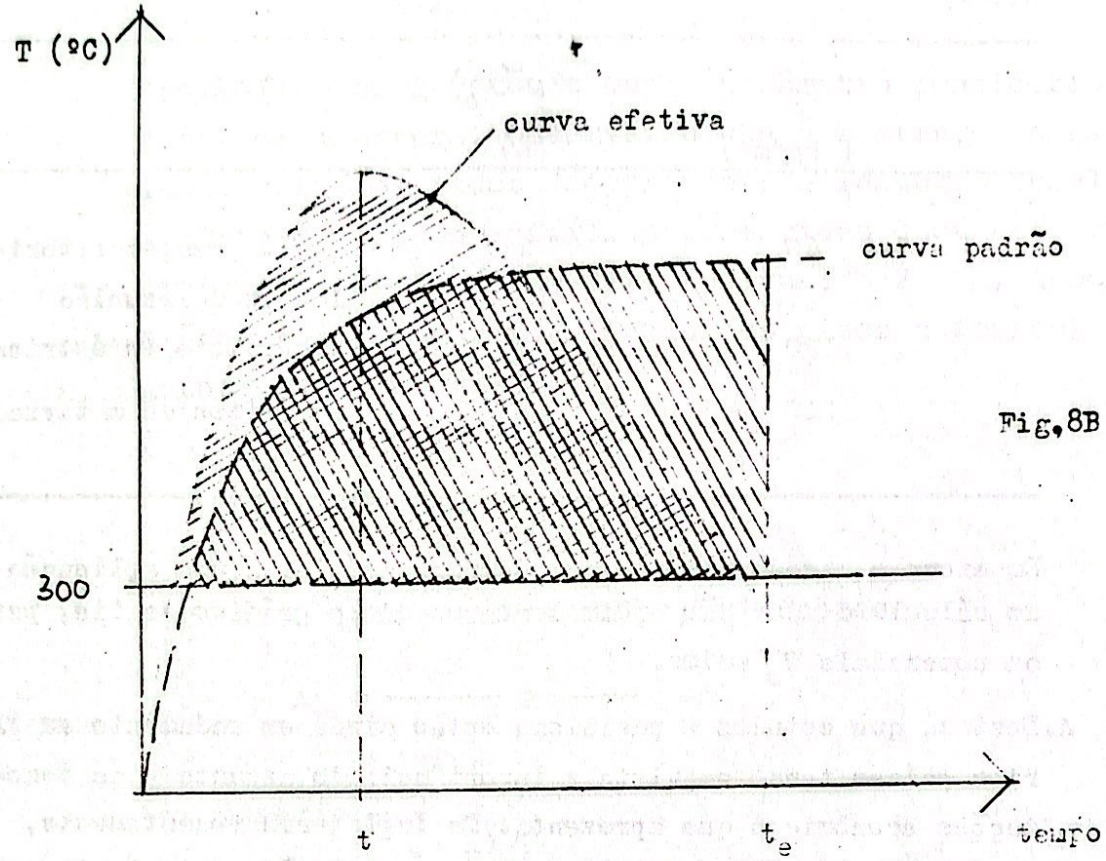


Fig.8B

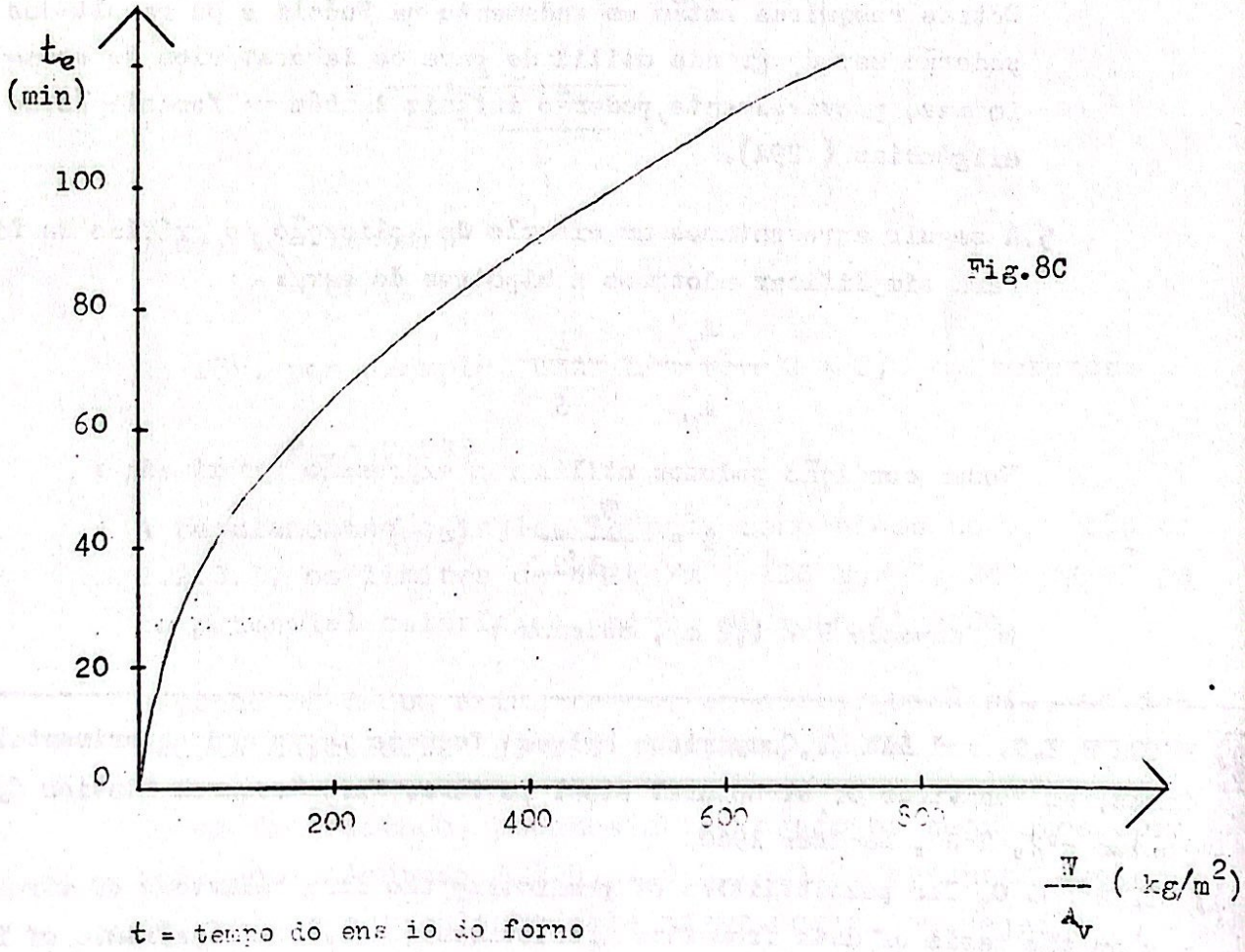


Fig.8C

t = tempo do ens io do forno

unitário médio W_o , resistência ao fogo R_f mínima(medida pela duração equivalente em ensaio padrão) e tipo de edifício :

W_o (kg/m^2)	R_f (t_e) (h)	tipo
60	1	habitações,escritórios locais de reunião
120	2	comércio e indústrias
240	4	depósitos de materiais a granel

Um exemplo apresentado logo a seguir será feita uma aplicação do cálculo da duração equivalente usando o gráfico de Lie, para os potenciais W_o acima.

4. Destaca que estudos e pesquisas estão ainda em andamento em vários países tendo em vista a importância do assunto e as conotações econômicas que apresenta. Na Inglaterra recentemente, em trabalho da FRS, correlacionou-se a duração equivalente com a relação W/A_v, como mostra o gráfico da fig.8C (29).
Outras pesquisas estão em andamento na Suécia e os resultados poderão ser de grande utilidade para os laboratórios de ensaio mas, provavelmente, poderão influir também na formulação de exigências (29A).

5. A seguir apresentamos um exemplo de aplicação do gráfico de Lie. Para simplificar adotamos a hipôtese de ser :

$$\frac{A_v}{A_F} = \frac{1}{6}$$

Nesta condição podemos utilizar a expressão aproximada :

$$t = \frac{W_o}{H^{1/2}} \quad \text{(min)}$$

e supondo H = 1,2 m , obtemos :

(29) BUTCHER E.G. and LAW M.,Comparison between furnace tests and experimental fires, em Behaviour of structural steel in fire. Fire Research Station Symposium nº2, HMSO, Londres 1968.

(29A) PETERSSON O. The possibilities of predicting the fire behaviour of structures on the basis of data from fire resistance tests. Lund Institute of Technology,Bull.nº20, Lund 1971.

$$t = \frac{W_o}{1,1} \quad \text{(min)}$$

No gráfico em questão o outro parâmetro considerado é o fator de abertura. Observando que é bastante comum a relação entre os lados (comprimento e largura) igual a 1,5 em locais quer de edifícios comerciais quer de residenciais e adotando um pé-direito igual a 2,6 m, temos para a área total dos vedos (incluindo pisos e forros) a seguinte expressão:

$$A_T = 2\ CL + 2x2,6\ (C + L)$$
$$= 3\ L^2 + 13,5\ L$$

Por outro lado temos também por hipótese:

$$A_v = \frac{CL}{6} = \frac{L^2}{4}$$

Assim seria:

$$F_o = \frac{A_v\ H^{1/2}}{A_T} = \frac{1,1}{4\ (3 + \frac{13,5}{L})}$$

$$= \frac{1,1}{12 + \frac{54}{L}}$$

onde, L = largura
C = comprimento

Se fôr, por exemplo, uma sala com L = 2,0 m, teremos:

$$F_o = 0,035$$

A regulamentação inglesa adota, como vimos no tópico 2.2.3.1, os limites de 60 kg/m^2, 120 kg/m^2, 240 kg/m^2 para potencial calorífico baixo, médio e elevado.

Segundo os dados acima temos, em correspondência, as durações calculadas de: 0,9 h, 1,8 h, 3,6 h.

No gráfico citado, podemos obter então as seguintes durações equivalentes: 1,1 h, 2,0 h, 4,1 h, bastante coerentes com as estipuladas pela mesma norma, ou seja: 1 h, -

2 e 4 horas.
Ao estabelecermos os critérios para a determinação da duração nos referimos ao incêndio num certo local, que pode abranger todo um pavimento. Um incêndio de um edifício terá uma duração maior, eis que as durações parciais por local e por pavimento somar-se-ão para dar a duração total. Esta não é evidentemente uma soma aritmética pois os desenvolvimentos parciais terão trechos de sobreposição. Exemplo típico pode ser o incêndio do Joelma, no qual por ter-se verificada propagação muito rápida das chamas, em pouco menos de uma hora todo o edifício foi tomado pelo fogo, de sorte que os incêndios nos andares foram quase simultâneos.
Certamente o fogo tem tendência a se propagar de um pavimento para o sucessivo, eis que os gases sobem e papel muito importante é o desempenhado pelos vedos horizontáis aos quais cabe impedir essa propagação. Mas externamente e também internamente pelas caixas de escadas e elevadores, igual papel é atribuido aos vêdos verticais.
Os vêdos portanto têm sua resistência ao fogo medida especialmente em relação à estanqueidade às chamas e fumaças e ao isolamento térmico. Cumprindo êste papel que, mais adiante, chamaremos de compartimentação, os vêdos passarão a definir cada pavimento como uma unidade-espaço totalmente protegida. Portanto a resistência ao fogo não deve ser apenas entendida como uma exigência para os componentes estruturais.
De qualquer maneira, um incêndio num pavimento pode ser propagado ao sucessivo, diretamente pelas chamas ou , embora em proporção muito menor, por condução e radiação. Ao ser transmitido, o ciclo de combustão passará pelas três fases já citadas, mas a duração total não será influenciada. Em outras palavras , o incêndio de um pavimento não afeta a duração do incêndio no pavimento sucessivo.
A sobreposição verifica-se apenas nos elementos externos, quando o comprimento das chamas fôr grande, de maneira a atingirem vários pavimentos. Apesar de a temperatura externa das chamas ser menor, como pode ver-se na fig.7, é conveniente nêsse caso considerar essa sobreposição de dois ciclos sucessivos.
Isto posto, a resistência de cada parte e componente da edificação é medida em relação à duração do ciclo local antes que em relação à duração global do incêndio.

2.2.4. PROPAGAÇÃO DO FOGO

1. Em geral a margem de diferença entre pequenos e grandes incêndios deve ser atribuida à propagação.
Esta afirmação é baseada na experiência e os três incêndios mais graves ocorridos em São Paulo nos últimos tempos confirmam-na plenamen-

te. Embora não seja ainda possível medí-la quantitativamene é todavia possível prever a propagação provável de qualquer incêndio desde que se conheçam os princípios básicos, os característicos dos seus combustíveis, sua distribuição quantitativa e os princípios da transmissão do calor.

2. Três tipos de propagação podem ser observados na combustão dos materiais : a propagação transversal, a propagação superficial e a post-combustão.

3. Chamamos de propagação transversal o desenvolvimento da combustão no sentido da profundidade que se realiza por condução e que paulatinamente vai atingindo as camadas sucessivas do material. É evidente que neste caso a possibilidade de penetração do oxigênio é essencial. Algumas substâncias fibrosas ou com textura aberta como as espumas plásticas, têm uma grande superfície interna que permite uma penetração profunda do ar e consequentemente do fogo. A maioria dos materiais entretanto possui uma textura fechada e a combustão pode realizar-se somente nas camadas mais externas.

O estudo do comportamento ao fogo da madeira revela que à medida em que a propagação transversal se desenvolve, observa-se que :

1) a destruição da madeira é regular, portanto reproduzível e previsível, (29A)
2) a linha de separação entre as partes carbonizadas e as intactas é nítida, de maneira que estas preservam todas as propriedades primitivas,
3) na região de separação, as partes destruidas são mais

(29A) A velocidade de propagação transversal da madeira é da ordem de 0,6-1,1 mm/min

ricas em carbono e hidrocarbonetos pesados e se tornam muito isolantes porque seus poros são preenchidos por nitrogênio e dióxido de carbono. Assim a combustão é dificultada compensando a elevação de temperatura: portanto a propagação em elementos de madeira de grande espessura é sensivelmente proporcional ao tempo,

4) a velocidade de propagação depende das espécies e de seu conteúdo de umidade: assim ela varia em função inversa da espessura eis que grande parte da água penetra em profundidade, da face mais quente em direção à mais fria, tornando mais difícil a sua evaporação.

4. Chamamos de propagação superficial ao alastramento da combustão na superfície do material. Trata-se de um característico importante dos materiais que em muitos países, nomeadamente os anglo-saxônicos, é considerada fundamental da reação ao fogo dos materiais.

A propagação superficial embora relacionada com a inflamabilidade, constitui um fenômeno em grande parte independente, mas condicionado a vários fatores, a saber:

1) a incidência e intensidade de radiações externas,
2) a incidência e intensidade de radiações emitidas pela parte já atingida do próprio material,
3) o calor transmitido por convecção,
4) o calor transmitido por condução,
5) a condição da temperatura resultante do conjunto de fatores acima, ultrapassar 300ºC, permitindo a ignição piloto.

5. Chamamos de post-combustão a um conjunto de fenômenos complexos que se observam notadamente em materiais de estrutura alveolar, após ter cessado a combustão viva.

Nestes materiais que contêm na sua massa grandes quantidades de ar, a combustão se realiza lentamente por combinação direta do oxigênio com o combustível sólido, sem

chamas e com produção considerável de óxido de carbono. Esta forma de propagação embora ainda insuficientemente conhecida para servir de critério de caracterização à reação do fogo, é importante pelo cuidado que exige no rescaldo do incêndio.

6. Quando o calor atinge de alguma forma a superfície de um material combustível, uma parte é absorvida e transmitida por condução no corpo do material. Uma parte permanece na superfície aumentando sua temperatura. É evidente que se o material fôr mau condutor a transmissão de calor será muito menor e a temperatura superficial aumentará mais rapidamente. É o caso da madeira (λ = 0,10 - 0,20 kcal/mh°C) que produz a uma temperatura por volta de 300°C, gases suficientes para que a ignição se dê com a presença de uma chama piloto relativamente modesta (fósforo, cigarro, faísca, etc.). Sem a chama piloto a ignição ocorrerá somente quando a temperatura alcançar cerca de 500°C à qual os gases destilados sofrem auto-ignição.

7. Na propagação do fogo, as várias formas de transmissão do calor exercem influência variável segundo as circunstâncias. A condução pode-se dar por contato como é o caso de uma peça qualquer de mobiliário encostada numa parede. Entre dois corpos, a temperatura diferente e em contato direto, verifica-se transmissão por condução sempre do mais quente para o mais frio e o fluxo de calor será proporcional à difusibilidade de ambos e ao volume respectivo.

O calor pode ainda ser transmitido por condução através de canos, tubos, dutos metálicos ou elementos estruturais, também metálicos, a níveis diferentes de um mesmo edifício ou a áreas diferentes num mesmo pavimento.(29c)

Uma poltrona que por uma razão qualquer se incendeie, transmitirá calor a uma parede por condução quando estiver encostada na mesma. A temperatura da parede sofrerá

(29c) Observe-se que a difusibilidade dos metais é maior do que a dos outros materiais. A do alumínio é por exemplo 10[illegible] vezes [illegible] do concreto. Veja-se o quadro 17.

um aumento sensível mas, se fôr de alvenaria incombustível a combustão da poltrona extinguir-se-á sem outras consequências. Vice-versa se uma parede de alvenaria por efeito de um incêndio alcançar temperaturas elevadas, a transmissão à poltrona se dará rapidamente e esta facilmente poderá inflamar.

Gases quentes em movimento transmitem calor por convecção e esta transmissão é importante nos primeiros estágios do desenvolvimento do incêndio quando as superfícies ainda não sofrem aumento substancial da temperatura.

Por convecção verificam-se várias ações de propagação:

- o ar e os gases aquecidos movimentam-se rapidamente/ em direção ao forro e às paredes superiores, pré-aquecendo novas fontes de combustível,
- o ar e os gases aquecidos transmitem calor através de aberturas verticais e no interior de dutos, tubos, chaminés, poços, caixas de escadas e de elevadores, etc.
- quando confinado verticalmente o fogo caminha horizontalmente através de sotãos, dutos, desvãos, forros falsos, etc.

Deve-se atentar também que o ar aquecido sofre expansão, exercendo pressão sobre portas, janelas, vidros, materiais fracos, penetrando em qualquer abertura.

8. Qualquer corpo que registre uma temperatura ainda que mínima, emite energia sob a forma de radiação.

A natureza das radiações térmicas é a mesma das ondas eletromagnéticas, raios X ou da luz visível.

Do espectro de radiações, as que possuem um comprimento/ deonda da 1 a 10 micron são as mais comuns dos incêndios e correspondem ao infra-vermelho.

Nomeadamente as de 1 a 2 micron têm a 1200ºC maior in-

tensidade.

A radiação térmica de um corpo depende somente de sua temperatura e do estado de sua superfície e, quando uma radiação atinge uma substância, parte é absorvida e parte refletida; logo, um corpo a uma certa temperatura emite para cada comprimento de onda tanta energia quanta ele absorve. O corpo que absorve toda a energia incidente e portanto tem a maior emissividade é o corpo preto. Nos cálculos da radiação de incêndios admite-se uma emissividade igual ao corpo preto.

A radiação térmica aumenta muito mais rapidamente com o crescer da temperatura do que a condução e a convecção. Destarte esta forma de transmissão é realmente o processo mais importante da propagação do fogo num mesmo edifício ou entre edifícios vizinhos sendo o principal responsável pelo "flash-over", junto com o lastramento superficial das chamas.

9. O conhecimento dos mecanismos de transmissão é evidentemente importante para avaliar corretamente as várias modalidades de propagação (30).

Se num determinado local se realizar uma combustão de objetos apoiados ao piso, este será aquecido por condução mas o forro e as paredes o serão por convecção e por radiação (fig. 9).

A maior parte dos materiais combustíveis inflama quando intensamente aquecidos, porque emite gases inflamáveis. Um aquecimento brando pode produzir uma forma de ignição diferente e embora façamos referência sempre à temperatura de ignição, seu significado nos dois casos é diferente. Com efeito, o aquecimento brando dá lugar a um ponto de ignição que depende da forma e tamanho do material, enquanto com um aquecimento rápido a temperatura de ignição depende da disponibilidade de uma chama piloto para inflamar os gases. O tempo necessário para provocar a ignição de uma substância é governado amplamente por suas propriedades térmicas porque estas regulam a velocidade de aquecimento.

---

(30) LANDON-Thomas G.J.,Fire Safety in Buildings,A.&C.Black Ltd. Londres, 1972

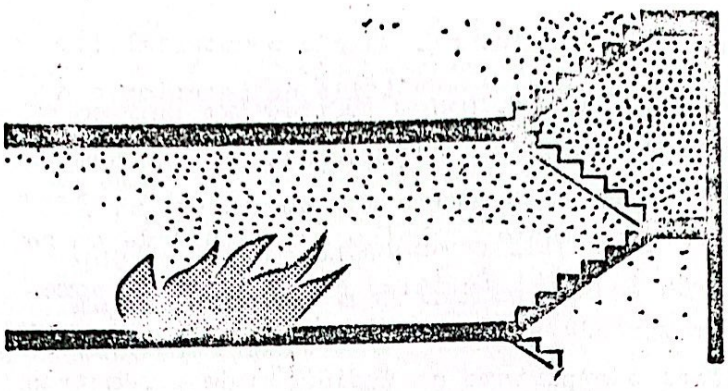
10. É notório que o alastramento do fogo se realiza principalmente por propagação superficial e transversal. O - que isso significa já foi visto no decorrer desta exposição.

Da propagação transversal registramos todavia dois mecanismos: a propagação através de uma camada contínua de combustível e através de uma descontínua.

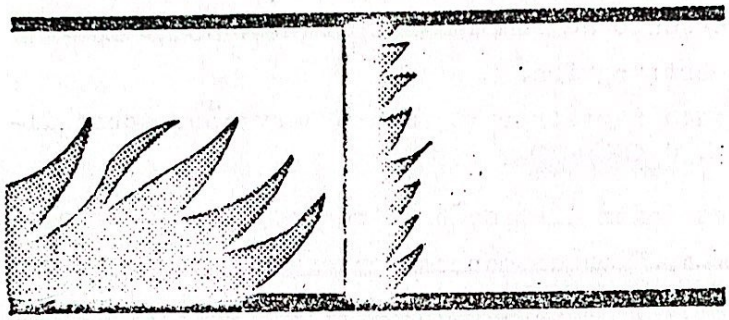
A propagação superficial contínua pode realizar-se em duas direções, horizontal e vertical. Na vertical se o material fôr por exemplo uma faixa delgada e estreita - de papel ou de um tecido qualquer, a convecção pode desempenhar um papel importante no aquecimento do combustível acima da zona já em combustão. O calor pode gerar uma ignição gradual e sucessiva, conforme forem-se produzindo gases suficientes para manter a combustão. A espessura do material combustível medida em peso por unidade de área, condiciona a velocidade de propagação em materiais delgados em virtude da quantidade de calor necessário para elevar a temperatura de um determinado comprimento de superfície aumentar com a espessura. Segundo Langdon-Thomas, aproximadamente dobrando a espessura por unidade de área, reduz-se a velocidade de propagação à metade.

Deve-se notar também que quanto mais larga a faixa em combustão de qualquer material em relação à sua altura, tanto mais rápida a propagação do fogo, fato que pode ser explicado observando-se que uma faixa larga contém mais combustível por unidade de comprimento dando lugar a chamas mais longas que aquecem mais rapidamente a parte ainda incombusta.

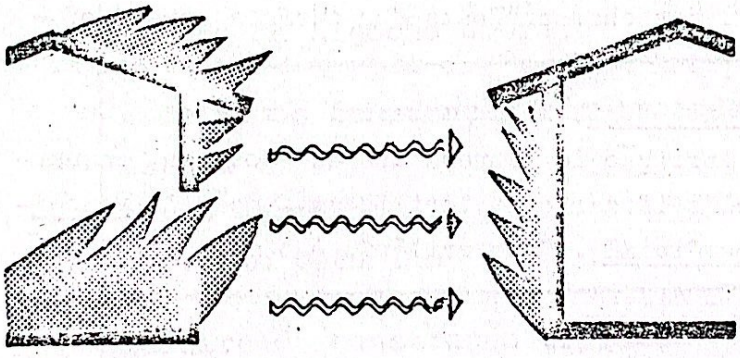
Na direção horizontal a propagação em material delgado será mais lenta do que na direção vertical uma vez que a maior parte do calor é afastada por convecção mais ou menos longe da parte ainda incombusta situada à frente da linha de fogo. Embora a condução não desempenhe qualquer papel de realce em materiais delgados, todavia sua ação é importante na propagação transversal eis que -



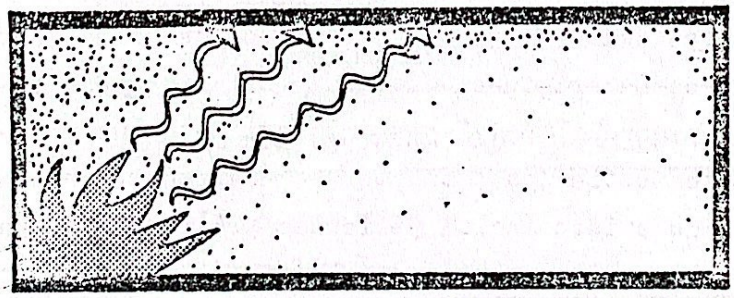
1) CONVECÇÃO



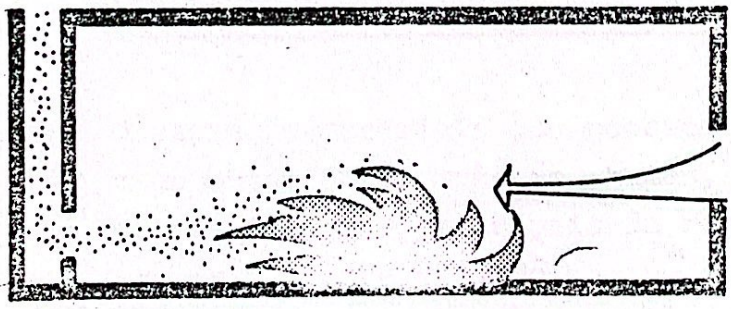
2) CONDUÇÃO



3) RADIAÇÃO



4) CONVECÇÃO E RADIAÇÃO



5) EFEITO CHAMINÉ

FIGURA 9

transmite calor no interior do material. Quando o material fôr mau isolante térmico, o calor será transmitido no interior e a propagação superficial será mais lenta, o contrário ocorrendo com um material isolante.

11. Já nos referimos várias vêzes neste trabalho à dificuldade em se obter uma razoável coerência na sistemática de estudo da fenomenologia do incêndio, em virtude sobretudo da posição de cada país na fase em que prevaleceu o empirismo na definição de parâmetros e na formulação de ensaios.
Voltaremos sôbre este assunto no fim dêste capítulo, quando analisaremos a normalização estrangeira.
A esta altura cabe contudo registrar algumas observações sobre diferentes abordagens da propagação do fogo.
Com efeito alguns países fazem distinção entre propagação do fogo e alastramento das chamas. É o que ocorre por exemplo com a regulamentação inglêsa (BS 476) na qual é previsto um ensaio de propagação ("Fire propagation test for materials") e um ensaio de alastramento superficial das chamas("Tests for surface spread of flame") ; na verdade o primeiro é um meio de apreciar a reação ao fogo por propagação transversal, de um material por meio de um índice que expressa a variação de temperatura de amostras, enquanto o segundo permite classificar os materiais em função da velocidade de propagação superficial . Este critério é o mais correto, eis que os fenômenos são diferentes e deve ser aplicado especialmente a materiais de acabamento.

2.2.4.1. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO

1. Das observações anteriores deduz-se que os mecanismos de propagação do fogo permitem dividir os materiais em duas categorias segundo forem ou não atingidos em profundidade. É portanto evidente que materiais delgados, geralmente destinados a funções de acabamento devem ser escolhidos com cuidado e isto inclui películas plásticas, chapas de madeira, tintas, papel-parede e cortinas, mas também cêras de acabamento de pisos, tapetes e carpetes. A escolha deve recair sobre

os que registram menor velocidade de propagação. A velocidade de propagação da chama de determinados materiais é relacionada na norma ASTM E 84-68 a uma escala na qual arbitrariamente o índice 0 (zero) representa o cimento-amianto e o índice 100 o carvalho vermelho, no estado natural.

Nessa escala alguns tecidos de algodão alcançam o índice 2500 (ver quadro 9).

QUADRO 9

Material	Índice de Propagação
Tecido de algodão dobrado	1600 - 2500
Madeira de construção não tratada: bétula abeto vermelho carvalho vermelho	100
Madeira de construção tratada: bétula abeto vermelho carvalho vermelho	30 - 50
divisória de gesso e papelão (gypsum-board)	10 - 15
alumínio com uma face esmaltada	5 - 10
chapa de cimento amianto	0

2. O exame de materiais que possuem a propriedade de alastrar superficialmente as chamas, por serem notoriamente os responsáveis principais da rapidez do "flash-over", requer bastante cuidado.

O mecanismo de alastramento superficial pode ser imaginado como uma série de ignições sucessivas sobre a superfície. Num incêndio isto pode ser explicado porque:

- as chamas estão em contato direto da superfície do material,
- a radiação incidente tem uma intensidade maior do que a intensidade crítica de ignição superficial(ver tópico 2.2.1./13).

A velocidade da frente das chamas na superfície é inversamente proporcional à capacidade térmica do material e à sua condutibilidade térmica, parâmetros relacionados com a massa específica aparente. Simms, citado por Saunders (30A) propõe que a velocidade seja considerada diretamente proporcional à intensidade da radiação. Segundo êsse autor seria, para a madeira :

$$V = n\,(I - I_o)$$

onde V = velocidade de propagação superficial em m/s

I = intensidade da radiação em W/m^2

I_o = intensidade da radiação à qual a propagação é nula , em W/m^2

n = coeficiente função do recíproco da massa especifica aparente do material.

Para algumas espécies , os valores de I_o e n são os seguintes :

espécie	I_o	n
- balsa	0,013	0,835
- cedro vermelho	0,050	0,250
- carvalho vermelho	0,150	0,152
- carvalho europeu	0,090	0,086
- faia	0,100	0,082
- louro	0,200	0,040

(30A) SAUNDERS R.G. Fire Performance of Materials, em The Fire Performance of Timber, Section 6, TRADA, Hughenden Valley,1972

Aplicando êsses dados a uma madeira branda, como a balsa, na hipótese de a temperatura das chamas ser da ordem de 600 ºC, obtemos :

$I_c = 0{,}1\ cal/cm^2.s = 0{,}42 \times 10^4\ W/m^2$ (ver quadro 3)

$I = \sigma T^4 = 4{,}18 \times 10^4\ W/m^2$

$I_o = 0{,}013 \times 10^4\ W/m^2$

$n = 0{,}835$

$V = 0{,}835\ (4{,}180 - 0{,}013) = 3{,}5\ m/s$

Segundo Simms a propagação é irregular e como mostra o exemplo acima e as observações reais confirmam, o nível crítico de radiação ao qual a inflamação é possível, é bem mais baixo do que a intensidade crítica de ignição superficial. Para uma madeira dura como o louro podemos ter , segundo a expressão acima, uma velocidade V = 0,16 m/s..
Nos ensaios as chapas com superfícies lisas revelam velocidades de propagação superficial menores do que as de chapas asperas. Superfícies contínuas revelam também velocidades menores do que as descontínuas, quando a descontinuidade é apenas representada por uma junta topo a topo, uma vez que esta sem interromper realmente a propagação, permite a penetração das chamas em profundidade.
Qualquer acabamento superficial constituido de pequenos elementos como sarrafos juxtapostos, tem uma velocidade maior do que uma chapa contínua, não sòmente pelas razões expostas, mas também porque a madeira sofre efeitos do fogo tanto mais sérios, quanto menores forem as suas dimensões.
Como já tivemos oportunidade de assinalar ao falarmos da combustão, a umidade joga também nêste caso, papel importante reduzindo a velocidade de propagação.
O efeito da forma e da massa é sem dúvida sensível e a massa específica aparente tem com a velocidade de propagação uma relação mais direta do que com a combustibilidade e a maioria dos autores confirma a posição de Simms e de Saunders.
No que tange às especies, as resinosas parecem ter velocidades de propagação mais elevada.
Repetimos que a velocidade de propagação superficial é um parâmetro importante, por estar relacionado com uma fase crítica do incêndio representada pela ocorrência do "flash-over". Por essa razão e por condicionar a aplicação de materiais de acabamentos, as pesquisas e trabalhos visando esclarecer seus efeitos têm dado margem a grandes controversias. Recentes trabalhos realizados no "Forest Products Laboratory, Madison, USA", teriam mostrado que a ocorrência da inflamação generalizada é influenciada muito mais pelos móveis e objetos de decoração

do que pelos materiais de acabamento. É ainda contudo prematuro tirar conclusões. Também os resultados de ensaios podem confundir o julgamento de materiais, quando estribado apenas no resultado de um ensaio, é plausível somente quando a aplicação do material reproduz as mesmas condições do ensaio.

É um dos casos em que o valor do ensaio é relativo. Em outras palavras à paridade de condições de aplicação é válido escolher entre vários materiais disponíveis aquele que possuir o alastramento das chamas menor.

3. Em geral materiais que possuem elevada velocidade de propagação superficial das chamas são materiais delgados utilizados como acabamentos de vedos horizontais e verticais, isto é paredes, divisórias, pisos, forros, forros acústicos, forros falsos, etc, ou de móveis e equipamentos, tais como estofados, ou ainda em cortinas, etc.

Logo, em geral na aplicação, têm apenas uma face exposta à ação do fogo e em contato com o ar que fornece o comburente.

A outra face é geralmente colada a uma base por meio de um adesivo. Nos ensaios entretanto o material tem as duas faces livres, portanto as condições da combustão não são as mesmas.

Por outro lado se o material não fôr colado mas aplicado a uma estrutura de suporte, deixando um desvão entre o acabamento e o vedo, como acontece com um forro falso, as condições são outras e mais próximas daquelas do ensaio.

4. Dependendo da espessura, um material isolante térmico, além de sofrer um aumento superficial mais rápido de temperatura, tem uma relação superfície volume mais favorável à combustão e por apresentar uma textura porosa facilita a penetração do oxigênio.

Quando utilizado na execução de um forro falso, se fôr constituído de material orgânico, propiciará todas as

condições mais favoráveis para um rápido alastramento das chamas.

É possível controlar essa condição submetendo o material a um tratamento superficial ou por impregnação na massa, com produtos retardantes ou intumescentes.

5. A norma americana citada classifica os materiais segundo os critérios do quadro 7, relacionados com os índices de propagação registrados:

CLASSE	VELOCIDADE	ÍNDICE
A	muito baixa	0 - 25
B	baixa	26 - 75
C	média	76 - 200
D	rápida	201 - 500
E	muito rápida	> 500

Esta norma foi adotada pelo Decreto 10.878 do Município de São Paulo.

A título informativo registramos as classificações de alguns materiais:

- reboco A
- laminados plásticos delgados (0,8 mm) A
- laminados plásticos sobre compensados de madeira (10 mm) B
- chapas isolantes de fibra de madeira sem pintura D
- chapas prensadas de fibra de madeira sobre madeiramento C
- chapas prensadas de fibra de madeira coladas em reboco B

6. Algumas regulamentações mantêm vinculadas as verificações da ignitabilidade e da propagação superficial das

chamas. Embora o risco seja igualmente sério em quartos pequenos e em grandes locais, o efeito de acabamentos combustíveis não é o mesmo. Em locais pequenos o acabamento pode contribuir para o desenvolvimento do fogo até a ocorrência do "flash-over" por volta de 500-600 ºC. Num local de grandes dimensões com forro baixo o processo é de mútuo suporte.

Com efeito, a frente do fogo na altura do forro está adiantada com relação à do nível do piso, aumentando a radiação e destarte a velocidade de propagação do fogo no espaço.

7. A norma inglesa BS 476 adota cinco classes de materiais com relação à propagação das chamas:

- classe 1 muito lenta
- classe 2 lenta
- classe 3 média
- classe 4 rápida

É prevista ainda uma classe 0 para materiais delgados ($\leq$ 0,8 mm) dos quais exige-se que além de possuírem propagação muito lenta das chamas, sejam ou incombustíveis ou aplicados sobre base incombustível.

Refletindo as observações acima, os Códigos de Edificações do Reino Unido para efeito da aplicação das categorias de materiais definidas pela BS 476, classificam as edificações em 8 tipos:

- Grupo I, habitação isolada térrea ou assobradada
- Grupo II, edifício institucional ou seja o que abriga à noite crianças ou doentes
- Grupo III, outros edifícios residenciais
- Grupos IV a VIII, escritórios, oficinas, lojas, fábricas, etc.

Para o mesmo efeito, definem também como locais pequenos os com área menor ou igual a 4 m^2, para os grupos I a III e menor ou igual a 28 m^2, para os demais.

As classificações admissíveis são então as do quadro 8 seguinte:

Grupo	Tipo	Classificação		
		Locais Pequenos	Outros	Locais de Circulação
I	residências peq.	3	1	0
II	institucionais	1	0	0
III	outros edif. res.	3	1	0
IV a VIII	outros tipos	3	1	0

8. É ainda oportuno observar que os forros não podem ser considerados como simples materiais, o mesmo ocorrendo com as partições desmontáveis, que desempenham funções próprias de componentes. Nesse sentido a verificação da propagação das chamas deve ser feita em conjunto com a resistência ao fogo.

Esta exigência é colocada por exemplo pela regulamentação inglesa e será analisada na quarta parte deste trabalho.

9. Do exposto, é fácil entender que por ser um dos pontos mais críticos da tecnologia do fogo, a propriedade de alastramento superficial das chamas é também objeto de controvérsias, alimentadas pelos fabricantes de materiais impróprios para determinados usos.

Se o trágico incêndio do Joelma mostrou deficiências marcantes no uso de materiais inflamáveis e de rápida propagação das chamas, condições imputáveis em parte à falta de uma regulamentação atualizada, o incêndio ocorrido na Ilha de Man no começo de 1974 e considerado o pior desde 1929 (31), revelou que também num país considerado entre os mais adiantados no campo da regulamentação de prevenção e segurança contra o fogo, não se conseguiu ainda um domínio razoável do assunto. Se isto infelizmente comprova as observações de Emmons registra-

(31) RIBA JOURNAL, Summerland: the anatomy of disaster, Londres Julho 1974.

das na introdução à segunda parte desta tese, por outro lado aconselha a máxima cautela na aplicação de materiais caracterizados por rápida propagação das chamas, eis que também no incêndio citado, êstes concorreram para a gravidade das consequências.

10. Das considerações acima já podem ser identificados alguns caminhos comuns na propagação do fogo:
   - Posto que o ar quente sobe, os forros e as paredes superiores são pré-aquecidos antes de qualquer outra parte da construção e a maioria das propagações rápidas ocorre ao longo destas superficies. Portanto materiais e componentes utilizados nestas partes devem ser cuidadosamente considerados em termos de sua velocidade de propagação superficial.
   - A propagação conduz à inflamação generalizada local e geral, com repentino ou extremamente rápido desenvolvimento das chamas. O "flash-over" é um fenômeno comum em edificios com elevado potencial calorífico ou com grandes superfícies combustíveis. O "flash-over" pode entretanto ser provocado por um enriquecimento repentino de oxigênio que os gases sofrem quando a temperatura alcança cerca de 800ºC, ocorrendo uma ignição praticamente simultânea dos combustiveis existentes numa área, as chamas propagando improvisamente de um local incendiado para toda a área adjacente.

11. Quatro efeitos deverão ainda ser considerados na propagação:
   1 - o efeito do pé-direito, uma vez que quanto mais baixo tanto maior o alcance horizontal das chamas. Se chamarmos de D a fração da chama livre vertical interceptada pelo forro, o alcance horizontal é da ordem de 7 D, conforme mostra a fig. 9A. (31A)
   2 - o efeito de chaminé gerado por dutos ou aberturas verticais, pode criar um vácuo parcial no local, melhorando a ventilação na primeira fase do incêndio, com suprimento adicional de oxigênio. O mesmo fenômeno pode ocorrer por ação do vento.
   3 - o efeito de canto, uma vez que dá lugar a uma concentração de calor, pelos vários mecanismos de transmissão, especialmente a radiação.
   4 - o efeito da dilatação, em virtude da qual alguns materiais sofrem fissurações que abrem caminho ao calor e às chamas.

   No que tange ao primeiro efeito, ressalta que o pé-direito baixo aumenta também o alcance da propagação pelos vãos abertos.
   Observe-se que a ventilação não é oportuna na primeira fase do incêndio, enquanto como vimos no tópico 2.2. , é útil na segunda para abreviar a duração.

12. A propagação do fogo, além dos mecanismos normais de transmissão do calor, é facilitada ainda por:

(31A) O comprimento vertical das chamas pode ser calculado pelo método desenvolvido por Yokoi. Veja-se tópico 2.2.4.2.1.

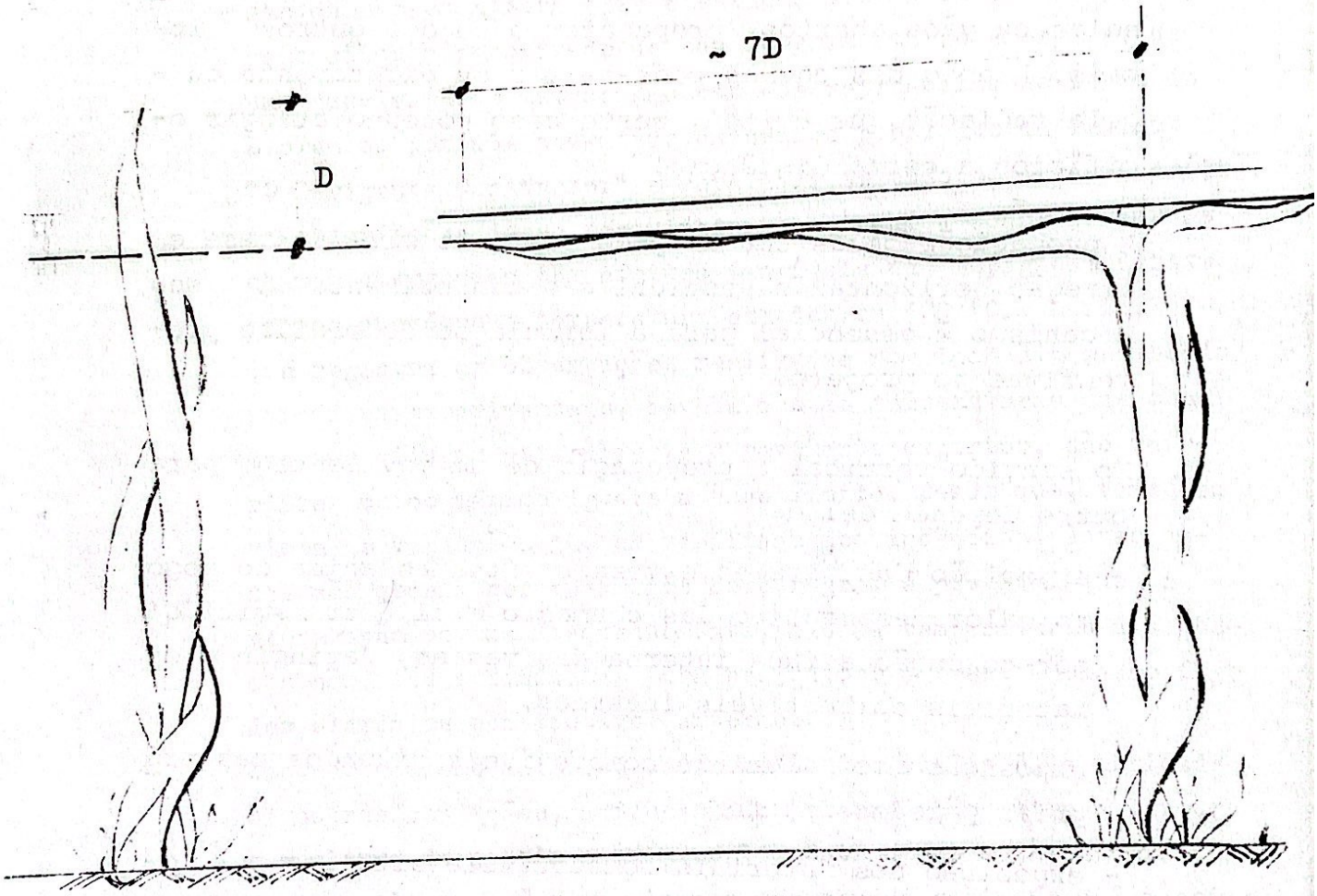


FIG. 9A

(De"Design for Fire Safety", Oxford 1975)

- ação direta das chamas através de vãos abertos
- transmissão à distância por radiação
- colapso de coberturas

São os aspectos que analisaremos nos tópicos seguintes.

2.2.4.2 PROPAGAÇÃO DO FOGO ATRAVÉS DE VÃOS ABERTOS

1. Durante um incêndio é comum as chamas emergentes das janelas ou vãos abertos, propagarem o fogo a outros locais. A ação das chamas pode-se dar ou diretamente ou pela radiação que emitem, neste caso podendo atingir edifícios a certa distância.

   A propagação pelas chamas pode portanto verificar-se em direção horizontal e vertical e o conhecimento de seu mecanismo é essencial para a formulação de medidas preventivas no projeto.

2. No sentido vertical a propagação de um pavimento para outro depende de:
   - exposição das paredes externas situadas acima do fogo ao calor desprendido das chamas o qual é transmitido por condução a face interna das mesmas, atingindo os materiais combustíveis internos,
   - exposição dos materiais combustíveis situados nas próprias paredes externas.
   - exposição dos materiais combustíveis situados em locais acima do fogo, ao calor emitido pelas chamas e transmitido por convecção e radiação.

3. No sentido horizontal, dependendo da distância entre um edifício e outro, a propagação ocorre mais ou menos segundo o mesmo mecanismo, devendo contudo neste caso ser considerada também a ação do vento.

   As medidas de prevenção são objeto de outra parte deste trabalho e aqui procuraremos esclarecer o comportamento

das chamas e o mecanismo da radiação.

2.2.4.2.1. PROPAGAÇÃO DIRETA

1. Chamas já foram definidas como sendo gases quentes e, para efeito deste tipo de propagação o que mais interessa é determinar o seu comportamento provável, isto é o seu alcance direto.

Yokoi, do Instituto de Pesquisas da Construção do Japão, estudou em profundidade os fenômenos determinantes a propagação das chamas em altura (32) e estabeleceu um método simples para o cálculo aproximado de seu comprimento ao emergirem de uma janela. Este método encontra-se reproduzido no livro de Lie e foi por nós comentado em artigo publicado na revista "O Dirigente Construtor" e será aquí omitido por brevidade(33). As observações dêsse pesquisador o levaram a concluir que as chamas emergentes têm efeitos tangíveis na propagação direta apenas quando sua temperatura exceder os 500 ºC. A fig.7 que registra as observações realizadas num incêndio provocado para fins experimentais, revela que as temperaturas das chamas que atingem externamente o pavimento superior, são inferiores ou no máximo iguais a êsse limite. Desde que, tendo em vista as variações que se verificam nos incêndios, êsses dados não podem ser assumidos como regra, é provável que a propagação ocorra frequentemente, mas as temperaturas das chamas não são suficientes para prejudicar a resistência ao fogo dos elementos construtivos externos.

Segundo o mesmo autor, o comprimento das chamas é, a paridade de outras condições, influenciado pela relação entre a largura e a altura da janela e um exemplo mostrou que se a largura fôr 4 m e a altura 1,6 m, o alcance das chamas seria de 3,2 m acima do peitoril ou 1,6 m acima da verga.

Se a largura fôr menor do que a altura, as chamas sofrerão uma deflexão acentuada, afastando-se da fachada.

Logo, em edifícios de escritórios, nos quais é mais comum adotar janelas largas ou vitrôs contínuos, especialmente quando a vedação é do tipo "curtain-wall", é mais provável que as chamas atinjam o pavimento superior. O mesmo não ocorre com edifícios residenciais nos quais as janelas em geral têm largura menor.

---

(32) YOKOI S., Study on the prevention of fire-spread caused by hot upward current. Building Research Institute Report nº34, Tóquio 1960.

(33) "Especifique certo para salvar vidas em caso de incêndios", em Dirigente Construtor", Outubro 1973.

2. O assunto foi objeto de estudo por parte de outros especialistas, nomeadamente Webster, Seigel, Thomas e Law. Estes últimos analisaram os diversos trabalhos mostrando as analogias (34).

Para fins práticos o método de Yokoi pode ser utilizado com aproximação razoável. Contudo num projeto não é necessário, a não ser em casos muito específicos, estar a calcular o comprimento das chamas e os princípios aqui registrados são suficientes para a orientação do arquiteto.

2.2.4.3 PROPAGAÇÃO POR RADIAÇÃO

1. De acordo com a lei de Stefan-Boltzman um corpo a uma temperatura absoluta T, emite uma energia por unidade de área igual a

$$Q = \varepsilon \sigma T^4 A$$

onde:

σ = constante de Stefan-Boltzmann

$\sigma = 1{,}37 \cdot 10^{-12}$ (cal/cm^2.s.K^4)

ε = emissividade do corpo

A = área da superfície radiante

Já vimos que a emissividade de um edifício em chamas é próxima daquela do corpo negro (corpo radiante integral) portanto pode ser tomada igual à unidade.

É possível matematicamente determinar o fluxo de energia radiante emitida por um elemento superficial dA_1 e recebida por um elemento superficial dA_2.

Podemos ter a seguinte expressão:

$$Q_{12} = \varphi \sigma T^4 dA_2$$

onde:

φ é um fator que depende de dA_1 e de outros elementos geométricos, inclusive a distância entre as duas superfícies.

---

(34) THOMAS P.H. and LAW M., The projection of Flames from Burning Buildings, Fire Research Note nº 921, Fire Research Station, Borehamwood, 1972

Dessa expressão podemos obter:

$$\varphi = \frac{Q_{12}/dA_2}{\sigma T^4}$$

Verificamos que o numerador é a intensidade da radiação incidente e o denominador a intensidade de radiação emitida. Essa relação depende exclusivamente de elementos geométricos e é chamada "fator de configuração" (configuration factor).

Na prática quando a intensidade da radiação emitida por um incêndio e a intensidade máxima de exposição permitida forem conhecidas, o fator de configuração poderá ser determinado. A partir desse valor será possível calcular a distância máxima de segurança entre as duas superfícies.

Mas o que interessa na prática é a radiação emitida das aberturas. Assim, à expressão do fluxo deve ser aplicado um fator igual à relação entre a área das janelas e a fachada. Temos:

$$Q_{12} = P \varphi \sigma T^4 \, dA_2$$

2. A expressão matemática pode ser simplificada quando as duas superfícies forem paralelas.

Deve-se a Williams-Leir (35) a formulação de uma expressão aproximada que para as aplicações práticas é suficientemente válida (36).

Se indicarmos com

h a altura da superfície radiante
b a largura da superfície radiante
d a distância entre o elemento exposto e a superfície radiante,

a expressão matemática original, aqui omitida por brevidade, pode ser reduzida a:

---

(35) WILLIAM-LEIR G., Aproximations for Spatial Separations, Fire Technology, 1966

(36) Veja-se também a bibliografia citada no livro de LIE. e o Anexo 3 do Cap.E3 do R.E.E.F./CSTB.

$$\left(2 - \frac{R}{B^2}\right)^2 = 4\,(1-q)$$

onde:

$$B = \frac{d}{\sqrt{hb}}$$

$S = h/b$ ou b/h (a maior das duas relações)

$$q = \frac{\varphi' R \pi}{P}$$

$$R = \frac{S + (1/S)}{2}$$

$\varphi' = P\varphi$, onde φ é o fator de configuração que depende de elementos geométricos e P é a relação entre a área das janelas e a da fachada.

Note-se que a expressão simplificada é válida para B próximo de zero. Verifica-se também que os valores encontrados são bastante próximos dos conseguidos com a expressão exata, quando $q < 0,75$.

Aproximando-se S do infinito a equação toma a forma seguinte:

$$\frac{R}{B} = \frac{8q^2}{\pi^2} \qquad \text{válida para } q > 3,6$$

$$\frac{R}{B^2} = \left(\frac{4q}{3}\right)^{3/2} \qquad \text{para } 0,75 < q < 3,6$$

Desenvolvendo ulteriormente as expressões acima, Williams-Leir obteve as seguintes fórmulas para a distância crítica:

$$\text{p/ } q < 0,75 \qquad d = \sqrt{\frac{Phb\,(1-\sqrt{1-q})}{2q}}$$

$$\text{p/ } 0,75 < q < 3,6 \qquad d = 0,34\sqrt[4]{\frac{h^2\,b^2}{P\varphi^3_{crit}}}$$

$$\text{p/ } q > 3,6 \qquad d = \frac{1}{\varphi_{crit}}\sqrt{\frac{hb}{\pi R}}$$

3. As aplicações dessas expressões serão mostradas a seguir para a determinação das distâncias mínimas de segurança entre edifícios.

Para isso devemos conhecer a intensidade crítica da radiação à qual o material pode ser exposto e a intensidade máxima da radiação emitida por edifícios em chamas.

Vimos no tópico 2.2.2.1 que o valor médio da intensidade crítica geralmente aceito para as aplicações é 0,3 cal/cm^2s.

A intensidade máxima da radiação emitida pode ser calculada a partir da temperatura máxima alcançada durante o incêndio e esta depende fundamentalmente do potencial calorífico, das dimensões do edifício e das janelas e das propriedades térmicas das paredes.

Para potenciais térmicos correntes estas temperaturas podem ser obtidas no gráfico da fig. 4.

O conhecimento desses valores permite calcular o fator de configuração crítico:

$$\varphi_{crit} = \frac{\varphi'_{crit}}{F} = \frac{I_{crit}}{F \cdot I_{max}}$$

4. Um exemplo esclarecerá melhor o desenvolvimento dos cálculos:

Seja o caso de um incêndio atingindo somente um pavimento de um edifício com os seguintes características construtivos:

- potencial calorífico unitário	W_o	= 90	kg/m^2
- área do piso	A_F	= 1500	m^2
- área das janelas (p = 0,6)	A_v	= 300	m^2
- altura das janelas	H	= 2	m
- área total de paredes, piso e forro leves (γ < 1600 kg/m^3)	A_t	= 3500	m^2
- altura da fachada radiante	h	= 3	m
- largura da fachada radiante	b	= 60	m
- área total da fachada	A_{tf}	= 500	m^2

A temperatura máxima pode ser calculada a partir das expressões apresentadas no tópico 2.2.3.5.

Temos:

$$F_o = \frac{A_v \sqrt{H}}{A_t} = \frac{300 \sqrt{2}}{3500} = 0,12 \ m^{1/2}$$

$$t = \frac{W_o \ A_F}{330 \ A_v \sqrt{H}} = \frac{90 \times 1500}{330 \times 300 \sqrt{2}} = 0,97 \text{ horas}$$

O gráfico da fig. 4 mostra que a temperatura máxima atingida será aproximadamente igual a 1230ºC.

Para a intensidade máxima da radiação temos:

$$I_{max} = \sigma T^4_{max}$$

onde:

$$\sigma = 1,37 \times 10^{-12} \ (cal/cm^2 s \cdot K^4)$$

$$T_{max} = 1230 + 273 = 1503 \ K$$

Portanto

$$I_{max} = 1,37 \times (1503)^4 \times 10^{-12}$$

$$= 7,4 \ cal/cm^2 s$$

E adotando $I_{crit} = 0,3 \ cal/cm^2 s$ teremos

$$\varphi_{crit} = \frac{0,3}{0,6 \times 7,4} = 0,067$$

Aplicando agora as expressões de Williams-Leir teremos:

$$R = \frac{h/b + b/h}{2} = \frac{3/60 + 60/3}{2} \cong 10$$

$$q = \pi R \varphi_{crit} = \pi \times 10 \times 0,067 = 2,10$$

Uma vez que temos $0,75 < q < 3,6$ utilizaremos a expressão correspondente:

$$d = 0,34 \left(\frac{h^2 \ b^2}{\varphi^3_{crit} R} \right)^{\frac{1}{4}} =$$

$$= 0,34 \left(\frac{3^2 \times 60^2}{(0,067)^3 \times 10} \right)^{\frac{1}{4}} = 19,6 \ m$$

Isto mostra desde já, e como será comentado em outra parte deste trabalho, que a distância mínima de segurança é muito maior da que geralmente se supõe.

5. O exemplo apresentado refere-se a um potencial calorífico unitário médio segundo a regulamentação inglesa e que se verifica em prédios comerciais e industriais. Para residências e escritórios, nos quais o potencial calorifico é menor, a distância mínima de segurança seria também menor.

Se por exemplo, reduzimos a um terço W_o, a paridade de outras condições, obtemos $q \rightarrow 3,6$, devendo-se aplicar a expressão:

$$d = \frac{1}{\sqrt{q_{crit}}} \left(\frac{h\ b}{8\ R}\right)^{1/2}$$

e o resultado será:

$$d = 12,9\ m$$

representando todavia uma distância apreciável.

6. Outros métodos mais simples para o cálculo da distância máxima de separação foram formulados por vários autores. M. Law , , aplicando os resultados de pesquisas realizadas na Building Research Station inglêsa estabeleceu para a intensidade da radiação emitida dois valores para/ potenciais térmicos unitários maiores ou menores do que 25 kg/m^2 (36):

W_o	I_{max}	
≤ 25	2	cal/cm^2, s
≥ 25	4	"

A partir dessa hipótese montou tabelas e gráficos que permitem obter ràpidamente a distância de segurança em

---

(36) LAW M., "Heat Radiation from Fires and Building Separation", Fire Research Technical Paper nº 5, HMSO, Londres 1963

LAW M. e LANGDON-THOMAS G.J., "Fire and the external - wall", Fire Note nº 8 HMSO, Londres 1966.

função da porcentagem de aberturas radiantes numa fachada. Desenvolvimentos posteriores permitiram a adoção dessas tabelas na regulamentação inglêsa (36A).

É oportuno esclarecer que a intensidade máxima verifica-se no fim da segunda fase do incêndio e que também a intensidade crítica da radiação incidente não se traduz na imediata ignição do material combustível atingido. As pesquisas de Law mostraram que em condições mais desfavoráveis deve-se considerar um tempo não menor do que 20 minutos para o efeito da intensidade crítica. É portanto possível admitir que os efeitos da radiação sôbre os prédios vizinhos sejam controlados pela ação dos bombeiros.

Isto permite reduzir a distância de segurança calculada/ segundo os métodos indicados.

Se entretanto, em decorrência da própria localização e de outras circunstâncias e das condições de acesso dos bombeiros, essa ação fôr seguramente impedida, os recuos/ a ser adotados deverão levar em conta a distância de segurança mais desfavorável.

7. É de se estranhar que nenhuma referência seja feita na legislação Municipal de São Paulo que trata da segurança contra incêndios, à defição dos recuos em função da segurança contra os efeitos da radiação.

(36A) ELDER A.J. "The Guide to the Building Regulations - 1972" The Architectural Press Londres 1974.
Veja-se também FACKLER J.P. e CABRET A. "Tenue au Feu des Bâtiments" em R.E.E.F. CSTB, Paris 1969.

2.2.4.4 PROPAGAÇÃO PELAS COBERTURAS

1. A propagação do fogo pelas coberturas realiza-se em duas fase: a primeira antes do colapso e a segunda/ depois. Na primeira a propagação dá-se em várias direções tendo como vetores, fagulhas e tições levados pelo ar e pelos gases quentes ou atirados pelas explosões.

   Na segunda fase as chamas, não mais contidas pela - cobertura se elevam a grande altura podendo atingir diretamente os prédios vizinhos ou contribuir para/ a propagação através de radiação intensa. A propagação horizontal é também possível, sendo particularmente facilitada em habitações geminadas ou sem recuos laterais.

2. Algumas normas estrangeiras fazem referência explicita ao comportamento de cobertura sob a ação de incêndios que atingem edifícios próximos. É o caso do "External fire test" previsto na BS 476 o qual, como veremos, permite classificar coberturas em função da penetração do fogo e da propagação superficial das chamas, quando atingidas por radiação externa.

A propagação pelas coberturas pode ocorrer também por explosões provocadas por grandes quantidades de gases incombustos quentes os quais, pelas mesmas razões já apontadas no tópico 2.2.3 , ao alcançarem a atmosfera, através de poços de escadas e elevadores ou de chaminés de ventilação, encontram oxigênio suficiente para a sua combustão.

2.2.5 PRODUTOS DA COMBUSTÃO

Em complementação das noções básicas relativas ao próprio fogo, o conhecimento dos seus sub-produtos é necessário em relação aos riscos que encerram. Estes sub-produtos variam amplamente de incêndio para incêndio, mas em menor ou maior proporção todos são encontrados em qualquer incêndio de edifícios. Incluem chamas, calor fumaça, gases tóxicos, cinzas.

2.2.5.1 CHAMAS

São a "luz" do fogo e paradoxalmente a única contribuição positiva eis que constituem o primeiro aviso do fogo e estando frequentemente associadas à fonte ajudam a encontrá-la. À noite especialmente também permitem encontrar prováveis caminhos de fuga. Entretanto das chamas podem-se esperar efeitos funestos eis que provocam queimaduras graves e fatais. Como fonte de calor contribuem substancialmente para a propagação e à sua vista muitas pessoas são tomadas pelo pânico.

2.2.5.2 CALOR

1. É um produto do fogo e um meio de propagação. Aqui entretanto o que interessa é o risco humano direto. O calor provoca aumento de temperatura e os níveis de tolerância humana raramente passam de 110 - 115ºC, embora a temperaturas inferiores já se registrem disfunções vitais. Com efeito o metabolismo é prejudicado. Isto

provoca um aumento do ritmo respiratório, da circulação do sangue e da transpiração enquanto a pressão pode diminuir. Se o excesso de calor não fôr eliminado os vasos sanguineos superficiais dilatam, ao passo que se verifica uma redução/ relativa do fluxo sanguíneo visceral e um aumento da temperatura do sangue que banha o diencéfalo, podendo dar lugar/ a um estado de choque por intermação. Além disso o efeito - psicológico não deve ser subestimado eis que acentua a ansiedade provocada pela sensação de perigo.

A tolerância humana para fumaças quentes é entretanto menor. Segundo Fackler (36B) a temperatura limite seria de 60ºC.

O controle do calor é portanto extremamente importante para a segurança humana.

2. Cabe registrar que a resistência humana à radiação pode ser estabelecida aproximadamente pela expressão:

$$(I - 0{,}03)\ t = 1 \quad \text{onde}$$

I = radiação em cal/cm^2s

t = tempo de exposição em segundos

em que a radiação é relacionada ao tempo de exposição.

Para a intensidade crítica igual a 0,3 cal/cm^2s, o tempo de exposição tolerado pelo organismo humano é portanto apenas/ de 4 segundos.

2.2.5.3 GASES E FUMAÇAS

1. No decorrer de um incêndio, a combustão dos vários materiais dá lugar a formação de gases e fumaças.

São nomeadamente:

- gases inertes como o dióxido de carbono e o vapor d'água,
- gases combustiveis como monóxido de carbono, o hidrogênio e alguns hidrocarbonetos como o metano,
- gases nocivos, agressivos ou tóxicos como ácido clorídrico. O monóxido de carbono, já citado por sua combustibilidade, também é altamente tóxico.
- fumaças diversas.

(36B) FACKLER J.B. "Fire and smoke invasion of apartments"/ ASTM STP 422, Philadelphia 1966.

Da primeira categoria o vapor d'água é o mais importante eis que retarda a inflamação, como já tivemos oportunidade de registrar.

Os segundos participam da combustão de maneira mais ou menos completa segundo as fases do incêndio e a disponibilidade de oxigênio.

A terceira categoria não tem influência direta sobre a combustão, mas se constitui num risco extremamente sério para o homem e seu controle deve ser incluído nas medidas destinadas a garantir a incolumidade.

2. Dentre os materiais que produzem gases tóxicos se incluem paradoxalmente alguns produtos ignifugos, isto é destinados a tratamento de massa ou superficial para retardar a inflamação e a propagação das chamas.

Também alguns plásticos desenvolvem gases tóxicos como por exemplo o cloreto de polivinilo que às temperaturas alcançadas na fase de inflamação generalizada, sofre decomposição com desprendimento de ácido clorídrico.

Entretanto o gás de maior incidência e que comporta um risco mais severo é o monóxido de carbono (37).

As concentrações deste gás dependem principalmente da natureza dos materiais mas também da temperatura e da alimentação de oxigênio.

Ensaios realizados no CSTB francês mostram que para a madeira alcança-se normalmente o teor de 1%, mas concentrações maiores podem verificar-se com outros materiais celulósicos destinados a isolamento térmico. Estas concentrações mais elevadas são verificadas principalmente na fase de inflamação generalizada quando, com a combustão mais viva, o oxigênio sofre uma queda repentina de teor.

---

(37) Deve-se lembrar que num incêndio o CO produz sempre mais vítimas do que as chamas.

Segundo Fackler e Cabret o risco decorrente do monóxido de carbono pode ser avaliado sabendo-se que "grosso modo" o organismo humano adulto revela uma resistência expressa por:

$$K \cdot t = 4,5$$

onde:

K = teor de CO em %
t = tempo de resistência em min

Portanto um teor de 2% admite uma resistência máxima de pouco mais de 2 minutos.

O dióxido de carbono, embora não seja tóxico, reduz a concentração de oxigênio e dificulta a respiração.

O CO_2 é elemento constitutivo da atmosfera na proporção de 0,03% em volume mas nas zonas urbanas por efeito da poluição alcança 0,07%.

O limite de tolerância está entre 0,05 e 1% além do qual a respiração, o sistema cardiovascular e a atividade cerebral são afetados.(37B).

3. A quarta categoria de produtos de combustão é constituída pela fumaça.

A fumaça é formada de gases que levam em suspensão micro-partículas sólidas e vapores, constituídas em grande parte de carbono, parcialmente combusto. Estas partículas que brilham em gases quentes, dão lugar a chamas a altas temperaturas e a fumaças, a baixas temperaturas. Quanto mais completa fôr a combustão, mais vivas e claras serão as chamas. A emissão de fumaça neste caso é pequena. Quando a alimentação do ar fôr incompleta, e a temperatura mais baixa, haverá pouca ou nenhuma chama aparente mas fumaça escura e densa e o teor de CO será mais alto. Fumaças brancas denotam presença de vapor d'água. Incêndios em que a produção de fumaças fôr mais

---

(37B) O dióxido de carbono não é normalmente considerado tóxico. Estudos realizados na Russia mostram entretanto que a tolerância humana é limitada. Veja-se GOROMOSOV M.S., Bases fisiológicas de las normas sanitárias. OMS, Genebra, 1969

abundante revelam uma temperatura da ordem de 400º a 600ºC.

As fumaças representam um risco em razão de:

- sua opacidade que impede a visão, reduzindo o tempo para o resgate,
- ação química que exercem sobre o organismo acompanhadas que são de gases tóxicos,
- ação física sobre as mucosas, os bronquios e os olhos em particular, com efeitos irritantes frequentemente - sérios.
- propagação rápida, junto com os gases expandidos pelo calor, permeando um edifício rápida e completamente.

Por outro lado junto com as chamas podem ser o primeiro alarma do fogo, embora rapidamente se tornem intoleráveis.

4. Um dos aspectos mais críticos da fumaça é a rapidez com que alcança praticamente todo o edifício atingido pelo incêndio. Assim, mesmo que não contenha um elevado teor de gases tóxicos que a torne letal, sua concentração - logo nos primeiros estágios do incêndio - pode por suas propriedades irritantes e por sua opacidade que prejudica a visibilidade, imobilizar os habitantes do edifício no local onde são surpreendidos pelo fogo, ficando estes vítimas inermes do calor e dos gases tóxicos.

Esta ação de bloqueio é extremamente séria e geradora do pânico.

5. A quantidade de fumaça produzida por um material é proporcional à superfície atingida pela combustão. Assim a relação superfície/volume que exerce sensível influência no regime da combustão, é também importante para a produção de fumaça. O aspecto mais crítico é que qualquer ensaio que se proponha verificar e classificar os materiais em relação à sua capacidade geradora de fumaça, deveria ser aplicado a todos os componentes e objetos que'

constituem o próprio potencial térmico.

Assim mesmo os ensaios, por si, não constituem um meio suficiente para uma avaliação objetiva eis que na situação real de um incêndio concorrem para as causas e os efeitos da fumaça, a distribuição física dos materiais combustíveis e a ventilação.

Por outro lado não existe ainda uma correlação aceitável entre os resultados dos ensaios atualmente adotados pelos vários países e os riscos inerentes à fumaça.

6. É certo contudo que no regime de combustão controlada pelo potencial térmico, a produção de fumaça é menor e, em princípio, os mesmos critérios adotados para a severidade de um incêndio podem ser aplicados para reduzir seus efeitos. Isto contudo é válido para a segunda fase do desenvolvimento do foço. Para a primeira, na qual os efeitos da fumaça são mais nocivos, a ação mais eficaz é reduzir o potencial térmico.

Neste setor também estudos estão em andamento em vários países mas espera-se obter dados mais precisos de ensaios realizados em modelos em escala real (38).

7. É importante notar que, sendo grande a variedade de materiais combustíveis hoje utilizados na edificação, quer incorporados na construção, quer como móveis e equipamentos, a produção de fumaça e gases não é apenas proporcional ao potencial térmico, mas depende da própria natureza dos materiais que compõem esse potencial.

O Comitê de Prevenção de Incêndio para Materiais de Construção, constituido no Japão em 1966 e dirigido pelo Prof. Kawagoe, procedeu desde aquela data a amplas investigações sobre o comportamento dos materiais em relação à produção de fumaça e seus característicos e os resultados encontram-se resumidos no relatório "Summary of Test Results of Smoke and Gas generation from Building Mate-

---

(38) COMITÊ E-5/ASTM, Le Controle de la Fumée dans les Incendies d'Immeubles, tradução publicada em Cahiers du CSTB nº 130/1110 Junho 1972.

rials" publicado em 1974 pela Associação Japonesa de Ciência e Engenharia de Incêndio (39). Trata-se de trabalho de grande valor para qualquer investigação sobre o tema, mas é aqui omitido por brevidade.

8. Outro aspecto a ser considerado relaciona-se com a temperatura. Já vimos que a maior produção de fumaça registra-se entre 400 e 600ºC.

Na fase inicial de um incêndio a quantidade de ar num local fechado é insuficiente para a combustão, portanto a geração de fumaça é relativamente grande. Esta fase encerra-se com o "flash-over", quando todo o material combustível é praticamente tomado pelo fogo e a partir daí verifica-se um aumento muito rápido quase instantâneo de temperatura, com um desajuste na alimentação de oxigênio, e produção de gases incombustos e fumaças.

É portanto no instante da inflamação generalizada que a ocorrência de fumaça é maior e seus efeitos mais perigosos.

9. Para a fumaça não é entretanto apenas suficiente controlar a sua produção, como também interessa conhecer os mecanismos de seu movimento.

Nisto a fumaça não difere substancialmente do ar atmosférico porque as diferenças na composição não alteram as propriedades termodinâmicas. Certamente a temperatura e seus gradientes e as diferenças de pressão são os fatores mais importantes no mecanismo de movimento da fumaça.

A ação do vento também concorre enquanto a geometria do edifício e a existência de dutos, nomeadamente os de ventilação mecânica, representam fatores adicionais.

Para evitar o fluxo de fumaça de um local para outro, todas as juntas e os orifícios deveriam ser estanques.

---

(39) Relatório nº 4 da publicação citada na nota nº 47.

Se para a compartimentação das chamas, é dos componentes principalmente que exigem-se determinadas condições de resistência, para a fumaça é sobretudo nas juntas que basicamente a estanqueidade revela-se indispensável.

Na construção tradicional é especialmente nos componentes secundários, constituidos de portas e janelas, que encontram-se as juntas mais comuns. Mas a fumaça pode penetrar também em juntas de dutos com calafetação insuficiente e em fissuras e trincas dos próprios componentes ocasionadas por movimentos vários.

Na construção não tradicional, especialmente na celular (com grandes painéis), juntas especiais são realizadas entre os componentes: constituem sem dúvida um ponto crítico e a resistência ao fogo dos calafetos deve ser verificada.

Os gases gerados pelo incêndio, sofrendo a ação do calor, aumentam de volume e "grosso modo" pode-se assumir que com um aumento de temperatura de 600º C, o volume do gás triplica e o excesso sai do local atingido pelo fogo. Quando a temperatura atinge um valor estável os gases e portanto a fumaça têm seu movimento determinado principalmente pelo efeito de chaminé acentuado sensivelmente através de dutos verticais e de caixas de escadas e elevadores.

O que isto representa em termos de risco, pode ser ilustrado por um incêndio ocorrido em New York em 1971, no qual dois bombeiros morreram intoxicados no 22º pavimento de um edifício atingido pelo fogo apenas no subsolo.

Quando o efeito de chaminé fôr predominante, poderá verificar-se também um movimento descensional interno de ar frio, ocasionando a recirculação da fumaça. Quando o edifício fôr todo tomado pelas chamas, este movimento não mais se verificará internamente, mas nos pavimentos inferiores haverá tendência à penetração do ar externo.

De fato, no início de um incêndio, quando o fogo não atingiu ainda todos, os pavimentos, o movimento da fumaça é influenciado pelas condições climáticas externas. Com efeito a temperatura externa é no inverno mais baixa que a interna e vice-versa é mais alta no verão, provocando no interior de um edifício, através dos poços das escadas e dos elevadores, movimentos ascendentes do ar no inverno e descendentes no verão.
Diferenças de pressão verificam-se então entre o ar externo e o interno , variáveis de acordo com a altura. Imaginando o edifício dividido por um plano néutro, acima dêsse plano a pressão externa será menor no inverno e maior no verão do que a interna, enquanto abaixo dêsse plano a pressão externa será maior no inverno e menor no verão do que a interna. Portanto através das juntas das juntas das janelas , permeáveis ao ar e de outras aberturas , verificar-se-á um movimento do ar ,respectivamente,

- na parte alta : do interior para o exterior no inverno,
  do exterior para o interior no verão,
- na parte baixa: do exterior para o interior no inverno
  do interior para o exterior no verão.

Deve-se notar que à noite as condições podem mudar e que, além disso, as variações do clima, como por exemplo ocorrem em São Paulo, nem sempre permitem distinções nítidas no que tange aos efeitos acima notados, entre inverno e verão.
Estes efeitos muito dependem da orientação dos edifícios, da insolação e dos micro-climas locais.
A abertura das janelas ou a ruptura dos vidros, podem exercer uma influência notável sobre o fluxo do ar, uma vez que onde isso ocorrer, a pressão externa e a interna podem igualar-se.
A ação do vento também deve ser considerada. Este, de fato, ao atingir um edifício gera uma pressão a barlavento e uma sucção a sotavento, as quais somando-se às geradas pelas diferenças de temperatura entre o ar externo e o interno, poderão modificar completamente o fluxo interno do ar.
No caso da fumaça e de gases quentes o fluxo é governado também como veremos, pelo aumento de pressão devido às altas temperaturas reinantes.

Como resultado, de todos os efeitos acima considerados, a fumaça pode seguir percursos diferentes, mas a velocidade de propagação é contudo elevada,

O Instituto Japonês de Pesquisas na Construção tem dedicado muita atenção ao estudo da fumaça gerada pelos incêndios. Também no Canadá desde alguns anos vem sendo realizadas pesquisas nêsse sentido e Tamura (40) simulou em computador os mecanismos de sua propagação para um edifício de 20 pavimentos, verificando que ao ocorrer um incêndio no primeiro pavimento, os efeitos sériam os seguintes:

- depois de 5 minutos a caixa do elevador, o segundo pavimento e a parte inferior da caixa da escada estarão permeados de fumaça,
- depois de 15 minutos todo o edifício será atingido, com teores de fumaça, superiores aos toleráveis.

16. Medidas que se destinem ao contrôle da fumaça, de tal forma que a incolumidade humana seja assegurada, podem ser de duas ordens:

- reduzir o volume produzido,
- utilizar a ventilação para neutralizar os seus efeitos.

No primeiro caso deve-se evidentemente controlar a natureza dos combustíveis presentes e o potencial calorífico.
No segundo o recurso disponível são os vários mecanismos de ventilação natural e artificial, mas para utilizá-los eficientemente é oportuno caracterizar melhor os efeitos da fumaça sôbre o meio. A visibilidade é um dos aspectos principais é depende de sua densidade e côr, a paridade de posição e do nível de iluminação existente, embora a familiaridade com o local aumente no indivíduo a acuidade de percepção (41) Em proximidade do fogo, a visibilidade é da ordem de 0,5 m enquanto a necessária é da ordem de 7 m (42). Rasbah estudou êste problema e chegou à conclusão que para atingir êsse nível, a fumaça deveria ser diluida em ar, na proporção de 1:100 volumes de ar (42A).
Se fôr possível extrair diretamente a fumaça, sua diluição não será necessária : de fato, ela nem chegará a atingir os percursos de fuga. Portanto segundo o sistema utilizado, a neutralização poderá ser obtida por extração, por insuflação ou pressurização.
Nos tópicos seguintes serão analisados êsses vários mecanismos e serão registrados os inconvenientes especialmente em relação à ventilação natural, que restrigem sua aplicação.
No que tange às sugestões de Rasbah, é importante notar que adotada

---

(40) TAMURA G.T.e Mc GUIRE J.H. Smoke Movement in High-Rise Buildings, Canadian Building Digest, nº133, Ottawa 1971.
McGUIRE J.H.e TAMURA G.T. Smoke Control in High-Rise Buildings, Canadian Building Digest, nº134, Ottawa 1971.
(41) JIN T. Visibility Through Fire Smoke, Japanese Association of Fire Science and Engineering, Report 1/74 (ver ref.nº47)
(42) RASBAH D.J. Smoke and Toxic Products Produced at Fires. Plastcs Institute and Transaction Journal, Londres 1967.
(42A) BUTCHER G. Smoke Control and Pressurization of Escape Routes, The Architects 1974.

esta diluição, os demais efeitos da fumaça e os teores de gases tóxicos, como o CO, ficam neutralizados.

13. Já vimos que para a combustão de 1 kg de madeira são necessários cerca de 5 m^3 de ar. Na prática o volume pode ser muito maior.

Teòricamente também um kg de madeira seca produz na combustão os seguintes volumes de gases :

CO_2	1,020 m^3
H_2O (vapor)	0,732 m^3
N_2	3,800 m^3
Total	5,552 m^3

O nitrogênio não é produto da combustão, mas o resíduo do ar que alimentou de oxigênio.

Na prática, o volume de fumaças geradas que inclui também o vapor gerado pela umidade da madeira, é geralmente maior podendo ser igual a 2 ou 3 vêzes o teórico.

Destaca que o volume acima indicado entende-se à temperatura de 15 ºC e à pressão de 1 atmosfera. Mas os gases ao serem aquecidos, dilatam-se e a 300 ºC o seu volume é aproximadamente o dobro do primitivo enquanto que a 600 ºC é aproximadamente 3 vêzes o primitivo.

A taxa de produção dos gases depende da taxa da combustão e o volume acima indicado refere-se à combustão completa. A fumaça revela combustão incompleta e é mais densa e abundante no início da combustão. Numa combustão regular realizada em laboratório a maior produção de fumaça dá-se por volta de 270-300 ºC, conforme mostraremos no quadro 22A. Num incêndio, isto ocorre por volta de 400-600 ºC , quando se verifica a inflamação generalizada, porque nêsse instante ocorre um desajuste na alimentação de oxigênio.

A taxa de combustão antes do "flash over" é da ordem de 0,5 - 1 kg/min e depois depende da ventilação chegando a 10-15 kg/min. Supondo que no "flash over" a taxa seja da ordem de 5 kg/min e que a taxa de produção de fumaça seja de 10 m^3/ kg de madeira, o volume gerado por minuto será a 600 ºC aproximadamente igual a:

$$V = 3 \times 10 \times 5 = 150 \ m^3 = 2,5 \ m^3/s$$

Estes dados têm apenas um valor indicativo , pois são muitos os fatores que influenciam a produção de fumaça.

Mas se o local tiver uma área igual a 10 m^2 e um pé direito igual 2,50 m a sua capacidade será de 25 m^3, portanto em 10 s será permeado de fumaça.

Claro é que qualquer sistema que se proponha eliminar a fumaça no local de origem deverá levar em conta essas condições. Para o exemplo considerado serão necessárias 6 trocas por minuto, caso contrário a fumaça tenderá a migrar para os locais em comunicação direta com aquêle incendiado.

É importante contudo observar que ocorrendo o "flash over" já não existem condições de vida para as pessoas. O limite de tolerância é da ordem de 120º a 150ºC para periodos de exposição muito curtos, portanto as pessoas devem se afastar rapidamente do local tomado pelo fogo. Fumaças porém são produzidas logo nos primeiros instantes, mas se sua diluição fôr procurada através da ventilação externa ou pela ação do vento, o efeito será a ativação da combustão, acelerando a ocorrência da inflamação generalizada.

A solução melhor é evitar a propagação para os locais de afastamento e refúgio.

Ao abandonarem o local tomado pelo fogo, como veremos na última parte dêste trabalho as pessoas, atravessam corredores de circulação, vestibulos e escadas para ganharem um local de refúgio ou o pavimento térreo. O percurso é protegido por portas corta-fogo , estanques à fumaça.

Contudo uma certa quantidade de fumaça consegue atravessar as portas, quer infiltrando-se nas juntas, quer fluindo ao serem abertas para dar passagem às pessoas.

Estudos realizados Na Building Research Station inglêsa mostraram que através de uma porta comum de apartamentos, o fluxo da fumaça é aproximadamente o seguinte :

- porta aberta	:	2050 l/s
- porta fechada	:	17 l/s
- porta com abertura intermitente (10 segundos uma vez por min)	:	354 l/s

O fluxo através da porta fechada, verifica-se através das juntas que nos ensaios foram consideradas iguais a 3 mm.

Supondo que exista dispositivo para manter a porta fechada e que a estanqueidade das juntas seja melhorada, a situação crítica registra-se na abertura intermitente, eis que esta não pode ser evitada.

Os dados acima , apenas orientativos , permitem entretanto verificar as condições necessárias para assegurar a extração da fumaça ou sua diluição na proporção preconizada por Rasbah.

14. Supondo que a extração se faça de um vestíbulo que comunique com o local incendiado por uma porta corta-fogo e com um corredor ou uma escada por outra porta corta-fogo, o dispositivo utilizado deverá aspirar a fumaça em cima da porta onde a mesma se acumula.

Supondo que seja utilizado um duto vertical que aproveite o efeito de chaminé, a vazão deverá ser suficiente para extrair cerca de 350 l/s.

O dimensionamento poderá ser feito utilizando qualquer expressão encontrada nos manuais de condicionamento do ar. Poderá ser admitida para a fumaça uma temperatura de 300 ºC : esta hipótese é válida junto ao forro, pois em situações semelhantes o gradiente de temperatura do ar é elevado, mas a fumaça ao entrar na antecâmara encontra ar mais fresco e perde calor por convecção.

Uma vez que a tiragem é proporcional à altura do duto, a secção necessária será variável nos pavimentos sucessivos, diminuindo em direção descendente.

Ao sistema de extração dêste tipo são movidas várias críticas, provenientes de observações experimentais e de incêndios reais. Em primeiro lugar o efeito chaminé ao aspirar a fumaça do vestíbulo provoca a entrada de outro volume maior,(43). A visibilidade no vestíbulo não melhoraria. Alguns sugerem que através de outro duto, com boca de alimentação no piso, seja insuflado ar fresco. Esta solução contudo afeta as condições de tiragem.

Outra observação mostra que a chaminé tem uma certa inércia de funcionamento, especialmente quando o ar externo é mais quente que o interno e não pode responder imediatamente às necessidades iniciais que são as mais críticas (43)(44). Num edifício alto, observa-se também um refluxo da fumaça nos últimos pavimentos, fato que exige sempre "dampers" de proteção nas bocas.

As citações referentes a trabalhos realizados no Canadá e Inglaterra revelam dúvidas sérias no que tange à eficiência do efeito natural da chaminé. Especialistas franceses(44A) do CSTB, também compartilham essa posição e sugerem a extração mecânica adotando uma vazão mínima de 10.000 m^3/h. Segundo Hutcheon, se tal solução for adotada, melhor eficiência será conseguida mediante insuflação de ar por duto alimentado no pavimento térreo(44B).

15. Outra solução, admitida pela maioria dos códigos, seria a da ventilação direta através de vaãos externos. Nêste caso, dependendo da direção do vento e da posição do local incendiado, a ação do vento poderia atuar por sucção, por pressão ou por ambos os efeitos. A última hipótese é a mais frequente, devendo-se considerar nêsse caso a necessidade de se observar as recomendações de Rasbash, permitindo diluir

(43) BUTCHER G. op.cit.

(44) McGUIRE J.H. & TAMURA G.T. op.cit.

(44A) CARRET A. e FERRIÉ M. Smoke Protection of Escapes Routes in Buildings With Particular Reference to Multi-storey Buildings. Symposium on Movement of Smoke on Escape Routes in Buildings, HMSO, Londres ,1971

(44B) HUTCHEON N.B. Canadian Studies on Control of Smoke in Tall Buildings. Symposium cit.

fumaça a teores toleráveis.

Admitindo contudo que essa solução seja viável, a vazão a ser obtida seria aproximadamente igual a :

$$Q = A_v \cdot v$$

onde A_v = área da seção de ventilação

v = velocidade do ar

Admitindo uma velocidade mínima de 1 m/s , que se observa normalmente em São Paulo, podemos ter cada m^2 de área uma vazão de 1000 l/s. Assim na hipótese de ser necessário diluir a fumaça que flui através da abertura intermitente de uma porta, a relação de diluição obtida no caso seria de 2,9. Destarte a seção de ventilação seria de 34 m^2. Admitindo vice-versa, que se disponha de uma abertura de 4 m^2, a velocidade do vento necessário, deveria ser igual a 8,75 m/s ou seja 31,5 km/h, um vento portanto de índice 5 na escala Beaufort e não muito frequente.

Segundo Malhotra(45) a ventilação cruzada propiciaria melhores condições, mas a prática tem demonstrado que , além de mais difícil de ser conseguida, esta técnica não é tão eficiente, eis que a mistura do ar frio com a fumaça não se verifica facilmente (46).

16. Em geral os códigos aceitam e estipulam a ventilação natural para neutralizar os efeitos da fumaça, quer pela ação do vento quer pelo efeito de chaminé. É um recurso com o qual não podemos contar com absoluta segurança, devendo-se dar preferência à insuflação mecânica do ar e à pressurização dos locais que devem ser mantidos imunes dos efeitos da fumaça.

Tendo em vista êste aspecto , estudos e pesquisas do mais alto valor estão em andamento em vários países, nomeadamente, Canadá, Inglaterra e Japão e alguns resultados já disponíveis podem ser aproveitados (47).

Segundo Butcher(46) a sobrepressão necessária deveria ser no mínimo igual a :

2,5 mm de água ($2,5 \times 10^{-4}$ kgf/cm^2) para $h < 50$ m

5,0 mm de água ($5,0 \times 10^{-4}$ khf/cm^2) para $h \geqslant 50$ m

onde h = altura do edifício.

---

(45) MALHOTRA H.L.Movement of smoke on escape routes,Fire Research Notes nº651, 652,653,Boreham Wood,UK

(46) BUTCHER G. Smoke control and pressurization of escape routes, The Architects Journal,Londres, 1974

(47) KAWAGOE,HANDA ET AL. Main Reports on Production ,Movement and Control of Smoke in Buildings ,15 Reports,Japanese Association of Fire Science and Engineering, 1974

17. A produção de gases e fumaças e o próprio consumo na combustão reduzem o teôr de oxigênio do ar. Isto ocorre rapidamente atingindo níveis críticos antes que o mesmo ocorra com os gases tóxicos.

Se isto pode atingir o desenvolvimento da combustão, reduzindo sua taxa, por outro lado pode ter efeitos nócivos sôbre as pessoas, como mostra a tabela abaixo, em proporção variável de acordo com a concentração.

oxigênio %	efeitos
21	- respiração normal
15	- coordenação irregular e prejudicada
10	- capacidade de julgamento reduzida e sensação de fadiga
6	- colapso

Concluindo, os efeitos dos sub-produtos do fogo são geralmente mais nocivos para o homem do que os diretos das chamas.

Devem portanto merecer uma consideração especial por parte do arquiteto e as medidas sugeridas nos Códigos é oportuno sejam estudadas por especialistas.

2.2.6 CARACTERIZAÇÃO DA REAÇÃO AO FOGO

1. Podemos a esta altura do nosso trabalho caracterizar os materiais de construção no que tange à reação ao fogo. Isto permite formular especificações e, para a sua comprovação, elaborar métodos de ensaio.

   Um material pode ser caracterizado por cinco propriedades:

   - combustibilidade
   - inflamabilidade
   - alastramento das chamas
   - propagação
   - produção de gases e fumaças.

   Embora exista hoje uma certa unanimidade na interpretação dos fenômenos e na conceituação das propriedades dos materiais, a caracterização e os métodos inerentes diferem bastante segundo os países. Este aspecto será mostrado melhor em outro capítulo deste trabalho.

2. Contudo a primeira verificação deve estabelecer se um material é ou não combustível. Esta é uma condição exclusiva, sem meios têrmos: um material queima ou não queima.

   Os materiais de construção inorgânicos geralmente não são combustíveis enquanto os de origem orgânica, natural ou de síntese, o são. Qualquer que seja o tratamento que recebam, superficial ou na massa, este não pode alterar tal propriedade. Admitindo-se que, em incêndios de edificações a temperatura máxima atingida seja da ordem de 1250ºC, nenhum tratamento conhecido atualmente, impede a combustão de materiais orgânicos a essa temperatura.

   Um material combustível possui certo poder calorífico e deve portanto ser considerado no cálculo do potencial calorífico.

3. A segunda verificação deve estabelecer a disposição de um material combustível pegar fogo, isto é dar origem a

chamas que caracterizam o início da combustão. Define-se assim a inflamabilidade do material e a classificação revela a facilidade desse fenômeno verificar-se por ação de uma chama piloto pequena.

Materiais facilmente inflamáveis tornam mais rápida a ocorrência do "flash-over", portanto reduzem o tempo da primeira fase de um incêndio. A função dos produtos ignífugos é de retardar a inflamação ou mesmo extinguir as chamas quando a chama piloto é modesta e seu efeito é válido apenas na primeira fase do incêndio e raramente após o "flash-over".

Portanto mais seguro é verificar a ocorrência da inflamação generalizada. Alguns países já adotam este critério que parece ser o mais objetivo (48).

É sem dúvida importante extinguir o fogo na primeira fase de seu desenvolvimento, para impedir a ocorrência do "flash-over", mas a identificação de um material apenas como não - inflamável é suspeita.

Alguns países fazem distinção entre materiais espessos e delgados, tendo em vista o comportamento diferente, devendo-se destacar que este é influenciado pelas propriedades da base sobre a qual os delgados são frequentemente aplicados.

4. A terceira verificação diz respeito a propriedade de alguns materiais propagarem superficialmente as chamas, devendo-se medir a velocidade de propagação numa distância padrão.

O alastramento das chamas é iniciado pela ignição, logo qualquer ação retardante sobre esta, neutraliza a propagação.

Dominar o alastramento significa retardar ou mesmo evitar a inflamação generalizada. É contudo importante insistir sobre o fato que um material orgânico mesmo que

---

(48) Veja-se item 3.2.2 de LIE, Fire and Building

revele uma velocidade de alastramento superficial nula, não deixa de ser combustível e como tal deve ser considerado no cálculo do potencial calorífico.

5. A propagação entretanto não se realiza apenas superficialmente e, especialmente para materiais que possuem velocidade muito baixa de alastramento superficial, é necessário verificar o comportamento no que tange à contribuição ao fogo. Esta contribuição mede-se pelo calor libertado no decorrer da combustão que em definitivo representa a própria contribuição do material ao desenvolvimento do fogo. Para caracterizar esta propriedade em geral medem-se as temperaturas alcançadas em determinado tempo, ao se efetuar a combustão de amostras submetidas numa câmara de ensaio a uma fonte de calor calibrada.

6. É enfim indispensável verificar a produção de gases e fumaças, devendo-se dos primeiros verificar o volume e a toxicidade e da segunda a quantidade, densidade e opacidade.

7. Resumindo caracteriza-se a <u>reação ao fogo</u> de um material verificando:

- se queima
- a que temperatura inflama
- se e como transmite superficialmente as chamas
- como contribui para a evolução do fogo
- se e como produz gases e fumaças.

8. É plausível encontrar num conjunto de normas que visam caracterizar os materiais de construção no que tange à reação ao fogo, um substrato comum decorrente de sua própria conceituação. Isto posto não é aconselhável, quando a tradução e adaptação de normas estrangeiras constitui o único recurso possível, adotar normas de países diferentes, a não ser que revelem uma origem comum ou espelhem com certa fidelidade os critérios da ISO.

2.2.6.1 ÍNDICE DE REAÇÃO AO FOGO DOS MATERIAIS

1. Do ponto de vista prático, que interessa aos arquitetos, e aos construtores seria oportuno dispor de um meio de julgamento global da reação ao fogo de um material. Até' agora nenhum índice característico pode ser definido.

O Professor Herpol da Universidade de Gand (49), está procurando entretanto formular um índice que represente várias propriedades de reação ao fogo, medidas num único ensaio padronizado. Os parâmetros considerados pelo autor citado são:

- um critério calorimétrico S
- dois critérios de inflamabilidade I_1 e I_2
- um critério de velocidade de propagação superficial da chama P
- dois critérios de opacidade das fumaças, 0_1 e 0_2

Os diferentes critérios cuja importância relativa é definida por coeficientes k permitem calcular um índice de reação do fogo I_{rf} segundo a expressão seguinte:

$$I_{rf} = \frac{k_1 S + k_2 I_1 + k_3 I_2 + k_4 P + k_5 0_1 + k_6 0_2}{\sum_1^6 k_i}$$

Este índice será objeto da norma belga NBN 713.030 atualmente em estudo.

2.2.7 RESISTÊNCIA AO FOGO

1. Do comportamento ao fogo dos materiais e componentes da construção podemos distinguir dois aspectos: um ativo pelo qual contribuem para o desenvolvimento e a propagação do fogo, outro passivo pelo qual simplesmente sofrem as consequências.

---

(49) C.S.T.C. et Al., La Resistance au Feu des Elements de Construction, Bruxelles, 1971

Por exemplo, um papel de parede ao queimar revela um comportamento ativo e passivo eis que reage ao fogo e é destruído pela combustão. Definimos de início a resistência/ ao fogo como a capacidade de um componente conservar durante certo tempo o desempenho das funções para as quais/ foi projetado e às quais condiciona a segurança de pessoas e bens. Portanto no exemplo citado se considerarmos/ o papel-parede um componente com funções de acabamento, seu desempenho é totalmente prejudicado pelo fogo. Esse desempenho entretanto pode não condicionar diretamente a segurança de pessoas e bens. Também uma tesoura de madeira, compondo a estrutura de uma cobertura revela um comportamento ao fogo ativo e passivo; sua função é prejudicada/ e pode sofrer colapso estrutural mas com risco de pessoas e bens.

2. Definimos como colapso material a perda total de capacidade de desempenho das funções de um componente, para as quais foi projetado. Uma lâmpada que queima sofre um colapso material, o mesmo ocorrendo com a quebra de um vidro ou com o descolamento de um revestimento. Sòmente em determinadas circunstâncias o colapso material pode constituir um risco para pessoas e bens.

   Colapso estrutural ou ruina ocorre quando é prejudicada a estabilidade e a segurança de componentes que desempenham funções estruturais. É óbvio que frequentemente o colapso material e o estrutural coincidem.

3. Para efeito de resistência ao fogo, convencionou-se estabelecer critérios para três categorias de colapsos referentes a:

   1) Estabilidade
   2) Estanqueidade
   3) Isolamento térmico

   A recomendação ISO R834 prescreve os métodos de ensaio e as diretrizes para a determinação da resistência ao fogo deixando livres os critérios para a apreciação das condi

ções de colapso.

Em princípio contudo pode-se avaliar:

1) a estabilidade, submetendo-se o componente a um programa térmico normalizado nas condições de trabalho, isto é com a aplicação das cargas permanentes e acidentais que se destina receber, medindo-se as deformações e registrando-se o instante em que ocorre o colapso isto é a incapacidade de suportar as cargas de ensaio;

2) a estanqueidade, submetendo-se uma face do componente a um programa térmico normalizado e observando-se' a ocorrência de fissuras ou aberturas que permitam a passagem de chamas e gases de combustão;

3) o isolamento térmico, submetendo-se uma face do componente a um programa térmico normalizado e observando-se a elevação de temperatura da face não exposta, para verificar a ocorrência do ponto de combustão de outros materiais.

4. O parâmetro da resistência ao fogo Rf é o tempo de duração do ensaio até o instante em que respectivamente ocorre o colapso de estabilidade, de estanqueidade e de isolamento térmico.

2.2.7.1 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES

1. A partir desses critérios os componentes de construção podem ser classificados em três categorias principais:

1) estáveis ao fogo, assim definidos os que devem apenas atender a exigências de estabilidade, (EF),

2) para-chamas, assim definidos os que devem atender às exigências de estabilidade e estanqueidade, (PC),

3) corta-fogo, os que devem atender a todas as exigências, (CF) (50).

---

(50) Observe-se que é comum confundir o primeiro critério de classificação com a reação ao fogo, definindo-se estáveis os materiais que não reagem ao fogo.

2. Essa classificação é de origem francesa e parece ser a mais clara.

Já as normas inglesas definem a resistência em função da:

- estabilidade (stability)
- integridade (integrity)
- isolamento térmico (insulation)

mas adotam uma classificação e terminologia ligeiramente diferente. Um componente é considerado:

- estanque à fumaça (fire-stop) quando revela apenas integridade, aplicando-se especialmente a portas,
- verificado ao fogo (fire- check) quando revela integridade e estabilidade em certo grau
- resistente ao fogo (fire-resistant) quando revela integridade em grau maior, estabilidade e isolamento.

3. A escala de tempos normalizados, índices Rf ou "graus", adotada na França é a seguinte:

6 h; 4 h; 3 h; 2 h; 1,1/2 h; 1 h; 1/2 h; 1/4 h

Deve-se notar que o índice exigido para um critério deve ser obedecido para os demais. Em outras palavras se o requisito para determinado componente é de ser corta-fogo' durante uma hora, isto significa que durante esse intervalo de tempo, o componente deverá ser também estável e para-chamas. Vice-versa se um componente revelar índices diferentes, o índice a ser considerado é o mínimo correspondente à categoria examinada. Em outras palavras se um componente revelar um índice de estabilidade de 4 horas, um de estanqueidade de 3 e um de isolamento térmico de 2 horas e o mesmo deva ser classificado como corta-fogo, o índice adotado será de 2 horas.

4. Vimos na segunda parte deste estudo que a severidade de um incêndio é medida pela sua duração e que esta é proporcional ao potencial térmico unitário e a um fator de

duração que leva em conta aspectos geométricos do local e o efeito da ventilação.

Em princípio portanto é à duração provável de um incêndio que deve ser proporcionada a resistência dos componentes e essa é a razão porque esta propriedade é também medida em tempo. A escolha dos índices pode variar segundo o país, e depende de critérios baseados essencialmente no parâmetro mais significativo, para a severidade, isto é o potencial térmico unitário e a ventilação.

Reduzindo a carga de combustível admissível e favorecendo a ventilação, pode-se adotar índices mais baixos, o que obviamente do ponto de vista econômico é do maior interesse.

A regulamentação francesa por exemplo, para edifícios altos (I.G.H. "Immeubles de Grande Hauteur") admite uma resistência ao fogo de 2 horas desde que o potencial térmico seja inferior ou igual a 40 kg/m^2.

5. Algumas normas acrescentam outras exigências aos critérios já expostos para definir a resistência ao fogo: a emissão de fumaça e gases tóxicos, a distância propagada pelas chamas, o efeito de um jato de água, etc. A elas faremos referência no capítulo destinado à apreciação de algumas normas existentes. (50A).

6. Ressalta observar ainda que as propriedades dos materiais e dos componentes construtivos devem ser permanentes, isto é não devem sofrer alterações com o tempo. Algumas normas estabelecem requisitos para comprovar esta condição e obrigam ao registro correspondente nos certificados de homologação.

7. Cabe esclarecer que na classificação deve-se sempre adotar o índice ou grau igual ou imediatamente inferior. Assim por exemplo se no ensaio, determinado componente revelar resistência de 4,5horas, ele deverá ser classificado

---

(50A) Alguns dêstes critérios são na verdade próprios da reação ao fogo.

no grau 4 horas, de acordo com a escala adotada.

A recomendação ISO não estabelece graduações deixando a critério de cada país fazê-lo. Existe portanto certa diferença entre as escalas adotadas nas normas nacionais, o que aconselha indicar sempre o tempo efetivo e o índice correspondente.

Verifica-se aliás certa tendência atual em abandonar a classificação por índices e adotar o tempo efetivo. Será este provavelmente o critério da BS 476, cuja revisão está em estudo.

Isto posto, a Lei nº 050/74 do Municipio de São Paulo apresenta uma definição de resistência ao fogo em desacordo com a conceituação aquí dada que reflete uma unânime/posição internacional.

Com efeito na Sub-seção F1 "Dimensionamento para resistência ao fogo" é dito:

Art.11 - Considera-se resistente ao fogo por determinado tempo o elemento construtivo que, em decorrência das qualidades de seus materiais constituintes e forma de aplicação, não se inflama e não perde sua coesão, ou forma, quando exposto ao fogo durante tal prazo. No ensaio de combustibilidade realizado de acôrdo com as normas técnicas (B.S.476/53 ou 25INFPA) as amostras expostas durante 15 minutos à temperatura de 750ºC:

a) não devem incendiar
b) não devem liberar gases combustíveis
c) não devem deixar passar para a face oposta elevação superior à pré-fixada.

Parágrafo único - Admitem-se como resistentes ao fogo durante 6 horas - parede de alvenaria de tijolos...

etc.

Além das impropriedades de linguagem é claro que o legislador confundiu reação ao fogo com resistência, eis que como ficou dito nos tópicos anteriores e será visto também no tópico 2.3. a resistência ao fogo não é medida no ensaio de combustibilidade. Não se entende além disso, nos têrmos propostos em que o tempo de exposição é de 15 minutos como seja possível determinar uma resistência de 6 horas, 4 horas, etc. (50B)

2.2.7.2 CONCLUSÕES

O estudo realizado permite caracterizar as propriedades relacionadas com os dois critérios principais de reação e de resistência ao fogo. Enquanto a reação é característica do material, a resistência é própria do elemento construtivo, como tal entendendo-se o que tem uma função especifica na edificação. Um bloco cerâmico é classificado/incombustível na reação ao fogo, mas não tem sentido classificá-lo no que tange à resistência ao fogo, Se aplicado numa laje nervurada como enchimento, o elemento construtivo a ser ensaiado é a laje e sua resistência ao fogo pode ser perfeitamente definida.

Uma vez que a laje é constituída de materiais incombustiveis, ela também o será. Se o acabamento do piso fôr feito com um carpet facilmente inflamável a resistência ao fogo da laje será praticamente a mesma pois a transmissão do calor por condução não será alterada substancialmente. Entretanto a reação ao fogo sofrerá uma alteração profunda eis que o revestimento inflamável facilitará uma propagação superficial rápida das chamas.

Se considerarmos por outro lado uma chapa delgada de cimento amianto esta poderá, por efeito de choque térmico, fissurar de forma a prejudicar completamente as condi -

(50B) O projeto de Lei nº 172/74 que reformula o Código de Edificações de São Paulo e incorpora a Lei nº. 8.050/74 suprime o parágrafo referente ao ensaio de combustibilidade para verificação da resistência ao fogo. Nesta data (Março de 1975) êsse Projeto não havia sido aprovado continuando em vigôr a Lei citada.

ções de resistência ao fogo, tornando inclusive impossível sua classificação. Contudo o material é notoriamente incombustível.

De acordo com as aplicações é portanto necessário em alguns casos estabelecer requisitos duplos para atender aos dois critérios.

2.3. NORMALIZAÇÃO

1. No campo da resistência ao fogo apesar da evolução dos critérios parece haver uma certa unanimidade de pensamento nos países que já dispõem de uma regulamentação atuante. Em geral as recomendações ISO são aceitas e aplicadas.

2. No que diz respeito à reação ao fogo a situação é entretanto bem diferente. Critérios e métodos de ensaio, como já vimos, diferem substancialmente e os resultados fatalmente espelham essa situação, assim que duvida-se que na prática os resultados conseguidos sejam satisfatórios como conclui objetivamente Emmons em outra parte do trabalho já mencionado.

3. A cooperação internacional promovida pela ISO e pelo CIB tem-se contudo revelado ultimamente extremamente frutífera e pode-se supor que ao se colocar a segurança contra o fogo em bases realmente científicas, os trabalhos em andamento conduzam a uma normalização internacional aceitável.

Por enquanto resultados de ensaios diferentes deverão continuar a ser cotejados, mas a orientação mais segura para os países - como o nosso - que não possuem ainda uma regulamentação própria completa e tampouco laboratórios dotados de equipamentos adequados, é de se envolver diretamente nos trabalhos e pesquisas referidas, apoiando-se momentâneamente em instituições de países culturalmente, fisicamente e industrialmente mais semelhantes.

A título ilustrativo e mais com o intuito de mostrar as

divergências serão a seguir analisados os ensaios de caracterização da reação e da resistência ao fogo, adotados em quatro países estrangeiros:

Inglaterra, França, Alemanha e Estados Unidos (51)

2.3.1. RECOMENDAÇÃO INGLESA

1. No Reino Unido não existe uma legislação específica mas uma grande variedade de normas elaboradas por várias entidades que assumem caráter oficial quando incorporadas/ aos regulamentos de construção:

   Em geral contudo a regulamentação mais acatada e mais atualizada é da British Standard Institution e encontra-se consolidada na BS 476 "Fire Tests on Buildings Materials and Structures" e abrange os seguintes ensaios de reação:

   - Non-combustibility Tests for Materials
   - Ignitability Test for Materials
   - Fire Propagation Test for Materials
   - Surface Spread of Flame Test for Materials
   - External Fire Exposure Roof Tests

   O ensaio "Flammability Test for Thin Flexible Materials" - foi suprimido e a matéria é coberta pelo "Methods of Testing Plastics: Flammability" parte 5 da BS 2782.

2. Assim, o primeiro critério, denominado de "não-combustibilidade", destina-se à classificação dos materiais em "materiais não-combustiveis" e "materiais combustíveis".

   No ensaio "não-combustibilidade" uma amostra de dimensões/ 40 mm x 40 mm x 50 mm é submetida à combustão a 750ºC, num pequeno forno.

   Durante os ensaios efetuam-se as seguintes observações que permitem classificar o material:

---

(51) A respeito dos ensaios ISO de incombustibilidade veja-se o tópico 2.2.2.4. Uma analise comparativa mais/ detalhada pode ser encontrada na publicação do LNEC, Ação do Fogo nos Edifícios, Lisboa 1970.
A descrição e análise das principais normas e ensaios dos principais países no domínio do fogo, podem ser encontradas na publicação já mencionada: TRADA, "Fire Performance of Timber, a literature survey", Hughenden Valley (UK), 1972.

a) Evolução da temperatura ambiente da câmara de ensaio
b) Evolução da temperatura da amostra
c) Ocorrência de chamas com duração não inferior a 10 segundos.

Um material é classificado de combustível desde que uma das tres amostras ensaiadas exceda às especificações dos materiais não combustíveis, isto é, registre aumento de temperatura maior que 50º C. e produza chamas durante mais que 10 segundos.
Este ensaio contudo não é aplicável a revestimentos isolados, como também não pode ser adotado para materiais de massa específica inferior a 50 kg/m^3.

3. O segundo critério de classificação dos materiais de construção, anteriormente integrado num critério global de propagação do fogo, é chamado "Ignitabilidade" e representa a capacidade de um material dar origem a chamas que caracterizam o início da combustão, e define portanto a inflamabilidade, sendo os materiais classificados - como "facilmente ignitáveis" (x) e "não facilmente ignitáveis" (p).

O ensaio respectivo consiste em verificar o comportamento de uma amostra de dimensões 228 mm x 228 mm após a incidência direta duma chama de gás.

Também neste caso são testadas 3 amostras para cada material, e a classificação baseia-se na amostra cuja reação ao fogo fôr mais evidente.

4. O terceiro critério de classificação denomina-se "Propagação de fogo" e destina-se a verificar a quantidade de calor libertada no decorrer da combustão de um material, ao qual é atribuído um "índice de reação". Neste ensaio para cada material, são utilizadas três amostras de dimensões 228 mm x 228 mm e com um teor de umidade determinado.

No ensaio submete-se cada amostra a uma fonte de calor calibrada de modo a estabelecer, em vazio, uma evolução bem definida da temperatura ambiente da câmara de ensaio.

Durante o ensaio são efetuadas medições da temperatura - ambiente da câmara intervaladas de 0,5 min durante os primeiros três minutos, intervaladas de 1 min entre o quarto e o décimo minutos e intervaladas de 2 min entre o décimo segundo e o vigésimo minuto.

Para cada registro calcula-se o valor da razão $(\theta m - \theta o)/$ $/10t$, onde θm representa a temperatura média registrada nos três ensaios do material ao fim do tempo t, e θo representa a temperatura de calibração da câmara de ensaio, em vazio, no mesmo instante t.

O índice de reação do material é definido pelo somatório dos valores positivos da razão atrás indicada.

Os resultados do ensaio, expresso pelo "índice de reação" é acompanhada de classificação de "ignitabilidade" do mesmo material.

5. O último critério destinado a classificar os materiais - de construção, utilizados como revestimento, é a apreciação da "Propagação superficial da chama" de acordo com o qual se definem as seguintes classes,

a) "Propagação muito lenta da chama" - classe 1
b) "Propagação lenta da chama" - classe 2
c) "Propagação média da chama" - classe 3
d) "Propagação rápida da chama" - classe 4

No ensaio respectivo provoca-se a inflamação duma extremidade de uma amostra de dimensões 228 mm x 914 mm e com um teor de umidade conhecido. Para classificar um material são ensaiadas seis amostras observando-se a evolução no tempo da distância percorrida pela frente de chamas até à sua extinção. As observações realizadas para - cada amostra são representadas graficamente, determinando-se a distância:

a) percorrida pelas chamas durante os primeiros 1,5 min
b) percorrida pelas chamas durante os primeiros 10 min
c) percorrida pelas chamas no final do ensaio.

A classificação baseia-se num certo índice chamado "distância efetiva propagada", definido pela expressão:

$$d = \bar{x} + 1{,}04\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2}$$

em que x_i representa as propagações observadas para cada amostra medidas em polegadas, e $\bar{x}$ o respectivo valor médio.

Este método está contudo em revisão e inclui uma classe 0 para materiais delgados.

6. Os ensaios mencionados não são aplicáveis a materiais plásticos para os quais a BS 2782 e a BS 4735 indicam outros métodos, e tampouco para tecidos utilizados em cortinas ou em acabamentos, para os quais deve-se recorrer às normas BS 3119 e BS 3120.

7. O quadro 10 reproduzido de "Materials/Mitchell's Building Construction" (52) mostra as propriedades de alguns materiais classificados de acordo com este ensaio.

8. No que tange ao ensaio de exposição externa ao fogo de coberturas, seu propósito é de propriciar informações sobre o comportamento de coberturas em relação a um incêndio próximo mas externo ao edifício considerado. É importante notar que não se destina a prever o comportamento em relação a um incêndio interno. No ensaio, amostras representativas da cobertura, de formato quadrado com 83,8 cm de lado, são expostas a condições de calor simulando um incêndio em um edifício de tamanho conhecido e a uma certa distância. No ensaio é simulada a queda de partículas incandescentes e é aplicada uma radiação de intensidade determinada. Mede-se a resistência à penetração das chamas e a extensão da inflamação superficial e a classificação é feita pela combinação de 8 condições representadas por duas letras, sendo que a primeira refere-se à penetração e a segunda ao alastramento superficial:

---

(52) EVERETT A., Materials/Mitchell's Building Construction, B. T. Batsford Limited - Londres, 1973.

Outras tabelas podem ser encontradas no livro de Langdon-Thomas já citado.

QUADRO 10

PROPAGAÇÃO DAS CHAMAS (BS 476)

Material	Classificação				
	0	1 muito lenta	2 lenta	3 média	4 rápida
- Chapas incombustíveis de amianto	SNT				
- Chapas de gesso (plasterboard)	SNT				
- Placas de lã vegetal (cavacos)		SNT			
- Chapas duras ($\gamma > 881$ kg/m^3)		TRC IRC	- Pintura borracha clorada - Revestimento c/plástico	SNT - Pinturas esmalte ou óleo	- Pinturas inflamáveis
- Chapas de partículas (chipboard)		Acabamento superf c/vermiculite ou TRC		SNT	
- Madeira e chapas compensadas ($\gamma \geqslant 401$ kg/m^3)		TRC		SNT	
- Placas de fibras (palha) vegetais prensadas	Acabamento c/gesso (4,8 mm)	Acabamento superf c/papel de amianto ou TRC		SNT	
- Folhas de acrílico (e $\geqslant$ 3,2 mm)				SNT	
- Laminados plásticos de poliester reforçado c/fibra de vidro		ARC Fillers	ARC	ARC	SNT
- Madeira e chapas compensadas ($\gamma < 401$ kg/m^3)		TRC			SNT
- Chapas isolantes térmicas ($\gamma < 37$ kg/m^2)	acabamento c/gesso (4,8mm)	TRC Tempera - não lavável (3 demãos) Acabamento c/ papel de alumínio IRC	Pintura óleo (1 demão) Tempera (1 demão) Pintura de borracha clorada Pintura emulsão	Pintura emulsão	SNT

(*)

SNT = superfície não tratada

TRC = tratamento retardante das chamas

IRC = impregnação retardante das chamas

ARC = aditivo retardante das chamas

Primeira letra:

A - não penetrado em uma hora

B - penetrado em não menos de 1/2 hora

C - penetrado em menos de 1/2 hora

D - penetrado no teste preliminar

Segunda letra:

A - nenhum alastramento

B - alastramento das chamas não maior do que 533 mm

C - alastramento das chamas maior do que 533 mm

D - alastramento maior do que 381 mm no teste preliminar ou continuação da queima durante 5 minutos após a cessação do ensaio de alastramento.

O ensaio faz distinção entre coberturas planas (EXT.F) e inclinadas (EXT.S) e registra também qualquer anormalidade que se verifique na face inferior da cobertura, mediante o sufixo "X".

2.3.2 REGULAMENTAÇÃO FRANCESA

1. Na França, adotou-se um critério único de classificação, - denominado "reação ao fogo". Este é definido como a contribuição que um material pode dar para o desenvolvimento de um incêndio, segundo o qual os materiais de construção são classificados em incombustíveis e neste último caso, conforme o seu grau de inflamabilidade, subdivididos nas seguintes classes:

(*) Reproduzido e adaptado de: EVERETT A., Mitchell's Building Construction, Vol. 2º . Materials, B.T.Batsford Ltd. Londres 1970

a) Materiais"não inflamáveis"
b) Materiais "dificilmente inflamáveis"
c) Materiais "medianamente inflamáveis"
d) Materiais "facilmente inflamáveis"
e) Materiais "muito facilmente inflamáveis"

A combustibilidade dum material é verificada através do seu "poder calorífico prático sob o ponto de vista de - risco de incêndio", que é definido como sendo a diferença entre os poderes caloríficos inferiores a volume constante do material e das cinzas produzidas, levando-o a uma temperatura de 900ºC durante uma hora.

Como não existe um ensaio capaz de fornecer diretamente' o poder calorífico inferior a volume constante, tanto do material como das cinzas, esta determinação consegue- se a partir da determinação do seu poder calorífico superior a volume constante, de acordo com a norma NF M03- ' -005, com ligeiras alterações, sendo o valor assim obtido, corrigido através da determinação do respectivo teor de hidrogênio, de acordo com a norma NF M03-014.

2. Nestas condições, considera-se incombustíveis os materiais cujo poder calorífico prático seja inferior a 500 cal/g, desde que satisfaçam às especificações dos materiais "não inflamáveis" adiante referidas.

3. A determinação do grau de inflamabilidade dos materiais' de construção é feita por dois métodos distintos conforme a sua rigidez.

Assim, os materiais flexíveis de espessura inferior a - 0,5 cm são submetidos a um ensaio designado por " ensaio à chama de álcool", que consiste basicamente em provocar a inflamação de uma amostra, de dimensões 24 cm x 30 cm, por meio duma chama de etanol.

4. No decorrer do ensaio, especialmente após a extinção da chama de etanol, são feitas as seguintes observações:

a) presença de fumaça, sua importância e duração
b) extensão máxima das chamas e sua duração
c) existência de pontos incandescentes e sua duração
d) eventuais deformações e desagregações.

Terminado o ensaio e depois do esfriamento total da amostra é medida a área da zona carbonizada ou destruída.

Procede-se à classificação deste tipo de materiais, de acordo com o seu grau de inflamabilidade, ensaiando quatro amostras, com base no valor médio das áreas carbonizadas e das observações referidas em a), b) e c), exceto a diferenciação entre materiais "facilmente inflamáveis" e "muito facilmente inflamáveis", para a qual é realizado um ensaio complementar de "velocidade de propagação de chama".

5. O grau de inflamabilidade de materiais rígidos e de materiais flexíveis de espessura superior a 0,5 cm é determinado submetendo as amostras de dimensões 40 cm x30 cm e com teor de umidade bem determinado, a um ensaio denominado "ensaio por radiação" que consiste basicamente em submeter o material aos efeitos duma fonte de calor radiante e em provocar a inflamação dos gases produzidos.

Durante o ensaio são feitas as seguintes observações:

a) temperatura inicial na câmara de ensaio
b) evolução da temperatura na câmara de ensaio
c) instantes t_1 e t_2 de ocorrência da inflamação nas duas faces da amostra
d) alturas máximas atingidas pelas chamas em cada intervalo de 30 segundos.

Os resultados destas observações são apresentados sob a forma de quatro índices definidos do seguinte modo:

- "índice de inflamabilidade", i, determinado pela expressão

$$i = \frac{1000}{15t_1} + \frac{1000}{15t_2}$$

sendo t_1 e t_2 os instantes, expressos em segundos, referidos em c).

- "Índice de desenvolvimento" representando $\frac{1}{140}$ da soma das alturas máximas das chamas expressas em centímetros, referidas em d).
- "Índice de combustibilidade" representando $\frac{1}{120}$ da área algébrica expressa em graus Celsius - minuto, compreendida entre a curva representativa das observações referidas em b) e a reta correspondente à observação - a).

A classificação deste tipo de materiais, de acordo com o seu grau de inflamabilidade, é estabelecida com base no valor médio dos índices, acima indicados, obtidos por ensaio de quatro amostras.

6. Quando os materiais tiverem ponto de fusão abaixo das - temperaturas dos ensaios destinados à determinação do grau de inflamabilidade procede-se a um ensaio complementar que se destina apenas a permitir uma descrição detalhada da sua reação ao fogo.

Neste ensaio submetem-se as amostras de dimensão 7 cm x 7 cm, a uma fonte de calor radiante, e efetuam-se as seguintes observações:

a) presença e natureza de fumaça
b) queda de gotas inflamadas ou não
c) inflamação eventual do revestimento do receptáculo de gotas, evidenciando a temperatura com que se desprendem
d) aspecto e abundância do resíduo.

7. Além destes materiais, nos casos particulares em que os sistemas de classificação apresentados não sejam válidos, como acontece com os materiais susceptíveis de post-combustão, o "Comité de estudo e classificação dos materiais e elementos de construção em relação ao risco de

incêndio", (C.E.C.M.I.), reserva-se o direito de pedir a realização dos ensaios que considerar mais adequados para esclarecer a reação ao fogo dos materiais de construção. Além disso, recomenda-se também a inclusão nos relatórios dos ensaios, da descrição de fenômenos verificados e não habituais ou que possam constituir riscos especiais, na utilização de um material (53).

2.3.3 REGULAMENTAÇÃO ALEMÃ

1. O sistema de classificação de materiais utilizado pela - DIN não difere muito do francês e existe uma classificação única da reação ao fogo dos materiais de construção, baseada nos conceitos de combustibilidade e grau de inflamabilidade, que se dividem em "materiais incombustíveis", (classe A), e "materiais combustíveis", (classe B), sendo estes subdivididos nas seguintes categorias:

   a) Materiais "dificilmente inflamáveis" (classe B1)
   b) Materiais "medianamente inflamáveis" (classe B2)
   c) Materiais "facilmente inflamáveis" (classe B3)

   Para a classificação em cada classe A, B1 e B2 deve-se realizar um ensaio específico e caso não sejam satisfeitas as especificações da classe B2, o material é classificado na categoria B3.

2. Seis amostras secas de dimensões 50 mm x 40 mm x 40 mm, são ensaiadas para classificar um material como " incombustível" e no ensaio é provocada a combustão de cada uma segundo uma técnica muito semelhante à da British Standard (não-combustibilidade). Um material é atribuído à classe A, quando as observações mais desfavoráveis das seis amostras permitem as seguintes conclusões:

   a) durante os primeiros 20 segundos de ensaio as amostras não entram em combustão, com ou sem chama, durante mais de 2 segundos seguidos

---

(53) Os CAHIERS DU CSTB publicam periodicamente os resultados de ensaios sobre materiais e componentes, de acordo com as especificações e métodos franceses.

b) a dimensão das chamas não ultrapassa o valor máximo estabelecido

c) a partir dos primeiros 21 segundos e até final do ensaio não se registra a ocorrência de chamas nem de pontos incandescentes.

Além disso deve-se observar a extensão das zonas destruídas e a espessura final da amostra.

3. Para a classificação de um material como "dificilmente - inflamável" (classe B1) são ensaiadas quatro amostras de dimensões 190 mm x 1000 mm com um teor de umidade definido, de acordo com os princípios provisórios estabelecidos na publicação VFDB, "Investigação e Técnica na Proteção Contra Incêndios". Os ensaios consistem em provocar a inflamação das amostras submetendo-as a uma chama normalizada, sendo registradas as seguintes observações:

a) altura máxima das chamas e instante da sua ocorrência
b) duração e descrição de eventuais combustões com e sem chama
c) tipo de propagação de chama
d) temperatura média da fumaça e instante de ocorrência do seu valor máximo.

Além disso um material é classificado na categoria B1, quando:

a) nenhuma amostra ficou completamente carbonizada
b) o valor médio dos comprimentos das zonas não decompostas é inferior a 15 cm.

4. Para a classificação de um material como "medianamente - inflamável" (classe B2) são testadas dez amostras de dimensões 60 mm x 20 mm com um teor de umidade definido, no ensaio de "incombustibilidade" mencionado, mas em condições menos severas, e em outras 10 amostras idênticas, é provocada a inflamação sob a incidência direta duma chama.

Um material, com uma dada espessura, é considerado "medianamente inflamável" (classe B2) se os ensaios revelarem que:

a) não ocorre combustão com chama nas condições indicadas nas normas

b) a altura das chamas não excede um certo valor também registrado nas normas.

5. Cabe observar que é importante verificar a espessura mínima das amostras necessárias para satisfazer às exigências da classe B2. Quando o material não satisfazer às exigências acima será classificado como "facilmente inflamável" (B3).

2.3.4 RECOMENDAÇÃO AMERICANA

1. Os critérios americanos destacam os característicos de queima superficial dos materiais e em geral os mesmos ensaios são adotados também no Canadá.

O ensaio de queima superficial exige um equipamento extremamente complexo, de grandes dimensões - cerca de 12' m de comprimento - e utiliza uma técnica muito cuidadosa nele provocando-se a inflamação duma extremidade de uma amostra de dimensões 7,62 m x 50,8 cm, com um certo teor de umidade. A amostra é colocada no interior de uma câmara de ensaio previamente calibrada, na qual sob a ação direta de uma chama normalizada, revela um comportamento do qual registra-se:

a) o tempo que as chamas demoram a propagar-se a toda a superfície da amostra, ou a distância máxima propagada no fim do tempo de ensaio,

b) a evolução no tempo de temperatura ambiente da câmara de ensaio,

c) a variação no tempo da opacidade dos gases da combustão, determinada por meio duma célula fotoelétrica.

São adotadas três classificações diferentes:

1) no que tange à propagação superficial da chama, um material é classificado através de um índice calculado mediante expressões baseadas nas observações do ítem a).

2) da evolução no tempo da temperatura ambiente da câmara de ensaio, expressa graficamente efetua-se a classificação de um material com base na quantidade de calor libertada na sua combustão, a partir da área compreendida entre a curva e o eixo dos tempos. Esta é cotejada com as áreas correspondentes obtidas no ensaio de dois materiais, fibrocimento e madeira de carvalho vermelho, arbitrariamente fixadas como padrões cujos índices são respectivamente, 0 e 100.

3) No que tange à densidade da fumaça liberada a classificação é feita a partir do registro gráfico das observações do ítem c).

Sugere-se também a análise química dos produtos da combustão para determinar o seu grau de toxicidade ou quaisquer outros característicos que possam definir ' melhor o uso de um material.

2. A determinação da contribuição que os componentes de um material podem dar ao desenvolvimento do fogo é medida - enfim, através da quantidade de calor liberada na combustão e um material constituinte é considerado "combustível" ou "não-combustível" de acordo com um ensaio no qual é provocada a sua combustão, aplicando uma técnica muito semelhante ao ensaio de "não-combustibilidade" British Standard, registrando-se:

a) a temperatura no interior e na superfície da amostra,
b) a ocorrência de chamas após os primeiros 30 s de ensaio.

Neste ensaio, as amostras secas têm dimensões 38,1 mm x 38,1 mm x 50,8 mm e podem ser testados materiais granulados ou em pó com exclusão de materiais revestidos ou laminados.

3. Dois outros ensaios permitem verificar o grau de inflamabilidade da superfície, utilizando uma fonte de calor radiante ou uma instalação de ensaio semelhante à fornalha tubular.

Contudo, no momento são utilizados somente em pesquisas, não sendo considerados adequados para uma classificação' aplicada em regulamentos de construção.

4. Dois ensaios, incluídos nas USA Standards permitem verificar a combustibilidade de madeiras tratadas com produtos ignífugos. São o "método de fornalha tubular" e o - "método de crib", que utilizam equipamentos muito complexos e registram a perda de peso das amostras após a combustão, com e sem chama.

5. A recomendação americana prevê também um ensaio de resistência à penetração em coberturas, do fogo proveniente' de incêndios em edificações próximas.

Sobre amostras de dimensões cerca de 1,3 m x 1 m, secas previamente com um teor de umidade determinado efetua - -se os seguintes ensaios:

1) No primeiro de "exposição à chama intermitente", submete-se a face exterior da amostra à ação direta duma chama intermitente, observando a eventual inflamação' da face interior, ou do seu suporte, ou a ocorrência de rupturas. De acordo com as condições de ensaio e com as observações realizadas a cobertura é classificada em três categorias designadas por A, B e C.

2) No segundo ensaio, de "propagação de chama" semelhante ao anterior aplica-se uma chama contínua à amostra e registra-se a distância máxima alcançada pela frente de chamas e a eventual ocorrência de fagulhas. De acordo com as condições de ensaio a cobertura é classificada em três categorias designadas por A, B e C.

3) No terceiro ensaio, de "tocha ardente" verifica-se o comportamento da amostra quando lhe é justaposta uma armação normalizada de madeira, previamente inflamada. A classificação é análoga às anteriores.

2.3.5 RESISTÊNCIA AO FOGO

1. Nos parágrafos anteriores analisamos detalhadamente a re

sistência ao fogo dos componentes e registramos os critérios gerais de sua verificação.

Neste tópico é feita uma apreciação das regulamentações' ou das recomendações adotadas nos quatro países já mencionados e da recomendação ISO que vem sendo adotada paulatinamente por todos os países associados.

2. A recomendação ISO R 834F que define o programa térmico normalizado já mencionado, estabelece o método de ensaio e os critérios destinados à determinação da resistência' ao fogo dos seguintes tipos de elementos de construção:

a) Paredes, resistentes ou não, e divisórias
b) Pilares
c) Vigas
d) Pavimentos
e) Coberturas horizontais (se o ensaio fôr aplicável)

Os ensaios como vimos se destinam a determinar três condições consideradas como critérios de classificação:

a) "Estabilidade"
b) "Estanqueidade"
c) "Isolamento térmico"

Sempre que possível, os componentes devem ser ensaiados em grandeza natural. Caso contrário o ensaio é efetuado sobre amostras consideradas representativas e preparadas previamente, para que o seu teor de umidade e a sua resistência mecânica correspondam às condições de utilização.

Os ensaios exigem equipamentos complexos e onerosos e técnicas cuidadosas. Neles as amostras são submetidas nas condições de vínculo e de carga de utilização, a um programa térmico segundo a evolução de temperatura expressa pela curva normalizada temperatura-tempo.

2. Na verificação de "estabilidade" registra-se a deformação do elemento ao longo do tempo de ensaio, e o momento

em que deixa de haver estabilidade, e, no caso de elementos resistentes, o instante em que o elemento se torna incapaz de suportar a carga de ensaio.

A recomendação ISO, considerando um elemento como estável enquanto "consegue desempenhar a função a que estava destinado na construção" permite às normas nacionais estabelecer os critérios de apreciação da falta de estabilidade, especialmente no caso de vigas e pavimentos.

3. A verificação de "estanqueidade" de um elemento de separação é feita observando-se no ensaio, a ocorrência de fissuras ou aberturas através das quais possa verificar-se a passagem de chamas ou gases da combustão. Em caso de dúvida, pode recorrer-se à pressurização do forno, em relação à pressão reinante junto da face não exposta, junto da qual coloca-se um material susceptível de se inflamar caso haja realmente perda de estanqueidade.

4. O critério de "isolamento térmico", destinado a apreciar as possibilidades da face não exposta de um elemento separador conduzir novos materiais a temperaturas superiores ao seu ponto de combustão, é avaliado com base na temperatura daquela face,(53A).

5. A resistência "Rf" ao fogo de um elemento de construção é a duração do ensaio, expressa em horas e minutos, até ao instante em que deixam de ser satisfeitas as exigências acima.

O resultado final do ensaio deve incluir as anormalidades registradas, como por exemplo, a emissão dum volume apreciável de fumaça ou gases tóxicos, da face não exposta de um elemento separador.

6. Na regulamentação francesa, o critério de "estanqueidade" visa apenas a apreciação da "estanqueidade às chamas", surgindo um novo critério destinado a apreciar a libertação de gases inflamáveis na face não exposta dos elementos separadores submetidos a ensaio.

(53A) As temperaturas admissíveis são : máxima = 180ºC , média = 140 ºC.

A diferença maior com relação à recomendação ISO reside, contudo, no processo adotado para a classificação dos elementos de construção, no qual além de indicar o tempo de ensaio durante o qual é satisfeito cada critério, a legislação francesa estabelece as seguintes categorias de elementos de construção (inclusive para portas, persianas e vitrôs):

a) Elementos "estáveis ao fogo" aqueles em que o único critério de classificação exigido é o de estabilidade.

b) Elementos "pára chamas", aqueles cuja classificação se baseia em todos os critérios, salvo o de isolamento térmico.

c) Elementos "corta fogo", aqueles cuja classificação se baseia em todos os critérios.

Para cada categoria, a classificação de resistência ao fogo exprime-se em "graus" equivalentes ao tempo durante o qual as amostras satisfizeram os critérios correspondentes à sua categoria. Os oito "graus" normalizados são os seguintes: 6 h, 4 h, 3 h, 2 h, 1 h 1/2, 1/2 h, 1/4 h.

7. A normalização inglesa BS 476 inclui também um "Fire resistance test for elements of building construction".

São previstos três critérios de classificação, "colapso", "passagem de chama" e "isolamento", que, de acordo com o tempo de ensaio em que são satisfeitos, conduzem aos seguintes graus de resistência ao fogo: 6 h, 4 h, 3 h, 2h, 1 h, 1/2 h. Na nova redação de 1972, os critérios mudaram para estabilidade, integridade e isolamento, com o mesmo significado.

8. A recomendação alemã de resistência ao fogo dos elementos de construção (DIN) é muito semelhante à Recomendação ISO. A classificação dos elementos de construção prevê cinco categorias denominadas F30, F60, F90, F120 e F180, em que os algarismos exprimem, em minutos, o grau de resistência ao fogo e os componentes são classificados respectivamente "ignifugos" para F30, "resistentes ao fogo" para F90 e "altamente resistentes ao fogo" para F180.

Para a resistência de vêdos efetua-se também após o programa térmico normalizado, um ensaio de impacto de um pêndulo e para componentes revestidos ou de acabamento, após o programa térmico, realiza-se um ensaio de jato de água de extinção.

A regulamentação alemã inclui também em caráter experimental a definição de requisitos para elementos de construção especiais como cortinas de fogo, paredes especiais, portas à prova de fogo, portas de elevador à prova de fogo, coberturas e forros de telhado à prova de fogo.

9. A recomendação ASTM (americana) é muito semelhante à recomendação ISO, e inclui para a classificação de paredes e divisórias, um ensaio suplementar de jato de água, análogo ao alemão e uma alternativa para o método de ensaio de vigas e pilares metálicos protegidos.

Para a determinação da resistência ao fogo de portas e janelas e respectivos batentes, as amostras de dimensões representativas são submetidas ao programa térmico normalizado e ao ensaio de jato de água, observando-se as deformações sofridas.

A classificação prevê os seguintes graus de resistência ao fogo: 20 min, 30 min, 45 min, 1 h, 1 1/2 e 3 h.

2.4 PARÂMETROS FÍSICOS

Tendo em vista a utilidade de certos parâmetros para a correta apreciação do comportamento dos materiais de construção perante a ação do fogo, são reproduzidas a seguir vários quadros referentes a: calor específico, coeficiente de dilatação térmica linear, temperatura de fusão, etc.

QUADRO 11

Calor específico médio entre 0º e 100º (kcal/kg)

Metais

Alumínio	0,220
Bronze	0,092
Chumbo	0,031
Cobre	0,094
Estanho	0,056
Ferro e Aço	0,115
Ferro Gusa	0,113
Mercúrio	0,033
Niquel	0,110
Ouro	0,031
Prata	0,056
Zinco	0,094

Minerais e Vegetais

Amianto	0,195
Areia de Quartzo	0,200
Arenito	0,190
Asfalto	0,223
Basalto	0,200
Cal Virgem	0,190
Carvão de Lenha	0,220
Carvão Fossil	0,310
Carvão Coque	0,200
Caulim	0,224
Cimento	0,177
Cimento Amianto	0,230
Cinzas	0,220
Concreto Normal	0,230
Concreto Leve	0,230-0,240
Concreto Celular	0,250
Cristal	0,500
Diatomito	0,212
Escória	0,180
Gêsso	0,200

Minerais e Vegetais (cont)

Granito	0,200
Grés	0,220
Madeira de Lei	0,570
Madeira de Pinho	0,650
Mármore	0,210
Papel (celulosa)	0,32
Tijolos	0,220
Vidro (média)	0,180

QUADRO 12

Coeficiente de dilatação térmica linear médio entre 0º e 100ºC (10^{-5} . ºC^{-1})

Aço e Ferro	$1,25 \times 10^{-5}$
Alumínio	2,40
Argamassa de cimento e areia	1,18
Bronze	1,80
Chumbo	1,70
Cimento Amianto	0,85
Cobre	1,70
Concreto	1,0
Madeira	0,30
Prata	2,00
Quartzo	0,05
Tijolos Comuns	0,60
Vidro	0,60
Zinco	1,65

QUADRO 13

Coeficiente de dilatação térmica linear ao ar de rochas e agregados

gregados silicosos	$1,30 \times 10^{-5}$
Quartzo	1,30
Grés	1,10
Granito	1,00

Escória de Alto Forno	1,00
Calcário	0,80

QUADRO 14

Temperatura de fusão à pressão normal (ºC)

Aço	1300 - 1400
Alumínio	658
Borracha	125
Bronze	900 - 950
Chumbo	327
Cobre	1083
Esmaltes	960
Estanho	232
Ferro	1350 - 1450
Latão	900 - 1000
Ferro Fundido	1200
Magnésio	651
Niquel	1450
Ouro	1063
Prata	960
Quartzo	1440
Zinco	419
Vidro Moldado	700 - 800
Vidro em placa	700 - 850

QUADRO 15

Diagnóstico da temperatura através da condição dos materiais após o fogo (Petrucci)

Material	Aspecto	Temp. (ºC)
Chumbo	Pontas agudas, redondas ou em forma de gota.....	300 - 350

QUADRO 15

cont.

Material	Aspecto	Temp. (ºC)
Zinco	Forma de gota	400
Aluminio	Forma de gota	650
Vidro moldado	Flexivel ou aderente , arredondado, aspecto - de fluidez	700 - 800
Vidro em placa	Flexível ou aderente arredondado, aspecto - de fluidez	700 - 850
Prata	Pontas agudas ou arre- dondadas, forma de gota	950
Bronze	Pontas agudas ou arre- dondadas, forma de gota.....	900 -1000
Cobre	Pontas agudas ou arre- dondadas, forma de gota.....	1100
Ferro fundido	Forma de gota.....	1100 -1200

QUADRO 16

Coeficientes de condutibilidade térmica à temperatura do ar, (kcal/m h ºC)

Metais e ligas

Aço	40 - 45
Aluminio	175
Bronze	50
Chumbo	30

Metais e Ligas (cont.)

Cobre.....	280	-	340
Estanho.....			55
Ferro.....			55
Ferro fundido.....			45
Latão.....	80	-	100
Mercúrio.....			6,5
Níquel.....			50
Ouro.....			260
Prata.....			360
Zinco.....			100

Materiais de construção e outros

Alvenaria de tijolos.....	0,40	-	0,60
Alvenaria de tijolos furados...			0,30
Alvenaria de blocos de concreto normal.....			0,26
Alvenaria de blocos de concreto celular.....	0,04	-	0,13
Amianto (fibra).....			0,13
Amianto (pó).....			0,18
Algodão (81 kg/m3).....			0,048
Areia úmida.....			0,97
Areia seca.....			0,28
Argila crua úmida.....			0,70
Asfalto.....			0,70
Basalto.....	1,1	-	2,20
Borracha.....			0,15
Calcário.....			0,80
Carvão.....			0,05
Celuloide.....			0,18
Celulosa comprimida.....			0,21
Cimento amianto.....			0,50
Cinzas de madeira.....			0,14
Concreto celular.....	0,04	-	0,13 (seco)
Concreto normal.....	0,70	-	1,20

Concreto leve de argila expandida pelotizada.....	0,14 - 0,45	(seco)
Concreto leve de escórias.....	0,21 - 0,41	(seco)
Concreto leve de cinzas volantes.....	0,39 - 0,57	(seco)
Concreto leve de vermiculita esfoliata.....	0,048 - 0,060	(seco)
Concreto leve de diatomito.....	0,14 - 0,22	
Cortiça.....	0,05	
Cortiça em grãos.....	0,01	
Diatomito em pó.....	0,12	
Diatomito calcinado.....	0,06	
Escórias de alto-forno em grãos	0,10	
Feltro.....	0,04	
Gelo.....	1,50	
Gesso.....	0,35	
Gnaiss.....	3,40	
Granito.....	3,00	
Gres.....	1,22	
Linoleum.....	0,15	
Madeira de pinho normal às fibras.....	0,15	(seco)
Madeira de pinho paralelo às fibras.....	0,26	
Madeira de lei normal às fibras	0,18	
Madeira de lei paralela às fibras.....	0,32	
Madeira aglomerada isolante....	0,025	
Mármore.....	2,50	
Pedregulho seco.....	0,32	
Quartzo normal ao eixo.....	5,7	
Quartzo paralelo ao eixo.....	11,00	
Quartzo fundido.....	1,20 - 1,60	
Reboco de cal a areia.....	0,60 - 0,70	
Reboco de cimento e areia.....	0,80	
Seda (100 kg/m3).....	0,04	
Tijolos comuns úmidos.....	0,60 - 0,80	
Tijolos laminados secos.....	0,45	
Vidro comum.....	0,40	
Vidro (lã).....	0,03	

Líquidos e Gases

Água.....	0,54
Água (vapor a 100ºC).....	0,02
Alcool etílico.....	0,18
Amoníaco.....	0,02
Ar (0º a 500ºC).....	0,02 - 0,04
Glicerina.....	0,25
Óleos minerais.....	0,10 - 0,15
Óleo comestível.....	0,15
Petróleo.....	0,13

QUADRO 17

Massa específica (kg/m³) e difusibilidade térmica (m²/h)

Aço.....	7500 - 8100 - 0,048
Água.....	1000 - 0,00054
Alumínio.....	2600 - 0,3
Alvenaria de tijolos comuns.... maciços, seca.....	1600 - 0,0014
Alvenaria de tijolos furados, seca.....	1080 - 0,0012
Alvenaria de blocos de concreto ..... normal seca.....	1200 - 0,0009
Alvenaria de blocos de concreto leve, seca.....	800 - 0,00103
Alvenaria de blocos de concreto celular, seca.....	530 - 0,00066
Alvenaria de pedra, seca.....	2350 - 0,0036
Amianto.....	2400 - 0,00032
Ar.....	1,9 - 0,097
Areia fina seca.....	1500 - 0,00032
Areia fina úmida.....	1950 - 0,0014
Arenito.....	2250 - 0,00325
Argila crua seca.....	2100 - 0,0015
Asfalto.....	1200 - 0,0020
Borracha.....	1100 - 0,00040
Calcário.....	2600 - 0,00146
Caulim.....	2200 - 0,0012
Cimento amianto.....	1650 - 0,0013

Cobre.....		8750 -	0,376	
Chumbo.....		11300 -	0,085	
Concreto normal.....		2200 -	0,00295	
Concreto leve de argila expandida.....	700 -	1600 -	0,0087	- 0,0012
Concreto leve de escórias..	1150 -	1620 -	0,0079	- 0,00117
Concreto leve de cinzas volantes.....	1150 -	1520 -	0,00015	- 0,00016
Concreto leve de vermiculista esfoliada.....	420 -	530 -	0,00048	- 0,00052
Concreto celular.....	400 -	650 -	0,0004	- 0,0008
Cortiça.....		240 -	0,00026	
Cristal.....		3200 -	0,0005	
Estanho.....		7400 -	0,133	
Ferro.....		7800 -	0,061	
Ferro fundido.....		7300 -	0,047	
Gelo.....		920 -	0,0016	
Gesso.....		1400 -	0,0013	
Granito.....		2700 -	0,0056	
Latão.....		8500 -	0,117	
Madeira de pinho normal às fibras.....		600 -	0,00036	
Madeiras de lei, normal às fibras.....		750 -	0,00042	
Mármore.....		2750 -	0,0043	
Mercúrio.....		13600 -	0,014	
Óleo Vegetal.....		930 -	0,0004	
Petróleo.....		800 -	0,00032	
Quartzo normal ao eixo.....		2655 -	0,011	
Quartzo paralelo ao eixo...		2655 -	0,021	
Quartzo fundido.....		2655 -	0,0026	
Vidro.....		2550 -	0,00087	
Zinco.....		7100 -	0,150	

QUADRO 17A

PONTOS DE FULGOR E DE AUTO-IGNIÇÃO (ºC)

MATERIAL	PF	PAT
Acetona.....	-17,7	538
Acido acético	40	426
Álcool etílico	12,6	372
Álcool metílico.....	11,1	426
Asfalto.....	204	484,5
Gasolina	-42	257
Gas de rua.....	-	589
Óleo de amendoim	282	445
Parafina.....	199	245
Solvente (Varsol).....	40	232

QUADRO 17B

PODER CALORÍFICO INFERIOR (kcal/kg)

MATERIAL	PC	Fator de equivalência (x)
Açucar.....	4000	0,89
Algodão.....	4000	0,89
Borracha.....	10000	2,21
Carvão coque.....	7000	1,55
Celulose (fibra).....	3600	0,80
Gorduras comestíveis.....	10000	2,21
Lã.....	5500	1,22
Livros.....	3800-4000	0,84-0,89
Móveis de madeira.....	3500-4000	0,78-0,89
Óleos comestíveis.....	10000	2,21
Óleos combustíveis.....	10000	2,21
Palha.....	3500	0,78
Papel(pilhas).....	3800-4000	0,84-0,89
Roupas.....	4000-5000	0,89-1,10
Seda.....	5000	1,10
Trigo (granel).....	3500	0,78

(x) para madeira PC = 4500

QUADRO 17C

Coeficientes de condutibilidade térmica λ , para temperaturas de 400-700 ºC , em kcal/m h ºC

Material	massa específica aparente (kg/m³)	λ
-amianto borrifado	200	0,07
-concreto celular	300	0,10
-vermiculite ou perlita com aglomerante	150-300	0,10-0,15
-lã mineral	100-300	0,20
-reboco de vermiculite ou perlita	500	0,20
-concreto leve de agregado leve	600	0,25
-concreto leve de agregado leve	1000	0,40
-tijolos de barro, tijolos sílico-calcários, concreto normal	2000	1,00
-concreto normal, agregado tipo 2	2400	1,50
-granito, mármore	3000	2,00

TERCEIRA PARTE

DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES

TERCEIRA PARTE

3.0 DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES

3.1 GENERALIDADES

De acordo com o programa exposto na introdução, reunimos nesta parte do trabalho informações sobre o comportamento dos materiais no duplo aspecto da reação e da resistência ao fogo, propriedades que procuramos claramente definir no desenvolvimento já dado à matéria.

A análise que agora realizamos aborda em primeiro lugar os materiais brutos, amorfos ou semi-terminados no que tange à sua contribuição ao fogo e à sua integridade física e físico-química sob a ação do fogo.

Identificamos assim temperaturas críticas às quais estes materiais perdem essa integridade.

Em segundo lugar analisamos a resistência dos componentes, isto é de elementos ou partes da construção com forma e função definida e identificamos suas temperaturas críticas, ou seja aquelas em que eles sofrem colapso material ou estrutural.

Aplicando os conceitos desenvolvidos na parte introdutiva desta tese, passamos assim a definir o desempenho de materiais e componentes, cujo conhecimento é essencial para o arquiteto e seus colaboradores, permitindo-lhes efetuar escolhas criteriosas de materiais, ficando menos vulneráveis a informações superficiais ou distorcidas por fins promocionais de alguns fabricantes menos escrupulosos. Faculta também uma aplicação mais consciente dos critérios de projeto, que serão formulados na última parte.

É importante lembrar que, como já salientamos em outra parte deste estudo, não existe material ou componente totalmente à prova de fogo. Esta expressão é entretanto utilizada, o mesmo ocorrendo com corta-fogo, assim como alguns preferem resistividade ao fogo em lugar de resistência ao fogo. Achamos que, sempre que possível seja respeitada a terminologia adotada pela ABNT. Entretanto o que importa conhecer é o comportamento do material e o parâmetro que mede esse comportamento.

3.2.0.MATERIAIS

Para efeito desta análise são aquí considerados os materiais amorfos e semi-terminados (54).

3.2.1.ROCHAS

1. As rochas têm amplo emprego como material de construção,para a execução de vêdos, de acabamentos e como agregados para concreto.
   As rochas utilizadas na construção não têm comportamento ativo eis que não reagem ao fogo,isto é não são combustíveis,inflamáveis,nem propagam as chamas.
   Suas propriedades são entretanto em grau maior ou menor alteradas pela ação do fogo, mas as rochas de granulação fina são menos sensíveis do que as de granulação grossa.
2. As rochas ígneas sofrem alterações por volta de 600-700 ºC.
   O quartzo muda de estado cristalino a 575 ºC, passando de alfa para beta ,isto é de romboedral para hexagonal. O quartzo beta passa a tridimita a 870ºC. Nessas mudanças sofre aumento de volume especialmente na primeira quando o aumento é de cerca de 6%. As rochas como o granito e o gnaiss,contendo quartzo são alteradas pela ação do fogo.
   Rochas sedimentares como osarenitos e os folhelhos ou metamórficas como quartzitos, ardósias e xistos, com o calor sofrem separação segundo os planos de clivagem.
   O calcário a 700 ºC se transforma em óxido cálcio e dióxido de carbono, continuando a calcinação até 900 ºC . A dilatação do calcário não é reversível, não provocando inconvenientes tão graves como nas outras rochas. A calcinação do calcário é endotérmica e ocorre lentamente da superfície aquecida em direção às camadas internas da rocha: a desagregação dá-se paulatinamente mas protegendo as camadas mais profundas.
   O dolomito, contendo carbonato de magnésio, é mais sensível à ação do calor do que o calcário puro.
   O mármore com o calor torna-se frágil e sofre ruptura repentina.
   De acôrdo com a fase do incêndio, segundo os campos de variação das temperaturas, as rochas sofrem em geral efeitos mais ou menos sérios, com exceção de algumas de origem vulcânica, como o pomes, o tufo, etc.

Na fase de extinção a desagregação pode ser provocada pelos jatos d'água por choque térmico ou por hidratação rápida de algumas rochas já alteradas pelo efeito do fogo.

3. Outros característicos físicos das rochas são afetados pela ação do calor. Por exemplo, a condutibilidade térmica em geral aumenta com exceção do quartzo cristalino.
Outra propriedade que deve ser considerada é a dilatação térmica, também responsável pela desagregação, inclusive dos concretos nos quais as rochas participam sob a forma de agregados.
No quadro 18 seguinte, de autoria do Prof. Petrucci, são registrados os coeficientes de dilatação linear das rochas mais comuns.

QUADRO 18

Rochas	Coeficiente de dilatação (10^{-6}) ($^{o}C^{-1}$)		
	ao ar	em água	média
- rochas silicosas	13,0	12,0	12,5
- quartzo	13,0	12,0	12,5
- gres	11,0	10,0	10,5
- granito	10,0	9,0	9,5
- calcário	8,0	7,0	7,5

Como veremos, o coeficiente de dilatação do calcário, sensivelmente mais baixo daquele das outras rochas é um dos fatores que o recomendam como agregado para o concreto.

4. A gipsita, sulfato de cálcio di-hidrato, a temperaturas da ordem de 130-160°C é transformada em hemidrato e a 250-300°C em sulfato de cálcio anídro(anidrita). A cerca de 400-600 °C obtem-se o gêsso morto, um pó incoerente, insolúvel que não faz pega, Aumentando ainda a temperatura a anidrita modifica suas propriedades e entre 900 e 1200 °C passa a gesso de pega lenta ou gesso hidráulico.
Nestas transformações, até cerca de 100 °C o material dilata, mas continuando a elevação de temperatura, com a calcinação, sofre retração e fissuração que prejudicam a resistência mecânica. Acima de 700°C a desagregação é completa e o material é facilmente removido pelos jatos d'água.

3.2.2. CERÂMICA

1. Os produtos cerâmicos que no seu processo tecnológico são submetidos a elevadas temperaturas, revelam um comportamento satisfatório. Não são combustíveis, inflamáveis e não propagam as chamas.
Tijolos de barro maciços bem trabalhados e cozidos, resistem até a temperaturas da ordem de 1000 a 1100 ºC, além das quais dá-se sua fusão. Esta ocorre a cêrca de 1250ºC e é considerada uma temperatura testemunha importante que permite verificar a temperatura máxima atingida (54A).
Tijolos furados, apresentam individualmente um comportamento idêntico, embora ao efeito de choques térmicos se revelem mais sensíveis e quebradiços.
2. Outros produtos cerâmicos, destacando-se obviamente os refratários, não apresentam alterações às temperaturas normais de incêndios. Nêstes incluem-se argilas e folhelhos expandidos, utilizados como agregados para o concreto, cujo comportamento será visto mais adiante.
Os produtos cerâmicos quando passam a compôr elementos construtivos. isto é a ser utilizados como componentes, podem revelar um comportamento diferente, dependendo das condições do assentamento e das juntas.

3.2.3. AGLOMERANTES

1. Cal, cimento e gesso são os aglomerantes mais comuns utilizados na construção.
Não têm comportamento ativo, mas a cal quando de sua extinção sofre uma reação exotérmica podendo alcançar temperaturas da ordem de 300 a 400 ºC. Isto exige portanto cuidados especiais no transporte e armazenagem de cal virgem e nos canteiros de obras para controlar os riscos de incêndio que o fenômeno pode gerar.
A pasta de cal endurecida e carbonatada, sob a ação do fogo, é transformada novamente de carbonato de cálcio em óxido de cálcio e dióxido de carbono, perdendo coesão. Esta transformação começa por volta de 700ºC.
2. A pasta de cimento contém elevada quantidade de gel tobermorítico produzido pela hidratação do silicato tricálcico e dicálcico ,

---

(54A) É essa temperatura que permite afirmar que as temperaturas máximas atingidas nos incêndios raramente passam de 1250ºC.
A respeito de outras temperaturas testemunhas veja-se o quadro 15.

caracterizado por uma superfície específica muito grande.
Este gel é em parte responsável pelos fenômenos sofridos pela pasta de cimento quando submetida à ação do calor, eis que mantém nos canais capilares quantidades substanciais de água, em equilíbrio com a umidade do ar.
A desidratação do gel começa por volta de 95 ºC e continua até 900 ºC, mas além da tobermorita-gel a pasta de cimento contém hidróxido de cálcio que também é desidratado pelo calor. Se de um lado êssas fenômenos dão margem a acentuada retração, que fissura a pasta e contribui para sua desagregação, por outro, sendo endotérmicos absorvem calor e retardam seu fluxo através do material. Este calor latente melhora o comportamento do concreto e protege as camadas mais profundas da ação do fogo.

3. Segundo Harmathy a presença de umidade pode aumentar a resistência ao fogo na proporção de 4 a 5 %, para cada 1% de aumento de umidade.
Contudo além de um certo limite crítico e em função da porosidade da pasta, uma evaporação violenta desta umidade pode ter efeitos explosivos, provocando no concreto o lascamento superficial do material e o descascamento dos cantos e do recobrimento do aço. É um fenômeno que os americanos chamam de "steam boiler effect". As pastas mais velhas e aquelas feitas com baixa relação água-cimento e portanto menos porosas, são mais suscetíveis de dar lugar a êste fenômeno. Para concretos normais o limte de umidade para a formação do vapor é da ordem de 5 % em volume.
A perda de água provoca retração da pasta, mas por volta de 400-500 ºC o fato é mais acentuado pela desidratação do hidróxido de cálcio ao dar lugar a óxido.
Mas a pasta de cimento também dilata por causa do calor e uma vez que a retração pode alcançar valores da ordem de 0,5 %, observa-se que a complexidade dos fenômenos físico-químicos é responsável pelo acentuado grau de desagregação que o fogo provoca.
Certos produtos à base de cimento são submetidos a tratamentos térmicos, para acelerar a cura ou para estabilizá-los quando sujeitos a elevada retração. É o caso dos concretos celulares autoclavados, nos quais êste tratamento atinge a pasta que reage com o quartzo do agregado, desde que finamente moido, formando tobermorita cristalina em lugar de gel. Segundo Harmathy (54) o comportamento dos produtos autoclavados em relação ao fogo, não é melhor do que os normais.

Ressalta que expondo à água uma pasta que tenha sofrido os efeitos de elevada temperatura, ela pode re-hidratar-se com aumento de volume provocando a desagregação do concreto. É o que ocorre quando os elementos estruturais são atingidos pelos jatos d'água dos bombeiros.

A adição de pozolanas, fixando o hidróxido de cálcio, permite neutralizar em parte os efeitos negativos de sua desidratação.

O cimento de alto-forno, por conter menos hidróxido, apresenta um comportamento mais favorável, embora entre os cimentos o menos sensível à ação do fogo seja o aluminoso. O seu uso é entretanto desaconselhado em estruturas.

4. O gesso no estado hidratado contém cerca de 21 % em peso de água. As reações que sofre com o calor são as mesmas assinaladas para a gipsita. Ressalta que o calor penetra lentamente no interior da massa por se tratar de material mau condutor. Além disso ao alcançar superficialmente a temperatura de cerca de 120 ºC, a água de cristalização começa a evaporar absorvendo calor. Desidratando-se o gesso acentua a má condutibilidade térmica. Até cerca de 100ºC o material dilata e continuando a elevação da temperatura, com a calcinação, passa a sofrer acentuada fissuração que prejudica a resistência mecânica. Êstes fenômenos entretanto, por serem endotérmicos, protegem as superfícies sobre as quais o gesso é aplicado, ou as camadas mais profundas quando é utilizado em blocos para alvenaria.

3.2.3. AGREGADOS

1. Os agregados naturais mantêm em geral as mesmas propriedades das rochas matrizes.

Os agregados leves naturais, provenientes de rochas vulcânicas possuem excelente comportamento ao fogo.

O mesmo ocorre com os agregados leves artificiais, por sofrerem tratamentos térmicos a elevadas temperaturas na sua fabricação.

Incluem : a argila e o folhelho expandidos, a vermiculita exfoliada, a perlita, os cacos de tijolos, a escória de alto-forno espumada, as cinzas volantes pelotizadas, etc.

Segundo Harmathy (54B), os fatores que determinam o comportamento ao fogo dos concretos são : a estabilidade química e o grau de cristalização. Menos estáveis são aquêles que contêm grande quantidade de água de hidratação. Os agregados leves apresentam elevada estabilidade química a elevadas temperaturas. Assim, os concretos feitos com êstes agregados sofrem apenas os efeitos dos fenômenos que atingem a pasta de cimento.

(54B) HARMATHY T.Z. e ALLEN L.W., Thermal Performance of Concrete Masonry Walls in Fire, Canadian Building Digest nº140, Ottawa 1971

2. Os agregados sofrem dilatação por efeito do calor, mais pronunciada quanto mais dura e compacta fôr a rocha matriz. Tal fato não ocorre com os agregados leves , artificiais e naturais.
Os agregados a base de calcário e quartzo têm comportamento determinado pelas propriedades das rochas matrizes , já examinadas.
3. É muito importante portanto o conteúdo de quartzo cristalino e as rochas que contêm sílica amorfa, como as vulcânicas assinaladas,propiciam agregados mais estáveis.
Segundo Harmathy, concretos que não mostram perda de pêso maior do que 5 % quando aquecidos entre 93 e 870 ºC (200 e 1600 ºF), podem ser considerados como executados com agregados estáveis física e quimicamente.
4. Como já assinalamos ao tratarmos das rochas, o coeficiente de condutibilidade térmica aumenta com a temperatura, com exceção do quartzo e dos agregados que possuem uma micro-estrutura cristalina bem definida. Entre 700 e 800 ºC , os concretos feitos com agregados normais apresentam todos a mesma condutibilidade que é da ordem de 1,0 -1,5 kcal/mhºC. Para os concretos leves de agregados leves, acima de 700-800ºC a condutibilidade térmica é da ordem da metade daquela dos concretos normais.
Esta propriedade é muito importante e representa um dos requisitos de classificação dos agregados.
5. Alguns países classificam os agregados para concretos estruturais em duas categorias, de acôrdo com o comportamento ao fogo.
Na Inglaterra, por exemplo, a classe 1, abrange os agregados que não sofrem alterações e consequentemente não contribuem para uma redução sensível das propriedades mecânicas do concreto.
São na maioria agregados leves, tais como argila expandida, escória espumada e outros semelhantes já relacionados mais acima (55).
Nessa classificação influi também a condutibilidade térmica.
Das rochas naturais, apenas o calcário está incluido nessa categoria, apesar de sofrer alterações por efeito do calor.
Veremos mais adiante a razão dessa inclusão. Ressalta que trata-se de carbonato de cálcio puro, não admitindo-se o dolomito.

---

(55) Veja-se também nosso trabalho "Concretos Leves", publicado pelos Anais Tecnológicos do Instituto de Engenharia /SP, em 1966.

A classe 2 abrange os demais agregados, dos quais denota-se a propriedade de alguns lascarem sob a ação do fogo, enquanto outros são impróprios por excessiva dilatação.

Algumas regulamentações classificam os agregados em duas categorias de acordo com seu conteúdo de sílica livre:

Tipo I $\leq$ 30%
Tipo II $>$ 30%

admitindo para o segundo tipo um desempenho menos favorável. A orientação mais recente é para uma classificação em três grupos (57):

1) silicosos
2) carbonatos
3) leves ou mistos

Em geral para fins estruturais os agregados leves são em parte substituídos na fração fina por areia de sílica; essa a razão de se considerar agregados mistos.

4. Para fins não estruturais dentre os agregados que possuem melhor comportamento ao fogo destaca-se a vermiculite.

Propriedades semelhantes as possuem a lã de vidro, a lã de rocha e a perlita.

A vermiculite exfoliada é um material inerte, inalterável com o tempo, incombustível, com ponto de fusão a 1370 ºC, temperatura raramente atingida nos incêndios normais de edificações.

Seu coeficiente de condutibilidade térmica é da ordem de 0,04 kcal/m h ºC.

3.2.5 ARGAMASSAS

1. O comportamento das argamassas de cal e areia e de cimento e areia é determinado principalmente pela pasta cujas propriedades já foram analisadas.

Na aplicação da argamassa de cal como revestimento e acabamento, quando o aumento de temperatura é muito rápido, pode ocorrer uma dilatação considerável antes de se dar a calcinação, com a fissuração e descolamento do material.

2. A substituição total ou parcial da areia por agregados leves miudos, tais como vermiculite exfoliada, perlita, argila expandida e outros, proporciona resultados apreciáveis eis que trata-se de materiais que possuem baixa condutibilidade térmica e podem portanto ser utilizados para a proteção contra a ação do fogo.

As argamassas a base de vermiculite e perlita não sofrem retração, não fissuram e conservam um certo grau de elasticidade, quando atingidas pelo fogo, suportando temperaturas até 1100ºC, portanto têm melhor aderência.

Estes agregados adicionados ao gesso melhoram seu desempenho. Partes iguais de vermiculite e pasta de gesso reduzem substancialmente a fissuração resultante da calcinação do gesso.

Também fibras de vidro podem ser adicionadas à pasta de gesso, com resultados razoáveis embora o ponto de fusão do vidro seja por volta de 840 ºC. A proporção de fibra deve ser não menor do que 0,5% do pêso do gesso.

A respeito do gesso convém assinalar que as perspectivas de seu uso são promissoras, voltando a lhe atribuir papel importante na construção, uma vez que a indústria de superfosfatos tem como resíduo o gesso químico, em grandes quantidades, a um preço muito mais conveniente do que o gesso mineral.

3. No que tange à argamassa de cimento e areia, a ação do fogo atinge as suas propriedades mecânicas, observando-se uma queda de resistência à tração maior do que à compressão.

Uma argamassa 1:3, chega a perder cerca de 80% de sua resistência à tração, à temperatura de 300ºC enquanto à compressão a mesma perda verifica-se por volta de 800 ºC.

Nêste caso também a substituição parcial da areia por agregados leves pode melhorar o comportamento.

Aumentando a proporção de cimento, os efeitos são mais sensíveis, especialmente em consequência da retração.

É importante lembrar que o papel do chapisco sôbre superfícies lisas é muito mais acentuado no caso da ação do fogo, devendo ser considerado imprescindível.

A argamassa de cimento é também particularmente sensível aos choques térmicos: uma amostra aquecida até 500ºC e em seguida mergulhada na água torna-se completamente incoerente.

3.2.6 CONCRETOS NORMAIS

1. De uma argamassa composta de água, de um aglomerante e um agregado miúdo obtem-se um concreto adicionando-se um agregado graúdo.

   De acordo com a massa específica aparente dos agregados os concretos podem ser pesados, normais ou leves.

   Em princípio seu comportamento em relação ao fogo é ditado pelos característicos individuais dos componentes, dos quais já falamos nos tópicos anteriores.

   Assim como para as demais propriedades, também para o comportamento ao fogo, nos resultados dos ensaios influem fatores variáveis (qualidade e tipo de cimento, natureza e composição granulométrica dos agregados, qualidade da água, proporção dos componentes, grau de adensamento, cura etc.) que sugerem cautela nas generalizações.

2. Especificamente nos ensaios deve-se considerar que a ação da temperatura sobre a resistência mecânica pode dar lugar a resultados diferentes de acordo com o método utilizado, com a velocidade de aquecimento e sua duração, o tamanho e o formato da amostra e o fato de ser ou não aplicada uma carga durante o ensaio.

   Esta última condição é muito importante eis que a aplicação da carga conduz a resultados mais favoráveis.

QUADRO 19

Resistência percentual residual em função da relação agregado -cimento

Relação / Temperatura	com carregamento		sem carregamento	
	6:1	4,5:1	6:1	4,5:1
300 ºC	95	89	83	79
400 ºC	86	77	70	64
500 ºC	75	62	50	40
600 ºC	62	41	17	-

(MALHOTRA)

Deve-se além disso considerar se a amostra é ensaiada logo após sofrer o programa térmico ou se é esfriada até a temperatura ambiente.

Todos os concretos perdem resistência mecânica sob uma ação térmica severa, porém apenas acima dos 200 ºC esta redução é sensível.

3. Segundo Harada, citado por Lie, a temperatura de 500ºC é de grande interesse eis que os concretos que não tenham passado desse limite re-hidratam-se em seguida e voltam a ganhar 90% da resistência mecânica original, no prazo de 10-12 meses.

Se a temperatura passar de 500 ºC, a deterioração dos concretos ocorrerá mais rapidamente e de forma irreversível pela perda de substancial quantidade de água de cristalização do cimento e pela transformação sofrida pelo quartzo e o consequente aumento repentino de volume.

Ressalta que ao esfriar o concreto sofre uma queda ulterior das suas propriedades mecânicas.

4. Em linha geral o melhor comportamento registra-se para os concretos que:

- retêm menos umidade
- utilizam agregados com menor dilatação
- têm menor condutibilidade térmica
- têm maior resistência à tração
- têm melhor composição granulométrica, maior proporção de agregados e prevalência de miudos.
- são melhor compactados
- utilizam agregados leves

A capacidade de resistência à ação do fogo do concreto parece contudo ser diretamente relacionada mais com o comportamento do agregado do que com outros fatores.

5. Os agregados da classe 2 mencionada no tópico anterior provocam a exfoliação e o descascamento do concreto, fenômeno que deve ser evitado uma vez que pode expôr a armadura à ação direta do fogo e logo dar lugar ao colapso.

Uma vez que os agregados da classe 1 são na sua maioria leves, naturais ou artificiais, destaca-se a oportunidade de seu uso.

6. Petterson (56) contrariando opiniões de outros autores, afirma que o calcário utilizado como agregado do concreto lhe confere uma resistência maior que os demais.

Este comportamento parece ser devido principalmente a três fatores:

1) o fato da reação já assinalada no capítulo anterior, ser endotérmica,

2) a condição do dióxido de carbono formar uma película isolante térmica na superfície do concreto (57),

3) o fato de ter uma dilatação menor.

Até 450 ºC a resistência aumenta alcançando 120% da primitiva, para em seguida cair para 80% a 600 ºC e 50% a 700 ºC.

---

(56) PETTERSON O., Structural Fire Engineering Research Today and Tomorrow, Acta Polytechnica Scandinava, 1962.

(57) CONCRETE CONSTRUCTION, Designing concrete mixes for increased fire or heat resistance, Vol. 19/nº 8, Elmhurst, 1974.

O basalto nas mesmas condições dá 90% a 450 ºC, 55% a 600 ºC e cerca de 35% a 700 ºC.

7. Também a proporção de agregado influi na resistência do concreto. Quanto menor a proporção, tanto maior a resistência residual.
No quadro 19 são apresentados os resultados de uma pesquisa de MALHOTRA (58).

Se a resistência à compressão fica sensivelmente atingida pelos fenômenos físico-químicos que alteram as propriedades dos vários componentes, a resistência à tração também é praticamente inutilizada em consequência do fissuramento.

8. Também o módulo de elasticidade sofre o efeito da ação do fogo.

Ensaios realizados no IPT de São Paulo mostram que este acompanha a redução de resistência à compressão, mas alcançando a temperatura de 600ºC, o valor cai a cerca de 10% do primitivo.

Esta redução provoca a ocorrência de grandes flechas das peças fletidas, especialmente das lajes em que a distribuição da temperatura é mais uniforme.

9. Ressalta também que no concreto devemos considerar a ação conjunta e recíproca dos efeitos sobre a pasta e sobre os agregados. Do comportamento da pasta de cimento falamos em tópico anterior: o efeito mais importante é a retração ocasionada pelo calor.

Os agregados por outro lado dilatam ou expandem.

Logo, de início um concreto sujeito a um programa térmico, sofrerá lascamento por "steam boiler effect" (principalmente em peças espessas).

---

(58) MALHOTRA H. L., The effect of Temperature on the Compressive Strength of Concrete, Magazine of Concrete Research, 1956.

Em seguida por volta de 200ºC começará a retrair por efeito da desidratação da tobermorita-gel, fenômeno que irá se acentuando à medida que a temperatura aumentar, mas por volta de 400-500 ºC a desidratação do hidróxido de cálcio submeterá o concreto a uma retração mais enérgica.
Entretanto contendo quartzo, a cerca de 570ºC o material acusará uma expansão, para novamente sofrer uma rápida retração por volta de 800ºC, devida ainda à desidratação da tobermorita-gel. É óbvio que estes fenômenos provocam a exfoliação e a desagregação do concreto.
Na fase de esfriamento deve-se ainda considerar que o quartzo beta volta e se transformar em alfa, provocando retração.
A 700 ºC as propriedades mecânicas de um concreto são praticamente anuladas pela ação do fogo, não havendo interesse no exame do comportamento a temperaturas mais altas, a não ser que se trate de concretos especiais.

10. O concreto tem na construção várias aplicações : simples em pisos , armado em estruturas e outras semelhantes. Uma aplicação específica é em blocos maciços ou vasados para alvenaria, normais ou leves. As propriedades acima analisadas são válidas também para êste caso. Destaca que o efeito da umidade pelo "steam boiler effect" pode ser mais nocivo em blocos vasados, por possuirem paredes muito delgadas.

3.2.6.1. ALTERAÇÃO DA COR

1. Quando atingido pelo fogo, o concreto muda de côr pelas alterações sofridas pela sílica dos agregados e pela presença de óxido de ferro.
Bessey (59) investigou o fenômeno mostrando que não sòmente através da côr é possível avaliar a temperatura superficial máxima atingida, como também verificar a profundidade dos efeitos do fogo.
O quadro 20 mostra as mudanças apresentadas por um concreto normal a várias temperaturas.

---

59) BESSEY G.E., Investigations on Building Fires, NBS T.P.4, Londres 1950

QUADRO 20

	CÔR	DURAÇÃO DO FOGO		
		1 HORA	2 HORAS	3 HORAS
- Temperatura superficial máxima	-	950ºC	1050ºC	1230ºC
- Profundidade alcançada, temperatura 300ºC	Rosa e vermelho	57mm	101mm	139mm
- Profundidade alcançada, temperatura 600ºC	Descoramento do vermelho	19mm	38mm	63mm
- Profundidade alcançada, temperatura 950ºC	Amarelo alaranjado	0mm	6mm	25mm

(Adaptada de "Fire Safety in Buildings")

2. Superficialmente a mudança de côr ocorre na sequência seguinte:

QUADRO 21

CÔR	TEMPERATURA
- Rosa	300 ºC
- Roxo	550 ºC
- Vermelho pálido	600 ºC
- Cinza esbranquiçado	650 ºC
- Amarelo alaranjado	950 ºC
- Amarelo claro	1000 ºC

3.2.7 CONCRETOS LEVES DE AGREGADOS LEVES

1. Os concretos leves desta categoria são os que utilizam agregado graúdo e/ou miúdo leve natural ou artificial,

cujas propriedades já foram ventiladas nos tópicos anteriores.

Sem dúvida os concretos leves apresentam um comportamento melhor em relação ao fogo, a paridade de condição, do que o concreto normal.

No concreto armado o melhor isolamento térmico propiciado pelos agregados leves permite assegurar a proteção do aço com menor recobrimento.

2. Segundo dados experimentais dos "Underwriter's Laboratories" americanos o uso de agregados diferentes afeta a resistência ao fogo de elementos estruturais, na proporção indicada no quadro 22 seguinte que refere-se a lajes, e que confirma as observações já feitas a respeito' das várias categorias.

QUADRO 22

ESPESSURA	AGREGADO	RECOBRIMENTO	R_f
100 mm	silicoso	19 mm	1 h
75 mm	calcário	19 mm	1 h
150 mm	basalto	25 mm	3 h
119 mm	escória a.f.	19 mm	2,5 h
150 mm	escória a.f.	25 mm	4 h
119 mm	escória a.f.exp.	19 mm	4 h

Ao tratarmos do concreto armado, veremos mais adiante outros dados sobre a influência dos agregados utilizados.

3.2.8 CONCRETOS CELULARES

Impropriamente incluídos nos concretos, estes materiais são na verdade argamassas endurecidas de elevada porosidade, possuindo destarte baixa condutibilidade térmicas.

Distinguem-se em crus e autoclavados, de acordo com o processo de cura utilizado na fabricação.

Os concretos celulares não têm comportamento ativo no que tange à reação ao fogo, mas sua resistência mecânica é atingida, especialmente na fase de esfriamento.

O concreto celular é, embora limitadamente, utilizado em elementos armados, mas sua aplicação mais importante é indicada para proteger contra o fogo estruturas de concreto armado normal ou de aço.

3.2.9 AÇO

1. O aço é incombustível como o são todos os metais utilizados na construção.

Isto significa que não reage ao fogo nem propaga as chamas. Contudo a sua resistência mecânica sofre variações de acordo com as temperaturas atingidas.

Na construção, o aço pode ser utilizado em aplicações diversas, em estruturas metálicas e coberturas, em concreto armado e protendido, em painéis de vedação, em artefatos de serralheria, etc. e seus característicos podem variar de acordo com as finalidades de uso.

2. Para as aplicações em concreto armado há distinguir em aço tipo A e B, segundo a especificação EB - 3 e seu comportamento é analisado por Petrucci detidamente em trabalho publicado pelo IBRACON (60).

Os aços tipo "A", laminados a quente, têm diagrama tensão-deformação com patamar nítido de escoamento, enquanto os tipos B encruados a frio segundo vários processos, têm tensão de escoamento convencional definida por deformação permanente de 0,2%.

Os primeiros quando submetidos a um programa térmico até cerca de 200ºC revelam um aumento de tensão de ruptura.

Para temperaturas maiores verifica-se entretanto uma queda da tensão de ruptura e do escoamento.

---

(60) PETRUCCI E.G.R. "A ação do fogo sobre as estruturas de concreto armado e protendido" em Anais do Colóquio sobre Durabilidade do Concreto, IBRACON/IPT - 1972.

A temperatura elevada o escoamento torna-se indefinido e a tensão é determinada em relação à deformação permanente convencional de 0,2%. Também a dutibilidade e o módulo de elasticidade são atingidos. Acima de 400 ºC verifica-se o chamado escoamento a quente.

Daqui para frente o material pode sofrer alterações substanciais de sua estrutura interna, como aumento do tamanho dos grãos e granulação grosseira causando uma diminuição da tensão de ruptura e maiores alongamentos.

Quando a temperatura se aproximar da de fusão (1300 - 1400 ºC) a modificação da estrutura interna de aço é irreversível e o material torna-se frágil.

Entretanto se a temperatura não atingir aquela de deformação do material e o tempo de exposição fôr pequeno, as alterações serão reversíveis e o aço poderá recuperar as propriedades primitivas, após o esfriamento.

Os aços tipo B cujos elevados característicos mecânicos são obtidos por um trabalho de deformação a frio, ao sofrerem o efeito de elevadas temperaturas têm sua estrutura interna reconduzida às condições primitivas anteriores ao encruamento, com redução sensível da resistência mecânica e aumento da deformação.

Uma vez que o processo é irreversível após o esfriamento, o aço B se transforma em A, mas com menor resistência mecânica.

3. Os aços de protensão, endurecidos por trefilação e tratados termicamente, perdem também de forma irreversível as suas propriedades, ao sofrerem ação intensa do fogo.

4. Perfís e chapas de aço laminados a frio têm comportamento semelhante aos aços tipo B: a ação do fogo regenera a estrutura do aço primitivo, no caso um aço doce.

5. A sua utilização em estruturas metálicas deve considerar que a temperatura crítica é de ordem de 550 ºC, podendo ocorrer deformações sensíveis dos elementos e possível colapso.

Para os aços utilizados em protensão a temperatura crítica é ainda mais baixa e da ordem de 400 - 450 ºC.

A fig. 10 de autoria de CUOMO mostra as variações das propriedades mecânicas de um aço 37 CA, em função da temperatura (61), enquanto a fig. 11 de autoria de HARMATHY mostra o comportamento de um aço de protensão laminado a frio (ASTM A 421) (62).

Outros autores verificaram também que o comportamento ao fogo não é influenciado sensivelmente pelo teor do carbono.

3.2.9.1 DILATAÇÃO DO AÇO

1. No quadro 12 apresentamos os coeficientes de dilatação térmica linear dos materiais de aplicação mais comum na construção.

Numa estrutura isostática, desde que o apoio seja realmente livre, os efeitos de temperaturas elevadas são limitados, embora não desprezíveis.

Por exemplo numa cobertura metálica, a dilatação das tesouras pode não dar lugar a empuxos nos apoios, mas danificar o telhamento.

Numa estrutura hiperestática os efeitos não podem ser ignorados.

É evidente que considerá-los no dimensionamento seria anti-econômico.

Entretanto este aspecto não pode escapar à consideração do engenheiro estruturista especialmente quando existe o risco de incêndio.

---

(61) CUOMO S., Resistenza al fuoco delle strutture e sua determinazione. Edizioni di Protezione Civile, Roma 1968.

(62) HARMATHY and STANZAK, Elevated Temperature Tensile and Creep Properties of Some Structural and Prestressing Steels, ASTM STP 464.

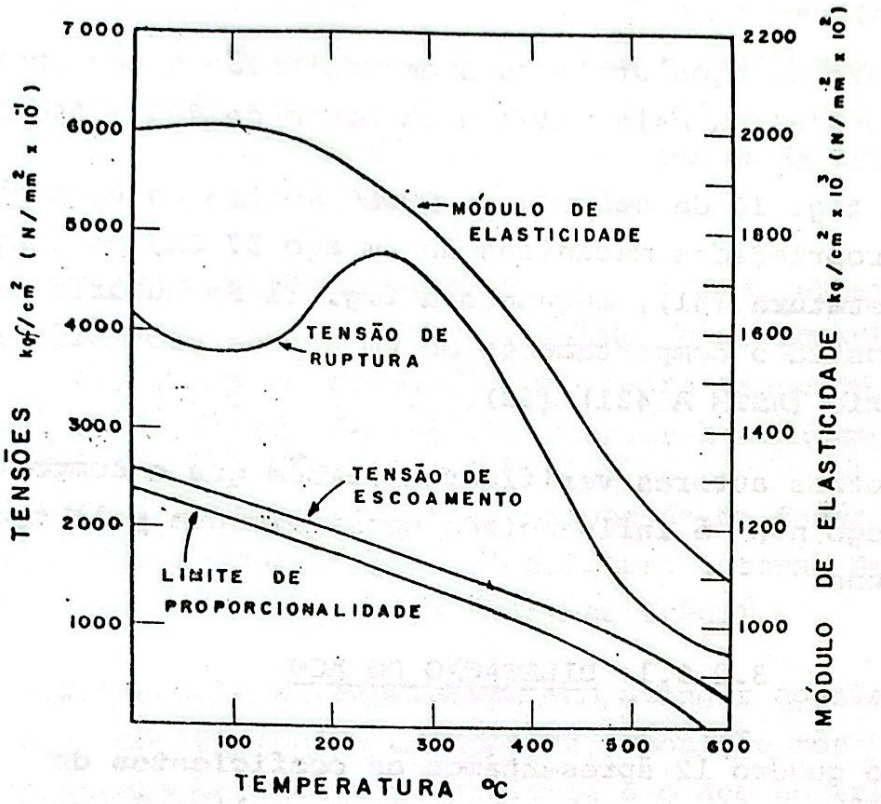


FIG. 10

(CUOMO)

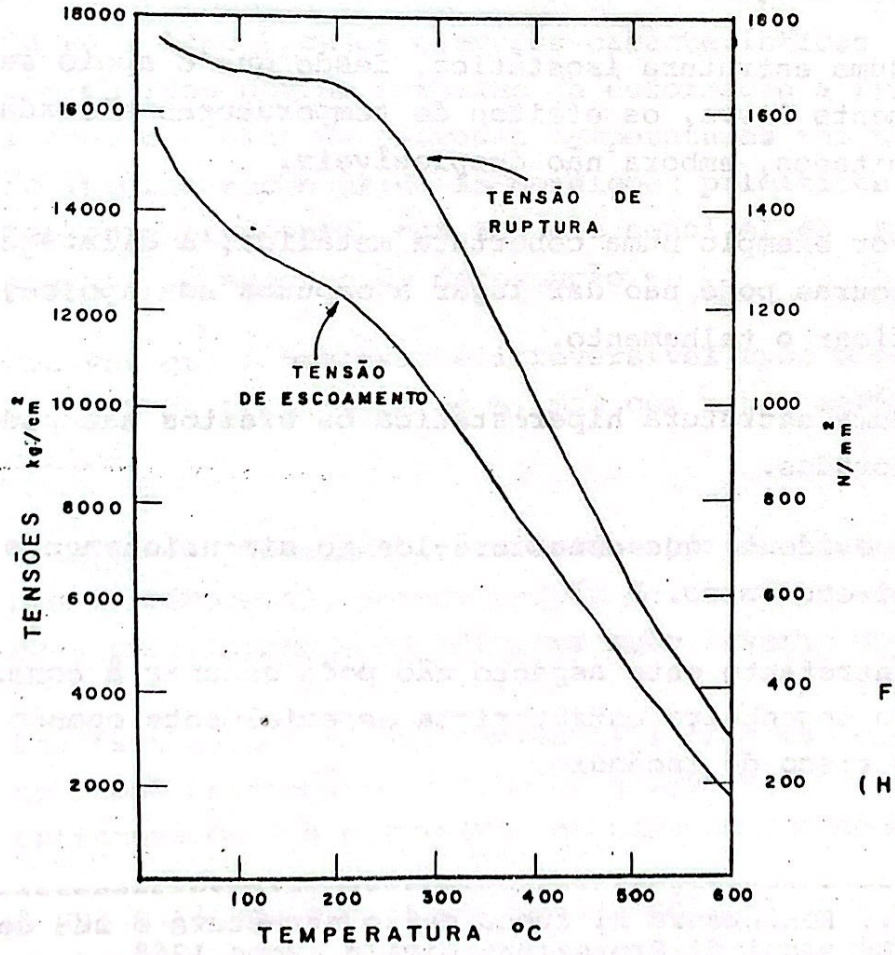


FIG. 11

(HARMATHY)

Com efeito, a dilatação térmica pode provocar o colapso antes mesmo que a resistência mecânica se reduza a valores críticos.

2. A análise do comportamento de uma viga de aço à temperatura de 300 ºC ilustra o exposto.

Seja uma viga perfil I com 15 m de vão, sujeita a uma temperatura de 300 ºC (fase inicial de um incêndio) a partir de uma temperatura ambiente = 20 ºC:

o alongamento provocado pela dilatação será

$$\Delta l = \alpha . \Delta t . l = 1,2 \times 10^{-5} \times 280 \times 15 = 0,0504 \text{ m}$$

- o empuxo, se a dilatação fôr impedida será

$$P = \frac{\Delta l . E . S}{l} = \alpha . \Delta t . E . S$$

Admitindo-se: $E = 2 \times 10^{6}$ kg/cm^2
$S = 120$ cm^2

Teremos: $P = 1,2 \times 10^{-5} \times 280 \times 2 \times 10^{6} \times 120 =$
$= 806.400$ kg

Este efeito deve ser lembrado na ocasião do exame de uma estrutura atingida pelo fogo e evitar conclusões ditadas apenas pelos efeitos aparentes das chamas.

Destaca que os efeitos são mais sensíveis em elementos delgados e dotados de elevada difusibilidade térmica.

Logo o aço e mais particulamente o alumínio assim como os metais em geral devem merecer atenção.

Elementos de grande espessura, como por exemplo peças de concreto, e baixa difusibilidade, não sofrem uma distribuição uniforme imediata da temperatura, registrando um gradiente térmico na seção e os efeitos são diferenciais com deformação da peça em direção à fonte de calor.

Quando as extremidades são engastadas estes efeitos são atenuados pela ação direta do fogo sobre as fibras da face exposta, cujo módulo de elasticidade é substancialmente afetado, reduzindo os esforços induzidos.

3.2.10 ALUMÍNIO

O alumínio e suas ligas têm também uma vasta aplicação na construção.

A fusão ocorre a cerca de 650 ºC mas a temperatura crítica é de cerca de 250 ºC: logo a aplicação em estruturas deve sempre prever a proteção contra à ação do fogo quando o risco deste ocorrer fôr inevitável.

3.2.11 OUTROS METAIS

O cobre à temperatura de 600 ºC possui menos que 30% de resistência mecânica primitiva e o bronze menos que 10%.

Em geral os metais apresentam o comportamento típico de materiais incombustíveis mas não resistentes à ação do fogo.

Além da diminuição sensível da resistência mecânica, outro efeito do calor é a dilatação que, como já vimos para o aço, pode provocar a aplicação de esforços muito grandes nos apoios se o movimento fôr impedido.

3.2.12 CIMENTO-AMIANTO

O amianto em fibras ou em pó é incombustível e não sofre alterações a elevadas temperaturas.

Quando utilizado como agregado do cimento para componentes vários de construção, conjuga as suas propriedades com as do aglomerante. Os componentes são incombustíveis mas a resistência ao fogo é afetada, pois o material estilhaça, nomeadamente por causa do conteúdo de umidade, a temperaturas relativamente baixas ou por choque térmico a temperaturas elevadas.

Normalmente a proporção de amianto é de 10% mas quanto maior esta proporção tanto melhores são os característicos do produto.

3.2.13 VIDRO

1. Uma lâmina de vidro rompe sob o efeito do fogo em conse-

quência do gradiente de temperatura entre as faces mesmo quando este é de apenas 30 - 40ºC.

A temperatura tem por efeito alterar a viscosidade do vidro: assim um aumento de temperatura provoca uma diminuição da viscosidade. A 400-500ºC o vidro comum amolece sensivelmente até a temperatura de 800-1000ºC à qual a viscosidade é minima.

Normalmente portanto o vidro, quer por efeito do choque térmico, quer por suas propriedades intrínsecas, é material pouco resistente ao fogo.

Esta resistência é proporcional ao conteúdo em sílica, mas pode ser aumentada com processo de tempera.

Do primeiro caso temos como exemplo mais característico, o vidro Pyrex com mais que 90% de silica; do segundo vidro temperado. Este não sofre as consequências do choque térmico e amolece lentamente por volta de 550ºC.

2. Para o vidro comum, de aplicação mais generalizada, ensaios realizados no CSTB mostram que a ruptura se verifica/ entre 70 e 200ºC, com maior probabilidade por volta de 100ºC.

   Pelas razões já expostas a variabilidade das temperaturas de ruptura é contudo grande devendo-se considerar além do gradiente térmico a influência da própria natureza do material, sua espessura, o sistema de fixação, a natureza do marco.

   Quando o sistema de fixação mantiver a chapa rigidamente engastada no perimetro, a ruptura será mais imediata.

3. Quando é necessário garantir a integridade do vidro, além do temperado, cuja aplicação á todavia limitada pelo custo, pode-se recorrer ao vidro aramado.

   Além de ter um maior conteudo de silica, o vidro aramado incorpora uma tela de arame de ferro que não somente lhe confere resistência aos impactos, melhor resistência à flexão e segurança no caso de ruptura, mas também maior/ resistência à ação do fogo, por:

   - homogeneizar rapidamente a temperatura em virtude da tela possuir maior condutibilidade térmica e assim evi

tar o efeito de choque térmico,

- manter a integridade da chapa , mesmo quando alcançada a temperatura de fusão,
- manter a integridade em caso de ruptura por choque térmico inevitável pelo efeito dos jatos d'água.

4. A fibra de vidro, hoje bastante utilizada em revestimentos isotérmicos e como agregado em materiais compostos como o "fiber-glass", tem comportamento semelhante ao do material original.
Quando em mantas, a ação do fogo é facilitada pela elevada porosidade.
Recentemente foi introduzido no mercado um tecido de fibras de vidro especialmente indicado para cortinas. Sendo incombustível parece ser o melhor material para cortinas destinadas a vãos externos, sujeitos à propagação vertical direta das chamas e à transmissão por radiação.

3.2.14. MADEIRA NATURAL

1. A madeira é o combustível típico e seu comportamento já foi parcialmente analisado na segunda parte dêste trabalho.
Para êste material e seus derivados, assim como para os produtos celulósicos não existe tratamento que os torne incombustíveis.
Na página seguinte apresentamos um quadro mostrando o desenvolvimento típico da combustão da madeira.
2. Em geral o comportamento ao fogo varia conforme se trate de madeiras duras de lei (dicotiledôneas) ou de moles (coníferas). A temperatura de auto-ignição, segundo as espécies, passa de 300ºC (madeiras moles) para 500 ºC (madeiras duras), mas em determinadas circunstâncias pode ocorrer até a 150 ºC.
3. Mantendo-se durante um certo tempo a madeira a temperatura pouco superior a 100ºC, verifica-se a sua desidratação, cuja taxa duplica a cada 10ºC de aumento de temperatura.
4. Quando a madeira queima forma-se na sua superfície uma camada carbonizada que isola a camada inferior incombusta e a protege do calor : a velocidade de carbonização transversal varia de 0,6 a 1,0 mm/min.
5. A velocidade de propagação superficial das chamas varia também com as espécies sendo maior para as mais brandas.
6. A resistência mecânica é naturalmente afetada pelo calor : no sentido

QUADRO 224

COMBUSTÃO TÍPICA DE MADEIRA DE LEI (62A)

temperatura (ºC)	efeitos
100	- água livre evapora (fumaça branca)
150	- água de constituição evapora
	- reação endotérmica lenta
150 -225	- liberação lenta de gases
	- reação lenta endotérmica e exotérmica
250	- reação mais rápida
	- ignição piloto tem mais probabilidade de ocorrer
270	- reação exotérmica enérgica
	- temperatura interna aumenta rapidamente
	- grande produção de fumaça escura
	- grande produção de gases
	- ignição piloto ocorre
	- ignição superficial ocorre
270-350	- formação de carvão
	- inflamação na superfície
	- reação fortemente exotérmica
350-400	- máxima formação de gases
	- aparecimento de alcatrão
400	- cessa produção de fumaça
450	- ocorrência provável de auto-ignição
500	- auto-ignição ocorre
	- carvão é consumido

(62A) Adaptado de TRADA, The Fire Performance of Timber" High Wycombe (UK) ,1972.

paralelo às fibras em geral diminui ao aumentar a temperatura.

Madeiras duras são mais suscetíveis aos efeitos do calor sobre as propriedades mecânicas, do que as moles.

Shaffer, citado por Jackman (63) efetuou estudos e pesquisas sobre a ação da temperatura na resistência de madeira seca tendo apurado que as variações devem-se a mudanças na celulose, lignina e hemicelulose.

Ensaios sobre uma conifera americana (Douglas Fir ou "Pseudotsuga taxifolia") mostraram um aumento de resistência à compressão entre 100 e 288 ºC devida provavelmente à maior aderência entre as fibras por ação de resinas fenólicas, enquanto a resistência à tração sofre uma queda após os 140 ºC.

7. O módulo de elasticidade também diminui por efeito do calor até cerca de 225 ºC segundo uma relação linear: além desta temperatura a diminuição é mais rápida.

8. Os dados apresentados deveriam predispor a um julgamento completamente negativo quanto ao comportamento ao fogo da madeira.

Contudo quatro aspectos podem modificar esta opinião:

1) a importância da relação entre superfície e volume já assinalada na segunda parte deste trabalho,

2) a baixa velocidade de propagação transversal da combustão,

3) o efeito protetor da camada carbonizada superficial, decorrente do fato de o carvão ter uma condutibilidade térmica igual a cerca de um terço daquela da madeira,

4) o efeito da umidade.

Estes aspectos são certamente favoráveis: ensaios cita-

---

(63) JACKMAN P.E. "The effect of temperature on the mechanical properties of wood" em "The Fire Performance of Timber" TRADA, High Wycombe (U.K.) 1972.

dos por Tosi (64), sobre colunas de seção quadrada (30 x 30 cm) mostraram que sob a ação intensa do fogo na superfície, depois de uma hora, a temperatura no centro da seção era apenas de 40 ºC.

Por outro lado o baixo coeficiente de dilatação térmica evita os inconvenientes que assinalamos ao falar dos metais.

9. Portanto a madeira apesar de combustível, e desde que se trate de peças espessas, apresenta um comportamento evolutivo lento que evita o colapso repentino como pode ocorrer com estruturas metálicas.

Este comportamento pode ser sensivelmente melhorado mediante aplicação de camadas de proteção superficial.

3.2.15 CHAPAS DE MADEIRA RECONSTITUIDA

Vários materiais podem ser incluídos nesta categoria tais como, chapas de partículas, rígidas, isolantes, semirígidas, de fibras, duras, etc. Todos são combustíveis, inflamáveis, e propagam as chamas superficialmente.

O desempenho pode ser melhorado com tratamento ignífugo obtido por impregnação ou por pintura superficial, inclusive com tintas intumescentes.

Outra alternativa é representada pela proteção com camada superficial de gesso ou folha de papel de amianto.

A resistência contudo é rapidamente prejudicada dependendo do tipo de material.

3.2.16 PLÁSTICOS E ELASTOMEROS

1. O uso dos plásticos na construção aumenta dia a dia, quer em variedade quer em quantidade.

Seja qual fôr sua origem e composição, êstes materiais

(64) TOSI A., Tecnologie Antincendi nelle Construzioni, A.Vallardi Edit. Milão, 1950.

têm em comum um comportamento ativo ao fogo: são incontestavelmente inflamáveis e combustíveis.

Mas se a inflamabilidade e a propagação superficial das chamas pode ser controlada por meio de aditivos ignífugos que provocam a auto-extinção ou o retardamento das chamas, a combustibilidade não pode ser evitada por tratamento algum.

Na segunda parte deste trabalho procuramos destacar claramente a diferença entre inflamabilidade e combustibilidade, propriedades que não podem ser confundidas. Mostramos também o peso com que os plásticos participam no potencial térmico.

2. Os plásticos são classificados em duas grandes categorias: termoplásticos e termoestáveis, (ver quadro 22B).

Entre os primeiros incluem-se o PVC, o poliestireno, o acrílico, o polipropileno, os derivados da celulose, o nylon, etc.

À segunda categoria pertencem os plásticos ureicos, os fenólicos, as melaminas, o poliester, o poliuretano, o epoxi, etc.

Semelhantes aos plásticos termoestáveis são os elastômeros, dentre os quais destaca-se o neoprene.

3. Das categorias citadas, os da primeira são mais sensíveis à ação do fogo, por serem instáveis ao calor a temperatura relativamente baixa, fundindo antes de inflamar.

Em razão disso quando inflamados, gotejam: logo é recomendável seu tratamento ignífugo na massa.

Mas o uso de aditivos pode prejudicar outras propriedades e além disso o seu efeito não é sempre permanente, podendo declinar com o tempo.

O uso de plásticos exige portanto precauções inclusive quando aplicados como adesivos.

QUADRO 22B

COMPORTAMENTO DOS PLÁSTICOS APLICADOS NA CONSTRUÇÃO

Material	Aplicações	Comportamento
- TERMO-PLÁSTICOS		
- Poliestireno	Isolamento térmico, válvulas, lustres, acabamentos	AR-CR-FD-GT
- Polietileno	Impermeabilizações, isolamento térmico	AR-CR-GT
- PVC	Chapas p/coberturas, perfís para quadros de janelas e portas, persianas, forros e pisos, lustres, vêdos, conduits, tubulações para água e esgoto, tintas	AR-CR-GT
- Acrilico	Lustres, acabamentos, vedos e divisórias, aparelhos sanitários, domos	AR-CR-GT
- Polipropileno	Tubulações e acessórios sanitários	AR-CR-
- Nylon	Acessórios e carpetes	AR-CR-GT
- Nitrato de celulose	Tintas	CR-
- TERMO-ESTÁVEIS		
- Ureia-formaldeído	Adesivo para madeira reconstituida, espumas isolantes, acessórios para eletricidade	AD-CD-GT
- Fenol-formaldeído	Pisos, acessórios para eletricidade, laminados, tampas para bacias sanit., tintas	AD-CD-GT
- Poliuretano	Espumas isolantes ou para móveis	CN-FD-GT
- Melamina-formaldeído	Laminados, tintas	AD-CD
- Polyester	Tintas, fiber-glass	CR-FD
- Epoxi	Tintas, pisos e acabamentos fiber-glass	AD-CD

AD = amolecimento difícil
AR = amolecimento rápido
CD = combustão difícil
CN = combustão normal
CR = combustão rápida
FD = produção de fumaça densa
GT = produção de gases tóxicos

Este comportamento afeta também a aplicação dos testes usuais de inflamabilidade e está em curso na Fire Research Station inglesa uma investigação destinada a desenvolver métodos de ensaio mais adequados à natureza dos plásticos.

Um aspecto que deve merecer atenção é o uso de tubulações hidráulico-sanitárias embutidas em alvenarias, que por ser à base de termoplásticos, prejudicam a resistência ao fogo dos vedos.

4. Um dos aspectos mais críticos do comportamento que revelam ao sofrerem a ação do fogo, é sem dúvida a produção de gases tóxicos.

Embora o efeito destes gases não seja tão grave como o do monóxido de carbono, êles são nocivos e constituem um risco a ser prevenido.

Os plásticos que contém carbono, com oxigênio produzem monóxido de carbono.

O poliéster contendo também oxigênio, produz alguns ácidos como o acético.

Quando o conteúdo incluir nitrogênio, haverá presença nos gases de combustão, de ácido cianídrico e talvez também de amônia.

Fenóis podem ser produzidos de resinas fenólicas enquanto ácido clorídrico é presente na combustão do PVC.

As temperaturas às quais estes gases são produzidos em quantidades prejudiciais são variáveis. O ácido cianídrico contido nos gases de combustão do poliuretano passa de 0,5% do total apenas acima dos 1000 ºC, temperatura à qual também monóxido de carbono na mesma proporção está presente.

Já o PVC libera ácido clorídrico a temperatura pouco superior de 400 ºC em proporção de 5% ou mais.

Os gases produzidos por papéis de parede plásticos são em níveis bem menos perigosos do que os liberados por espumas de colchões e de estofados, mas em geral o monóxido de carbono contido nos gases de combustão de móveis, divisórias e forros alcança concentrações críticas bem antes de qualquer outro gás.

5. Há entretanto um outro aspecto a considerar não menos importante quanto ao risco: diz respeito à fumaça cujo efeito fisio-psicológico sobre as pessoas é conhecido.

De fato os plásticos geram fumaças mais densas e escuras do que a madeira, destacando-se o poliuretano, o poliester e o poliestireno.

3.2.17 TINTAS

1. As tintas em geral são combustíveis, portanto quando aplicadas na pintura de edifícios e seus componentes, contribuem para o fogo. Certamente não há como considerá-las no cálculo do potencial calorífico; sua contribuição apenas se restringe à propagação das chamas e assim mesmo de forma modesta, tanto assim que na maioria dos casos na classificação inglesa estão incluídas nas classes 0 e 1.

É importante contudo notar que êste comportamento presupõe a aplicação sobre base não combustível.

2. Segundo seu grau de reação ao fogo, na aplicação a bases incombustíveis podemos citar:

- borracha clorada, retarda a propagação
- fenol-formaldeido, de difícil ignição, queima lentamente e auto-extinguível
- ureia e melamina formaldeido, de difícil ignição
- resinas vinílicas, de difícil ignição
- temperas, de difícil ignição
- resinas epoxidicas, de difícil ignição e queima muito lenta
- óleo, inflamável

- resinas poliesteres e alkydicas, de ignição fácil, normalmente inflamáveis.
- nitrato de celulose, de ignição rápida, extremamente inflamável.

3. Algumas tintas, quando aplicadas a bases combustíveis podem reduzir ou retardar a propagação das chamas enquanto outras, chamadas intumescentes, sofrem uma expansão considerável de volume formando uma camada porosa isolante. Outras tintas desenvolvem gases que provocam a extinção das chamas e são chamadas ignífugas. É importante observar que a ação destas tintas é eficaz nas baixas temperaturas, portanto seu efeito é retardante. Às altas temperaturas, nenhuma tinta tem poder de impedir a ignição de materiais combustíveis.

3.2.18 CONCRETO ARMADO

1. O concreto armado como material composto tem seu desempenho a várias temperaturas, definido pelo comportamento dos materiais de que é constituído.

Portanto aquí não interessa mais considerá-lo como material amorfo ou semi-terminado mas em função de sua aplicação estrutural.

No capítulo seguinte será examinada a resistência ao fogo dos componentes de construção tal como foi definida na segunda parte deste trabalho. Neste parágrafo será analisada a distribuição da temperatura no interior de uma peça de concreto, será feito um resumo dos principais característicos para facilitar a aplicação nos parágrafos seguintes, e serão abordadas algumas disposições construtivas, e a função do recobrimento da armadura.

Com efeito, os dados que apresentamos nos tópicos anteriores devem ser corretamente interpretados, caso contrário deveríamos considerar o concreto armado como um material impróprio para aplicações em estruturas sujeitas ao risco do fogo.

2. Estudos realizados no CSTB francês e em outros centros de pesquisa mostram que a temperatura no interior de uma peça varia em função da distância da face aquecida.

Foi ensaiada, por exemplo, uma parede armada com 15 cm de espessura, revestida na face exposta por uma camada de gesso de 1 cm, na outra face por uma camada de argamassa também de 1 cm de espessura e na qual duas armaduras colocadas simetricamente se encontravam a 4 cm das respectivas faces externas. Submetida a um programa térmico normalizado durante 6 horas, a parede revelou as temperaturas registradas no quadro seguinte no qual os pontos indicados são respectivamente:

0 - Face externa exposta do revestimento
1 - Face do concreto a 1 cm da F.E.
2 - Armadura a 4 cm da F.E.
3 - Eixo da peça a 8,5 cm da F.E.
4 - Armadura a 13 cm da F.E.
5 - Face externa da peça a 16 cm da F.E.
6 - Face externa do revestimento na face não exposta

QUADRO 23

Variação da Temperatura no Tempo (ºC)

PONTOS	Tempo (h)							
	1/2	1	1 1/2	2	3	4	5	6
0	821	925	986	1029	1090	1113	1160	1193
1	650	770	830	890	950	1000	1040	1080
2	320	540	650	720	810	840	930	960
3	50	180	300	400	520	600	650	700
4	0	50	140	210	340	400	470	510
5	0	0	60	100	190	260	330	390
6	0	0	30	70	150	200	260	300

NOTA: As temperaturas do ponto 0 são da curva normalizada, as demais representam valores aproximados retirados de gráficos (65).

(65) FACKLER ET CABRET, Tenue au Feu des Bâtiments em REEF. CSTB Paris, 1968.

Outro ensaio mostrou que numa parede de concreto armado mantida numa face a uma temperatura de 1000ºC durante 8 horas, a 18cm dessa face a temperatura não passava de 100ºC.

Estes dados revelam que a problemática de integridade - estrutural de uma peça de concreto armado resolve-se:

1) adotando um cobrimento suficiente para manter a armadura a uma temperatura inferior à crítica,
2) considerando como seção útil do concreto apenas aquela parte cuja temperatura também seja mantida abaixo da critica,
3) assegurando a integridade do cobrimento durante todo o ciclo do fogo. (65A)

3. É importante lembrar que na espessura do cobrimento podem ser incluídos os revestimentos e acabamentos superficiais observando-se que para êsse efeito um cm de concreto corresponde a:

- 1,5 cm de argamassa mista de cimento, cal e areia
- 0,4 cm de revestimento de vermiculite ou de fibras de amianto ou de gesso.

Além disso utilizando-se agregados calcários a espessura do cobrimento pode ser reduzida de 10%, enquanto se os agregados forem leves a redução admissível será maior.

4. A proteção do aço não é obtida apenas com um cobrimento adequado, mas também utilizando seções mínimas das peças, de acôrdo com as observações já feitas nos parágrafos anteriores. Com isso procura-se especialmente evitar o fenômeno do descascamento ("spalling") do concreto que pode colocar as armaduras à vista.

Como veremos, algumas normas estabelecem portanto valores para estas dimensões mínimas.

Alguns autores estudaram o comportamento de vários tipos de concreto (66) mostrando a conveniência do uso de concretos leves. No quadro 24 estão registrados alguns dados citados por Taylor que comprovam essa propriedade.

(65A) Por cobrimento entende-se a camada de concreto que cobre e protege a armadura. Veja-se NB1/60-art. 41 - ou NB1/74 (proposta de revisão) art. 6.3.3.

(66) TAYLOR W.H., Concrete Technology and Practice, New York 1965
MALHOTRA H.L., The fire resistance of lightweight - concrete, em Proceedings of the First International Congress ou Lightweight Concrete, Vol. 2, Cement and Concrete Association, Londres 1970.

QUADRO 24

AGREGADO	RESISTENCIA AO FOGO (h)	ESPESSURA (cm)
léves	1	5,9
calcario		8,4
silicoso		9,3
leve	2	8,7
calcário		11,5
silicoso		12,1
leve	3	10,2
calcário		12,6
silicoso		13,7
leve	4	11,3
calcário		13,7
silicoso		14,7

3.2.19 RESULTADOS EXPERIMENTAIS DO CSTB

Já são vários anos que o CSTB francês vem realizando ensaios de caracterização de comportamento ao fogo de materiais e componentes de construção.

Apresentamos a seguir um resumo geral de dados referentes ao concreto armado, adotados na França para as verificações da resistência ao fogo (67).

(67) CSTB, Recommandations pour la prévision par le calcul du comportement au feu des structures en béton. Cahiers du CSTB 129/1103, Maio 1972.

3.2.19.1 CONCRETOS

1. COMPRESSÃO

Agregado	% de resistência inicial à temperatura de:				
	0ºC	250ºC	600ºC	900ºC	1000ºC
média	100	100	45		0
sílico-calcário	100	100	35	0	
outros	100	100	55		10

2. TRAÇÃO

	% de resistência inicial à temperatura de:		
	0ºC	50ºC	600ºC
Qualquer agregado	100	100	0

3. DILATAÇÃO

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l} = 10^{-5}/ºC$$

$$\frac{\Delta l}{l} = 0,8 \text{ a } 800ºC$$

4. MÓDULO DE ELASTICIDADE

	% do valor inicial à temperatura de:				
	0ºC	50ºC	200ºC	400ºC	600ºC
Qualquer agregado	100	100	50	20	10

5. CONDUTIBILIDADE

	% do valor inicial à temperatura de:		
	0ºC	500ºC	100ºC
qualquer agregado	140	80	80

6. PERDA DE PESO

7% acima de 300ºC (Convencional)

7. CALOR ESPECÍFICO

0,22 (Conv.)

3.2.19.2 AÇO PARA C.A.

1. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Tipo	% da resistência normal à temperatura de:				
	0ºC	250ºC	350ºC	500ºC	800ºC
CA24	100	-	100	50	0
CA40	100	-	100	-	0
Malha	100	100	-	-	0

2. DEFORMAÇÃO DE RUPTURA

100% (conv.)

3. DILATAÇÃO

$$\alpha = \frac{\Delta 1}{1} = 1,5 \times 10^{-5}/ºC$$

3.2.19.3 AÇO DE PROTENSÃO

1. RESISTENCIA E ELASTICIDADE CONVENCIONAL A 0,2%

% do valor original à temperatura de:			
0ºC	150ºC	500ºC	750ºC
100	100	25	0

2. DEFORMAÇÃO DE RUPTURA

% do valor original à temperatura de:		
0ºC	150ºC	300ºC
100	100	20

3. DILATAÇÃO

$$\alpha = 1,5 \times 10^{-5}/ºC$$

3.3.0 RESISTÊNCIA AO FOGO DOS COMPONENTES

1. A resistência ao fogo dos componentes de construção será aqui examinada segundo os critérios formulados na segunda parte dêste trabalho, isto é em função de:
   - estabilidade
   - estanqueidade
   - isolamento térmico

   Destaca que esta propriedade não é característica de materiais amorfos, ou semi-terminados, mas de componentes compostos, isto é produtos intermediários da edificação, fabricados industrialmente ou elaborados localmente e utilizados como unidades independentes e funcionalmente definidas.

   As três propriedades que asseguram a resistência ao fogo devem ser exigidas portanto segundo a função de cada componente, como ilustramos a seguir:

componente	critério
Pilar	estabilidade
Parede portante	estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico
Parede não portante e partição	estanqueidade e isolamento térmico
Porta e batente	estanqueidade
Janela e quadro	estanqueidade
Piso	estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico
Forro	estabilidade e estanqueidade
Viga	estabilidade
Tesoura	estabilidade

É frequente a necessidade de considerar-se conjuntos de componentes, ou seja componentes compostos e complexos, que podem formar partes da construção. Um forro e um piso, o primeiro funcionando como membrana e incluindo o meio de fixação e o segundo considerado com o seu acabamento, aos quais se associem dutos e tubulações, nêles incorporadas, constituem um sistema, cujo comportamento ao fogo é diferente daquele revelado por cada componente individualmente considerado.

É neste caso papel do arquiteto correlacionar as partes e identificar os efeitos recíprocos das relações.

A nossa análise, quando possível, destacará esse comportamento especialmente no que tange ao efeito dos componentes/secundários em relação aos primarios.

2. O principal parâmetro da resistência ao fogo é a estabilidade: esta é caracterizada por uma temperatura crítica (68) - isto é aquela temperatura à qual o componente estrutural sofre colapso ocasionado pela redução das tensões limites admissíveis por ação do fogo. Em outras palavras verifica-se/uma perda de capacidade de carga. Uma vez que para o dimensionamento às tensões limites teóricas que causariam a ruina é aplicado um fator de majoração chamado coeficiente de segurança, cujo papel é notório, quanto maior fôr este, maior será - à paridade de outras condições - a temperatura à qual o colapso se verifica.
3. Existe entretanto uma limitação a esta afirmação, representada pela temperatura crítica do material, à qual dedicamos o capítulo anterior, isto é aquela que praticamente anula - as suas propriedades e que condiciona portanto a temperatura crítica do componente.
4. Uma vez que a ação do fogo para certos materiais dá lugar a temperaturas críticas relativamente baixas que podem ocorrer nos estágios iniciais de um incêndio, não é -

(68) Esta temperatura crítica não deve ser confundida com a temperatura crítica de ignição correspondente à intensidade crítica da radiação.

economicamente possível aplicar-se coeficientes de segurança que compensem a redução da resistência ocasionada/ pelo fogo.

5. Logo, para que um componente apresente determinada resistência deve-se impedir que alcance a temperatura crítica, condição que pode ser obtida dotando-o de uma proteção isolante térmica compatível com a temperatura máxima à qual ficará sujeito, ou então utilizando sistemas/ que permitam absorver o calor por meio de líquidos. Se o próprio material constituinte do componente já possuir propriedades isolantes térmicas em grau suficiente, essa proteção é obtida mediante um dimensionamento proporcional, assegurando entretanto que a sua integridade não seja prejudicada.
Portanto a temperatura crítica de um componente pode ser aumentada por medidas extrínseças o que não ocorre com aquela dos materiais que o constituem.

6. Já tivemos oportunidade de mostrar que um incêndio é definido pela curva temperatura-tempo, logo podemos estabelecer na curva de um incêndio real o tempo necessário para alcançar determinada temperatura, facultando assim definir um limite mínimo ao tempo em lugar da temperatura.
Por este critério a resistência ao fogo é medida em minutos ou em índices representados por horas ou frações que correspondem ao tempo em que o componente conserva/ inalterado o seu desempenho.

7. Isto posto, a resistência a exigir é variável em relação às funções do componente e em proporção direta à duração do incêndio, que é o prazo máximo em que a incolumidade das pessoas deve ser garantida. Desde logo, aplicando os critérios analisados nêste trabalho, será possível estipular uma resistência R_f proporcional a uma duração calculada, segundo um dos vários métodos expostos.
O Código de Edificações poderá adotar apenas o critério da R_f proporcional ao potencial calorífico segundo o modelo, por exemplo, da regulamentação inglêsa, citada e analisada no tópico 2.2.3.1., deixando entretanto ao arquiteto a opção de aplicar qualquer método que leve em conta também o efeito da ventilação. Para esta alternativa o modelo poderia ser a regulamentação sueca (68A).
De qualquer maneira, é patente a necessidade de desvincular a R_f de uma relação apenas com o potencial calorífico, que se traduz em dimensionamento exagerado e antieconômico dos componentes.

(68A) Svensk Byggnorm 1967 (SBN 67) . Ver também nota (20)

8. Já esclarecemos no tópico 2.2.3.10. que a R_f é a duração verificada no ensaio padrão segundo o programa térmico ISO multiplicada eventualmente por um coeficiente de segurança. Não é a duração nas condições reais de um incêndio. A menos de um coeficiente de segurança existe uma equivalência entre as severidades do programa padrão e do incêndio real e as resistências exigidas correspondem às durações dos incêndios que condicionam a incolumidade dos moradores.

3.3.1. MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTENCIA

1. Até agora a resistência tem sido determinada por métodos experimentais em ensaios padronizados que utilizam fornos devidamente dimensionados.
Mas existem métodos numéricos que o uso de computadores no processamento de dados poderá tornar de aplicação mais fácil deixando supôr que a previsão possa ser feita de forma muito mais completa do que se fez até agora.
As restrições colocadas aos métodos experimentais decorrem principalmente do tamanho das amostras que devem ser ensaiadas em escala natural e isto para componentes estruturais representa frequentemente a impossibilidade de realização do teste.
Ainda para os componentes estruturais as mesmas razões obrigam a ensaiar apenas peças isostáticas e casos mais simples de hiperestáticas. Impossível também é ensaiar estruturas completas especialmente aporticadas.
As limitações práticas dos fornos obrigam portanto a redúzir também o número de parâmetros considerados e restringem , o que mais importa, a possibilidade de verificar as variações de comportamento face as próprias variações dos parâmetros.
Estudos para o uso de métodos numéricos estão adiantados em vários países, destacando-se os do Prof. Sullivan do Imperial College de Londres, relativos ao comportamento das estruturas hiperestáticas aporticadas (68B).

(68B) SULLIVAN B. Palestra proferida no seminário "Design for Fire Safety" organizado pela FIRECHECK, Queen's College, Oxford 1975

2. A evolução para o uso mais generalizado de componentes pré-fabricados está também a exigir a possibilidade de verificar-se a estrutura como um todo, na qual o ponto mais fraco é representado pela junta entre um componente e outro.

Neste trabalho serão citados os resultados de ensaios experimentais, mas para elementos estruturais faremos referência também aos estudos realizados em vários países visando definir métodos numéricos.

3.3.2 DIFUSIBILIDADE E MASSIVIDADE

1. Lembramos que para os ensaios o programa térmico adotado condiciona diretamente os resultados.

Em geral aplica-se portanto o programa recomendado pela ISO, ao qual já fizemos referência na segunda parte deste trabalho.

Contudo, quer se trate de um ensaio simulado, quer se trate de um caso real a temperatura do elemento em determinado instante não é igual à aplicada pelo programa.

Em outras palavras existe uma inércia térmica do elemento em relação à temperatura ambiente.

2. Esta inércia é inversamente proporcional à difusibilidade e, a paridade de difusibilidade, é também diretamente proporcional à massividade do elemento que é representada pela relação entre a área da seção transversal da peça e o seu perímetro (corresponde ao raio hidráulico), ou entre o volume e a área da superfície perimetral externa.

Os elementos de massividade elevada são maciços e os de massividade baixa são delgados.

Segundo o ISO R 834F o programa térmico padrão prevê u-

ma temperatura de 659 ºC depois de 10 min.

Verificou-se em ensaios para elementos maciços uma temperatura média de 275 ºC e para delgados uma temperatura média de 425 ºC.

Em continuação, à temperatura padrão de 821 ºC, alcançada após 30 min, elementos maciços revelaram uma temperatura média de 725 ºC e os delgados uma temperatura média de 775 ºC.

A inércia portanto diminui com o aumento da temperatura ambiente.

3.3.3 VEDOS VERTICAIS

1. No que tange às funções e à resistência ao fogo, os vedos podem ser externos e internos, portantes e não portantes.

   Genericamente falando, um vedo portante alcança seu limite de resistência ao fogo quando a perda de resistência mecânica ocasiona o calapso estrutural, enquanto um vedo não portante é prejudicado quando alcança o limite de transmissão térmica, a paridade de estanqueidade.

   Quanto às diferentes exigências para vedos internos e externos há que considerar a posição relativa eis que por exemplo uma parede construída na divisa para efeito de tecnologia do fogo pode-se tornar interna, ao ser construída outra edificação no lote adjacente.

   Na prática portanto várias condições podem se apresentar e merecem uma análise mais cuidadosa.

2. A função de um vedo do qual exige-se resistência é de confinar o fogo no espaço que ele define e de evitar a sua propagação.

   Por isso nos ensaios o programa térmico é aplicado apenas numa face.

   Uma parede externa/contínua, isto é desprovida de vãos, pode sofrer:

- a ação da radiação de um edifício vizinho incendiado.
- a ação direta das chamas de um edifício vizinho desde que próximo.
- a ação das chamas de um pavimento inferior somente quando houver colapso de parede inferior por ação do próprio fogo.

Se fôr descontínua, sofrerá também e mais severamente a ação das chamas que se propagam verticalmente através dos vãos abertos.

Numa parede interna registra-se a transmissão do calor por condução através de sua espessura e neste caso muito mais que no primeiro é provável a existência de material inflamável contíguo à face não exposta.

Algumas normas portanto fazem distinção nas exigências para vedos externos e internos, com menor rigor para os primeiros, desde que não portantes.

Paredes de alvenaria de tijolos maciços de boa qualidade são mais resistentes a paridade de condições do que as de tijolos furados.

Os tijolos furados são mais quebradiços e sofrem as consequências de tensões internas decorrentes do gradiente térmico entre face exposta e não exposta.

2. As dimensões dos componentes influem também no grau de resistência de vêdo: quanto menores, isto é quanto maior o número das juntas, tanto melhor o comportamento.

Blocos de concreto refletem especialmente as propriedades dos agregados: segundo a especificação inglesa já mencionada, os da classe 1 propiciam um melhor desempenho dos blocos dos que os da classe 2.

3. Os concretos celulares têm seguramente melhor isolamento térmico do que os concretos leves de agregados leves, mas perdem resistência mecânica devendo receber, segundo

Langdon-Thomas a mesma classificação dos concretos preparados com agregados classe 1.

Se utilizados em paredes portantes entretanto a espessura exigida é maior.
Bom comportamento é também apresentado pelos blocos de gesso.

4. A resistência ao fogo de qualquer alvenaria de tijolos ou de blocos pode ser melhorada se esta for revestida com uma camada de argamassa ou de gesso.

Na aplicação deve-se cuidar contudo que a aderência seja assegurada e mantida sob a ação do fogo e isto exige quase sempre o chapiscamento prévio de superfície a ser acabada.

Foge à regra, a argamassa de vermiculite que tem uma excelente aderência.

5. Vedos do tipo "curtain-wall" que utilizam chapas metálicas e outros materiais tais como vidro, cimento-amianto concreto leve, "fiberglass", simples ou em painéis sanduiche, são caracterizados por uma resistência menor do que as alvenarias comuns.

No seu desempenho é entretanto oportuno verificar também o sistema de fixação que representa sempre um ponto crítico.

6. Paredes portantes em geral têm seus índices de resistência ao fogo definidos em amostras de tamanho limitado pela capacidade dos fornos de ensaio: a altura nunca é maior de 3 metros.

Logo, especialmente em paredes portantes, ao se fazer o dimensionamento para pé-direitos maiores, deve-se corrigir o índice proporcionalmente.

Já dissemos em tópico anterior que os ensaios destinados a avaliar a estabilidade, são realizados com aplicação de cargas. Estas devem ser iguais às de trabalho de acôrdo com os característicos dimensionais e mecânicos do componente.

7. Quanto ao isolamento térmico é importante lembrar que materiais com capacidade calorífica elevada apresentam melhor comportamento especialmente no início de um incêndio. Esta capacidade é medida pelo produto do calor específico pela massa específica aparente.
Além disso a umidade e a água retida fisicamente e quimicamente ao ser liberada e evaporada, retarda a transmissão por condução.

8. Quanto à estanqueidade, o comportamento pode ser totalmente prejudicado por mau assentamento dos componentes, por deficiente execução das juntas e má qualidade da argamassa.

A este respeito convém assinalar que o uso de adesivos substituindo argamassas hidráulicas no assentamento de blocos e tijolos, pode sofrer restrições quando se tratar de produtos à base de resinas plásticas.

9. No quadro 25A abaixo apresentamos as espessuras mínimas para paredes executadas com:

1) tijolos maciços ou furados com proporção de vazios menor do que 40%.

2) blocos de concreto maciços ou furados, com proporção de vazios menor do que 30%.

3) blocos de concreto, furados com proporção de vazios entre 30 e 40% (69).

QUADRO 25 A

tipo de alvenaria	resistência ao fogo (h)	espessura (cm)
1-2	1	10
1-2	2	15
1-2	4	20
1-2	6	25
3	1	18
3	2	20,5
3	4	24,5
3	6	28,5

10. De acordo com as normas inglêsas para paredes revestidas com uma camada de argamassa de espessura mínima igual a 13 mm em ambas as faces, exige-se, as espessuras (no osso) reproduzidas no quadro 25 B de autoria de Langdon-Thomas:

QUADRO 25 B

Resistência ao fogo (h)	v. portantes			v. não portantes		
	4	2	1	4	2	1
1- Tijolos de barro cozido, tijolos de concreto, tijolos sílico-calcários	20	10	10	17	10	7,5
2- Id. revestidos com gesso e vermiculite	10	10	10	10	10	7,5
3- Blocos vasados de concreto com agregado cl. 1	10	10	10	10	10	7,5
4- Id. revestidos com gesso e vermiculite	10	10	10	10	7,5	7,5
5- Blocos vasados de concretos com agregado cl. 2	-	-	-	15	15	12,5
6- Id. revestidos com gesso e vermiculite	-	-	-	12,5	10	10
7- Blocos de concreto celular-m.e.a 480-1200 kg/m3	18	10	10	10	6,3	6,3
8- Parede de concre armado	18	10	7,5	-	-	-

Para outros tipos de vedos o mesmo autor fornece os dados registrados no quadro abaixo.

---

(69) CSTC, La Resistance Au Feu Des Elements De Construction, Bruxelles, 1.971.

QUADRO 25 C

Resistência ao fogo (h)	4	2	1,5	1	0,5
1- Partição com estruturas de madeira revestidas com chapas de gesso de 13 mm nas duas faces	-	-	-	-	x
2- A mesma com acabamento de 19 mm de gesso e vermiculite nas duas faces.	-	-	-	x	-
3- Chapas de gesso constituídas de 3 camadas de 19 mm colocadas com gesso.	-	x	-	-	-
4- Vêdo com estrutura metálica revestida c/ chapa isolante de amianto de 9,5 mm	x	-	-	-	-

11. O cotejo das espessuras recomendadas por normas de diferentes países revela algumas divergências que devem ser atribuídas ao fato de não existir ainda um método padrão comum de ensaio. A publicação "La resistance au feu des elements de construction" apresenta um interessante estudo comparativo das exigências de seis países que omitimos por brevidade (69).

Lembramos mais uma vez que a resistência ao fogo deve ser verificada em componentes terminados compostos com funções definidas a desempenhar. No caso por exemplo de uma partição não é apenas um problema de revestimento, mas de todo o conjunto incluindo a estrutura.

Assim, ao considerarmos uma parede de alvenaria corta-fogo cuja função seja de vedação numa estrutura de concreto-armado, é oportuno verificar os efeitos da dilatação diferencial que podem concorrer para a formação de fissuras perimetrais na alvenaria. Estas serão evitadas'

com juntas preenchidas com lã de rocha e com tintas intumescentes.

12. Quando os materiais primários forem sensíveis aos choques termicos, como ocorre com os tijolos furados, o ensaio de resistência deverá incluir o jato d'água ("hose-stream") a ser aplicado no fim do programa térmico.

3.3.4 COMPONENTES ESTRUTURAIS

Em geral para componentes estruturais aplica-se apenas o critério de estabilidade.

Logo as investigações visam determinar a temperatura crítica do elemento. Cotejada com o programa térmico a mesma permite estabelecer o tempo de resistência ao fogo da peça examinada. Para aumentar este tempo é necessário proteger a peça com material resistente de maneira a retardar a temperatura crítica.

As pesquisas mostraram que existem vários fatores que influenciam diretamente a temperatura crítica.

Serão analisados nos tópicos seguintes.

3.3.5 AÇO

1. Segundo Magnusson e Pettersson (70) pode-se determinar teoricamente a temperatura crítica de uma viga de aço ao variar a carga aplicada.

   Para um perfil I (aço 37) os mesmos autores obtiveram os seguintes resultados:

   Proporção da carga aplicada em relação à carga de cálculo:
   - 0,4..... 615ºC
   - 1,0.....475 ºC
   - 1,4..... 360ºC

---

(70) MAGNUSSON S.E. and Pettersson O., Kvalificerad Braudteknisk Dimensionering av Stalbarverk, Lund Institute of Technology Lund, 1969.

Segundo os mesmos autores também a forma tem certo efeito sobre a temperatura crítica: uma seção cilíndrica tem uma temperatura crítica maior do que um perfil I à paridade de outras condições.

2. Witteveen citado por Lie, verificou teoricamente a influência das condições de apoio: a paridade de condições uma viga hiperestática sofre colapso quando o limite de escoamento alcança 35% do valor original (à temperatura ambiente) enquanto para uma viga isostática o fenômeno ocorre a 51% do valor original.

Para vários tipos de aço, vigas de perfil I apresentam segundo dados coletados pelo mesmo autor, as seguintes temperaturas críticas:

	St. 35	ASTM A36
- isostáticas	390	490
- hiperestáticas	475	590

As conclusões acima foram obtidas a partir da hipótese de uniformidade de temperatura em cada seção transversal.

Na prática a temperatura é normalmente mais elevada na parte inferior da viga registrando-se uma diferença de 100 a 200ºC entre a aba inferior e a superior e a temperatura crítica efetiva é menor.

3. Outros fatores influem no comportamento das vigas de aço, entre os quais inclui-se o efeito do regime plástico.

Segundo Lie pode-se adotar para os cálculos uma temperatura crítica igual a:

- 420ºC para vigas isostáticas
- 520ºC para vigas hiperestáticas.

Para as colunas de aço, além da influência dos fatores já citados, cabe considerar a estabilidade ao equilíbrio elástico.

4. Cuomo(61) verificou a variação da tensão de flambagem em função da temperatura e da esbeltéz, para um aço 37. Adotando um coeficiente de segurança igual a 1,9 para $\lambda < 30$, a 3,3 para $\lambda > 90$ e variavel entre 1,9 e 3,3 para $30 < \lambda < 90$, Cuomo observou que a temperatura crítica é maior para colunas compridas do que para as curtas.

5. Segundo Lie, na prática pode-se assumir:

   - 520ºC para $\lambda \geqslant 100$
   - 420ºC para $\lambda < 100$

   Cotejando essas temperaturas com as do programa térmico/ ISO, verificamos que a Rf é menor do que 5 min.
   Destarte é indispensável prever a proteção de elementos/ estruturais para assegurar sua resistência ao fogo dentro de limites razoáveis.

6, A proteção deve ser executada com materiais que apresentam por sua vez uma resistência ao fogo satisfatória na gama de temperaturas analisadas, como por exemplo: o gesso, os concretos leves, a vermiculite, o concreto celular, o amianto, a lã de rocha, etc.
   A espessura do revestimento será dimensionada em função/ da R_f desejada considerando que o mesmo deverá proporcionar um isolamento térmico suficiente para manter em determinado tempo a temperatura da peça abaixo da temperatura crítica.

3.3.5.1 DIMENSIONAMENTO DO REVESTIMENTO DE PROTEÇÃO

1. Para o estabelecimento de um método de dimensionamento partimos das seguintes hipóteses:
   - o programa térmico é dado pela curva ISO R 834 F,
   - a variação da temperatura da peça em função do tempo é linear,

- a condutibilidade térmica do material não é considerada variável em função da temperatura, adotando-se para seu coeficiente um valor médio,
- o regime de troca é permanente,
- o material de revestimento é leve e sêco.

2. A quantidade de calor recebida pela peça durante um intervalo de tempo $\Delta\tau$ é dada pela expressão seguinte:

$$\Delta Q = (t_a - t_i)\,\Delta\tau\, K\, S$$

onde:

t_a = temperatura em ºC do ambiente ou do forno no instante considerado.

t_i = temperatura do aço no instante considerado.

$\Delta\tau$ = intervalo de tempo em h.

K = coeficiente de transmissão térmica em $kcal/m^2 h ºC$ entre o ambiente e a superfície do aço.

S = superfície de desenvolvimento interno do revestimento por unidade de comprimento, em m^2/m.

Ao receber essa quantidade de calor a peça sofre um aumento de temperatura dado pela expressão seguinte:

$$\Delta t_i = \frac{\Delta Q}{c_a\, \gamma_a\, V}$$

onde:

Δt_i = acréscimo de temperatura do aço em ºC no intervalo de tempo

c_a = calor específico de aço, em kcal/kg ºC

γ_a = massa específica do aço em kg/m^3

V = volume do perfil de aço por unidade de comprimento, em m^3/m.

3. Da combinação das duas expressões acima obtemos:

$$\Delta t_i = (t_a - t_i)\Delta\tau \frac{K}{c_a \cdot \gamma_a} \cdot \frac{S}{V}$$

Sabendo-se que, $K = \dfrac{1}{\dfrac{1}{\alpha} + \dfrac{d}{\lambda}}$

e que para α pode-se adotar um valor igual a 100 kcal/m^2 hºC, podemos relacionar a espessura "d" do revestimento com os outros parâmetros da peça.

4. A partir dessas relações, admitindo para o aço uma temperatura crítica igual a 540 ºC, o CSTC calculou as seguintes expressões de "d" em função de $\frac{S}{V}$, isto é dos característicos geométricos da peça e do revestimento e de λ do revestimento (71):

QUADRO 26

R_f (h)	d (mm)
0,5	$(0,362\ r - 10)\ \lambda$
1,0	$(0,934\ r - 10)\ \lambda$
1,5	$(1,610\ r - 10)\ \lambda$
2,0	$(2,335\ r - 10)\ \lambda$

Onde λ = coeficiente de condutibilidade térmica do revestimento em kcal/mhºC, e

$$r = \frac{S}{V} \qquad (m^{-1})$$

Para materiais úmidos pesados as expressões acima são a favor da segurança.

O CSTC elaborou também abacos mais gerais, que podem ser encontrados na publicação citada.

Os valores de λ para temperaturas entre 400 e 700ºC podem ser encontrados no quadro 17?.

---

(71) CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUTION, La resistence au Feu des Elements de Construction, Bruxelles 1.971.

3.3.6 CONCRETO ARMADO

1. A resistência ao fogo das peças de concreto armado é influenciada por vários parâmetros, a saber:
   - a forma geométrica, as dimensões e a massividade,
   - a rigidez e as condições de apoio,
   - o tipo de concreto, a natureza dos agregados e a resistência mecânica,
   - o tipo de aço, sua tensão de escoamento à tração, sua temperatura crítica,
   - o recobrimento e a proteção adicional das armaduras,
   - a carga aplicada e o coeficiente de segurança,
   - o tipo de estrutura.

2. A maior ou menor influência de cada fator depende da natureza da peça considerada. Em geral para os elementos fletidos, o escoamento do aço determina o colapso da peça.

   As pesquisas mostram também uma relação entre a flecha no meio do vão e a temperatura do aço.

3. Dados registrados por Lie, permitem estabelecer as seguintes relações médias:

QUADRO 27

Flecha	temperatura do aço (ºC)	
	concreto armado	concreto protendido
1/200	180	180
1/100	345	345
1/50	545	445
1/25	670	450

As mesmas referem-se a ensaios de vigas dimensionadas com um coeficiente de segurança aproximadamente igual a 2,75 para o concreto protendido e aproximadamente igual a 2,00 para o concreto armado.

Desvios do valor médio acima se registram facilmente especialmente com vigas protendidas, por deslizamento dos arames e descascamento do concreto.

No caso citado, a ocorrência de uma flecha no meio do vão, igual a 1/25 do vão foi considerada como ponto de colapso da peça, logo a temperatura correspondente foi considerada crítica. Segundo alguns autores o limite de 1/30 pode ser adotado.

No programa térmico padrão as temperaturas de 450 e 670 ºC são alcançadas em menos de 5 minutos a primeira, e em cerca de 10 minutos a segunda.

4. Em geral vigas isostáticas e pilares sujeitos a cargas excêntricas, sofrem ruína quando aquecidos na face tracionada por:

- formação de um rótula plástica, quando a resistência ao escoamento da armadura tracionada é reduzida à tensão de trabalho: nestas condições a deformação aumenta rapidamente e a altura da zona comprimida diminui provocando a ruptura do concreto comprimido,
- dilatação térmica da zona tracionada provocando a ruptura do concreto na zona comprimida antes do escoamento da armadura tracionada,
- ocorrência simultânea das condições acima.

Dois fatores determinam as condições do colapso (72):

$$\alpha = \mu \frac{\sigma_e}{\sigma_c} \qquad \beta = \frac{\sigma_e}{\sigma_f}$$

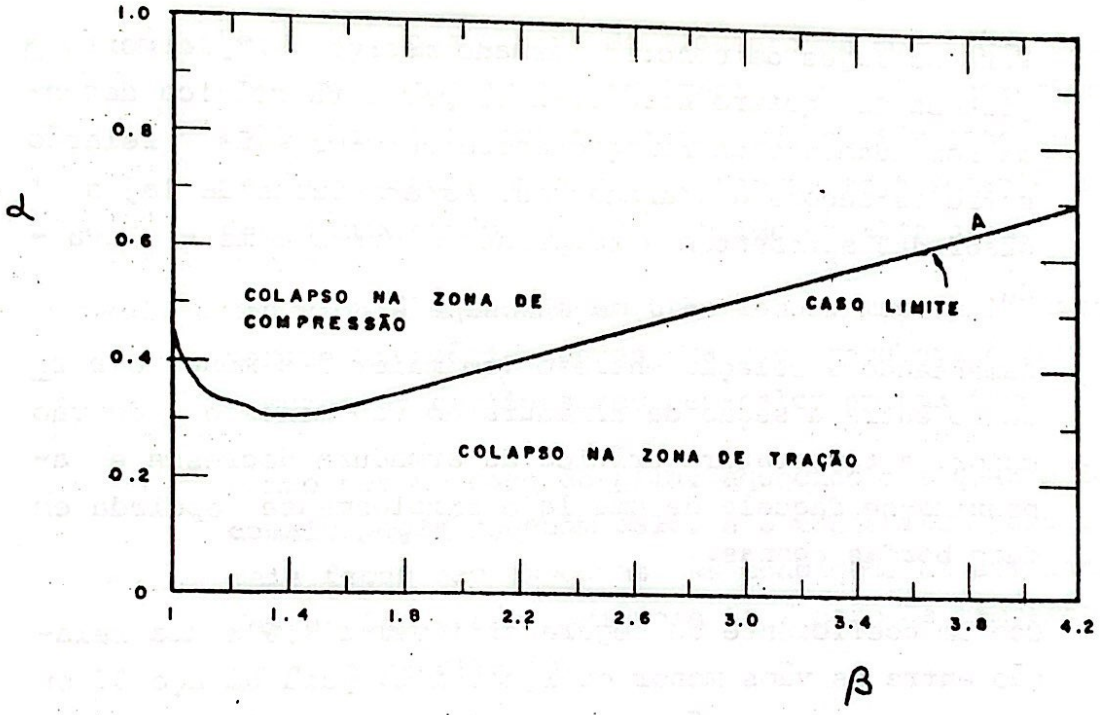
onde: $\mu = \dfrac{S_f}{bh}$

e as demais notações são as da NB1/60.

Posto que α representa a influência das dimensões, da resistência e das propriedades da armadura e do concreto enquanto β leva em conta a influência da carga, para valores de $\alpha < 0,3$, correspondentes a pequenas seções

---

(72) BUSHEV V.S. et Al., Ognestoikost' Zdanii, tradução inglesa, Fire Resistance of Buildings, National Lending Library for Science and Technology, Boston Spa, 1966.



$$\alpha = \mu \frac{\sigma_e}{\sigma_c} \qquad \beta = \frac{\sigma_e}{\sigma_f}$$

$$\mu = \frac{S_f}{bh}$$

FIG. 12

(BUSHEV et AL.)
(apud LIE)

de armadura tracionada ou a grandes seções transversais da peça, o colapso verifica-se na zona tracionada para qualquer carga.

Para $\alpha > 0,3$ a ruptura poderá ocorrer quer na zona tracionada quer na comprimida cujo limite é definido pela curva A da fig. 12.

Em geral o colapso de uma viga é causado pela ruptura do concreto na parte superior devida à dilatação térmica e ao escoamento do aço na parte inferior da seção.

5. Para as lajes de concreto armado maciço, simplesmente apoiadas nas quatro bordas, a temperatura crítica depende nomeadamente da relação entre os vãos e da relação entre as seções das armaduras. As armaduras de lajes quadradas apresentam a temperatura crítica mais elevada.

Aumentando a relação entre o vão maior e o menor e a relação entre a seção da armadura do vão menor e a do vão maior, a temperatura crítica da armadura decresce e aproxima-se daquela de uma laje simplesmente apoiada em duas bordas apenas.

Com um coeficiente de segurança igual a 1,6 e uma relação entre os vãos menor ou igual a 2, para um aço 37 ou 50 a temperatura crítica passa de cerca de 800º C quando a relação entre as seções das armaduras é igual a 1, até 470 ºC quando dita relação é igual a 10.

3.3.6.1 DIMENSIONAMENTO DAS PEÇAS DE CONCRETO ARMADO

1. Para o dimensionamento correto de peças de concreto armado às quais fique assegurada a R_f exigida é mister conhecer em primeiro lugar a temperatura alcançada pelo aço.

2. No tópico 3.3.5.1 ao tratarmos da proteção de elementos estruturais de aço, apresentamos um exemplo de aborda-

gem de avaliação da temperatura aplicando hipóteses simplificadoras. No caso de peças de concreto armado tais hipóteses podem também ser adotadas.

Em linha geral o fluxo de calor em elementos estruturais durante um incêndio, é influenciado por vários fatores, a saber:

- as condições de exposição e de esfriamento,
- as propriedades do material,
- as dimensões do elemento e os de seus componentes,
- a espessura da proteção,(72A).

3. De acordo com o tipo de elemento as condições de exposição podem variar sensivelmente: um pilar normalmente recebe calor nas quatro faces, mas se fôr externo poderá se dar o caso que a face aquecida seja somente uma, o mesmo ocorrendo se for embutido em alvenaria.

   Uma viga é aquecida em três faces, mas se integrar uma parede divisória apenas uma face receberá calor. Lajes e muros ou cortinas recebem calor em uma face.

   A não ser no caso do pilar aquecido nas quatro faces, as demais peças recebem calor e o transmitem para uma ou mais faces não expostas. As condições de esfriamento destas faces são variáveis em função da temperatura do ar e da ventilação.

4. As propriedades do material são expressas pela difusibilidade, parâmetro ao qual já nos referimos várias vezes neste trabalho e que mede a velocidade de transmissão em regime variável, e é variável em função da temperatura.

   As dimensões, especialmente aquela em que o fluxo de calor se realiza e em geral as que definem a massividade do elemento, variam de acordo com a forma e função do mesmo. As variáveis a tomar em consideração para um cálculo cuidadoso de temperatura são portanto em grande nú

(72A) O rigôr na execução do cobrimento deve ser máximo no concreto aparente que não recebe proteção adicional.

mero e não é possível fazê-lo analiticamente.

Algumas simplificações são portanto necessárias e adotam-se normalmente as seguintes:

- a temperatura das faces expostas é igual à temperatura do fogo,
- as propriedades térmicas do material são consideradas constantes,
- o programa térmico é substituído por uma curva de aquecimento constante, a uma temperatura correspondente ao valor médio da curva padrão.

A expressão dessa curva é a seguinte:

$$T_m = 150 \ (\ln 480t - 1) - \frac{30}{t}$$

Esta simplificação conduz a diferenças raramente maiores do que 10%, que não afetam substancialmente os resultados (72A).

5. Lie, na publicação citada apresenta as expressões para a determinação da temperatura em elementos estruturais mais comuns, completando-as com nomogramas de aplicação imediata.

Uma determinação mais precisa pode também ser encontrada na publicação do CSTB já citada (73) efetuada com a aplicação do método de Binder e Schmidt, para a qual foi desenvolvido também um programa de computador.

Conhecendo-se a temperatura alcançada em função do tempo pode-se imediatamente estabelecer o valor de R_f, isto é o tempo necessário para alcançar a temperatura crítica do aço (74). Em virtude dos objetivos deste trabalho deixamos de considerar mais detalhadamente esse assunto.

6. Para efeitos práticos é suficiente utilizar os gráficos para determinação das dimensões mínimas e do recobrimento mínimo do aço em peças de concreto armado, elaborados pelo CSTC a partir das recomendações do FIP/CEB.

---

(73) CSTB, Recommandations pour la prévision par le calcul du comportemente au feu des structures en béton.Cahier 129/1103-Paris 1972.

(74) Lembramos que em geral as normas adotam como unidade ou grau de R_f a hora ou meia hora.

(72A) LIE, obra citada.

7. Destaca que esses gráficos foram calculados para uma temperatura crítica do aço igual a 500ºC.

Caso a temperatura crítica adotada fôr diferente, a espessura do recobrimento deverá ser modificada.

Se por exemplo o gráfico indicar uma espessura de 4,5cm e a temperatura crítica fôr de 450ºC, a espessura a ser adotada será:

$$e = 4,5 + \frac{500 - 450}{100} = 5 \text{ cm}$$

8. Desta análise pode-se concluir facilmente que as exigências estipuladas pela NB1/60 no que tange à proteção da armadura dos efeitos do fogo, são insuficientes.

A referência feita no artigo 42, que diz respeito às medidas especiais de proteção a serem tomadas em relação à ação prejudicial de agentes externos incluindo altas temperaturas, não é suficientemente específica para assegurar a segurança contra o fogo.

9. Na prática poderão ser aplicadas as recomendações do CEB (Comité Europeu do Betão), que acompanham esta tese como anexo A, ressalvadas as observações já feitas a respeito do efeito da ventilação.

Os critérios serão vistos na quarta parte deste trabalho.

Além disso disposições construtivas adequadas devem ser adotadas, como veremos no tópico seguinte.

3.3.6.2 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

1. Para os pilares é preferível utilizar agregados calcários por estarem menos sujeitos a lascamento.

Nestas peças a armadura deve ser constituida do maior número possível de barras de pequeno diâmetro, evitando de colocá-las nos cantos.

2. Nas vigas e outras peças sujeitas a flexão é oportuno evitar condições isostáticas.

Com efeito as temperaturas mais elevadas registram-se nas faces inferiores das vigas e lajes, atingindo mais facilmente a armadura tracionada.

Numa peça hiperestática a armadura superior é menos prejudicada podendo assegurar a estabilidade, mas é também aconselhável proteger a armadura inferior com recobrimento suficiente ou com revestimento especial.

Por outro lado é oportuno prever sempre armaduras de tração na parte inferior da seção mesmo quando não exigidas pelo cálculo ou pelas normas.

Para evitar o descascamento do recobrimento quando a sua espessura fôr maior do que 5 - 7 cm, aconselha-se colocar à distância de 1,5 cm da face exposta u'a malha de proteção de 30 x 30 cm constituída de arames de Ø 3 mm.

Nas vigas, uma vez que as faces laterais e inferior são as mais atingidas, deve-se evitar de concentrar as armaduras nos cantos, procurando distribuí-las em pelo menos duas camadas, utilizando também estribos duplos.

Nestas peças é também preferível adotar seções prismáticas evitando-se as com mesa inferior, pois a experiência mostra serem os cantos salientes os mais sujeitos a temperaturas elevadas.

3. Nas lajes a armadura deve ser ancorada nas extremidades a menos que se trate de aços de elevada aderência para os quais é suficiente prolongar além do eixo do apoio, uma parte das barras correspondendo em número, a 1/6 da seção por metro.

As lajes mistas e as pré-fabricadas exigem um cuidado especial nas juntas entre as fiadas de tijolos ou blocos e entre êstes e as nervuras premoldadas. Estas jun-

tas devem ser de preferência protegidas com argamassa especial e nunca ter uma cavidade maior do que 1,5 cm.

4. As disposições construtivas acima sugeridas, podem ser consideradas anti-econômicas. Antes de adotá-las sua viabilidade deverá ser cotejada em relação à aplicação de revestimentos protetores.

Para evitar o efeito prejudicial da dilatação térmica consequente à ação do fogo, devem ser previstas juntas de dilatação e cabe ao engenheiro estruturista evitar seu excesso, que pode afetar o dimensionamento satisfatório em relação às cargas.

Geralmente admite-se que o espaçamento das juntas estipulado nas normas é suficiente, mas uma atenção maior convém seja dada às suas espessuras.

De acordo com recomendações francesas pode-se adotar uma espessura de 2 cm para uma resistência de duas horas.

Para outras exigências a espessura será linearmente proporcional às temperaturas médias alcançadas, servindo para orientação os dados do quadro seguinte:

QUADRO 28

Peças Expostas	Temperaturas alcançadas em					
	$\frac{1}{2}$ h	1h	$\frac{3}{2}$ h	2h	3h	4h
Em uma face:	100	200	300	350	450	500
Em duas faces:	150	300	400	500	600	700

5. Recomenda-se também proteger a cavidade da junta com materiais flexíveis e resistentes ao fogo (estanqueidade e isolamento térmico).

Ressalta que certos detalhes, especialmente a espessura do recobrimento, devem ser explicitamente registrados nas plantas para assegurar o atendimento na execução, prevendo-se as respectivas tolerâncias que não poderão exceder ± 10%.

3.3.7 PISOS

1. As técnicas atuais permitem a execução de pisos de vários materiais, a saber:

   - assoalho de madeira,
   - abobadilhas cerâmicas com vigas de aço,
   - lajes de concreto armado fundidas "in situ",
   - lajes mistas de elementos cerâmicos ou de concreto e concreto armado,
   - lajes premoldadas com nervuras e elementos cerâmicos ou de concreto,
   - painéis pré-fabricados de concreto armado ou protendido.

   Em geral hoje no nosso meio prevalecem os pisos de concreto armado.

   Para efeito da resistência ao fogo, são considerados apenas pisos afastados do solo, supondo-se que a ação se exerça na face inferior.

2. Assoalhos comuns constituídos de um barrotamento e de tábuas justapostas não são considerados resistentes ao fogo. Se as tábuas tiverem encaixe de macho e fêmea, a resistência admissível é de 10 minutos.

   Para conseguir-se uma resistência de 1/2 hora, o assoalho deverá ser forrado inferiormente com estuque de gesso ou com uma película de gesso de pelo menos 5 mm de espessura.

   O uso do assoalho de madeira é atualmente restrito a sobrados econômicos e o índice de resistência exigido é o mínimo indispensável para o afastamento dos moradores. Logo pode-se admitir $R_f = 0,5$ h.

3. As abobadilhas cerâmicas com vigas de aço são pouco utilizadas no Brasil e não serão aqui analisadas.

4. Mais comuns são as lajes mistas e as parcialmente pré-fabricadas constituídas de nervuras premoldadas de concreto e de elementos cerâmicos ou blocos de concreto. A resistência é função da espessura do recobrimento do aço mas uma altura mínima deve ser observada. Logo podem ser assimiladas às lajes maciças cujo desempenho já foi analisado em tópico anterior.

   Para o cálculo da altura mínima será considerada a soma das camadas maciças, incluindo-se o acabamento do forro segundo os mesmos critérios adotados para os elementos estruturais de concreto armado.

3.3.8 MEMBRANAS DE PROTEÇÃO

1. Para certas partes de construção cuja resistência ao fogo mostra-se deficiente, em lugar de procurar incrementá-la através de medidas intrínseças é preferível recorrer ao seu confinamento por meio de membranas protetoras.

   Esta solução, cuja viabilidade econômica é intuitiva, destina-se especialmente a paredes e pisos.

2. Para paredes, três condições de exposição podem ser consideradas:

   1) a parede deve ser resistente à exposição alternativa ou concomitante nas duas faces e a membrana é responsável pela resistência,

   2) a membrana pode contribuir parcialmente para a resistência global ao fogo,

   3) a resistência da parede é exigida somente para a exposição numa face (75).

---

(75) LANGDON-THOMAS G.J., Fire Safety in Buildings, A.C. Black Edit. Londres, 1972.

Se a membrana deve garantir sozinha a resistência global, então deve ser fixada, unida e acabada de forma a atender aos três critérios de ensaio padrão, isto é: estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico.

Existem circunstâncias contudo em que a parede não tem por si necessidade de ser resistente ao fogo, cabendo-lhe entretanto proteger um elemento estrutural embutido.

Nesse caso se fôr utilizada uma membrana, esta deverá proteger completamente o elemento a ser preservado. Em qualquer circunstância é indispensável assegurar a continuidade da membrana, mas isto representa certa dificuldade.

Com efeito, o colapso de outra parte da construção pode atingir e prejudicar a integridade da membrana e afetar sua função.

3. Dependendo do desenho das superfícies a serem protegidas ou do perfil dos elementos, a aplicação de uma membrana externa pode criar cavidades nas quais gases de combustão penetram através de juntas permeáveis. É portanto oportuno interromper estas cavidades com septos transversais.

4. Para os pisos a função da membrana de proteção pode ser desempenhada por forros suspensos. Uma vez que estes preenchem também outras finalidades é necessário proceder a um correto balanceamento de seus requisitos, para que atendam satisfatoriamente a todas as funções.

Claro é que devem ser excluídos materiais inflamáveis e que possuem elevada velocidade de propagação das chamas. Contudo num forro devem ser consideradas pelo menos três outros aspectos:

1) o sistema de fixação deve manter a sua integridade sob a ação do fogo. Logo o próprio forro deve protegê-lo e este requisito é particularmente importante quando o forro é constituído de uma estrutura de sus-

tentação e de chapas de revestimento.

A estrutura, de madeira ou metálica não pode ficar aparente, sendo oportuno que as juntas das chapas se realizem por encaixe macho e fêmea.

A chapa deve funcionar como membrana de proteção não somente do piso mas da própria estrutura de sustentação para a qual deve-se também assegurar isolamento térmico suficiente para evitar, quando metálica, dilatações prejudiciais.

2) Aberturas para luminárias e "plafonniers", furos para dutos e qualquer outra descontinuidade devem ser protegidos com mantas ou com material a granel, amianto ou lã de rocha, e com tintas intumescentes.

3) Cavidades e desvãos que venham a ser formados entre o forro e o piso devem ser interrompidos por septos transversais.

Se estas condições não forem asseguradas o forro não poderá ser considerado como membrana protetora.

3.3.9 COBERTURAS

1. As coberturas desempenham várias funções mas em relação ao fogo não existem condições práticas de ensaios globais a não ser reais.

É difícil portanto estabelecer índices de resistência e podem apenas ser indicados critérios gerais de projeto.

Uma cobertura pode ser constituída de um telhado, de um teto plano, de uma abóbada ou de uma cúpula. Para cada tipo a análise deve ser reconduzida aos seus componentes.

2. Para um telhado temos: a estrutura constituída de tesouras ou arcos e de terças, o madeiramento constituído de caibros e ripas e o telhamento.

Ao ser considerada a ação do fogo, duas condições de ex-

posição são fundamento para a resistência dos componentes: a exposição inferior que procede de incêndio do próprio edifício e a exposição externa às chamas e à radiação, de incêndio de edifício vizinho.

No primeiro caso joga papel importante o forro se a cobertura fôr constituída de um telhado, e a estrutura se fôr constituída de um teto plano ou uma abóbada.

No caso de um telhado também a resistência da estrutura é de suma importância.

No segundo caso o telhamento ou a camada de proteção são os primeiros elementos atingidos dos quais deve-se exigir resistência, não inflamabilidade e não propagação do fogo.

Logo no primeiro caso trata-se de aplicar os critérios de resistência a cada componente, já analisados nos parágrafos anteriores.

No segundo, esses critérios não são suficientes devendo-se dar muito mais ênfase às propriedades da camada de proteção e ao telhamento, nomeadamente em edifícios baixos. Com efeito a propagação do fogo dá-se pela ação direta das chamas provenientes de um edifício incêndiado próximo, de tições e fagulhas e por radiação.

3. A camada protetora de um teto plano destina-se a assegurar sua impermeabilidade e é em geral constituída de materiais inflamáveis.

É notório o fato destes produtos sofrerem envelhecimento precoce por efeito da radiação solar e que no intúito de evitá-lo é conveniente protegê-los com uma derradeira camada constituída de seixos, chapas cerâmicas, blocos de concreto celular, nódulos de argila expandida ou ainda mantendo-os permanentemente recobertos por uma película de água.

Com exceção desta última alternativa, as demais soluções são também suficientes para evitar a inflamação dos mate

riais impermeabilizantes e a propagação superficial das chamas.

4. Para um telhado, em que a camada de revestimento é constituída de componentes em geral muito delgados e na qual é grande o número de juntas, é recomendável observar os mesmos critérios já indicados para as películas em geral.

5. Mas, além disso a escolha dos componentes do telhamento deve ser feita cuidando-se não somente que possuam resistência ao fogo e não contribuam para o seu desenvolvimento, mas também que conservem suas propriedades mecânicas inalteradas sob o efeito de temperatura pouco acima das temperaturas ambientes.

   Sabe-se de fato que alguns termoplásticos amolecem e deformam sensivelmente a temperatura abaixo de 100ºC, provocando a descontinuidade do telhamento e perdendo a sua capacidade de vedação,

   Assim o efeito de tições e fagulhas é facilitado, especialmente quando da ocorrência concomitante de ventos violentos.

   A maioria dos plásticos utilizados nas coberturas é entretanto inflamável e revela elevada propagação superficial das chamas, sendo desaconselhado seu uso (76).

6. Nas coberturas ainda deve-se verificar que a existência de alçapões, sheds, lanternins, não represente uma descontinuidade do vêdo.

3.3.10 CAIXILHOS E PORTAS

1. Portas, caixilhos e esquadrias em geral devem ser consideradas como componentes compostos, incluindo batentes ou contra-marcos, folhas e vidros. Para caixilhos e janelas a resistência do elemento é vinculada ao tipo e qualidade do vidro, incluindo seu sistema de fixação nas várias modalidades possíveis, e o material dos quadros, montantes e outras partes.

2. Vidros aramados com fixação metálicas podem registrar no máximo uma R_f = 1 h.

   Se o caixilho fôr de madeira o índice não será maior que 1/2 h.

3. Melhor comportamento não pode ser esperado dos plásticos e do alumínio, cuja aplicação na construção de caixilhos é hoje bastante difundida.

   De fato tanto uns como outros apresentam amolecimento a temperaturas alcançadas no primeiro estágio do programa' térmico normalizado. Dos metais em geral deve-se verificar também o efeito da dilatação térmica.

4. Perante a ação do fogo é das portas contudo que um desempenho mais eficiente deve ser exigido. Com efeito, a sua função na compartimentação é extremamente importante, como será visto na última parte deste trabalho.

   Praticar uma abertura numa parede e protegê-la com uma ' porta cuja R_f seja deficiente, significa facilitar o a - lastramento do fogo e a difusão da fumaça e dos gases, ' comprometendo as demais medidas adotadas para a salvaguarda das pessoas. É entretanto difícil construir portas que possam oferecer uma R_f igual à dos vedos.

5. Ensaios realizados no CSTB francês sobre portas de madeira tiveram os resultados registrados no quadro 21.

---

(76) Basta para isso lembrar o trágico incêndio de Summerland, na Ilha de Man em Agosto de 1973, no qual vedos verticais e horizontais de acrílico, contribuiram em grande proporção para o rápido alastramento das chamas.

QUADRO 29

Tipo de Porta	Tipo e espessura da folha	Proteção	t_f (min)	R_f (H)
1. Almofadada com duas travessas	compensado de 5mm	-	2,45	0
2. Compensada	miolo de sarrafos folheado com compensado, espessura total 32 mm	-	4,15	0
3. Compensada	miolo de madeira aglomerada com furos longitudinais folheada, espessura total 32mm	-	24	1/4
4. Maciça	abeto, espessura 17 mm	-	15,30	1/4
5. Calha	carvalho, espessura 35 mm	-	33	1/2
6. Lisa maciça	carvalho, espessura 35 mm	lata nas duas faces 0,5 mm	25	1/2
7. Lisa maciça	carvalho, espessura 35 mm	Lata na face não exposta 0,5 mm	29	1/2
8. Lisa maciça	carvalho, espessura 35 mm	Lata na face exposta 0,5 mm	28	1/4
9. Compensada	estrutura de carvalho, miolo constituído de 2 chapas de gesso (2 x 10 mm), folheada em cada face com compensado de 5mm espessura total 37 mm	-	30	1/2
10. Compensada	estrutura de carvalho, miolo constituído de 2 chapas de amianto (2x5mm), 2 chapas de gesso (2x10mm) folheada em cada face de um compensado de 5mm, espessura total 47mm	-	1,02	1

Os ensaios nº 4, 5, 6 e 7 foram executados sobre o mesmo tipo de porta, diferenciando-se apenas na proteção, e visavam verificar os efeitos da folha de flandres aplicada nas duas faces ou alternativamente na face exposta e na não exposta.

O tempo máximo de exposição até o colapso (t_f) e a consequente classificação (R_f) mostram que o comportamento nos quatro casos não foi muito diferente. Não parece portanto haver evidências da conveniência de revestir com chapa de aço, uma porta de madeira.

6. Estas conclusões dos estudos realizados no CSTB francês por J. P. Fackler foram confirmados pelos trabalhos desenvolvidos na Bélgica sob a direção do Prof. Herpol.

Nos ensaios em questão foi constatado que no caso do revestimento ser aplicado na face exposta, verifica-se uma produção muito mais abundante de fumaça na outra face, com resultados totalmente negativos.

3.3.10.1 TÉCNICA CONSTRUTIVA DAS PORTAS

1. Para melhor caracterizar a eficiência de uma porta em relação ao fogo, é preciso entender bem as funções que lhe cabe desempenhar. Uma porta tem que agir como uma barreira à passagem do fogo, em condições compatíveis com o vêdo na qual está integrada, e deve impedir a passagem de fumaça e outros produtos da combustão em proporção excessiva isto é prejudicial à eficiência das vias de evacuação.

2. Uma porta está sujeita à ação do calor por radiação e convecção e pode ser atingida diretamente pelas chamas. Além disso sofre a pressão dos gases e da fumaça. Sabemos que o ar aquecido aumenta de volume, exercendo uma pressão sobre os vedos que circunscrevem o local.

Se a folha de uma porta abrir em direção ao local incendiado a pressão atuará a favor da estanqueidade; se abrir na outra direção a pressão deformará a porta, aumentando

as cavidades das juntas. Entretanto o calor provocará deformações da madeira, mesmo quando esta for bem sazonada. A tendência é um empenamento em direção à fonte de calor, mais sensível nas extremidades, provocando um arqueamento com a concavidade voltada para o fogo. Combinando a ação da pressão com os efeitos do calor, observam-se nas folhas tensões que podem levar ao colapso de algumas partes mesmo que não sejam atingidas diretamente pelas chamas. Também o batente pode sofrer efeitos semelhantes. Desde logo uma porta "resistente ao fogo" deve ter uma estrutura suficiente para resistir às tensões provocadas pelo calor.

3. Mas é fácil imaginar que êsses mesmos efeitos contribuem para alterar o perfil das juntas, facilitando a passagem de gases e fumaça. Êstes por serem quentes agem diretamente sobre as bordas aumentando as cavidades e criando frestas. Com o aumento da temperatura pode verificar-se a inflamação local, mais frequentemente na metade superior da porta, ao longo das juntas verticais, em proximidade das dobradiças, e da junta horizontal da verga. Estes são os pontos críticos que podem sofrer colapso antes que o fogo atravesse a porta e que, desde logo, devem merecer a maior atenção dos fabricantes (77).

4. No que tange ao desempenho, as portas podem ser classificadas em:

- impermeáveis à fumaça
- verificadas ao fogo
- resistente ao fogo (78)

Os requisitos de uma porta impermeável à fumaça são ainda bastante vagos, sabendo-se que deve ser dotada de interceptores de fumaça nas juntas, metálicos ou constituídos de outros materiais. Em geral as investigações levadas a efeito para diagnosticar o comportamento das portas revelaram ser da máxima importância a espessura da cavidade da junta formada entre a borda da folha e o rebaixo do ba

---

(77) BUILDING RESEARCH STATION, Timber Fire Doors, BRE Digest Nº 155, Garston (UK) 1973.

(78) Estas classificações correspondem às indicações: "smoke-stop", "fire-check", "fire-resisting", da terminologia inglesa. Obser

tente. Esta espessura deve ser mantida entre limites definidos não podendo resultar maior do que 3 mm para uma Rf= 1/2 h e do que 1 mm para uma R_f = 1 h.

No último caso a espessura de 3 mm pode ser tolerada desde que seja aplicada uma guarnição dupla intumescente na borda da folha e no encaixe do batente.

Para considerar uma porta "impermeável à fumaça" é contudo indispensável que a sobreposição da folha no encaixe seja pelo menos de 20 mm para batentes de madeira e 15 mm para os metálicos.

5. No que tange à diferença entre os requisitos "verificada ao fogo" e "resistente ao fogo", a norma inglesa BS 459 a define em relação à duração da estanqueidade à fumaça, gases e chamas e da estabilidade, conforme quadro 30 seguinte:

TIPO	ESTANQUEIDADE	ESTABILIDADE
	minutos	
Verificada ao fogo 1/2 h	20	30
Resistente ao fogo 1/2 h	30	30
Verificada ao fogo 1 h	45	60
REsistente ao fogo 1 h	60	60

Logo, uma porta "fire-check" tem desempenho inferior ao de uma "fire-resisting".

A norma citada prescreve as condições a serem observadas para atender a essa classificação que em princípio resumem-se na espessura da folha, na espessura da junta e na aplicação de guarnições simples ou duplas de tintas intumescentes.

---

ve-se que o "Fire Sciences Dictionary and Source Book" da John Hopkins University a respeito de "fire check" registra "definition to be provided" mostrando que a confusão existente na literatura não é fácil de ser eliminada.

Mais informações podem ser encontradas na publicação citada na nota (75).

Ressalta que desempenhos mais eficientes podem ser conseguidos dotando-se os rebaixos de guarnições elásticas à base de amianto e pintadas com tintas intumescentes, especialmente na junta horizontal da verga.

4. A espessura da folha é também de grande importância, sugerindo-se no mínimo 4 cm para uma R_f = 1/2 h e de 4 a 7 cm para uma R_f = 1 h.

Existem hoje vários tipos patenteados de portas com resistências razoáveis nas quais em geral a alma é constituída de materiais isolantes tais como lã de rocha, cimento - amianto, etc. e nas quais o chapeamento e o batente recebem um tratamento pirófugo, podendo alcançar uma R_f =1,5h.

Outra alternativa é proteger a porta com aspersão d'água obtida por meio de um chuveiro automático colocado no seu topo. Desta forma pode-se alcançar resistências de até 6 horas.

Devem-se evidentemente evitar postigos e quando necessários protegê-los com vidro aramado, limitando as dimensões para evitar que através dos mesmos a radiação possa atingir o lado não exposto.

5. Ressalta notar que é indispensável prever sempre não menos de três dobradiças e que não devem ser usadas ferragens de metais de baixo ponto de fusão e tampouco acessórios plásticos.

Do exposto conclui-se a ser a resistência ao fogo de uma porta, em boa parte, condicionada ao desenho dos detalhes técnicos de fabricação e ao esmero da colocação, o que não parece ser uma condição frequente nas nossas obras.

3.3.11 TABELAS SINÓTICAS

Algumas publicações estrangeiras apresentam tabelas de dados referentes ao comportamento ao fogo/ de materiais e componentes que facilitam a tarefa dos interessados.

Dentre vários requisitos básicos para um Código - de Edificações sugerimos em trabalho anterior - (78A) o de ter um texto claro, sucinto e sem ambiguidades e um dos recursos mais eficientes é de dotá-lo de ilustrações, gráficos e tabelas. Para isso, bons modêlos poderiam ser, entre outras/ as seguintes publicações:

- The Guide to the Building Regulations, de A.J. Elder, The Architectural Press, Londres
- Fire Prevention Design Guide, A handbook for architects, da Fire Protection Association, Londres.

Revestem-se também de certo interêsse, as tabelas contidas nas publicações :

- Fire Resistance Index
- Building Materials Directory

da Underwriter's Laboratories Inc.(USA).

(78A) Códigos de Edificações e Normas Funcionais, Cadernos do CBC nº 3/2, São Paulo.

ANEXO PARTE

CRITÉRIOS DE PROJETO

QUARTA PARTE

4.0 CRITÉRIOS DE PROJETO

4.1 GENERALIDADES

1. Em principio, a problemática geral da segurança contra o fogo em edificações compreende:
   - a salvaguarda da incolumidade da população fixa e temporária do edificio,
   - a movimentação segura dessa população,
   - a adoção de sistemas de suporte de vida autônoma,
   - a utilização de sistemas de alarma, comunicações de emergência e controles,
   - estabilidade estrutural,
   - as medidas destinadas no projeto a assegurar a prevenção e o confinamento do fogo,
   - o uso de equipamento destinado a confinar o fogo,
   - as medidas destinadas a facilitar a intervenção dos bombeiros e o uso do seu equipamento no combate do fogo.

   No decorrer deste trabalho a abordagem adotada procurou esclarecer vários desses pontos, colocando as premissas para a definição de critérios gerais de particular interesse para o arquiteto, segundo os próprios objetivos desta tese, formulados na introdução.

   Nesta última parte do trabalho serão portanto analisadas algumas das medidas essenciais ao alcance do arquiteto para atender aos pontos acima.

2. A primeira medida a ser adotada é o controle do incêndio que pode ser obtido:
   - limitando o potencial calorífico unitário,
   - aproveitando o efeito da ventilação,
   - evitando a propagação rápida, limitando a aplicação de materiais de acabamento inflamáveis e com elevada velo

cidade de propagação superficial,
- evitando o uso de materiais que desenvolvem gases tóxicos ou irritantes e grande quantidade de fumaça,
- obtendo o confinamento do fogo mediante a compartimentação.

A segunda medida é o confinamento do fogo, mediante o uso de equipamento eficiente e suficiente, automático ou operado por pessoal treinado.

A terceira inclui a definição e o projeto de percursos horizontais e verticais, protegidos contra a ação direta das chamas, da radiação e dos gases. Esses percursos devem ser perfeitamente identificados e conhecidos pela população e devem conduzir a pontos onde seja possível assegurar o afastamento imediato ou o resgate posterior ou condições mínimas de vida até a extinção do incêndio.

A quarta medida presupõe :

- a organização de um programa de emergência para o qual a população deve ser treinada,
- a divulgação de conhecimentos essenciais para a segurança pessoal,
- o controle periódico da eficiência do equipamento e sua manutenção,
- o treinamento das equipes internas de combate e salvamento.

A quinta diz respeito aos sistemas de suporte de vida autônoma que se destinam a propiciar condições mínimas de sobrevivência em locais de refúgio completamente estanques à ação do fogo; estes sistemas se compõem de cinco partes principais:

- isolamento térmico,
- estanqueidade contra gases e fumaça,
- medicamentos e recursos de emergência,
- iluminação de emergência,
- comunicação externa.

A sexta medida essencial é constituída de um sistema geral de detecção e alarma, complementado por comunicações

eficientes que permita:

- revelar imediatamente o surgimento do fogo,
- dar o alerta geral,
- pôr em execução o plano de emergência,
- transmitir instruções e receber informações,
- manter eficiente o controle geral, evitando o pânico.

Todas essas medidas, complementadas pelo uso de equipamento adequado, de acordo com as recomendações mínimas dos bombeiros, poderão ser eficazes se fôr garantida a estabilidade estrutural, que constitui a sétima medida essencial.

Logo, o projeto deverá não somente especificar os materiais utilizados para funções estruturais, obedecendo às resistências mínimas ao fogo, estipuladas pelas normas ou sugeridas pela tecnologia, mas na execução será necessário verificar que tais exigências sejam cumpridas.

A oitava medida destina-se a estabelecer no projeto condições que permitam a aproximação fácil das viaturas ao edifício atingido e a operação eficiente das escadas e dos hidrantes, de maneira a não restringir a ação dos bombeiros.

Com exceção da quarta, todas as medidas aqui preconizadas estão em proporção variável correlacionadas com o projeto arquitetônico e com os projetos complementares.

4.2 INFLUÊNCIA DA ALTURA

1. A tendência à construção de edifícios de grande altura, verificada de início principalmente nos Estados Unidos e atualmente difundida na maioria dos países mais atingidos por fenômenos urbanos mais severos. Sob o ponto de vista da tecnologia de incêndios, uma edificação que pertença a esta categoria pressupõe a colocação de requisitos ditados pelas condições físicas singulares que a altura impõe e que não somente limitam substancialmente a ação dos bombeiros como também tornam a evacuação da po-

pulação, constituída de milhares de pessoas, difícil quando não problemática.

Em recente reunião internacional sobre o tema (79), convencionou-se definir edifício alto, no que tange à ação do fogo, aquele:

- que está, na sua maior parte, fora do alcance do equipamento dos bombeiros,
- que tem condições potenciais para o efeito de chaminé,
- cujo tempo de evacuação é longo, isto é maior que meia hora,

e no qual, portanto, a evacuação de emergência não é praticamente possível e o incêndio deve ser atacado internamente com meios próprios.

A este respeito é oportuno registrar que nenhum país inclue o helicóptero entre os meios de evacuação e resgate. Com efeito, como consequência de um incêndio o ar e os gases quentes perturbam e agitam a atmosfera acima do topo do edifício, impedindo ou tornando extremamente perigosa a aproximação do aparelho que, carregando combustível, está sujeito a risco de explosão. Acrescente-se que a probabilidade de ocorrência de explosões, conforme esclarecemos na segunda parte deste trabalho, restringe a utilização mesmo quando o edifício fôr dotado de helipon to.

Isto posto, é evidente que se a população do edifício não pode recorrer à evacuação rápida, deve-se-lhe propiciar necessariamente condições locais de sobrevivência. É importante portanto definir as alturas limites.

2. Na França a altura de 28 m é considerada como alcance máximo das escadas dos bombeiros: logo , são classificados como altos os edifícios que excedem esse limite. As escadas em dotação ao Corpo de Bombeiros de São Paulo, do tipo Magirus, atingem 45 m. Seria portanto possível uma certa flexibilidade nas definições a ser adotadas nos Có

---

(79) GENERAL SERVICES ADMINISTRATION, PUBLIC BUILDING SERVICE, "Firesafety in Highrise Buildings" International Conference, Washington, 1971.

digos locais, se outras considerações não levassem a critérios mais restritivos. Há de fato a observar que estas escadas são montadas sobre viaturas e exigem espaço de manobra mínimo que permita ao veículo estacionar a não menos de 5 e a não mais de 10 m do edifício. Além disso a pavimentação das ruas deve ser suficiente para resistir ao peso do equipamento que varia de 10 a 18 t e a declividade deve ser mínima.

3. O aspecto contudo que coloca o limite mais severo para a eficiência das escadas é constituído pela impossibilidade de acesso a todas as fachadas, quando somente a principal faz frente para a rua ou o logradouro, ou pior ainda quando também esta é recuada do alinhamento.

   Em outras palavras, nestes casos a definição da altura limite fica vinculada aos característicos das escadas comuns prolongáveis cujo alcance máximo é da ordem de 16m.

4. Assim parece-nos bastante razoável a norma NB-208, a qual define altos os edifícios que têm altura superior a 20m, entre a soleira de entrada e o piso do último pavimento útil. A nossa opinião entretanto é que sempre a altura deve ser considerada conjuntamente com a lotação do edifício e será esse o critério observado na análise dos edifícios altos a ser desenvolvida num dos próximos parágrafos.

4.3 LIMITAÇÃO DO POTENCIAL CALORÍFICO UNITÁRIO

1. A limitação da quantidade de combustível existente num local, representada pelo parâmetro em questão, é sem dúvida um meio eficaz de controlar o desenvolvimento do fogo.

   Vimos que no seu cálculo estão incluídos os materiais permanentemente incorporados à construção, ou componentes, e os elementos móveis de construção, como partições ou tabiques e também peças de decoração, livros, materiais de uso, vestiário, móveis e equipamentos, etc.

2. No tópico 2.2.3.1. mostramos num exemplo de cálculo, como é fácil alcançar valores elevados de W_o. Verifica-se que certos elementos que contribuem para êsse fato, escapam ao contrôle direto do arquiteto, que entretanto pode fazer uma previsão da situação mais desfavorável esperada, segundo o tipo de edifício, o destino do local, o projeto e as soluções adotadas. Note-se que para efeito de determinação da R_f a regulamentação francêsa no que tange aos edifícios altos, propõe para R_f = 2 horas, o limite de W_o = 40 kg/m^2, do qual 15 kg/m^2 de potencial calorífico permanente e 25 kg/m^2 para o acidental. Por analogia com as cargas atuantes sôbre as estruturas, definimos como permanente o potencial calorífico decorrente dos materiais combustíveis incorporados à edificação e como acidental o decorrente dos móveis, decoração, vestuário, etc.

Os valores acima e os da regulamentação inglêsa já citada, assim como as considerações feitas no tópico 2.2.3.10. podem servir de orientação, devendo-se observar a recomendação de manter o $W_o < 60$ kg/m^2.

3. Se o potencial acidental fôr supostamente elevado, o permanente deverá ser reduzido ao mínimo compatível com as exigências construtivas. O critério inverso, isto é de reduzir o potencial acidental, escapa ao contrôle prévio do arquiteto. O limite deveria ser estipulado nos projetos e controlado pelos orgãos fiscalizadores, mas esta condição é práticamente impossível de ser conseguida.

4. Quando o arquiteto tiver dúvidas quanto ao valor de W_o e espera variações grandes em relação ao valor previsto, é oportuno que adote coeficientes de segurança o que corresponde a adotar valores maiores de W_o para os quais a R_f varia de 3 a 4 horas.

No cálculo de W, alguns materiais têm seu potencial incrementado conforme ilustram os quadros 6, 6A e 17B. Os explosivos eventualmente presentes numa edificação não industrial ou militar, devem ser considerados embora seu efeito sôbre a duração seja mínimo. Sua influência é maior, como vimos, no risco que representam como causa de incêndios e na rapidez de elevação da temperatura que provocam.

4.4. EFEITO DA VENTILAÇÃO

1. Ficou patente na análise realizada na segunda parte que a ventilação joga papel primordial no desenvolvimento do fogo. Admitindo-se que o "flash-over" tenha ocorrido, os efeitos do fogo serão menos severos se a carga de combustível fôr pequena e se a duração fôr rápida. Assim em menos tempo o fogo chegará à terceira fase, de extinção natural. Deve-se lembrar além disso que as temperaturas máximas serão menores e que os efeitos sôbre os materiais e componentes são muito mais ligados às temperaturas críticas atingidas do que à duração da ação do fogo.

O critério básico é, ressalvadas outras condições, de obter uma combustão, a mais rápida possível. É um critério ditado pela incolumidade dos moradores e não pela salvaguarda dos bens e é particularmente válido

nas edificações de caráter residencial ou comercial(escritórios) . Para indústrias, depósitos, lojas ,etc. há evidente interesse em preservar os bens, mas nestes casos os recursos de prevenção e combate são mais eficientes.

Ressalta ainda que este critério deve ser parte de uma abordagem global que inclui necessariamente a compartimentação dos locais de maneira que o fogo fique circunscrito aos pontos de origem ou aos pavimentos adjacentes.

2. O aproveitamento da ventilação baseia-se no poder que o arquiteto tem de regular a entrada de ar, dimensionando' devidamente as janelas, de tal forma que o regime de combustão resulte governado pelo potencial térmico,condição que se verifica quando há excesso de ar em relação às necessidade da combustão, conforme foi comprovado por Harmathy.

Segundo esse autor, essa situação ocorre aproximadamente quando é:

$$A_V \geqslant \frac{W_o \, A_F}{150}$$

$$W_o \leqslant 150 \, \frac{A_V}{A_F}$$

Projetando segundo esse critério o arquiteto poderá conseguir que a combustão não dure mais que meia hora. Dos dois parâmetros sobre os quais agir, o potencial térmico pode variar com o tempo, logo a hipótese a ser adotada deve corresponder ao caráter da edificação e à probabilidade que essa variação ocorra. A área das janelas é entretanto um dado fixo a menos que a edificação sofra uma reforma de vulto, mas a influência da arquitetura contemporânea determina uma tendência, nas reformas, de substituição dos vãos de ventilação e iluminação existentes por outros maiores.

Por outro lado, potenciais caloríficos maiores geralmente verificam-se em edifícios de escritórios, nos quais essa tendência é muito mais evidente.

A relação entre a área de ventilação A_V com a área do pi

so A_F mostra que quanto mais compactas forem as plantas mais dificilmente será obtida a condição preconizada.

Plantas compactas são aquelas cuja relação perímetro/ área circunscrita é menor: é notório que a condição ideal é característica da planta circular e sucessivamente da poligonal, quadrada e retangular (80).

Projetos nos quais tal relação seja observada dão lugar a edificações mais econômicas, eis que à paridade de área a superfície dos vedos externos é menor. Logo, se a metodologia de projeto incluir a análise econômica das soluções pelo critério do custo-benefício, desta somente poderão surgir as opções mais convenientes inclusive quanto ao recurso à ventilação para governar a combustão, num incêndio.

3. Em tópicos anteriores já demos alguns exemplos de aplicação. Serão aqui complementados para melhor orientação.

Seja um local de escritório com 40 m^2 de área de piso, medindo 5 x 8 m. Se seu potencial calorífico unitário fôr igual a 60 kg/m^2, a seção mínima dos vãos de ventilação deverá ser:

$$A_v = \frac{60 \times 40}{150} = 16 \ m^2$$

Se o caixilho estiver no vão menor, na hipótese de um pé-direito habitual de 2,5 m, a abertura máxima de ventilação será de 12,5 m^2. Vice-versa se o caixilho fôr locado no vão de 8 m, a abertura máxima disponível será de 20 m^2. Somente no segundo caso será possível obter as condições desejadas.

No primeiro necessariamente o potencial calorífico deverá sofrer uma limitação.

Num escritório panorâmico de planta regular, com grandes

---

(80) Para a análise dessa relação pode-se adotar o parâmetro "razão de compacidade de área" $RC_a = 354,4 \frac{\sqrt{A}}{P}$ (%). Veja-se BPRU, Building Performance, Applied Science Publ. Ltd. Londres 1972, Cap. 6, ou as apostilas do nosso curso de Racionalização da Construção, FAU/USP.

dimensões a condição é mais difícil de ser obtida. De fato pode-se provar que numa planta quadrada, por exemplo, a relação perímetro-área diminui em proporção ao aumento do lado, sendo igual a: 1, 0,8, 0,66... respectivamente para lado igual a: 4, 5, 6...

Se aplicarmos os conceitos formulados ao exemplo do tópico 2.2.3.7, que se refere a um escritório panorâmico de 50 x 50 m, com pé direito igual a 2,5 m e área dos caixilhos igual a 500 m^2, o potencial calorífico admissível será:

$$W_o = \frac{500 \times 150}{2500} = 30 \text{ kg/m}^2$$

isto é cerca de metade do efetivo.

Se a mesma aplicação fôr feita para um escritório de 40x 40, o potencial calorífico admissível será:

$$W_o = \frac{400 \times 150}{1600} = 37{,}5 \text{ kg/m}^2$$

Pode-se provar que no caso da planta quadrada a condição limite de aplicação do critério de Harmathy é dada por:

$$W_o = 600 \frac{H}{L}$$

onde L = lado

H = altura do vão de ventilação, considerado com largura máxima igual ao lado.

Logo, para W_o = 60 kg/m^2 obtemos:

L = 25 m.

4. Quando a compartimentação vertical fôr aplicada ou o projeto prever divisão em locais menores, para efeito da ação do fogo as condições serão mais favoráveis para o aproveitamento da ventilação.

Já vimos na segunda parte deste estudo como se processa a propagação vertical através de vãos abertos e nos parágrafos seguintes este mecanismo será novamente abordado para sugerir medidas destinadas a seu controle.

É um fato que se de um lado para efeito da ventilação os vãos de ventilação devem ser bem amplos, de outro lado o controle da propagação vertical exige que tais vãos sejam os menores possíveis.

Claro é que outras exigências de conforto ambiente interno determinam as superfícies mínimas desses vãos e a compatibilização de todos esses requisitos requer do arquiteto algo mais que a simples intuição não pode suprir, devendo recorrer forçosamente a avaliações econômicas das várias opções disponíveis.

Verificamos no parágrafo anterior que realmente a dificuldade maior para o efeito da ventilação é encontrada nos grandes escritórios panorâmicos. Nestes, entretanto, é comum recorrer-se normalmente à ventilação e iluminação artificial, podendo-se portanto atribuir aos vedos externos funções de isolamento termo-acústico mais acentuadas, embora em contraste com certas tendências da arquitetura atual.

Nestas condições a compartimentação perimetral seria muito mais eficiente reduzindo sensivelmente a propagação externa vertical das chamas.

Seria o caso este então em que o efeito da ventilação necessário para reduzir a severidade do incêndio, poderia ser conseguido através de insuflação interna do ar, utilizando eventualmente a própria instalação de ar condicionado. Veremos mais adiante que estudos visando aproveitar essa instalação para exaustão da fumaça, estão em andamento em vários países e é possível que este outro aspecto venha a merecer a devida atenção.(80A).

Sem dúvida contudo, configura-se como indispensável em determinadas circunstâncias, como as assinaladas, o confinamento inicial das chamas por meio de chuveiros automáticos ou equipamentos semelhantes.

Isto posto, fica claro que reduzindo-se a duração

(80A) O efeito seria contudo menos eficiente pois a redução de temperatura seria menor.

do fogo à qual, segundo Harmathy, correspondem também temperaturas menores, a resistência a ser exigida de vedos e componentes estruturais será menor, podendo-se admitir/ sem dúvida que qualquer componente dessa natureza tem uma R_f maior do que 2 horas.

Realça que, como lembra Harmathy nos trabalhos já citados, para componentes de aço de estruturas portantes, a elevação da temperatura é pelo menos 50 vêzes mais perigosa - que o tempo de exposição às chamas. Logo a própria ventilação poderá ser também um meio eficiente para a proteção das estruturas de aço.

5. É importante ainda notar que os critérios acima são válidos para a segunda fase do incêndio. Na primeira deve-se/ evitar a ventilação para, se possível, dominar e circunscrever o fogo inicial ou prorrogar a ocorrência da inflamação generalizada. Nesta fase entretanto as pessoas, procurando se livrar dos efeitos da fumaça, agem em sentido/ contrário ao recomendado.

   Mas a uma temperatura relativamente baixa, os vidros se - rompem e a ventilação passa a agir naturalmente através - da maior seção.

6. Resumindo, o efeito da ventilação é um recurso adicional/ que deve ser explorado para atenuar as exigências de re - sistência ao fogo.

4.5. EFEITO DO PÉ-DIREITO

Se por um lado um pé-direito maior propicia melhores recursos de ventilação por outro um pé-direito baixo provoca a saída das chamas do local atingido, desviando-as para a atmosfera externa, nela dissipando parte do calor gerado pela combustão.

Forros baixos, como vimos no item 2.2.4.1. também contribuem para uma propagação mais rápida.

Em geral os forros de edificios residenciais e de escritório modernos são baixos e para isso concorrem razões sobretudo econômicas (81). Esta condição é portanto comum e esse fenômeno deverá sempre acontecer.

Mas se o edificio tiver mais que um pavimento, sem dúvida as chamas neste caso alcançarão pelo menos o superior.

---

(81) ROSSO T., O pé direito mínimo das habitações, Cadernos do CBC nº 1/2, 1971.

Isto dificulta o recurso da compartimentação, que será analisada nos próximos parágrafos, Quando os vêdos externos forem constituídos principalmente de vidro e destarte sujeitos ao colapso quase imediato, não poderão impedir a propagação do fogo aos materiais combustíveis do pavimento superior. A deflexão das chamas é incrementada pela ação concomitante do vento, de acordo com os resultados da pesquisa do CIB, o qual por outro lado acelera a combustão. Destarte também o vento contribui para atenuar a ação do fogo sobre a edificação.

Existem assim duas condições conflitantes, uma que diz respeito à resistência ao fogo, e outra que diz respeito à propagação, mas a segunda sendo influenciada pela arquitetura poderá ser corrigida pelo arquiteto com outros meios, conforme veremos no capítulo dedicado à compartimentação.

4.6 CONTROLE DA PROPAGAÇÃO

1. Na segunda parte deste estudo, analisamos os mecanismos da propagação do fogo e acreditamos ter fornecido critérios gerais suficientes para estabelecer um controle razoável deste fenômeno.

   No caso de um incêndio num local fechado, a propagação superficial das chamas tem uma influência sensível na rapidez do "flash-over" e é um dos pontos que estão a merecer mais cuidado por parte do arquiteto.

   A propagação superficial pode ser contida por três recursos a saber:

   - limitando a aplicação de materiais que revelem elevada velocidade de alastramento das chamas,
   - evitando a aplicação em camadas contínuas,
   - utilizando materiais de acabamento que não apresentem reação ao fogo ou tratados com produtos retardantes ou ignífugos (82).

   Cabe lembrar que quanto mais delgados os materiais, tanto

---

(82) Ignífugo é palavra de origem latina: "ignis" (fogo) + "fugere" (fugir). Seu significado literal é portanto: "que afugenta o fogo". Desde logo é errada a grafia ignifogo, usada na promoção de alguns produtos nacionais. Tecnicamente entretanto é preferível adotar o termo "retardante do fogo" ou das chamas.

maior a sua velocidade de propagação, podendo-se aproximadamente considerar que dobrando-se a espessura, reduz-se/ essa velocidade à metade.

O quadro 10 mostra o comportamento de vários materiais de revestimento e acabamento e sua classificação segundo as especificações inglesas. Esse quadro confirma que as propriedades de um material podem ser melhoradas com uso de aditivos, mas é evidente que materiais inorgânicos como - gesso, amianto, fibras de vidro, vermiculite, concreto celular, etc. dependendo das exigências do projeto, propiciam melhores resultados.

2. É importante aqui notar que os forros constituem o ponto/ mais crítico da propagação, por receberem calor por convecção, através do ar e dos gases quentes em movimento ascensional, e por radiação. Esta condição é acentuada quando o material é isolante térmico eis que a elevação superficial da temperatura é muito mais rápida.

Observe-se também que os cuidados com a escolha dos materiais para o acabamento do forro, deverão ser tanto maiores quanto menor fôr o pé-direito.

A este respeito em complementação ao que foi observado no tópico 3.3.8, registramos que um forro suspenso ou falso deve ser verificado não somente quanto à reação mas também quanto à resistência ao fogo.

Com efeito se o uso de um material inorgânico pode ser oportuno para evitar a propagação superficial das chamas, isto não exclui que o mesmo possa sofrer colapso sob o efeito das chamas.

Assim é preferível utilizar materiais que possuam elevada temperatura crítica ou componentes cuja R_f seja conhecida.

No uso de um forro de chapas de aluminio deve ser lembrado que a temperatura crítica deste material é de cerca de 250ºC.

Portanto duas medidas são aconselháveis para atenuar os - riscos de um colapso: primeira, proteger a face inferior, com uma camada de material incombustível e isolante térmico; segunda, adotar espaçamento dos pontos de sustentação, não maior do que 1/3 do pé-direito. A camada de proteção no primeiro caso poderá ter a mesma espessura recomendada para o aço.
Os tirantes deverão também ser protegidos com material isotérmico. A primeira medida pode ser pouco estética, mas é certamente a mais válida eis que em determinadas circunstâncias o colapso poderia ocorrer mesmo antes da inflamação generalizada.

O mesmo risco pode estar presente quando o forro, em

bora constituído de painéis de outros materiais, utilize o alumínio na estrutura de sustentação.

Cuidados idênticos devem ser tomados com forros formados por chapas de fibras de vidro, sem confundí-los entretanto com os de "fibre-glass" que possuem reação ao fogo.

Painéis de concreto celular armado, devem ter recobrimento do aço suficiente para assegurar uma R_f compatível, nunca menor do que 0,5 h.

3. O uso de produtos orgânicos em acabamentos torna indispensável o recurso a tratamentos retardantes e é preferível utilizar os aditivos de massa que têm melhor desempenho do que as pinturas superficiais (83).

A aplicação de plásticos, entre outros riscos, também concorre para o alastramento das chamas. A este respeito o arquiteto não deve restringir sua análise aos materiais incorporados à edificação, mas também verificar as possibilidades de uso de materiais críticos no mobiliário e no equipamento quer de habitações, quer de escritórios e outras edificações.

A Fire Research Station Inglesa realizou recentemente um programa de pesquisa com o objetivo de verificar o comportamento de materiais plásticos utilizados em cortinas e em estofamentos, isoladamente e em conjunto com espumas de enchimento, também plásticas (84).

O ensaio de inflamabilidade realizado de acordo com BS 2782 no qual o índice maior é 21,5, mostrou para os revestimentos nos quais a título comparativo se encontravam a lã e o algodão, os seguintes resultados:

---

(83) TURRETTE J. C.,"l'Influence des Revêtements sur le Développement de l'Incendie" , Cahiers du CSTB, nº 144/1213, Paris 1973.

(84) PALMER K.N. e TAYLOR W. "Fire hazards of plastics in furniture and furnishings; ignition studies", Fire Research Station, BRE C.P.18/74, Borehamwood 1974.

- lã com ignífugo	0,8	estof.
- nylon	1,9	cort.
- PVC, tipo automóvel	4,0	estof.
- lã, tecido natural	7,3	estof.
- algodão, trama fechada	12,3	estof.
- rayon	13,3	cort.
- rayon	14,0	estof.
- algodão, trama aberta	15,1	estof.
- acrilico/acetato	21,5	cort.
- poliuretano sobre algodão	21,5	estof.
- poliuretano sobre nylon	21,5	estof.
- nylon, agulhado sobre algodão	21,5	estof.
- acrílico	21,5	estof.
- acrílico	21,5	cort.

A facilidade de ignição revelada por alguns materiais, não somente deve ser considerada para efeito de início de incêndio, tendo em vista às possibilidades de proximidade com fontes de calor, mas também com relação ao desenvolvimento posterior.

No que tange às espumas, quanto menor a sua massa específica aparente, tanto mais rápida sua ignitabilidade. Quando cobertas com tecido ou laminado plástico a ignitabilidade depende em maior proporção da própria ignitabilidade do revestimento. Não mostram auto-ignição mas algumas, tais como as de poliester ou de latex, ignizam-se quando em proximidade de aquecedores elétricos de 3 kW.

Encostos de poltronas revestidos com tecido de algodão de trama aberta e enchimento de espuma de polieter de massa específica média, podem sofre ignição provocada por uma ponta de cigarro, e em pouco mais de uma hora o estofamento pode ser totalmente consumido pelas chamas, embora sem que seja destruída totalmente a armação de madeira. Estes dados mostram que o controle da propagação deve ser estudado em conjunto com a redução do potencial calorífico unitário, eis que, se sob certos aspectos dizem respeito a fenômenos diferentes, ambos contribuem para a severidade do incêndio.

4. Começa a configurar-se aqui a conveniência da interrupção das camadas combustíveis ou inflamáveis, visando impedir a propagação e que no seu grau mais elevado resulta na formulação do princípio de compartimentação que será visto mais adiante.

Esta interrupção é particularmente necessárias nos revestimentos de forros e pisos, se materiais inflamáveis forem utilizados, nomeadamente nos chamados escritórios panorâmicos ("open-offices").

A vistoria que, na qualidade de membro da Comissão Especial nomeada pelo Instituto de Engenharia de São Paulo, efetuamos no Edifício Joelma, mostrou com clara evidência o efeito concomitante de um elevado potencial térmico e de rápida propagação das chamas, ocasionados pelo uso indiscriminado de materiais inflamáveis e pela aplicação de soluções na disposição física interna que à uma análise mais ponderada se revelam extremamente facilitadoras do alastramento do fogo.

5. Nem sempre a aplicação de certos materiais ou de soluções impróprias decorrem das especificações do projeto original. Com efeito, esta é feita numa segunda fase quando, o edifício já concluído, os usuários procedem à divisão de pavimentos inteiros em salas de dimensões menores, de acordo com a disposição física mais oportuna e utilizando divisórias removíveis geralmente de madeira, aplicando forrações e revestimentos compatíveis com as finalidades do escritório.

A outorga de um habite-se em relação ao projeto original tem pouco sentido, se a organização do espaço interno, a compartimentação e o próprio destino estão apenas genericamente definidos.

Não há destarte razão para não exigir que também nesta segunda fase, os estudos e os projetos sejam confiados a um profissional devidamente habilitado, seja ele engenheiro ou arquiteto.

4.7 CONTROLE DOS GASES E FUMAÇAS

1. Os efeitos dos gases e fumaças podem ser controlados deixando de aplicar materiais que os geram em maior quantidade e procurando mantê-los afastados dos locais em que sua presença seja letal para as pessoas.

   Sabemos que o gás mais perigoso e que alcança maiores concentrações é o monóxido de carbono, gerado pela combustão da madeira e dos materiais orgânicos.

   Evitar a sua presença é materialmente impossível, desde que materiais combustíveis sejam utilizados.

   No que tange aos outros gases, mais ou menos tóxicos, gerados por materiais plásticos e mesmo por produtos ignífugos, caberá ao arquiteto efetuar uma seleção de tal forma a excluir a presença concomitante de vários produtos perigosos. Certamente, em vista da aplicação sempre mais ampla e generalizada de materiais plásticos na edificação, no mobiliário, na decoração e no equipamento doméstico, este domínio por parte do arquiteto é difícil de ser obtido. Uma análise cuidadosa é necessária, mesmo porque é possível que as próprias funções neutralizem a produção de gases, como ocorre com uma tubulação de PVC cheia de água.

   Apesar disso, é este o caso em que a incolumidade humana deve ser colocada acima de outras considerações de ordem estética ou econômica.

   É preciso exigir dos fabricantes ou dos fornecedores resultados de ensaios, mesmo que de procedência estrangeira, que claramente caracterizem o material com relação à produção de gases.

   Não resta dúvida que a tecnologia poderá neutralizar os efeitos dos subprodutos da combustão de materiais de síntese e neste sentido pesquisas estão em andamento em vários países.

2. O maior risco, no decurso de um incêndio, está no momento

em que ocorre a inflamação generalizada que por ser repentina, consome grande quantidade de oxigênio, aumentando portanto proporcionalmente a concentração relativa dos gases tóxicos que na sua maioria são produzidos já às temperaturas mais baixas.

Por ser justamente a fase inicial, a que se encerra com o "flash over", aquela em que existem maiores probabilidades de afastamento das pessoas, é a esta altura que o uso dos plásticos é mais crítico.

As fumaças denotam combustão incompleta e são portanto mais abundantes nos períodos iniciais de um incêndio. Evitá-las é impossível, eis que são um produto natural do fogo. Vimos entretanto na terceira parte que alguns plásticos produzem fumaças mais espessas e mais abundantes do que a madeira, logo é aconselhável analisar a sua aplicação com certa precaução.

3. Se a produção de gases tóxicos e de fumaças é dificilmente evitada, o arquiteto poderá limitar os efeitos nocivos mantendo determinados locais de circulação e refúgio impermeáveis à sua penetração. A condição "resistente ao fogo" inclui também a estanqueidade, como vimos no tópico 2.2.7 ao analisarmos a resistência ao fogo dos componentes construtivos. Esta é portanto uma propriedade intrínseca dos componentes. Podemos contudo obter que a atmosfera de determinados locais não seja permeada por gases e fumaças, mediante a ventilação e a pressurização, recurso que será estudado ao falarmos da compartimentação.

4.8.0 O PRINCÍPIO DA COMPARTIMENTAÇÃO

4.8.1 GENERALIDADES

1. Já vimos na primeira parte deste trabalho que a ação contra o fogo, pode ser conduzida em quatro fases:

   1) Prevenção
   2) Confinamento
   3) Combate
   4) Rescaldo

Posto que a prevenção não tenha dado resultados positivos, uma vez que se verifique a ocorrência do fogo em determinado local, a ação mais eficiente e imediata é de confiná-lo, isto é impedir que alcance a inflamação generalizada e se propague a outros locais contiguos.

Esta ação é realizada por meio de equipamentos ativos tais como detectores, chuveiros automáticos, extintores, hidrantes, tintas intumescentes, etc.

Medidas passivas são também possíveis e destas a mais eficiente é a compartimentação, de responsabilidade direta do arquiteto. É óbvio que é da ação de confinamento que podem ser obtidas as condições necessárias para o afastamento da população do edifício atingido.

2. Compartimentar, significa dividir o edifício horizontal e verticalmente por meio de vedos resistentes ao fogo, em espaços estanques ao fogo e a seus sub-produtos. Embora, como veremos, uma compartimentação rigorosa requeira um cuidadoso detalhamento no projeto e uma objetiva avaliação econômica das alternativas propostas, esta solução permite/ restringir a evacuação imediata das pessoas, apenas ao pavimento atingido e ao superior. Neste caso o efeito da compartimentação deveria durar apenas o tempo necessário para permitir o afastamento das pessoas do local atingido em primeiro lugar e sucessivamente dos outros pavimentos. Em edifícios de grande altura a compartimentação destina-se também a criar locais de refúgio nos quais a população de cada pavimento possa aguardar o resgate ou a extinção do incêndio. Nêste caso o efeito de compartimentação deveria/ durar o tempo de evolução do fogo no pavimento.

Na prática deve-se assegurar a resistência da estrutura e verificar em seguida a alternativa mais conveniente para os vedos.

Prever locais de refúgio significa não contar em princípio com a utilização das escadas. Não tem portanto sentido exigir os primeiros e também escadas com largura útil di-

mensionada em função da população do edifício.
Neste capítulo e nos seguintes serão sugeridas resistências ao fogo mínimas, para vários tipos de componentes, a fim de assegurar a compartimentação e obviamente a incolumidade dos moradores.
Sempre que fôr feita essa referência, dever-se-á entender como R_f a duração equivalente a ser obtida em ensaio realizado segundo o programa térmico ISO,
As R_f sugeridas obedecem aos critérios desenvolvidos no tópico 2.2.3.10. e são menores das exigidas pela legislação do Município de São Paulo. Acreditamos ter demonstrado que as nossas indicações são suficientes, refletindo a experiência internacional mais recente, justificando-se maior rigor apenas em alguns casos.

4.8.2.TÉCNICA DA COMPARTIMENTAÇÃO

1. A compartimentação de uma edificação exige em primeiro lugar que a estrutura ,latente ou independente (85) , seja resistente ao fogo, segundo os critérios já estipulados no desenvolvimento dêste trabalho. Em segundo lugar , também os vêdos horizontais e verticais que definem o espaço compartimentado, devem ser resistentes ao fogo. Em terceiro lugar, os vedos horizontais e verticais, seus elementos secundários e os equipamentos que se tornarem necessários, devem impedir a penetração no espaço compartimentado do fogo e de seus sub-produtos,isto é fumaça e gases.
A compartimentação é portanto um conjunto de medidas que incluem a resistência R_f. Desde logo exigir-se apenas a resistência de elementos estruturais ou de vêdos não assegura as condições de incolumidade que permitem evacuar os locais atingidos. A compartimentação deve incluir também os componentes secundários e considerar o comportamento em conjunto dos componentes e das partes da edificação,incluindo o contrôle dos gases e da fumaça.

Não bom emisso.

2. A NB-208 "Saidas de Emergência em Edifícios Altos", utiliza o termo "enclausurar" que assim define: "Para efeito desta Norma, é separar um ou mais locais do resto do edifício por intermédio de portas corta-fogo e paredes resistentes ao fogo".
Percebe-se que há uma diferença substancial entre a nossa definição de compartimentação e a da NB-208 acerca do conceito de en-

(85) Chamamos de latente uma estrutura incorporada a um vedo, tal como uma alvenaria portante.

clausuramento que será mantida no decorrer deste trabalho.(85A)

O Decreto Municipal nº 10.878 que dispõe sobre exigências concernentes à segurança e prevenção de incêndios nas edificações do Municipio de São Paulo, faz distinção entre área de confinamento, obtida por meio de paredes e lajes - resistentes ao fogo. Este é portanto mais coerente com a nossa definição.

A função do confinamento é a de manter o fogo no local em que se manifestou e impedir que se propague ou que seus efeitos atinjam os locais limitrofes, em sentido horizontal e vertical.

3. A compartimentação destina-se a confinar o fogo no pavimento atingido e evitar a sua propagação, em sentido vertical, para o sucessivo, mas pode também ser adotada para criar num mesmo pavimento locais menores, onde o fogo possa ser confinado, evitando a sua propagação em sentido horizontal.

Ao arquiteto apresenta-se portanto uma primeira opção que é a de dividir o edificio pelo seu eixo principal de simetria, com um vedo resistente ao fogo, em duas partes. Manifestando-se o fogo em uma delas, a outra será mais dificilmente atingida. No limite, este critério conduz à divisão do edificio em dois, servidos por escadas e elevadores centrais com uma passagem que isola completamente uma parte da outra. A solução de dois blocos completamente separados, onde o terreno disponível a faculte, permite - considerar cada bloco inteiramente compartimentado, mas - servido pelas escadas comuns, cuja capacidade para efeito de segurança pode ser reduzida à metade. Esta solução facilita também a ventilação.

É importante frizar que a compartimentação deve ser efetiva, isto é deve interromper totalmente qualquer camada - contínua de material combustível. Logo, não é admissivel/ utilizar para tal fim divisórias resistentes ao fogo, fixas ou removíveis, aplicadas entre um acabamento de piso/

(85A) Enclausurar é tradução do inglês "to enclose".

e um forro falso combustíveis e com elevado índice de propagação superficial.

4. No sentido vertical a função de compartimentação já é praticamente desempenhada pelas lajes de concreto armado, com resistencia compatível ao fogo.

   Em qualquer caso entretanto é necessário assegurar a estanqueidade, a qual requer que todos os vãos abertos sejam protegidos, os furos vedados, os componentes de instalações, constituídos de tubulações, eletrodutos, fiações, etc., que atravessam os vedos, sejam constituidos de materiais não suscetíveis de propagar o fogo.

   Se a compartimentação física não é sempre compatível com o caráter de edificio, o confinamento pode ser conseguido por outros meios que constituem alternativas válidas, tais como os chuveiros automaticos ("sprinklers"). A solução mais econômica poderá surgir somente de uma análise custo beneficio, desde que a regulamentação pertinente seja suficientemente flexível.

   Dos vêdos destinados a criar a compartimentação exige-se/ normalmente uma resistência proporcional ao potencial calorifico unitário, nunca maior do que 4 horas. Em edificios residenciais e de escritorios, este indice varia de 1 a 2 horas, adotando-se o de 4 nas lajes de separação entre sub-solos, destinados a garagens e outras atividades/ de maior risco, ou a depósitos de lixo e apetrechos de limpeza, e a parte principal do edificio seja qual for seu destino. Observe-se que se a combustão fôr governada pelo potencial calorifico a R_f pode ser diminuida, de acordo com as observações já feitas nos parágrafos anteriores.

5. A proteção dos vãos abertos faz-se por meio de portas, janelas e caixilhos. Destes componentes como vimos não pode-se esperar resistencias muito grandes, da ordem de 1 a 1,5 horas para as portas conforme o destino do edificio e o potencial térmico, e 1/2 hora para janelas e caixilhos.

   Assim, deve-se limitar o número de portas ao mínimo indispensável, podendo-se adotar como critério o limite de 0,50 para a relação entre a soma das larguras das portas e o comprimento do vêdo em que são colocadas.

No que tange aos vãos externos com janelas e caixilhos é evidente a impossibilidade de se conseguir resistência que permita atender aos requisitos de compartimentação, vistas as propriedades do vidro e seu comportamento com relação ao fogo.

É fatal portanto que através dos vãos externos se manifeste uma descontinuidade crítica da compartimentação à qual deve-se dedicar muita atenção.

6. Vimos no tópico 2.2.4.2 que é possível avaliar por meio de um método numérico, o comprimento vertical de uma chama saindo de uma janela e portanto o alcance da propagação direta. No exemplo desenvolvido naquela altura deste trabalho obteve-se um comprimento de 1,60 m acima da janela, suficiente para alcançar as janelas do pavimento superior. Nos incêndios do Andraus e do Joelma as chamas entretanto revelaram comprimentos maiores alcançando a altura de dois pavimentos.

É bastante comum em edifícios comerciais utilizar nas fachadas principais, sistemas de vedação contínuos conhecidos como "curtain-walls" constituídos de painéis de alumínio, aço inoxidável, ou outros materiais e vidro, sendo frequente apenas o uso de vidro comum, temperado ou aramado.

Nesta solução as bordas das lajes são recuadas em relação à prumada da face interna da cortina, constituindo portanto um ponto de descontinuidade da proteção, (Fig.[illegible]).

Essa solução foi adotada no edifício Grande Avenida que sofreu o primeiro incêndio de grandes proporções registrado em São Paulo e também no Andraus e supõe-se tenha contribuido nos dois casos para a rápida propagação das chamas de um pavimento para outro.

Entretanto, mesmo que não houvesse esta descontinuidade e mesmo que a cortina fosse constituída alternadamente de peitoris resistentes ao fogo e de caixilhos envidraçados, a presença destes últimos seria suficiente para tornar

vulnerável a compartimentação. Em edifícios residenciais esta solução é menos frequente e os vaõs de iluminação e ventilação praticados nos vedos externos têm superfície limitada. Assim mesmo, por se localizarem na mesma prumada, também representam um ponto de vulnerabilidade.

Lembramos entretanto que o comprimento vertical das chamas é maior em janelas largas e forros altos, enquanto em janelas estreitas e forros baixos as chamas sofrem uma deflexão horizontal que as afasta da fachada. Como janelas estreitas são mais comuns em edifícios residenciais a propagação vertical externa é nêste caso menos frequente.

Recomenda-se, e alguns códigos exigem, a adoção de saliências horizontais nas fachadas, destinadas a afastar as chamas. Recentes trabalhos experimentais realizados na Fire Research Station inglêsa, mostraram que, embora de certa utilidade, êsse recurso não é suficiente para impedir a propagação direta de um pavimento para o sucessivo, como mostrou também o incêndio do Joelma. Este problema merece uma abordagem mais ampla, (86A), (fig.13B)

Vários estudos estão em andamento em países diferentes visando verificar melhor o efeito dessas saliências. Parece-nos importante que seu perfil e seu ângulo sôbre a horizontal, permita realmente obter uma deflexão dos gases e das chamas, conforme mostra a fig.13 D.

Grandes sacadas e quebra-sóis múltiplos horizontais são mais eficientes. Deve-se a êste propósito lembrar que, se as chamas forem de grande altura alcançando vários pavimentos, pode ocorrer a sobreposição no tempo dos efeitos de incêndios em pavimentos sucessivos. Embora as temperaturas externas sejam relativamente baixas, é oportuno dar a êstes defletores ou aos quebra-sóis e seus sistemas de fixação, uma resistência R_f não menor do que 4 horas, exigida para os três requisitos.

Não podem ser construidos com plásticos, alumínio, ou fibro-cimento, especialmente êste último que pode sofrer os efeitos dos jatos d'água.

É melhor recorrer a peças de concreto armado leve.

Lembre-se que os quebra-sóis devem ser espaçados de forma a permitir a passagem de pessoas e evitar que seja dificultado ou impedido seu resgate eventual pelos bombeiros através das fachadas.

(86A) EXPERIMENTAL BUILDING STATION, A Model Study of the External Likely Spread of Fire from Storey to Storey of a Building. Department of Housing and Construction, North Ride (Australia) 1974

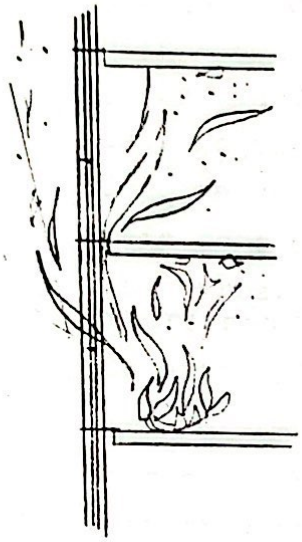


FIG.13A

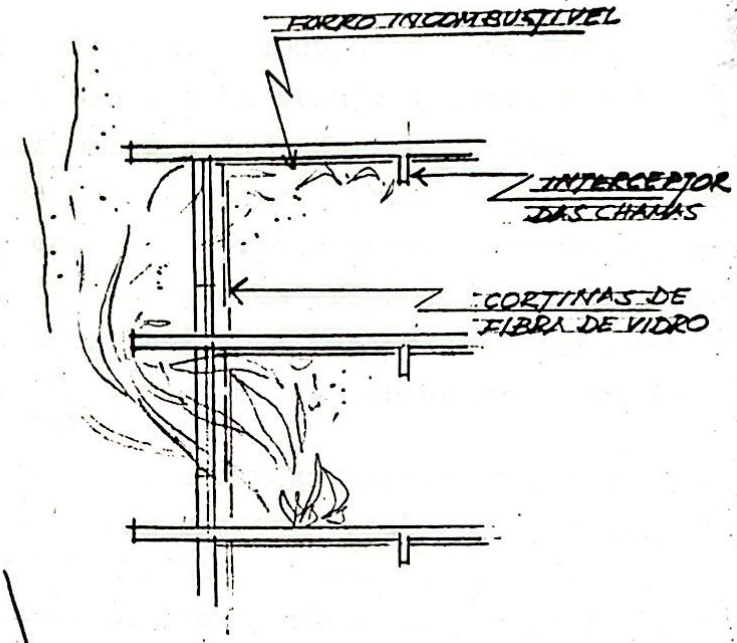


FIG.13 C

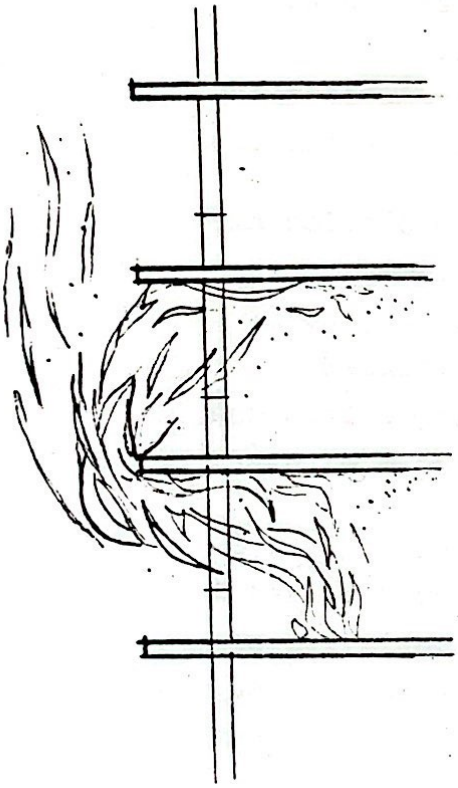


FIG.13 B

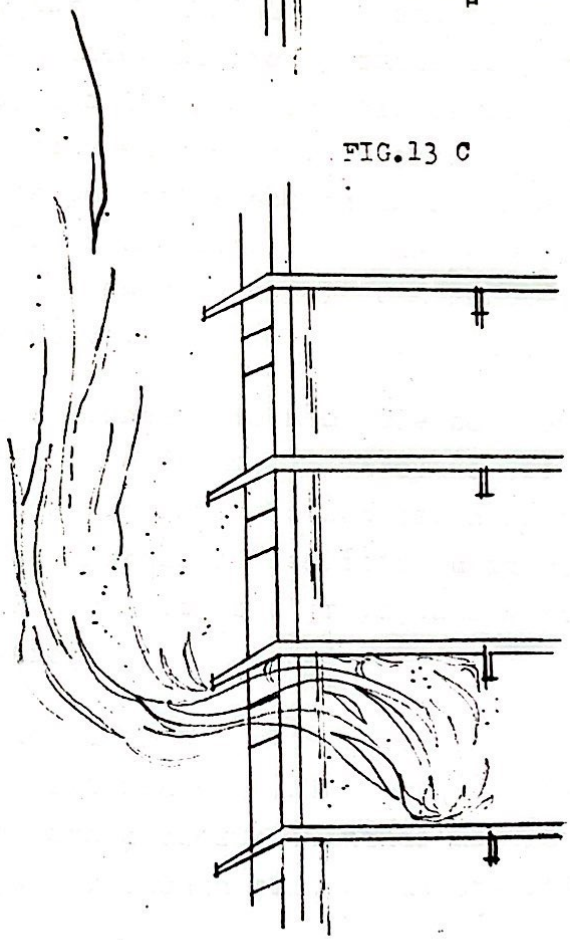


FIG.13 D

De um modo geral, a principal preocupação deve ser de evitar que a extremidade das chamas atinja materiais inflamáveis e uma boa medida seria a de manter os locais ao longo de uma faixa paralela à fachada e profunda não menos de 2 metros, livres desses materiais especialmente daqueles que se caracterizam por rápida propagação das chamas, tais como cortinas, acabamentos de parede, revestimentos de forros. Quanto às cortinas, as de tecido de fibra de vidro são recomendáveis, [illegible].
Se esta medida fôr adotada, e somente neste caso uma complementação razoável poderá ser constituída de persianas externas de enrolar de alumínio. Apesar de sua baixa temperatura crítica, este material permite às persianas, desde que fechadas, uma certa estanqueidade às chamas, reduzindo sensivelmente seu alcance. Recomenda-se entretanto, que as caixas das persianas não sejam de madeira. Além disso a aplicação de uma tinta intumescente poderá melhorar o desempenho, apesar de exigir uma manutenção [illegible] cuidadosa e frequente.

Uma solução que evidentemente não pode ser generalizada é a de dar ao edifício a forma de uma cunha triangular, na qual os pavimentos vão recuando sucessivamente de acordo com a altura. Foi adotada no Edifício Sumitomo Paulista e sem dúvida permite controlar a propagação vertical das chamas e a penetração da fumaça.

Ao se adotar este partido, deve-se prever que as fachadas laterais verticais tenham o mínimo possível de aberturas, mas suficientes para o acesso eventual dos bombeiros e que o recuo seja suficiente para a manobra dos equipamentos.

O partido piramidal não permite o acesso externo dos bombeiros por exigir inclinação excessiva das escadas e pirâmides invertidas (36) devem ser evitadas eis que facilitam a propagação vertical. Verticalmente propagam-se as chamas mas também difundem-se os gases e a fumaça. As próprias chamas, como vimos, são gases quentes e o ar fica

---

(36) Trata-se de uma solução pouco comum, mas que foi recentemente adotada num grande empreendimento imobiliário em São Paulo.

permeado de gases incombustos, em parte nocivos. As medidas destinadas a manter afastadas as chamas podem também evitar a penetração dos gases e da fumaça.

7. A propagação das chamas, internamente ao edifício, pode realizar-se através de furos, praticados em vedos verticais e horizontais, comumente utilizados para dar passagem a eletrodutos e tubulações. Furos de grandes proporções que interrompem a compartimentação horizontal são as caixas de escadas e de elevadores e os dutos de ar condicionado.

Os furos em paredes são menos suscetíveis de propagação do que os existentes em forros e lajes, mas quanto mais próximos dos forros mais perigosos se revelam pelas razões já vistas em outra parte deste trabalho. A prática mostra entretanto que um furo numa parede de um tijolo não apresenta risco apreciável desde que isolado e de diâmetro inferior a 4 cm. Isolado significa aqui afastado de outro furo semelhante de pelo menos 12 vezes seu diâmetro. Quando o furo abrigar uma tubulação constituída de material inflamável e dotado de elevada velocidade de propagação das chamas, o diâmetro máximo não poderá exceder 1,5 cm. Se não fôr possível atender a esta restrição ou a distância entre os furos fôr menor do que a sugerida, é conveniente proteger as tubulações com dutos resistentes ao fogo. Por outro lado se os furos não forem totalmente preenchidos pelas tubulações, o ajuste deve ser realizado com material incombustível como lã de rocha ou amianto calafetado com tinta intumescente.

8. Furos bem maiores podem ser necessários quando o edifício ou o pavimento é dotado de instalação de ar condicionado. Os dutos são neste caso geralmente construídos com chapas delgadas de aço galvanizado que ao sofrerem a ação da temperatura deformam e sofrem colapso, permitindo a passagem direta das chamas, fumaça e gases, através das paredes ou das lajes, representando portanto um ponto crítico para uma eficiente compartimentação. Deve-se considerar tam-

bém que em determinadas circunstâncias o fogo pode ter origem na própria instalação, servindo-lhe os dutos como caminho de propagação. É evidente portanto que devem ser previstos em número suficiente septos ou válvulas automáticas ("dampers") que os interrompam logo que o fogo se manifeste com intensidade perigosa. Outra alternativa é representada por grelhas pintadas com tintas intumescentes.

Para instalações de grande capacidade recomenda-se entretanto proteger os dutos com revestimentos que assegure a mesma resistência ao fogo exigida para as paredes ou pisos atravessados. As caixas de escadas e de elevadores constituem um caso especial eis que têm uma função específica a desempenhar.

4.9 COMPARTIMENTAÇÃO DE ESCADAS E ELEVADORES

1. As caixas de escada e de elevadores formam um duto vertical que coloca em comunicação direta cada pavimento do edifício. Existem dois tipos de escadas: as normais e as de segurança. As de segurança são a prova de fogo e fumaça. No nosso entender, por razões registradas no tópico 4.12.1. sòmente devem existir escadas de segurança. A resistência dos elementos que compõem a escada e sua caixa deve ser de 2 horas.

2. No que tange aos elevadores também podemos classificá-los em normais e de segurança.
Neste caso deve-se observar que não existem no mercado elevadores que possam ser considerados de segurança. Os elementos constituintes suas caixas entretanto devem obedecer às mesmas normas exigidas para as escadas, devendo a R_f ser de 2 horas.
Se as portas dos elevadores abrirem nos vestíbulos das escadas, todo o sistema deverá ser também a prova de fumaça.
Em geral para os vedos que formam sua caixa podem ser previstas quatro situações:
- comuns aos da caixa da escada,
- comuns aos de uma unidade autônoma,
- comuns aos do vestíbulo ou patamar,
- independentes ou externos.

É evidente que nos primeiros três casos a resistência exigida é a mesma dos vêdos com que mantêm relação. No último caso, depende da finalidade. Algumas regulamentações (inclusive a NB-208) estipulam para determinadas circunstâncias a existência de um elevador de segurança. Trata-se de equipamento cuja eficiência requer condições difíceis de ser obtidas e mantidas e, destarte, extremamente onerosas. Voltaremos a analisar este aspecto ao tratarmos particularmente da problemática dos edifícios altos.

Admitindo-se que sejam adotados, os vêdos de suas caixas deverão possuir a mesma resistência ao fogo exigida para as escadas, isto é não inferior a 2 horas.

A resistência a exigir das portas será de uma hora.

3. O problema da ventilação das escadas e dos poços, já foi colocado ao analisarmos as medidas para neutralizar os efeitos dos gases e da fumaça. Nas escadas de segurança, cuja caixa deve ser à prova de fogo e de gases e fumaça, deve ser prevista antecâmara provida de portas de segurança, dotada de ventilação direta ou por chaminé. Em qualquer caso os gases e a fumaça são extraídos pelo topo do edifício, mas esta solução apresenta o inconveniente de explosões provocadas pela mistura de gases quentes incombustos com o oxigênio do ar; portanto a exaustão deve ser feita acima da cobertura, para limitar o perigo.

A ventilação pode ser natural ou forçada, mas já mostramos a ineficiência da primeira. Desde logo pode ser admitida a ventilação natural das escadas apenas como recurso adicional, desde que a fumaça seja extraída das ante-câmaras. Caso contrário exigir-se a locação externa das escadas de segurança apenas para permitir a ventilação natural, é requisito discutível.

As considerações feitas e as referências às investigações realizadas em outros países, mostram que a ventilação mecânica é um recurso a merecer séria atenção. Em geral um sistema deste tipo deve atender a vários requisitos, a saber:

1) propiciar um controle positivo da fumaça e impedir sua entrada nos locais de evacuação e refúgio ou removê-la,
2) ter utilização imediata,
3) ter capacidade de funcionamento ininterrupto durante todo o incêndio,
4) ser simples e barato.

Butcher (87), sugere três opções na escolha de um sistema que atenda a tais requisitos:

1) exaustão
2) exaustão e insuflamento
3) pressurização

Um sistema de ventilação, natural ou mecânico, cria uma diferença de pressão e se de um lado extrai ou dilui a fumaça, de outro provoca a entrada de mais fumaça através das juntas e das aberturas das portas. Este inconveniente é mais sensível para a primeira alternativa, mas pode-se verificar também na segunda, tornando difícil a diluição em níveis toleráveis.

4. Essas razões têm polarizado as atenções sobre a terceira alternativa, constituída pela pressurização. Nesta, efetua-se uma insuflação de ar fresco com pressão suficiente para inverter o fluxo e evitar a entrada da fumaça.

Num local atingido pelo fogo o ar e os gases quentes aumentam de volume e sofrem um movimento ascensional. Estes dois efeitos provocam um aumento de pressão nas camadas abaixo do forro e à altura de dois metros, isto é aproximadamente da verga de uma porta, a diferença de pressão é da ordem de 0,6 kg/m², mas a ação do vento e outros fatores climáticos e o efeito de chaminé podem dar lugar a diferenças da ordem de 1,3 kg/m².

A pressurização deve portanto neutralizá-las e é recomendável adotar, por segurança, diferenças de pressão não menores do que:

---

(87) BUTCHER E., Smoke Control and pressurization of escape routes, The Architect's Journal, Londres, 1974.

- 2,5 kg/m^2 para prédios até 25 metros de altura
- 5,0 kg/m^2 para prédios até 150 metros.

Ao ser aplicada a pressurização, deve-se considerar que um esforço maior será exigido para a abertura das portas. Com efeito admitindo-se que a área de uma folha comum seja 1,6 m^2, o esforço a ser aplicado seria de 8 kg admissível para adultos, mas não para crianças. De qualquer maneira as portas de segurança não poderão ter folhas com largura maior do que 80 - 90 cm.

É óbvio que um sistema mecânico de ventilação ou de pressurização deve ser colocado em funcionamento o mais rapidamente possível, requisito que exige a partida automática acionada por detector de fumaça. Alguns autores sugerem sistemas em operação contínua a um ritmo mais lento, mas esta é evidentemente uma solução onerosa. Um estudo bastante profundo incluindo a viabilidade econômica, de autoria de Hobson e Stewart, foi recentemente realizado na Inglaterra e pode servir de base para aplicações da pressurização (88).

A vazão de ar a ser insuflado, como vimos na segunda parte desta tese, não depende do volume dos locais mas do volume de fumaça que atravessando a porta de acesso, pode permear o ar. A pressurização deve portanto ser feita apenas nos locais onde a penetração da fumaça é prejudicial para os moradores.

O sistema poderá também incluir exaustores adicionais para retirar a fumaça penetrada entre o início do incêndio e a operação do equipamento.

5. Destaca que, como mais um ponto a favor desta solução, a resistência ao fogo das portas é sensivelmente incrementada como revelaram ensaios realizados na "Building Research Station" inglesa.

---

(88) HOBSON P.J. and STEWART L.J., Pressurisation of escape routes in buildings, Fire Research Station and Heating and Ventilating Research Association (UK), F.R.N. nº 958, 1972.

6. Quando o edifício fôr dotado de instalação de ar condicionado, esta poderá contribuir para a rápida propagação da fumaça, se não fôr imediatamente desligada e seus dutos fechados por registros automáticos ("dampers") ou por grelhas pintadas com tinta intumescente. É possível contudo com um projeto adequado, utilizar a mesma instalação para a pressurização dos locais de evacuação e refúgio. Testes práticos com essa finalidade já foram realizados na Austrália com um edifício de 16 pavimentos mostrando a viabilidade dessa solução (89).

Um tema como este não pode ser enfrentando pelo arquiteto sem o auxílio de especialistas e é a estes também que será oportuno recorrer para a necessária complementação da legislação de incêndios já mencionada da Capital de São Paulo.

4.10 PROPAGAÇÃO EXTERNA POR RADIAÇÃO

1. Sobre o alcance da radiação falamos na segunda parte ilustrando inclusive um método para calcular a distância limite da radiação crítica. Esta depende do potencial calorífico e da superfície radiante e deveria ser o parâmetro de determinação dos recuos mínimos exigidos pelos Códigos.

Alguns autores (90) apresentam ábacos de fácil utilização para determinar rapidamente essa distância. Poderá a propósito ser consultado o livro de Lie, Cap. 5º.

Dois edifícios adjacentes isto é com paredes locadas na divisa não sofrem o efeito da radiação externa desde que tenham a mesma altura. Nesse caso as paredes deverão ter a resistência mínima estabelecida para o resto do edifício mas com hipótese alternativa da ação das chamas nas duas faces.

---

(89) COMMONWEALTH EXPERIMENTAL BUILDING STATION, Control of Smoke from Fire in an Air conditioned Building, Department of Works, Technical Record TR 44/153/410, North Ride, 1973.

(90) Alguns códigos também permitem o uso desses ábacos, deixando ao arquiteto a opção mais conveniente. Deve-se entretanto considerar que os recuos não têm somente a função de estabelecer uma distância de segurança para a radiação.

Se o edifício fôr afastado da divisa para permitir ventilação e iluminação por áreas laterais, a propagação por radiação deverá ser considerada e controlada. Uma vez que o fluxo radiante é proporcional à superfície dos vãos abertos, o controle exige que se reduza ao mínimo a área desses vãos. Um recuo excessivo pode não ser econômico e tampouco permitir o aproveitamento do lote.

2. A intensidade crítica da radiação estabelecida mediamente em 0,3 cal/cm^{2}s, refere-se a materiais celulósicos e, como vimos, é aquela que provoca a inflamação desses materiais por ignição piloto. Portanto se a radiação gerada por uma edificação tomada pelo fogo, alcançar outra próxima, o incêndio poderá se propagar desde que atinja materiais inflamáveis. Logo é medida imprescindível quando o recuo fôr menor do necessário, evitar o uso nos vãos de iluminação, de cortinas inflamáveis.

Persianas de enrolar externas de alumínio basculantes com fecho total ou quebra-sóis devidamente orientados devem ser recomendados.

4.11 PROPAGAÇÃO EXTERNA ATRAVÉS DAS COBERTURAS

Esta propagação é bastante comum e é facilitada também pela proximidade dos edifícios e pela ação do vento. Na segunda parte já analisamos os seus mecanismos. Aqui deixamos consignadas algumas recomendações.

Em primeiro lugar deverão ser evitados materiais inflamáveis nas coberturas. Algumas normas estabelecem métodos para verificar essa condição. Em sua falta o critério a ser adotado pelo arquiteto é de não aplicar telhas ou chapas que tenham na sua composição prevalência de materiais orgânicos.

A segunda medida, quando as edificações forem adjacentes ou geminadas é de compartimentá-las verticalmente, acima do telhado com paredes corta-fogo.

4.12.0. EXIGÊNCIAS DE EVACUAÇÃO

4.12.1. PRINCIPIOS GERAIS

1. De acordo com os principios estabelecidos na primeira parte dêste trabalho, em qualquer circunstância para/ assegurar a incolumidade das pessoas afigura-se necessário seu afastamento do local atingido diretamente - pelo fogo e, eventualmente, sua evacuação do edifício. Estas condições são estipuladas pelos Códigos, de forma geralmente rigorosa sem muitas opções para o arquiteto, podendo dar lugar a controversias quando seu ônus fôr considerável.

   O substrato dessa codificação oficial deve ser conhecido para que sua formulação não decorra apenas da extrapolação mecânica de normas estrangeiras e o arquiteto além de aplicá-la conscientemente possa também complementá-la com medidas destinadas a torná-la mais eficaz.

2. O afastamento de um local atingido pelo fogo é feito/ por um percurso divisível geralmente em quatro partes:
   - a primeira, na qual as pessoas atravessam o local até a saída,
   - a segunda, na qual através de um corredor, uma passagem ou um vestibulo, atingem uma escada,
   - a terceira, na qual servindo-se dêsse meio de circulação vertical, alcançam o térreo,
   - a quarta, na qual através de um corredor, um vestibulo ou uma galeria atingem a rua.

   Logo, os dois primeiros e o ultimo trechos são horizontais enquanto o terceiro é vertical.

   Evidentemente podem ser assinaladas exceções a êste - esquema. Sem considerar a fuga para cima eis que se/ o fogo sobe, o sentido mais racional do afastamento/ é para baixo, podemos admitir que: em determinadas -

circunstâncias no fim da segunda parte ou da terceira (parcial) as pessoas alcançam um local de refúgio no próprio pavimento ou no sucessivo; em edificações térreas o percurso se compõe apenas da primeira e segunda parte; em centros comerciais também a terceira parte pode não existir, etc.

Estas exceções entretanto não alteram substancialmente a análise que faremos a seguir, na qual será considerado o percurso completo.

3. Um incêndio em geral tem início num determinado local e depois de decorrido um certo tempo, registra-se nêsse local o "flash-over". Em seguida o fogo alastra-se a outras dependências do mesmo pavimento por propagação horizontal até que, dependendo do grau de compartimentação, ocorre a inflamação generalizada do pavimento.

   Se o pavimento fôr constituido de um único local, como num escritório panorâmico, o "flash-over" será único. Em seguida o fogo poderá propagar-se verticalmente aos pavimentos superiores. Percebe-se que o caminho seguido pelo fogo na sua propagação pode cruzar os percursos de afastamento. Mas a combustão é acompanhada por sub-produtos, constituidos de fumaça e gases cujos caminhos podem ser diferentes daqueles das chamas, mas que sem dúvida também cruzam os percursos de afastamento.

   Logo, a primeira regra a ser obedecida na formulação de um esquema de segurança de percursos de afastamento é o de propiciar alternativas para êsses percursos.

4. Se o fogo se produzir num comodo pequeno, uma saída/ será suficiente porque o número de pessoas é reduzido e a distância a percorrer é curta. Vice-versa se o tamanho do local fôr grande, mais de uma saída se

rá necessária não sòmente por ter que dar vazão a um número maior de pessoas e por serem os percursos mais longos, mas também porque neste caso as alternativas são indispensáveis. De fato, quanto maior o local - tanto menor o efeito de compartimentação produzido - pelas próprias paredes. Além disso deve-se considerar o efeito da aglomeração em virtude da maior lotação. Um indivíduo ao enfrentar um perigo, é tomado pelo - pânico quando não tem uma orientação definida sôbre/ como evitar de ser seriamente atingido, mas êste estado psicológico é agravado em aglomerações de pessoas. Portanto não sòmente num local de grande tamanho devem serasseguradas alternativas, mas também devem - estar claramente identificadas e sinalizadas.

Estudos realizados na Inglaterra e no Japão (93) mostraram que, prescindindo de qualquer outro critério/ deve ser prevista uma saída cada 300-350 pessoas adultas e cada 100-150 crianças. A cada saída corresponderá evidentemente um trecho de percurso.

5. Na segunda fase do afastamento o percurso pode ser interceptado pelas chamas, fumaças e gases, dependendo da velocidade de propagação, devendo-se portanto- também recorrer a percursos alternativos. Se para esta segunda parte do afastamento fôr previsto o uso - de um corredor a alternativa poderá consistir em - duas escadas nas extremidades de maneira que colocando-se uma porta corta-fogo no meio se definam dois - percursos em sentidos opostos.

Uma situação crítica pode contudo surgir quando o fogo venha a se manifestar no próprio corredor. Mesmo- que seja utilizado um sistema eficiente de detecção/ e alarme, é muito provável nêste caso que um ou mais locais fiquem bloqueados antes que as pessoas que - nêstes se encontram, percebam o perigo. Desde logo - deve ser evitada nestas dependências de circulação - mesmo quando compartimentadas - a aplicação de mate-

riais inflamáveis, com elevada propagação superficial das chamas e produtores de gases e fumaças.

Situação semelhante pode acontecer por permeação de fumaças proveniente de pavimento inferior. A isto remedia-se com o uso de portas corta-fogo nas extremidades do corredor, que assim passam a jogar um papel duplo, e com a aplicação de tôdas as medidas destinadas ao contrôle da fumaça preconizadas no tópico 4.9.

Em grandes salões ou em escritórios panorâmicos pela-ausência de compartimentação vertical, a primeira e segunda fase de afastamento se confundem. Nêste caso apesar de fìsicamente não definidos por vêdos, os percursos podem ser identificados com recursos visuais, mas é evidente que o arquiteto deve encarar com extremo rigor as medidas destinadas a evitar a propagação/ superficial das chamas e controlar a fumaça e os gases em todo o local.

Ressalta que se os meios de circulação horizontal não forem compartimentados, a primeira e segunda parte do/ percurso deverão ser somadas para ser-lhes aplicado o limíte da distância máxima que será definido mais adiante nêste tópico, eis que o afastamento será considerado desprotegido até a saída para a escada.

6. A terceira parte do afastamento em direção vertical, utiliza as escadas. Uma vez que êstes meios de circulação são também o caminho mais provável da propagação das chamas e dos seus sub-produtos, é necessário/ interceptar esta propagação por meio de portas corta-fogo. Aqui vale também o principio da alternativa e um sistema de percursos de afastamento deve considerar o bloqueio de pelo menos uma escada.

Em outras palavras ao se fazer o dimensionamento geométrico das escadas deve-se sempre acrescentar mais uma.

Destas considerações podemos estabelecer mais dois princípios essenciais para um esquema de afastamento. Um diz respeito à compartimentação de todos os meios/ de circulação utilizados no esquema. Outro princípio/

é representado pela unidade do sistema: os percursos definidos e os critérios aplicados devem ser coerentes. Corolário dêste último principio é a condição de não existirem percursos alternativos inseguros. Em outras palavras, não podem existir concomitantemente vários esquemas de circulação dos quais alguns normais e outros de emergência. Todos devem ser de segurança: caso contrario os usuários serão levados a utilizar os normais como alternativa para os de emergência com resultados certamente fatais. Portanto se por razões funcionais num edificio forem previstos sistemas de circulação múltiplos, o arquiteto deverá estudá-lo de maneira a evitar cruzamentos e dotar de portas de bloqueio automático, aquêles considerados não de segurança de maneira a impedir/ seu uso.

Mais uma regra deve ser acrescentada: é a da manutenção do esquema, isto é da condição da eficiência permanente. Êste conceito não apenas se refere à manutenção das condições previstas no projeto, mas também ao funcionamento e operação dos equipamentos essenciais para o contrôle/ da propagação das chamas e dos seus sub-produtos, destacando-se as portas corta-fogo que devem ser mantidas fechadas por dispositivos automáticos de molas.

4.12.1.1. TEMPO CRÍTICO DE AFASTAMENTO

1. Tempo crítico para evacuação e afastamento é o disponível entre o início do incêndio e o ponto em que para cada trecho do percurso de afastamento, o fogo e seus sub-produtos alcançam os limites de tolerância humana. Logo, o estudo das condições mais favoráveis deve procurar estabelecer o tempo disponível.

Caravaty e Haviland, citados por Marchant (90A) definiram o tempo de reação, como sendo aquele gasto pelas pessoas para reagirem e se afastarem do local. A rela -

(90A) MARCHANT E.W. "A complete Guide to Fire and Buildings" MTP CoLtd, Lancaster 1973

ção entre o tempo crítico e o de reação permite determinar o tempo disponível.

Será :

$$t_R < t_D < t_{CR}$$

onde : t_R = tempo de reação

t_D = tempo disponível

t_{CR} = tempo crítico

Já vimos no decorrer dêste estudo que as condições mais desfavoráveis se encontram no periodo de tempo que intercorre do surgimento do fogo até o "flash-over" e que êste periodo é tanto mais curto quanto maior fôr o potencial calorífico, mais eficiente fôr a ventilação, mais abundante fôr a contribuição de materiais dotados de elevada velocidade de propagação superficial das chamas. Se adotarmos como prazo mais desfavorável o de 5 minutos, deve-se presumir que a evacuação se faça em tempo menor. Entretanto observa-se que antes e durante o "flash-over" há maior produção de fumaça, de tal forma que os limites de tolerância podem ser atingidos em tempo menor. Parece haver um consenso geral em considerar um tempo crítico médio da primeira fase do afastamento igual a 2,5 minutos. Admite-se também um tempo máximo de 3 minutos, mas locais revestidos com materiais inflamáveis e dotados de elevada velocidade de propagação das chamas, devem ser evacuados mais rapidamente, isto é em não mais que 1,5 minutos.

Posto que a velocidade de movimento tem um limite, deduzimos que existe uma distância máxima para esta parte do percurso e portanto é conveniente que êste trecho sem proteção, seja o mais curto possível, permitindo alcançar a segunda parte compartimentada. Para a segunda parte do percurso, o tempo crítico será então aquele correspondente ao índice de resistência ao fogo adotado para a compartimentação . Note-se que trata-se do tempo efetivo e não do equivalente determinado em ensaio.

Fazendo-se a hipótese da evacuação total do edifício no nível da rua, a terceira fase terá como tempo crítico a resistência adotada para a escada. Se esta não fôr estanque à fumaça o tempo crítico será no entanto igual ao da primeira fase. Em outras palavras, se os vários trechos não forem protegidos, o tempo crítico será único e igual ao necessário para que a fumaça os permeie totalmente.

Se o edifício fôr compartimentado horizontalmente, o tempo crítico para a terceira parte do percurso será igual ao índice de resistência efetivo adotado para a compartimentação.
Para o último trecho se o mesmo também fôr compartimentado, por existirem sub-solos, os critérios serão os mesmos.
Desta análise verifica-se que o risco maior está no primeiro trecho do percurso, desde que sejam adotadas medidas para o contrôle dos gases e das fumaças e o restante do percurso seja compartimentado.

4.12.1.2. GEOMETRIA E DINÂMICA DA EVACUAÇÃO

1. Os princípios formulados no tópico anterior permitem dotar os percursos de fuga de condições mínimas de segurança. Devem agora ser complementados pelos critérios de dimensionamento destinados a garantir o escoamento das pessoas de acôrdo com a velocidade de seu movimento e as condições impostas pela própria ação do fogo.
Uma vez que o escoamento é nêste caso determinado pela velocidade do movimento e pela largura do acesso, definido por uma faixa, uma passagem um corredor, uma escada, um vão, etc., são êstes dois parâmetros que interessa examinar.
Partindo da hipótese de evacuação de 100 pessoas em 2,5 minutos, estudos realizados no Reino Unido, sugeriram velocidades de deslocamento variáveis de 12 a 18 minutos. Vários fatores influem nessa velocidade, inclusive as condições da população.
Nestas condições o percurso máximo de afastamento correspondente a um tempo de 2,5 minutos seria respectivamente de 30 e 45 metros. Estes dados referem-se ao movimento de pessoas isoladas e não são totalmente compatíveis com as condições de evacuação rápida de um local incendiado.
Na hipótese de serem aceitáveis , e isso será discutido mais adiante, as distâncias de 30 a 45 metros são as máximas para as pessoas em fuga encontrarem uma saída para uma escada ou um refúgio protegidos contra o fogo.

2. Cabe observar que, agachando-se, isto é abaixando a cabeça a um nível mais baixo do que o terço inferior da altura dos vãos de ventilação, uma pessoa pode conseguir um movimento mais seguro, embora mais lento, mesmo quando a inflamação generalizada já tenha-se verificado.
Esta condição depende dos vãos de ventilação estarem abertos ou da ruptura dos vidros ter-se verificado, permitindo a entrada de ar fresco na parte inferior e a saida de fumaça e chamas na parte superior.

Outras circunstâncias podem influir sôbre a velocidade de movimento, revelando-se de grande importância a identificação e sinalização dos percursos e o grau de treinamento das pessoas. Quando de um percurso curto e estreito as pessoas desembocam diretamente em um local aberto e bem iluminado, a velocidade pode ser maior, mas em todos os casos deve-se supôr que o efeito nocivo dos gases e fumaças seja controlado.

Um fator a ser considerado primordialmente é a condição do percurso ser em linha reta ou quebrada. Em linha reta não sòmente a facilidade de movimento é maior, como também a distância efetiva alcançada é maior. Por exemplo, em escritórios panorâmicos sem partições, é possível planejar com certa facilidade acessos retos obtendo a máxima distância útil entre a saída e o ponto inicial de fuga. A existência de partições pode obrigar a percursos irregulares, mas a distância admissivel será a soma dos vários trechos.

3. Uma vez que nem sempre é possível prever a posição das partições, é oportuno introduzir dois conceitos de distância de afastamento: a direta e a de percurso ("travel distance"). No projeto arquitetônico será estabelecida a primeira, para no ato da divisão do local com partições, ser respeitada a segunda. Condições semelhantes podem ser criadas pelo próprio equipamento de escritórios, de escolas, laboratórios ou pelas máquinas e instalações de fábricas e oficinas.

A experiência indica que a distância de percurso não/ pode ser maior do que 1,5 vêzes a distância direta. Portanto as distância máximas acima definidas de 30 a 45 metros deverão ser consideradas de percurso, correspondendo-lhes as diretas de 20 e 30 metros.

É importante também observar que uma saída, considerada como extremidade de um percurso, não é necessáriamente uma porta de comunicação direta externa com a

ante-câmara de uma escada compartimentada. Isto é válido apenas para o final da segunda parte do percurso tal como foi definida no tópico anterior. Saída é em geral qualquer porta resistente ao fogo que comunique com corredor ou vestíbulo compartimentado, mesmo que situada no centro do pavimento. A distância máxima de afastamento acima estabelecida, representa a parte sem proteção do percurso entre o ponto mais afastado e uma saida. Assim ,prescindindo de qualquer outro critério é êste um requisito para definir o número de saídas de um local.

Em todos os casos em que não fôr prevista saida alternativa a distância máxima deverá ser reduzida. Além disso deverá ser considerada a situação particular de risco existente ou o efeito de outros fatores. Por exemplo, as normas inglêsas admitem as seguintes distâncias reduzidas:

- risco elevado 18 m
- locais de trabalho 12 m
- dormitórios 9 m

Quando mais de uma saída fôr necessária, a disposição deverá ser estudada de forma a obedecer a certa simetria, evitando o cruzamento de percursos e permitindo servir à área com o máximo aproveitamento da distância permitida(90B).

4. Estabelecida a velocidade de evacuação e a distância mínima, para definir o escoamento cabe ainda dimensionar a largura do acesso. Segundo Neufert,uma pessoa em movimento precisa de uma largura média útil entre paredes de 66 cm. Segundo outros autores essa largura é de 70 cm e um estudo realizado na Inglaterra(91) confirmou que para obter um escoamento de 40 pessoas por minuto é necessário um espaço de 53,3 cm(21") que corresponderia à velocidade de movimento de 12 m/min (92).
Entretanto essa velocidade é válida para pessoas isoladas e pode, como vimos alcançar até 18 m/min.
A êste respeito são necessárias várias observações.
Em primeiro lugar, segundo Hutcheon e Galbraith (92A)deve-se distinguir entre movimento horizontal e em escadas, porque a intensidade de aglomeração é diferente. Nas escadas portanto a velocidade de movimento é menor.
Mas se admitirmos a velocidade de 12 m/min para um escoamento de 40 pessoas por minuto, para pessoas enfileiradas significa supor que cada metro de percurso contenha 3,3 pessoas ou vice-versa que a cada pessoa correspondam 30 cm de espaço, o que indica um índice de aglomeração impraticável.

(90B) GREAT LONDON COUNCIL CODE OF PRACTICE, Means of Escape in Case of Fire, Londres 1974

Segundo Neufert pessoas em marcha cadenciada ocupam de 35 a 45 cm no sentido do movimento enquanto em marcha irregular o espaço necessário médio é de 62 cm. A evacuação de pessoas que procuram fugir de um perigo, provoca em locais confinados, a formação de aglomerações e as conduz a apinharam-se naturalmente, podendo seu movimento ser assimilado não a uma marcha mais ou menos cadenciada, mas talvez mais a uma corrida inicial cuja velocidade vai diminuindo na medida em que a aglomeração vai-se formando.

Observações por nós efetuadas em saídas de cinemas, mostraram que o espaço de 40 cm pode ser considerado como mais provável. Isto significa 2,5 pessoas por metro e admitindo uma velocidade de movimento de 12 m/min, o escoamento seria igual a 30 pessoas por minuto, menor portanto do preconizado para cada canal de percurso.

Para assegurar uma movimentação mais fácil sem atropelos e tropeços, é conveniente adotar uma largura transversal maior do que as propostas nos parágrafos anteriores. Estudos realizados por Togawa no Japão (93) mostraram que tomando-se como base o mesmo escoamento de 40 pessoas por minuto, a largura útil deveria ser no mínimo igual a 76 cm.

A esta largura mínima dá-se o nome de "unidade de largura ou passagem" (NB 208) ou "unidade de saída"(Decreto 10.878).

Segundo Landon-Thomas, quando deve-se atender a úm número maior de pessoas, por meio de úm único canal de escoamento, e o necessário

---

(91) LONDON TRANSPORT EXECUTIVE,Research on the Capacity of Foot-ways,Research Report nº95,Londres,1958.

(92) A vazão de 40 pess/min corresponde à hipótese de afastamento de 100 pessoas em 2,5 minutos por unidade de saida ou canal de movimento.

(92A) HUTCHEON N.B.,Canadian Studies on Control of Smoke in Tall Buildings, em Movement of Smoke on Escape Routes in Buildings, HMSO,Londres 1971
GALBREATH M.Time of Evacuation by Stairs in High Buildings, NRCC, Division of Building Research, Fire R.Note nº8, Ottawa 1969

(93) TOGAWA K.,Study of fire escapes based on the observations of multiples currents, Report of the Building Research Instituten°14,Tóquio.

fôr maior do que 40 pessoas/min, a largura mínima será de 1 metro, devendo-se adotar um incremento de 6 cm para cada 12 pessoas a serem evacuadas em um minuto.

5. A NB 208 e o Decreto 10.876 (que serão incorporados ao Código de Edificações de São Paulo), admitem uma unidade de largura igual a 60 cm, mas enquanto a NB 208 não a relaciona com o escoamento, o Decreto em questão para edifícios de apartamentos assume um escoamento de 45 pess./min em escadas e 60 pess/min em portas, corredores e passagens horizontais. Esses escoamentos coincidem com os adotados nos Estados Unidos em seguida a um estudo realizado pelo U.S.Department of Commerce,National Bureau of Standards , em 1935 e que Galbreath, no trabalho citado reputa superado. Com efeito tais escoamentos à luz dos dados aqui apresentados podem ser considerados excessivos,(93A).
Isto posto, é evidente que a largura do percurso não deve sofrer variações para menos, isto é não deve afunilar e a mesma largura deve ser mantida nas saídas, portas, vestíbulos. Se assim não fôr, no afunilamento haverá acumulo e aglomeração de pessoas em virtude do menor escoamento e a consequência imediata poderá ser o surgimento de pânico.

4.12.2. <u>ESCADAS</u>

1. A capacidade das escadas está condicionada a outros fatores que não devem necessàriamente ser considerados nos acessos e saídas.
O primeiro aspecto a considerar refere-se à eventualidade da escada ser usada pelos bombeiros como via de acesso interno ao local atingido pelo fogo. É um fato que , especialmente nos edifícios altos, a técnica de combate admite o ataque interno. Desde logo, podem-se verificar duas alternativas : na primeira a escada deve ser reservada para uso exclusivo dos bombeiros; na segunda, a escada seria de duplo acesso, com largura maior, para permitir o fluxo dos habitantes num sentido e dos bombeiros no outro. Uma análise mais cuidadosa mostra que a segunda hipótese não é praticável, devendo-se portanto prever uma escada de uso exclusivo dos bombeiros.

2. Como para qualquer outro meio de escape e saída,é essencial também para as escadas que a largura útil não sofra afunilamentos de qualquer natureza e muito menos impedimentos tais como portas,grades,etc.(93B) Para o cálculo da largura útil devem-se aplicar os critérios já vistos para os percursos horizontais.
Apenas deve-se observar que a velocidade e o escoamento são menores. Segundo Hutcheon e Galbreath, a velocidade de escoamento numa escada torna-se igual a zero quando o espaço disponível para uma pessoa aproxima-se de 2 pés quadrados, isto é cerca de 0,19 m^2.
Admitindo-se , como faz o Decreto mencionado , um escoamento de 45 pess. por minuto, nas escadas, e uma velocidade de 12 m/min, obtem-se um espa-

ço de 26,7 cm por pessoa ou vice-versa 3,75 pessoas por metro. Admitindo uma largura de 60 cm (adotada pelo Decreto) a área útil seria igual a 0,16 m^2, evidentemente insuficiente.

Em geral o escoamento de uma escada é aproximadamente igual a 3/4 do escoamento horizontal à paridade de largura.

Portanto as escadas devem ter uma largura maior, isto é um número de unidades de saída maior.

Admitindo-se os dados inglêses , o escoamento por uma unidade de largura de escada seria apenas de 30 pess./min. Segundo as nossas observações ainda menor.

Veremos mais adiante ao tratarmos especificamente da problemática dos edifícios altos que o tempo de evacuação pode facilmente exceder o tempo de duração do incêndio, justificando-se então a solução dos locais de refúgio.

Edifícios com finalidades especiais exigem maior atenção no dimensionamento quer dos percursos de fuga, quer das escadas. Onde a população for constituida de crianças , de pessoas idosas,incapacitadas ou doentes é preferível recorrer a rampas, reduzindo ainda mais a velocidade de escoamento. Os dados apresentados poderão servir como base para a avaliação dos requisitos a serem observados nestas soluções específicas. Deve-se cuidar contudo que, como pode ocorrer nos hospitais, os mesmos percursos não sejam utilizados para a movimentação das padiolas e dos pacientes.

Em centros comerciais ou em edifícios nos quais o público dispõe de escadas mecânicas, o dimensionamento das escadas de emergência não deve considerar a disponibilidade das mecânicas eis que estas para efeito de compartimentação devem ser totalmente interrompidas e fechadas ao surgir o incêndio.

Publicações especializadas tratam dêstes casos especiais e poderão ser consultadas pelos interessados (94).

(93A) O projeto de Lei 172/74 que reformula o Código de Edificações da Capital e deveria incorporar as normas de segurança contra incêndio, modifica a redação estabelecendo escoamentos de pessoas sem definir a unidade de tempo à qual se referem. Uma vez que o escoamento das pessoas é assimilado ao de um fluido, essa omissão não tem sentido.

(93B) A interrupção de escadas de prédios servidos por elevadores é bastante comum entre o térreo e a sobre-loja ou o 1º pavimento, quando servem dependências de bancos ou organizações financeiras. É prática a ser terminantemente proibida.

(94) Veja-se por exemplo :

HOME OFFICE, Guides to the Fire Precautions, 1-Hotels and Boarding Houses, HMSO,Londres. 1972

- DEPARTMENT OF EDUCATION AND SCIENCE, Fire and the Design of Schools, Building Bull. nº7, HMSO,Londres 1971

4. Posto que a largura mínima seja estabelecida caberá ao arquiteto definir a largura efetiva em função da lotação - calculada e dos critérios adotados.

Enquanto a Norma NB-208 estipula que a largura:

"será proporcional ao número de pessoas que por ela transitarem em cada andar" e que "o andar com maior lotação/ imporá a largura mínima para os demais andares, considerando-se o sentido da saída", o Decreto nº 10 878 manda/ que:

"para proporcionar o escoamento exigível, as escadas deverão apresentar - em conjunto, no caso de se prever - mais de uma - largura suficiente para escoamento do número de pessoas que corresponde à soma das lotações dos 5 pavimentos mais carregados, admitindo-se... a dedução acumulada de 20% da lotação de cada pavimento, a contar do segundo acima do considerado, a capacidade necessária é a soma de 100% da lotação do 1º, 80% do 2º, 60% - do 3º, 40% do 4º e 20% do 5º".

Se todos os pavimentos tiverem a mesma lotação, para efeito do cálculo da largura será portanto adotada uma lotação tripla daquela correspondente a um pavimento.

Entendemos que, desde que seja prevista a compartimentação horizontal, é suficiente considerar a largura correspondente à lotação dos dois pavimentos sucessivos de maior população (94A),

5. Observações complementares no que tange às escadas dizem respeito às medidas dos degraus e à forma dos lanços. Quanto às primeiras as regras habituais para a segurança e a comodidade das escadas são válidas. No que tange aos lanços devem-se evitar os em leque. As escadas em espiral, que não atendem normalmente aos requisitos fisiologicos/ (95), devem ser no caso proibidas.

(94A) O Projeto de Lei 172 já mencionado, altera a exigência estipulando que a largura útil deverá ser proporcional ao número de pessoas igual à soma da lotação do andar/ de maior população e da metade da lotação do andar contíguo superior.

(95) GRANDJEAN E., Ergonomics of the Home, Taylor & Francis Ltd, Londres, 1973.

6. Para as escadas é ainda indispensável evitar de manter na mesma prumada ou em comunicação direta, caixas de escadas servindo partes de edificações com destino diferente e categorias de riscos variáveis. É o caso mais frequente dos sub-solos de edifícios residenciais ou comerciais, destinados a garagens ou depósitos.

4.12.3. ELEVADORES

1. A Norma NB-208 estipula para edifícios altos com mais de 20 pavimentos a exigência de um elevador de segurança, sem contudo esclarecer a finalidade dessa exigência. Este é entretanto um dado importante eis que os elevadores de segurança podem ser destinados a duas funções diferentes. A primeira, como requer por exemplo o "British Standards Code of Practice", é para uso exclusivo dos bombeiros sem outras interferências e seu número deve ser não menor do número de prumadas de alimentação dos hidrantes.

   A segunda é de servir como equipamento de evacuação.

   É evidente que os requisitos nos dois casos são diferentes. Para a evacuação de emergência, muitas dúvidas pairam sobre sua eficiência. Alega-se que podem parar em andar errado, que as portas podem sofrer defeitos tais que sua abertura torna-se irregular, que trata-se de equipamento delicado para atravessar zonas severamente atingidas pelo fogo, que, enfim, a dependência do fornecimento de energia pode tornar crítico seu uso.

   Além disso a capacidade dos elevadores é calculada para condições de uso diferentes daquelas que se registram num incêndio quando todas as pessoas podem estar procurando utilizá-los ao mesmo tempo.

2. Como veremos ao falar mais especificamente dos edifícios altos o uso de elevadores pode ser previsto não para a evacuação total, mas para a distribuição da população nas áreas de refúgio. A operação entretanto exigiria nesse caso vários dispositivos de controle que fatalmente onera -

riam pesadamente o custo deste equipamento que já incide de forma sensível no custo de uma edificação.

3. Uma pesquisa visando a viabilidade de uso dos elevadores para tal fim está em andamento no Laboratório Experimental de Arquitetura da Universidade de Berkeley, na Califórnia. Simulações em computador deverão indicar as estratégias mais convenientes de utilização e desenvolver programas de treinamento (96).

4. Ressalta que em caso de incêndio, qualquer elevador deve ter condições de alcançar rapidamente quer por operação/ automática quer por operação manual, o pavimento térreo , para evitar que paralizando-se seu movimento, os usuários/ fiquem presos em situação extremamente perigosa.
A operação automática é pouco comum e a manual rápida é tampouco frequente e todos nós podemos ser testemunhas - das dificuldades e a demora que se enfrentam na movimentação de um elevador parado por corte de energia.
Um sistema de movimentação manual mais eficiente, com <u>comando interno</u> da cabine deveria ser concebido para permitir a saída dos usuários presos por falta de energia e especialmente no caso de incêndio. Concluindo, somos de opinião que por enquanto não se deva contar com o uso de elevadores para qualquer finalidade de movimentação de pessoas durante um incêndio.

4.13 A PROBLEMÁTICA DOS EDIFÍCIOS ALTOS

1. O objetivo principal na proteção dos ocupantes de um edifício é de evitar que as condições impostas por um incêndio se tornem intoleráveis e constituam um risco grave.

Em edificios baixos este objetivo é consubstanciado em medidas que facilitem o seu afastamento ou resgate.

Num edificio alto, a lotação elevada e o comprimento dos

---

(96) BAZJANAC V., Another way out?, Progressive Architecture, Abril 1974.

percursos não permitem que êsse objetivo seja alcançado e o criterio que prevalece atualmente na abordagem deste problema é de criação de áreas de refúgio, nos quais seja possivel aguardar sem risco a extinção do fogo.

De fato se admitirmos que a escada deve servir para a evacuação global do edificio, seu dimensionamento não somente deverá permitir um certo fluxo de pessoas, mas também acumular durante um certo tempo a população do pavimento. Deve-se portanto levar em conta:

1) o tempo exigido para a escada ser ocupada totalmente pelas pessoas,

2) o tempo durante o qual estas pessoas se movimentam e outras vão entrando nos pavimentos superiores, enquanto/ um número idêntico vai saindo no térreo,

3) o tempo de evacuação da lotação excedente da escada, quando o fluxo de entrada terminar.

Galbreath(96A), a partir dessas hipóteses calculou o tempo necessário para a evacuação de edificios altos admitindo uma escada com largura igual a 112 cm (duas pessoas) área de cada lanço e respectivo patamar igual a 9,2 m2 e escoamento de 45 pessoas por minuto.

Os resultados estão registrados no quadro nº 30A.

QUADRO Nº 30A

TEMPO DE EVACUAÇÃO POR UMA ESCADA

Altura do edificio (nº de Pav.)	Tempo exigido lotação por pavimento 240 pessoas	120 pessoas	60 pessoas
50	2 h 11 min	1 h 06 min	33 min
40	1 h 45 min	52 min	26 min
30	1 h 18 min	39 min	20 min
20	51 min	25 min	13 min
10	38 min	19 min	9 min

Esses dados mostram que acima dos 20 pavimentos, depen -

(96A) GALBREATH M. "Time of evacuation by stairs in high buildings" National Research Council of Canada, DBR Fire Research Note nº 8, Ottawa 1969.

dendo da lotação, o tempo de afastamento teórico atribui à escada , por acumulação, o papel de refúgio em proporção maior do que o de meio de afastamento.
É portanto lógico sugerir que em lugar de escadas super-dimensionadas e anti-econômicas, sejam previstos locais próprios com requisitos suficientes para assegurar condições de vida às pessoas, até a extinção do incêndio.

2. Para o dimensionamento e a distribuição detes locais de refúgio , existem pelo menos duas alternativas : um local para cada pavimento ou um para vários pavimentos.
A escolha depende de vários fatores ; em primeiro lugar da lotação do pavimento e da disponibilidade de espaço. Em segundo lugar, dos recursos disponíveis previstos para a movimentação das pessoas em sentido vertical.
A primeira alternativa dispensa o dimensionamento da largura da escada proporcionalmente à lotação dos pavimentos, como foi definido nos parágrafos anteriores, tendo em vista que não será utilizada pelos moradores.
Na segunda êste dimensionamento deve ser feito em proporção à lotação dos pavimentos que irão alimentar a área de refúgio.
O estudo destas opções parece indicar como mais conveniente a segunda opção, à condição que todos os habitantes do pavimento superior possam alcançar o refúgio em movimento descendente num tempo máximo de 1 minuto.
Nestas condições a escada é suficiente para a movimentação sem necessidade derecorre-se ao uso de elevadores como alguns sugerem.
Em casos excepcionais o arquiteto poderá servir-se de soluções diferentes, que incluam a movimentação por elevador, uma vez que a compartimentação seja eficiente também para êste equipamento e sua operação seja segura. Duvidamos contudo que nas condições atuais esta hipótese seja viável.
A compartimentação horizontal é requisito essencial para qualquer caso e a proteção dos percursos também.

3. Os locais de refúgio devem ser estanques à fumaça e às chamas, isolados termicamente e ter assegurada a estabilidade dos vedos

e da estrutura. Logo, os componentes individualmente e em conjunto devem ser resistentes ao fogo durante todo o tempo da evolução do mesmo, primeira e segunda fase. Esta resistência será estipulada de acordo com as hipóteses adotadas para o regime da combustão. O acesso deverá ser previsto através de ante-câmaras ventiladas, ou pressurizadas, de acordo com os critérios já expostos. A estanqueidade à fumaça será obtida através do sistema geral de ventilação e por meio de portas dotadas do máximo grau de resistência. Dependendo dos característicos destas portas e sempre que a ante-câmara desempenhe perfeitamente sua função de controle e exaustão da fumaça, os locais de refúgio poderão ser ventilados por meios manuais, acionados pelas pessoas.

4. Cada local será dotado de reserva de medicamentos e outros recursos de emergência, de uma caixa d'água independente com capacidade proporcional à lotação prevista, iluminação de emergência e comunicação externa.

5. Um sistema geral de detecção e alarma deverá ser previsto segundo os critérios estabelecidos no tópico 4.1. O edifício deverá ser provido de um centro de controle capaz de desempenhar as seguintes funções:

- receber sinais automáticos ou manuais do setor atingido pelo fogo,
- transmitir informações ao Corpo de Bombeiros,
- manter comunicações permanentes com os ocupantes do setor atingido,
- operar eventualmente os elevadores,
- operar equipamentos de emergência, tais como geradores, e sistema de pressurização,
- manter comunicações com os ocupantes dos setores não atingidos,
- funcionar como centro das operações e de comando da ação de combate.

Todo o sistema de comunicações deve ser especialmente protegido, devendo operar através de dois sub-sistemas, um acústico e outro visual.

Na fig. 14 mostramos um esquema geral de um sistema completo de controle adotado no "Seattle Federal Building", atualmente em construção (97).

Um sistema geral desta natureza representa um ônus pesado somente compatível com a natureza do edifício. Cabe ao arquiteto e aos seus colaboradores, cotejá-lo com outras soluções obtidas da combinação de recursos diferentes.

6. A utilização de um sistema de chuveiros automáticos associado à compartimentação e pressurização é sem dúvida uma combinação eficiente.

Em lugar dos chuveiros automáticos ("sprinklers") podem ser adotados sistemas também automáticos de geradores de espuma ou de permeação de gases inertes como CO_2. Os primeiros podem ser usados quer para ataque direto das chamas como também para formar cortinas.

O sistema de permeação de gases inertes é aconselhado para locais onde tanto a água como a espuma podem danificar equipamentos delicados como computadores (98).

7. Somos contudo de opinião que nos edifícios altos qualquer medida de prevenção e confinamento deve ser conjugada com uma regulamentação rigorosa da lotação,

Recomendações estrangeiras, que poderiam ser tomadas por base para estudos locais, indicam como requisito conveniente a lotação máxima de 250 pessoas por setor compartimentado simples (um pavimento) ou 125 para setor duplo (dois pavimentos).

Para esse efeito coloca-se também um limite à área compartimentada horizontalmente, não podendo exceder 2500 m^2 por pavimento e 1250 m^2 para setor duplo, o que representa uma densidade de 1 pessoa cada 10 m^2.

---

(97) PETTERSSON O., Principles of Fire Engineering Design and Fire Safety of Tall Buildings, Lund Institute of Technology, Lund 1973.

(98) Este sistema foi aplicado no Edifício da Petrobrás, na Guanabara.

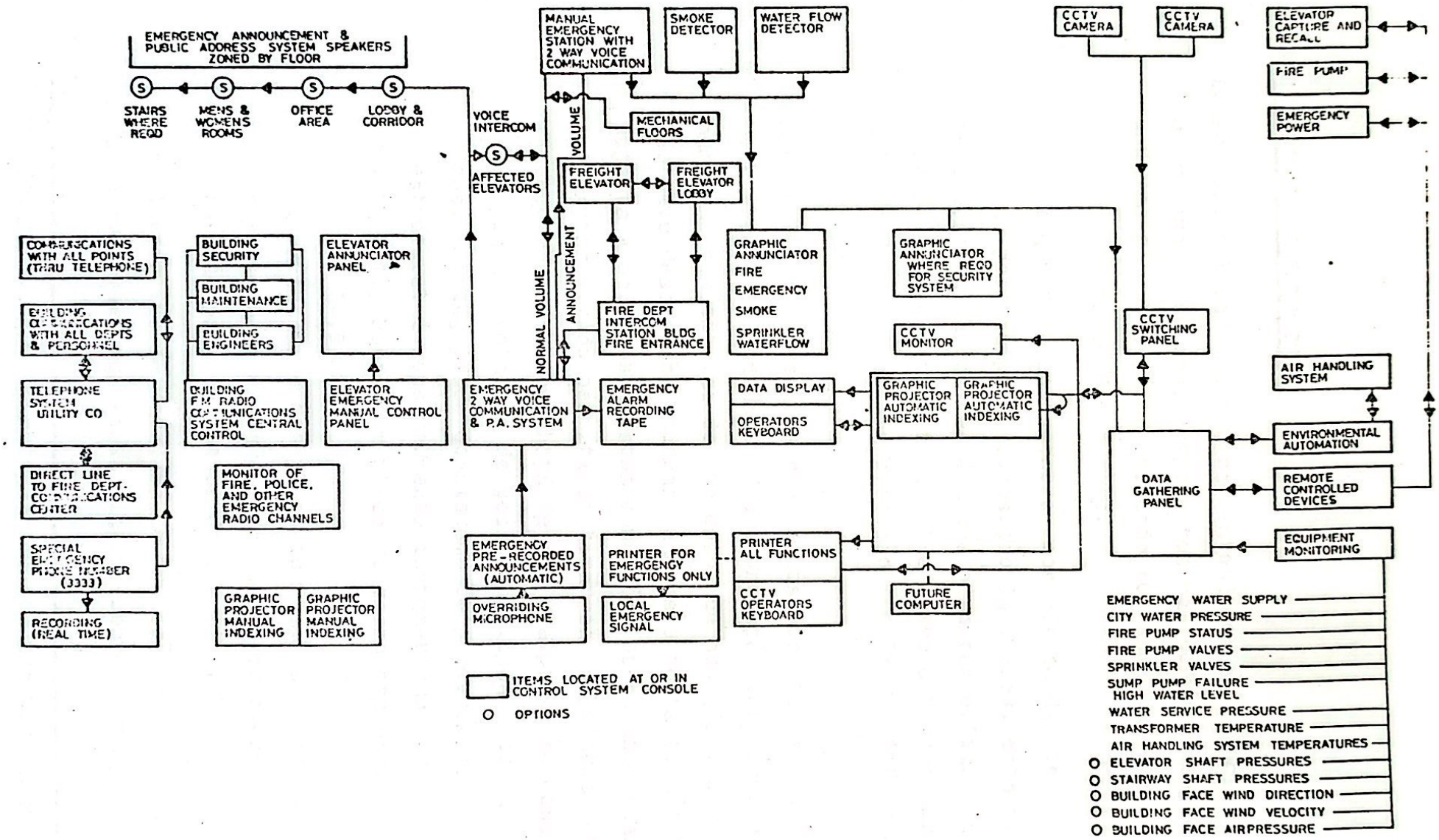


Figure 14. Complete system for building control at fire for the Seattle Federal Building [1]

4.14 ESTABILIDADE ESTRUTURAL

1. Por estabilidade estrutural entendemos a capacidade de uma estrutura ou de seus componentes não sofrer colapso sob a ação do fogo. Esta propriedade foi analisada extensamente/ na terceira parte desta tese.

   Uma vez que o colapso ocorre por efeito da temperatura - mais que pelo tempo de exposição às chamas, esta propriedade é conseguida com medidas que permitam evitar que o calor penetre no elemento estrutural e eleve a temperatura até - ou além da crítica. Uma proteção isotérmica é frequentemente suficiente.

2. A este respeito estudos realizados por Stanzak no Canadá ,- mostraram a conveniência desta proteção ser envolta por uma membrana constituida de uma chapa de aço (99). Esta chapa - não deve desempenhar outras funções e portanto não estar su sujeita a esforços. Nestas condições os ensaios realizados/ pelo autor citado permitiram tirar as seguintes conclusões:

   1) Revestindo-se com chapa de aço uma proteção constituída- de placas isolantes de gesso, aplicada a colunas metálicas, a integridade do sistema de proteção e do elemento/ estrutural é sensivelmente incrementada, obtendo-se:

      - R_f = 1,5 horas com placa de gesso com espessura igual/ a 12,5 mm

      - R_f = 2,0 horas com placa com espessura igual a 15,5 mm

   2) A espessura de chapa de aço que proporciona uma R_f = 2 - horas não pode ser menor do que 1 mm.

3. Uma alternativa de membrana de proteção pode ser constituida de mastique ou tinta intumescente. Um produto ameri

---

(99) STANZAK W.W., Protecting steel columns with sheet steel , em Building Research & Practice, Fevereiro 1974.

cano de boa qualidade (100), submetido a ensaio segundo BS 476 em aplicação sobre elemento estrutural de aço, propiciou a este uma R_f = 1,5 horas. O material é aplicado em "spray" sobre uma manta de lã de vidro e sua durabilidade é da ordem de 10 anos. Existem produtos nacionais mas sua utilização convém seja condicionada à apresentação de certificados de ensaio.

4. Colunas metálicas ôcas podem ter sua resistência ao fogo aumentada preenchendo-se o vazio interno com concreto simples.

Este concreto não deve desempenhar outras funções e pode ter baixo conteúdo de cimento (150 kg/m^3). Ensaios efetuados por conta da "British Steel Corporation Tubes Division" mostraram ser possível com esse recurso aumentar a resistência de 15 a 45 minutos.

5. Um sistema desenvolvido mais recentemente, embora a idéia tenha surgido nos fins do século passado, utiliza a água para resfriar as colunas metálicas e já teve aplicações importantes em vários países, nomeadamente Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha e França. Recente estudo promovido pela British Steel Corporation parece deixar poucas dúvidas quanto à efetividade deste sistema e à crescente utilização (101).

Duas alternativas são possíveis: na primeira a água está parada e seu efeito é limitado, não podendo-se esperar resistências maiores do que uma hora. Na segunda, a água circula numa rede que alimenta as cavidades das peças e inclui uma caixa de abastecimento. É evidente que parte da água evapora e o dimensionamento das tubulações deve levar em conta este fato, assim como o volume da caixa deve prever as perdas também por evaporação. Em edifícios altos devem ser utilizadas várias redes, limitando-se a pressão hidrostática. A água deve receber tratamento contra a corrosão e o sistema não pode ser aceito sem teste da pressão.

---

(100) COOKE G., New methods of fire protection for external steelwork, The Architects Journal, Agosto 1974, Londres.

(101) COOKE G. id. id.

6. De todos os elementos estruturais de uma edificação os que desempenham funções verticais, tais como pilares e tirantes, são perante a ação do fogo os mais críticos. De fato a ruína de pilares pode provocar o colapso progressivo de toda a estrutura, o mesmo não ocorrendo com vigas e lajes.

O risco implícito nos pilares é portanto maior, mas as lajes e as vigas sofrem uma ação mais severa pelos motivos já expostos nos capítulos anteriores.

A proteção dos pilares desperta mais atenção e vários sistemas já foram descritos neste tópico.

A respeito das lajes é oportuno lembrar que sua espessura vincula diretamente à distância de piso a piso e, embora êsse aspecto não seja sempre devidamente considerado, constitui um elemento de economia nos edifícios altos. Uma diferença de alguns centímetros associada à uma diferença no pé-direito permitem ganhar um pavimento.

A aplicação da coordenação modular altimétrica sugere que sejam modulares as alturas de pavimento ou alturas de piso a piso que representam a soma da espessura do pavimento e do pé-direito. Para estas alturas recomenda-se o uso de multi-módulos iguais a 2M ou 3M, preferencialmente o primeiro que é mais flexível (102). Nestas condições, a altura de pavimento mais econômica é igual a 26M à qual corresponde uma espessura de pavimento que inclui a laje, os revestimentos e acabamentos, no máximo igual a 2M.

Verifica-se assim que o pé-direito terá 24M que constitui o limite inferior. O Código de Edificações de São Paulo estipula um limite de 25M para o pé-direito e verifica-se assim que as maiores espessuras exigidas nas lajes para a resistência ao fogo oneram economicamente a construção. Além disso o atendimento às regras da coordenação modular torna-se mais difícil.

---

(102) Na coordenação decimétrica adotada internacionalmente e pelo Brasil segundo a NB-25, o módulo básico M é igual a 10 cm.

Em trabalho publicado nos Cadernos do CBC e resumido na Construção em São Paulo, demonstramos com base em dados levantados numa pesquisa de caráter internacional promovida pelo CIB (103) que é inteiramente subjetiva a exigência de pé-direitos da ordem de 2,50 a 3,00 m, eis que higiene e conforto são satisfeitos com um mínimo de 2,20 m embora por razões construtivas decorrentes da correlação entre o pé-direito, a altura do vão da porta e aquela das vigas, não seja possível adotar nos prédios um valor menor do que 2,40. Não se justifica destarte o limite de 2,50 imposto pelo novo Código da Capital, que apenas encarece desnecessariamente o custo das edificações.

Voltando ao tema deste parágrafo recomenda-se o uso de camadas protetoras nas faces inferiores das lajes. A espessura destas camadas pode ser incluída naquela do recobrimento e é de toda utilidade servir-se de materiais particularmente aptos para essa função, tais como o gesso e a vermiculite.

Se em geral é recomendável executar as estruturas com concreto leve de agregado leve, nas lajes esta sugestão é mais válida uma vez que, como indicam as recomendações do Comitê Europeu do Concreto, reproduzidos no apêndice, permite reduzir a espessura total da laje e aquela do recobrimento.

7. Para as estruturas de concreto armado, a proteção é mais simples e o aspecto mais importante refere-se ao recobrimento do aço. O arquiteto deverá discutir as soluções que pretende adotar, com o engenheiro estruturista e a sua atenção deverá ser maior quando será proposto concreto aparente.

Não podemos encerrar este capítulo sem destacar a superioridade comprovada, em inúmeras ocasiões, do comportamento do concreto armado sobre outros materiais utilizados em estruturas. É certamente esta uma qualidade que o arquite

---

(103) ROSSO T., Pé-direito mínimo das habitações, Cadernos do CBC nº 1/2, 1971.

to deve explorar, o que já ocorre na arquitetura brasileira, mas que poderá ser ainda incrementada através de um uso mais amplo de agregados leves.

Os incêndios em grandes edificios ocorridos nos últimos/ tempos em São Paulo não chegaram a prejudicar totalmente/ as estruturas permitindo a recuperação, assim como não se verificaram ruínas nem acidentes pessoais fatais determinados por tais circunstâncias. Se para esse feliz resultado contribuiram também outros fatores, o fato em si não deixa de ser relevante tendo em vista sobretudo que na época em que foram dimensionadas essas estruturas não existia legislação específica de segurança contra incêndio enquanto a norma NB 1 podia ser considerada insuficiente - nesse sentido. (103A)

4.15 FACILIDADE DE ACESSO

1. Já vimos no decorrer da exposição que qualquer intervenção externa que se proponha limitar os efeitos de um incêndio, extingui-lo e resgatar os moradores do edifício atingido, está condicionada a fatores urbanísticos. Êstes/ portanto devem ser tomados em consideração na própria - classificação dos edificios especialmente, como já apontamos, na própria definição de edifício alto.

Neste capítulo serão examinadas as condições de acesso externo às edificações e as medidas que estão ao alcance do arquiteto para torná-las mais livres e efetivas.

O tipo de equipamento utilizado pelos bombeiros varia de acôrdo com o volume e a altura do edificio e a probabilidade de êxito de sua missão decorre em primeiro lugar de serem logo conhecidos esses caracteristicos. É evidente/ que quanto maiores as dimensões tanto maior deverá ser a capacidade do equipamento e em proporção tanto maior a área de manobra.

Em geral faz-se distinção neste caso, no que tange às exigencias, entre edificios providos de tubulação vertical de recalque para alimentação do reservatório e da rede de hidrantes e edificios sem essa instalação que devam por/

(103A) Apenas no edificio Andraus constatou-se condição de ruptura de algumas peças da estrutura mas para isso teria/ contribuido também a má qualidade da execução.

tanto recorrer ao equipamento dos bombeiros.

Um problema entretanto que condiciona qualquer medida é a própria disponibilidade de água, condição crítica em muitos bairros das nossas metrópoles.

2. Isto no que diz respeito ao combate. Quanto ao resgate das pessoas, edifícios sem condições de acesso devem ser considerados com resgate prejudicado, portanto contar apenas com a eficiência dos sistemas de circulação vertical ou dos locais de refúgio.

A este respeito é evidente que a maioria das ruas centrais de São Paulo e das demais principais metrópoles brasileiras têm características geométricos que restringem ou impedem a ação dos bombeiros, devendo-se ainda considerar a agravante representada pelo estacionamento de carros paralelo às calçadas que diminui a faixa útil de manobra.

3. A título ilustrativo reproduzimos a seguir alguns requisitos exigidos pela regulamentação do Reino Unido.

Se a edificação não é provida de tubulação de recalque, as exigências são as seguintes:

1) Edificações térreas ou assobradadas com volume máximo de 7.100 m^3 e nível de piso superior não maior do que 6 metros acima do térreo; distância máxima da moto-bomba a qualquer ponto do térreo: 46 m.

2) Edificações sem limite de pavimentos, mas com volume máximo de 7.100 m^3 e nível de piso superior máximo igual a 9 m, distância máxima da moto-bomba a qualquer ponto do térreo: 30 m.

3) As edificações são classificadas em duas categorias de acordo com a condição do último pavimento exceder ou não 9 metros de altura sobre o térreo. Se não exceder tal altura a rua deve permitir o acesso da moto-bomba dos bombeiros, caso contrário o acesso deve ser para qualquer tipo de equipamento. Os limites de volume para as duas categorias são os seguintes (m^3):

Último pavimento até 9,0 m	Último pavimento acima de 9 m
1) $7.100 < V \leq 28.400$	$V \leq 7.100$
2) $28.400 < V \leq 56.800$	$7.100 < V \leq 56.800$
3) $56.800 < V \leq 85.200$	$56.800 < V \leq 85.200$
4) $85.200 < V \leq 113.500$	$85.200 < V \leq 113.500$
5) $113.500 < V$	$113.500 < V$

A regulamentação em tela preconiza que uma edificação deve ter acesso para uma rua ou um logradouro público com largura não menor do que 12 m. O acesso deve ser pelo perimetro da edificação nas seguintes proporções (104):

- categoria 1 — 1/6 do perimetro
- categoria 2 — 1/4 do perimetro
- categoria 3 — 1/2 do perimetro
- categoria 4 — 3/4 do perimetro
- categoria 5 — perimetro total

4. Sempre em vista das necessidades de manobra e movimentação do equipamento devem-se tomar em consideração os seguintes requisitos:

1) faixa mínima de trânsito dos veículos para rua de 12m, igual a 3,65 m,
2) largura mínima de portões: 3,05 m,
3) altura mínima de marquises ou sob passagens, viadutos, etc., 4,00 m,
4) raio de curvatura minimo: 21,00 m,
5) carga concentrada mínima a ser considerada no dimensionamento de pontilhões, lajes, pavimentos, etc.: 18 t.

Estes dados por serem caracteristicos de cada equipamento são variáveis de acordo com as dotações: está é portanto/ matéria de competência do próprio Corpo de Bombeiros ao qual cabe estipular as exigências minimas.

(104) BSI, "British Standard Code of Practice, CP 3: Chapter - IV: Part 3
Greater London Council, "London Building Acts-Code of - Practice", 1974.

5. Como mencionamos no decorrerda exposição, o combate ao fogo nos edifícios altos é dado pelo interior do edifício, eis que externamente os recursos disponíveis não têm alcance suficiente. Esta técnica exige portanto por parte das autoridades competentes uma atenção especial, para que os bombeiros possam alcançar com facilidade os pavimentos mais altos dos edifícios atingidos.
É um fato que, quer externamente quer internamente se faça o acesso a êsses pavimentos, que nos edifícios mais altos representam alturas da ordem de 120-140 m, galgar essas alturas exige dos bombeiros um preparo físico excepcional.
É portanto oportuno prever meios mecânicos de transporte vertical. O recurso a elevadores privativos deve ser imaginado como um meio a ser operado exclusivamente pelos bombeiros, incluindo-se nisso a alimentação de energia elétrica que deve ser feita no térreo, diretamente por gerador móvel ligado a uma tomada externa.
O acesso externo por meio de helicopteros poderia também ser considerado desde que, tendo em vista os riscos que tal prática encerra, os aparelhos fossem parte integrante do equipamento do Corpo de Bombeiros e fossem operados e utilizados por membros dessa Corporação especialmente treinados para êsse fim.

4.16. SEGURANÇA E ECONOMIA

Não é possível projetar e realizar uma edificação 100 % segura contra a ação do fogo. O nível de segurança a ser adotado depende de um amplo espectro de fatores e é difícil estabelecer um critério econômico, eis que o valor da vida humana não é comensurável com outros valores.
Contudo uma orientação deve ser seguida e a análise custo-benefício pode socorrer.
Dois aspectos são fundamentais :

1) a incolumidade pessoal
2) a salvaguarda dos bens e a preservação do próprio edifício.

As perdas humanas são principalmente causadas por asfixia e ação das chamas, na primeira fase do incêndio ou na segunda quando os efeitos da primeira não forem controlados. Raramente ocorrem casos fatais por colapso material ou estrutural, portanto a incolumidade não é muito afetada pela resistência ao fogo.
Vice-versa a preservação dos bens , portanto as perdas econômicas , se ressentem diretamente da resistência ao fogo.
As perdas econômicas são determinadas principalmente por três fatores :

1) a probabilidade de ocorrência do incêndio
2) a probabilidade da ruina do edifício e de suas partes
3) o valor em jogo.

O risco do incêndio é determinado por sua vez por uma série de fatores que foram analisados na primeira parte dêste trabalho.
É evidente que quanto maior um edifício, maior a probabilidade de ocorrência.
A probabilidade da ruina depende de terem falhados os mecanismos de contrôle e confinamento e do fogo ter passado para a segunda fase, mas está relacionada também com a condição de se verificar a correspondência do potencial calorífico, da ventilação e da resistência efetivos com os teóricos adotados no projeto.
Segundo Lie, o coeficiente de variação do potencial calorífico, determinado em levantamentos estatísticos, é grande quando é $W_o < 25$ kg/m^2 e baixo para W_o da ordem de 60 kg/m^2.
Ressalta que , quando o projeto deve prever medidas para a salvaguarda dos bens, o aspecto securitário prevalece e as companhias de seguro exigem o respeito de determinadas regras correspondentes aos prêmios estipulados. Nêste caso a análise custo-benefício deve cotejar a alternativa do risco ser coberto pelo seguro com a do contrôle através do projeto, afim de conseguir a solução mais econô-

mica.

No projeto, quando fatores aleatórios subsistirem , como por exemplo a presunção de variação do potencial calorífico efetivo, é prudente adotar um coeficiente de segurança que segundo Lie varia de 1 a 4. Este coeficiente pode ser aplicado quer ao potencial calorífico, quer à duração equivalente, conforme foi visto no tópico 2.2.3.10.

Para a salvaguarda das pessoas, especialmente em edifícios altos a avaliação de todos os fatores em jogo é muito importante e a êste aspecto dedicamos boa parte da quarta parte dêste trabalho . A análise do projeto poderá sugerir a necessidade de aplicação de coeficientes de segurança sendo no nosso entender preferível aplicá-los ao potencial calorífico.

Quanto à ordem de grandeza dêstes coeficientes não existem critérios absolutos de avaliação. Certamente a minimização do potencial e o contrôle total da propagação conseguido através do uso de sistemas automáticos tipo"sprinklers" e mediante a aplicação racional da compartimentação, permitem dispensar tais coeficientes na definição da R_f.

No que tange ao efeito da fumaça e dos gases o conceito de coeficiente de segurança não tem uma aplicação direta e cabe ao arquiteto adotar todas as medidas possíveis para controlar êsse efeito, nomeadamente a compartimentação e a pressurização.

A regulamentação oficial deveria portanto prever um método de avaliação no qual as várias medidas de prevenção, confinamento e combate, teriam pesos diferentes e seriam cotejadas com o grau de risco, a exemplo do que dispõem as Normas de Segurança italianas (105).

---

(105) MINISTERO DELL'INTERNO , DIREZIONE GENERALE ANTINCENDI, Norme di Sicurezza per la Protezione contro il Fuoco dei Fabbricati, a Struttura di Acciaio , destinati a uso civile, Circolare nº91, Roma 1961

4.17. CONCLUSÕES

Nêste trabalho procuramos fazer uma análise a mais profunda possível, compativelmente com os meios e as informações disponíveis, da problemática dos incêndios e das relações que intercorrem com a tecnologia da arquitetura.

Tendo em vista o "state of the art", ficou para nós suficientemente provada a necessidade do conhecimento dos fenômenos que governam a ação do fogo sôbre/ as edificações e dos seus efeitos sôbre os moradores.

Sem êste domínio, a aplicação ingênua de índices estipulados na legislação normativa, poderia conduzir a resultados imprevisíveis.

A análise revelou os aspectos essenciais que diferenciam reação e resistência ao fogo, e procurou-se desfazer as confusões ainda comuns, como nós é dado verificar na estéril polêmica em ato, provocada pela proposta de reformulação do Código de Edificações de São Paulo. A importância da escolha consciente dos materiais mostrou a responsabilidade que cabe ao poder de decisão em mãos do arquiteto. Concomitantemente, a conveniência da utilização de recursos novos representados pela ventilação e pela compartimentação, enfatizou o papel dêste profissional na ação de prevenção.

Nêste admirável mundo novo vítima crescente da violência dos atos e dos fatos, parece surgir mais premente a ação em defesa da segurança e da higiene antes que a favor do conforto das habitações.

Nêste contexto se ilumina de novos predicados humanisticos, a figura do arquiteto.

Março de 1975

5. BIBLIOGRAFIA ESSENCIAL

1. SECCO O. Manual de Prevenção e Combate de Incêndio, Edições Educativas, São Paulo, 1959
2. TOSI A. Tecnologia Antincendi nelle Costruzioni, Vallardi Editore, Milão, 1950
3. LIE T.T. Fire and Buildings, Applied Science Publ. Ltd. Londres, 1972
4. LANGDON-THOMAS G.J. Fire Safety in Buildings, Adam and Charles Black, Londres 1972
5. FACKLER J.P. e CABRET A. Tenue au Feu des Bâtiments, em R.E.E.F. Science du Bâtiment, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Paris 1969
6. PETTERSSON O. Principles of Fire Engineering and Fire Safety of Tall Building, Lund Institute of Technology, Lund, 1973
7. CUOMO S. Resistenza al Fuoco delle Strutture e sua Determinazione, Edizioni di Protezione Civile, Roma 1968
8. MARCHANT E.W. A Complete Guide to Fire and Buildings, Medical and Technical Publishing Co. Ltd. Lancaster 1973.
9. COLBURN E.R. Fire Protection and Suppression, McGraw-Hill New York, 1975

INCÊNDIOS E ARQUITETURA

3.0. TERCEIRA PARTE : DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES

ANEXO

NORMAS DO C.E.B.

1 CORRELATION GENERALE ENTRE LA CONCEPTION ET LE CALCUL DES OUVRAGES

1,1 ADAPTATION DES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES AUX EXIGENCES DE RESISTANCE AU FEU

En général, les dispositions générales des ouvrages, notamment les prescriptions d'enrobage et de protection des aciers d'armature, ne mentionnent pas explicitement les exigences éventuelles de résistance au feu, qui peuvent être imposées par le Maitre de l'Ouvrage en raison de la nature de la construction ou de ses conditions particulières d'exploitation. Il importe alors d'adopter, dans l'établissement du projet d'exécution, des dispositions constructives spéciales, tenant compte des divers paramètres susceptibles d'influencer le comportement de la structure en cas d'incendie. Parmi ces paramètres, on peut notamment citer:

(a) la forme géométrique et les dimensions des éléments structuraux;
(b) l'enrobage et la protection des aciers d'armature;
(c) le type de béton et la nature des granulats;
(d) le type de l'armature et la nature des aciers;
(e) le type de la construction et la nature de la structure.

Il est tenu compte des deux premiers de ces paramètres au moyen de dispositions constructives appropriées, tenant compte de la nature et du rôle structurel de l'élément considéré. Pour les trois autres paramètres, on peut s'en tenir aux remarques suivantes:

TYPE DE BETON ET NATURE DES GRANULATS

Les bétons de granulats calcaires bénéficient d'une plus faible vitesse de montée en température que les bétons de granulats siliceux, en raison de leurs meilleurs qualités d'isolation thermique. Par ailleurs, le chauffage du calcaire entraine des réactions physico-chimiques, qui provoquent une absorption d'énergie.

TYPE D'ARMATURE ET NATURE DES ACIERS

Lorsque l'armature se trouve portée à une température dépassant une température dite 'critique', sa contribution effective à la résistance de la pièce se trouve amoindrie, dans une proportion dont le tableau suivant s'efforce de donner, à titre de tentative et sous réserve d'essais appropriées, quelques ordres de grandeur:

TYPE DE CONSTRUCTION ET NATURE DE LA STRUCTURE

Les dispositions constructives spéciales aux exigences particulières de résistance au feu supposent implicitement, pour les éléments structurels considérés, que la construction est isostatique. En fait, cette éventualité peut être considérée comme la plus défavorable, car, si la construction est hyperstatique, l'action des déformations imposées dues à la montée en température tend à provoquer des phénomènes de redistribution, généralement favorables, et à mobiliser des réserves de capacité de résistance, susceptibles d'augmenter sensiblement la sécurité au feu.

Lorsqu'un élément structurel d'une construction en béton armé ou en béton précontraint est soumis à l'effet du feu, il subit une perte progressive de rigidité et de résistance, provoquant:

—soit la ruine de la structure;
—soit la désintégration locale de l'élément, susceptible d'entraîner le libre passage des flammes et des fumées (par exemple, à travers les murs et les planchers);
—soit la montée excessive de la témperature des faces non directement exposées au feu.

La durée de résistance au feu d'un élément de structure, mesurée en minutes par des essais normalisés, représente le critère de base de la classification et de la qualification des constructions vis-à-vis de la résistance au feu. Les présentes Recommandations envisagent les durées suivantes de résistance au feu: F 30, F 60, F 90, F 120, F 180 et F 240.

2 DISPOSITIONS GENERALES CONCERNANT LES ARMATURES ORDINAIRES

2,1 DISTANCE DES BARRES D'ARMATURE A LA SURFACE DU BETON

2,11 *DISPOSITIONS SPECIALES AUX EXIGENCES DE RESISTANCE AU FEU*

L'attention du Constructeur est attirée.

(a) *sur le fait qu'en cas d'incendie, la montée en température d'un élément de structure est d'autant plus rapide que la surface exposée à l'action directe de feu est plus importante par rapport au volume de la pièce, c'est-à-dire que le rapport entre le périmètre et l'aire de la*

Type d'armature	Nature de l'acier	Température critique	Diminution du taux de résistance à des températures élevées
Armatures ordinaires	aciers doux	550 °C	25% à 600°C 50% à 650°C
	aciers mi-durs	500 °C	25% à 550°C 50% à 600°C
Armatures de précontrainte	fils adhérents	450 °C	25% à 500°C 50% à 550°C
	câbles et torons	300 °C	25% à 350°C 50% à 400°C

section géométrique est plus élevé. Il en résulte qu'a priori, des éléments massifs en béton armé présentent un meilleur comportement au feu que des éléments plus élégis;

(*b*) *sur le danger d'épaufrement des arêtes voisines des barres de l'armature principale de traction, notamment durant les vingt premières minutes d'exposition au feu, ainsi que sur le danger de dislocation du béton de l'âme, susceptible d'accroître le risque de rupture à l'effort tranchant.*

La distance minimale des barres d'armature à la surface libre du béton—en d'autres termes, l'épaisseur d'enrobage de l'armature - doit être suffisante pour protéger les aciers des effets du feu, aussi longtemps que l'imposent les exigences du Maître de l'Oeuvre (cf. § 1. 1), et les empêcher d'atteindre leur 'température critique', au-delà de laquelle leur contribution effective à la résistance mécanique de la structure se trouverait amoindrie.

Si cette épaisseur d'enrobage de l'armature est insuffisante ou si la résistance au feu de la construction doit être ultérieurement renforcée, on peut prévoir des couches supplémentaires de protection, sous réserve que leur adhérence au béton de masse puisse être convenablement garantie. Cette adhérence peut être généralement assurée par un réseau complémentaire d'armatures des liaison.

Comme exemples de couches supplémentaires de protection, on peut envisager un enduit de mortier de chaux et ciment ('mortier bâtard'), dont une épaisseur de 1,5 cm équivaut à 1 cm de béton – ou bien un mortier de vermiculite ou de fibres d'amainte, dont une épaisseur de 0,4 cm peut être considérée comme équivalente à 1 cm de béton. Ces valeurs n'ont évidemment qu'un caractère indicatif et doivent être corrigées par un essai approprié sur les caractères d'isolation thermique du matériau envisagé.

Comme exemple d'armature complémentaire de liaison, on peut envisager une nappe de treillis soudé, en mailles de 50×50 mm à 150×150 mm, à base de fils ⌀2,5 mm à ⌀ 4 mm.

3 DISPOSITIONS GENERALES CONCERNANT LES ARMATURES DE PRECONTRAINTE

DISTANCE DES ARMATURES DE PRECONTRAINTE A LA SURFACE DU BETON

FILS ADHERENTS

En cas d'exigences particulières de résistance au feu, les distances minimales d'enrobage doivent être au moins égales à 2 cm pour une durée de résistance au feu fixée à un maximum de 2 heures (F 30, F 60, F 90, F 120, suivant les définitions données au § 1) et à 2,5 cm pour une durée de résistance au feu devant excéder 2 heures (F 180 et au-delà).

4 DISPOSITIONS PARTICULIERES AUX DIVERS ELEMENTS DE STRUCTURES

4,1 POTEAUX ET PIECES SOLLICITEES EN COMPRESSION

4,11 *SECTION MINIMALE*

En cas d'exigences particulières de résistance au feu, la plus petite dimension transversale doit être supérieure aux limites suivantes:

(a) *pour un poteau isolé et cerné par le feu*

15 cm	pour une durée de résistance au feu	F 30
20 cm		F 60
24 cm		F 90
30 cm		F 120
36 cm		F 180
40 cm		F 240

(b) *pour un poteau dont une seule face est exposée au feu:*

10 cm	pour une durée de résistance au feu	F 30
12 cm		F 60
14 cm		F 90
16 cm		F 120
20 cm		F 180
24 cm		F 240

4,12 *ARMATURE LONGITUDINALE*

RÉPARTITION ET ENROBAGE DES BARRES D'ARMATURE

En cas d'exigences particulières de résistance au feu, ces distances minimales d'enrobage doivent être superieures à:

1,0 cm	pour une durée de résistance au feu	F 30
2,5 cm		F 60
3,5 cm		F 90
4,5 cm		F 120
6,0 cm		F 180
7,5 cm		F 240

Si l'enrobage réel de l'armature est insuffisant ou si la résistance au feu de la construction doit être ultérieurement renforcée, on peut prévoir des couches supplémentaires de protection, dans les conditions prescrites au § 2,11.

4,2 TIRANTS ET PIECES SOLLICITEES EN TRACTION

En cas d'exigences particulières de résistance au feu, les prescriptions suivantes, valables pour les différentes classes d'ouvrages et les diverses natures de béton, doivent être satisfaites.

(a) La plus petite dimension transversale de la pièce, doit être au moins égale aux valeurs $b_{minimal}$ suivantes:

8,0 cm	pour une durée de résistance au feu	F 30
12,5 cm		F 60
15,0 cm		F 90
20,0 cm		F 120
24,0 cm		F 180
28,0 cm		F 240

(b) L'enrobage minimal des barres d'armature doit être au moins égal aux valeurs suivantes:

2,5 cm	pour une durée de résistance au feu	F 30
4,0 cm		F 60
5,5 cm		F 90
6,5 cm		F 120
8,0 cm		F 180
9,0 cm		F 240

(c) L'aire totale de la section droite de la pièce doit être au moins égale à $2(b_{minimal})^2$, conformément aux valeurs données en (a).

4,3 POUTRES ET PIECES SOLLICITEES EN FLEXION

4,31 *CONDITIONS D'ENROBAGE DES BARRES D'ARMATURE*

4,311 DISPOSITIONS PARTICULIÈRES AUX EXIGENCES DE RÉSISTANCE AU FEU

Les poutres et pièces fléchies pour lesquelles sont requises des exigences particulières de résistance au feu, doivent satisfaire, outre les dispositions générales définies en § 2,11, aux Recommandations suivantes, qui, à titre d'exemples, envisagent:

—d'une part, le cas des 'bétons normaux' (armés ou précontraints) de densité globale d'environ 2,50, composés de granulats siliceux, – les valeurs prescrites pouvant être diminuées de 10% en cas de granulats calcaires (cf. § 1,1);

—d'autre part, le cas des 'bétons légers structuraux' (armés ou précontraints) de densité globale d'environ 1,85, composés de granulats légers du type 'argile expansée' ou 'schiste expansé', mais présentant une compacité du même ordre que celle des bétons normaux.

Dans l'un et l'autre cas, il est supposé que ces structures sont armées d'aciers présentant une 'température critique' de 500°C, les enrobages minimaux devant être majorés, en cm, de:

$$\frac{500-T_{\text{critique}}}{100}, \text{ si } T_{\text{critique}} < 500°\text{C}$$

Les Recommandations suivantes sont applicables aux poutres et pièces fléchies en béton armé et béton précontraint des Classes I à IV, notamment aux poutres à sections rectangulaires, poutres en T et poutres à talons. Mais elles peuvent être remplacées, le cas échéant, en particulier pour les pièces fabriquées en séries industrielles, par des essais directs de résistance au feu sur éléments prototypes.

1 *Largeur minimale des talons*

Ces prescriptions, établies dans le cas des poutres à talons sont également applicables aux largeurs transversales des poutres à sections rectangulaires et des poutres en T; elles se réfèrent à la classification définie au § 1,1.

Les Recommandations suivantes envisagent trois cas:

(a) Cas des poutres isostatiques

Valeurs minimales de b (cm)	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Bétons normaux	8,0	12,0	15,0	20,0	24,0	28,0
Bétons légers structuraux	8,0	10,0	13,0	16,0	20,5	25,0

(b) Cas des poutres continues

Valeurs minimales de b (cm)	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Bétons normaux ou Bétons légers structuraux	8,0	8,0	10,0	11,5	cf. cas (a)	

(c) Cas des éléments constitutifs d'une structure hyperstatique (pièces fléchies non librement dilatables)

Valeurs minimales de b (cm)	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Bétons normaux ou Bétons légers structuraux	8,0	8,0	10,0	11,5	15,0	18,0

2 *Largeur minimale des âmes et nervures*

Ces prescriptions sont identiques pour les bétons normaux et les bétons légers structuraux; par contre, elles diffèrent suivant qu'il s'agit de structures en béton précontraint de Classes I et II ou de structures en béton armé, partiellement précontraint ou non précontraint, de Classes III et IV.

Valeurs minimales de b (cm)	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Classes I et II	8	8	8	8	8	8
Classes III et IV	8	10	10–12*	12–14*	14–16*	18

* en fonction de la contrainte de l'acier.

En Classes I et II, il est également recommandé, sauf justifications spéciales, d'éviter des largeurs minimales d'âmes et nervures, inférieures au dixième de la hauteur de la pièce, dans tous les cas où sont requises des exigences spéciales de résistance au feu.

3 *Enrobage minimal des barres d'armature longitudinale*

Ces prescriptions sont applicables, non seulement aux armatures ordinaires de béton armé et aux armatures de béton précontraint par fils adhérents, mais également aux câbles et autres armatures sous gaines, notamment à leurs tronçons curvilignes dans l'âme. Conformément à § 2,11, cet enrobage correspond à la distance entre la surface des barres (ou de leurs gaines) et la surface de béton la plus proche.

Les Recommandations suivantes envisagent trois cas:

(a) Cas des poutres isostatiques

Valeurs minimales d'enrobage (cm)	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Bétons normaux	2,5	4,0	5,5	6,5	8,0	9,0
Bétons légers structuraux	2,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0

(b) Cas des poutres continues

Valeurs minimales d'enrobage (cm)	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Bétons normaux	2,5	2,5	3,3	4,0	cf. cas (a)	
Bétons légers structuraux	2,5	2,5	3,1	3,7	cf. cas (a)	

(c) Cas des éléments constitutifs d'une structure hyperstatique (pièces fléchies non librement dilatables)

Valeurs minimales d'enrobage (cm)	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Bétons normaux	2,5	2,5	3,3	4,0	5,2	6,0
Bétons légers structuraux	2,5	2,5	3,1	3,7	4,7	5,3

Si l'enrobage réel de l'armature est insuffisant ou si la résistance au feu de la construction doit être ultérieurement renforcée, on peut prévoir des couches supplémentaires de protection, dans les conditions prescrites au § 2,11.

4 *Enrobage minimal des barres d'armature transversale*

Ces prescriptions sont identiques pour les bétons normaux et les bétons légers structuraux; elles ne concernent que les structures en béton armé, partiellement précontraint ou non précontraint, ressortissant aux Classes III et IV. Comme indiqué en § 2,11, on peut prévoir, le cas échéant, des couches supplémentaires de protection du béton.

Valeurs minimales d'enrobage des étriers (cm)	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Classes III et IV	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5

5 *Cas particulier des ouvertures dans les âmes de poutres*
L'effet de ces ouvertures sur la résistance au feu peut être négligé, à condition que la section droite subsistante soit au moins égale à $2(b_{minimal})^2$, la valeur de $b_{minimal}$ étant celle définie en § 1.

4,4 POUTRES-CLOISONS ET STRUCTURES PLANES CHARGEES PARALLELEMENT A LEUR PLAN MOYEN

4,41 *CONDITIONS D'ENROBAGE DES BARRES D'ARMATURE*

4,411 DISPOSITIONS PARTICULIÈRES AUX EXIGENCES DE RÉSISTANCE AU FEU

En cas d'exigences particulièrement de résistance au feu, les prescriptions suivantes, valables pour les différentes classes d'ouvrages et les diverses natures de béton, doivent être satisfaites:

(a) l'épaisseur transversale de la poutre-cloison doit être au moins égale aux valeurs suivantes:

10,0 cm 12,0 cm 14,0 cm 16,0 cm 20,0 cm	pour une durée de résistance au feu	F 30 F 60 F 90 F 120 F 180

(b) l'enrobage minimal des barres d'armature de toutes natures doit être au moins égal aux valeurs suivantes:

1,0 cm 1,5 cm 2,0 cm 3,0 cm 4,5 cm	pour une durée de résistance au feu	F 30 F 60 F 90 F 120 F 180

4,5 DALLES ET STRUCTURES PLANES CHARGEES PERPENDICULAIREMENT A LEUR PLAN MOYEN

4,51 *CONDITIONS D'ENROBAGE DES BARRES D'ARMATURE*

4,511 DISPOSITIONS PARTICULIÈRES AUX EXIGENCES DE RÉSISTANCE AU FEU

Les dalles et structures planes, pour lesquelles sont requises des exigences particulières de résistance au feu, doivent satisfaire, outre les dispositions générales définies au § 2,11, aux Recommandations suivantes, qui, à titre d'exemples, envisagent:

—d'une part, le cas des 'bétons normaux' (armés ou précontraints) de densité globale d'environ 2,50, composés de granulats siliceux – les valeurs prescrites pouvant être diminuées de 10% en cas de granulats calcaires (cf § 1);

—d'autre part, le cas des 'bétons légers structuraux' armés ou précontraints) de densité globale d'environ 1,85 composés de granulats légers du type 'argile expansée' ou 'schiste expansé', mais présentant une compacité du même ordre que celle des bétons normaux.

Dans l'un et l'autre cas, il est supposé que ces structures sont armées d'aciers présentant une 'température critique' de 500°C, les enrobages minimaux devant être majorés, en cm, de:

$$\frac{500-T_{critique}}{100}, \text{ si } T_{critique} < 500°C$$

Les Recommandations suivantes sont applicables aux dalles et structures planes en béton armé et béton précontraint des Classes I à IV. Mais elles peuvent être remplacées, le cas échéant, en particulier pour les pièces fabriquées en séries industrielles, par des essais directs de résistance au feu sur éléments prototypes.

1 *Epaisseur minimale des dalles et structures planes*
Ces prescriptions se réfèrent à la classification définie au § 1,1.

Epaisseur minimale (cm)	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Bétons normaux	6,0	8,0	10,0	12,0	15,0	17,5
Bétons légers structuraux	4,5	6,5	8,5	10,0	12,0	13,5

2 *Enrobage minimal des barres d'armature*
Ces prescriptions sont applicables, non seulement aux armatures ordinaires de béton armé et aux armatures de béton précontraint par fils adhérents, mais également aux cables et autres armatures sous gaines. Conformément au § 2,11, cet enrobage correspond à la distance entre la surface des barres (ou de leurs gaines) et la surface de la dalle.

Le Tableau suivant envisage, – d'une part, le cas des dalles fléchies dans une seule direction, – d'autre part, le cas des dalles ou éléments de structures planes fléchis dans deux directions. Le second cas concerne donc, plus particulièrement, le cas des dalles continues et celui des planchers-dalles.

Enrobage minimal (cm)			F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 240
Dalles fléchies dans une seule direction		Bétons normaux	1,0	2,5	3,5	4,5	6,0	7,0
		Bétons légers structuraux	1,0	2,5	3,5	4,0	5,0	6,0
Dalles fléchies dans deux directions	$l_y/l_x \leq 1,5$	Bétons normaux	1,0	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
		Bétons légers structuraux	1,0	1,0	1,3	1,7	2,7	3,5
	$1,5 < l_y/l_x < 2$	Interpolation linéaire						
	$l_y/l_x \geq 2$	Bétons normaux	1,0	2,5	3,5	4,5	6,0	7,0
		Bétons légers structuraux	1,0	2,2	3,0	4,0	5,0	6,0

Si l'enrobage réel de l'armature est insuffisant ou si la résistance au feu de la construction doit être ultérieurement renforcée, on peut prévoir des couches supplémentaires de protection, dans les conditions prescrites au § 2,11.