

ALERTA PRECOCE DE COLAPSO ESTRUTURAL EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO PARA BOMBEIROS

Early Warning of Structural Collapse in Fire Situations for Firefighters

Poliana Dias de Moraes

Doutora em Ciências da Madeira pela Université Henri Poincaré Nancy I. Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC – UFSC). Email: poliana.moraes@ufsc.br

Gabriel Zappelini Nunes

Soldado do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Engenheiro Ambiental e de Segurança do Trabalho pela Universidade do Extremo Sul Catarinense. Email: gabrielzn@live.com

RESUMO

A atividade de combate a incêndio é responsável pela maioria dos acidentes ocorridos entre os bombeiros. Entre os riscos envolvidos nesta atividade, um dos mais temidos é o colapso estrutural. O colapso estrutural ocorre de maneira repentina, tem a possibilidade de ser mortal, ocorre com pouco aviso aparente e é responsável por uma grande porcentagem dos incidentes com múltiplas vítimas (NORMAN, 2012). O objetivo deste trabalho é fazer uma revisão bibliográfica exploratória do tema, apontando os principais indicadores de colapso estrutural iminente em caso de incêndio. Foram identificados alguns fatores relacionados às edificações, que por si só tornam estas edificações mais suscetíveis a colapso estrutural, sendo eles edifícios com idades elevadas, edifícios abandonados, edificações construídas com materiais leves (madeira e aço) e reformas defeituosas, onde elementos estruturais da construção são modificados ou até excluídos. Existem indicadores gerais que são aplicáveis a todos os tipos de edificações, e existem riscos específicos intrínsecos aos materiais utilizados na construção. O simples fato de o telhado da edificação possuir treliças, sejam elas de madeira ou de aço, é um forte indicativo de colapso iminente da edificação em caso de incêndio, bem como um incêndio generalizado em um dos pavimentos da edificação.

Palavras-chave: Colapso estrutural; Combate a incêndio; Segurança no combate ao incêndio.

ABSTRACT

The firefighting activity is responsible for most accidents that occur among firefighters. Among the risks involved in this activity, one of the most feared is structural collapse. Structural collapse occurs suddenly, has the potential to be deadly, occurs with little apparent warning, and is responsible for a large percentage of multiple casualty incidents (NORMAN, 2012). The objective of this work is to carry out an exploratory bibliographical review of the subject, pointing out the main indicators of imminent structural collapse in case of fire. Some factors related to buildings were identified, which in themselves make these buildings more susceptible to structural collapse, such as old buildings, abandoned buildings, buildings built with light materials (wood and steel) and defective renovations, where structural elements of construction are modified or even deleted. There are general indicators that are applicable to all types of buildings, and there are specific risks intrinsic to the materials used in construction. The mere fact that the building's roof has trusses, whether wooden or steel, is a strong indication of the imminent collapse of the building in the event of a fire, as well as a generalized fire in one of the building's floors.

Keywords: Structural collapse; Fire fighting; Fire fighting safety.

1 INTRODUÇÃO

A atividade de combate a incêndio é responsável pela maioria dos acidentes ocorridos entre os bombeiros. Entre os riscos envolvidos nesta atividade, um dos mais temidos é o colapso estrutural. O colapso estrutural ocorre de maneira repentina, tem a possibilidade de ser mortal, ocorre com pouco aviso aparente e é responsável por uma grande porcentagem dos incidentes com múltiplas vítimas (NORMAN, 2012).

O primeiro registro de evacuação de bombeiros em um prédio em chamas em função de risco de colapso se deu no incêndio do edifício *One Meridian* na Filadélfia, onde após 11 horas de combate o chefe das operações ordenou a evacuação de toda a equipe devido aos danos estruturais. Foi uma decisão histórica de estratégia de combate a incêndio (DUNN, 2010).

Nesse caso, com oito andares totalmente destruídos, o engenheiro estrutural do prédio alertou que havia potencial para colapso total dos andares superiores. Todos os bombeiros foram retirados e o incêndio se extinguiu sem desabar, mas os danos estruturais foram tão graves que o prédio não pôde ser reocupado e teve que ser implodido (NORMAN, 2012).

A decisão do chefe dos bombeiros da Filadélfia seguiu as prioridades de combate a incêndios:

1. Segurança da vida (primeiramente a dos bombeiros, depois a dos ocupantes);
2. Estabilização do incidente; e
3. Proteção à propriedade (DUNN, 2010).

Há uma frase que norteia a exposição ou não de bombeiros aos riscos de uma edificação com risco de colapso: "Quando não há ameaça aos ocupantes, a vida dos bombeiros não deve ser exposta ao perigo indevidamente (tradução nossa)" (NORMAN, p. 551, 2012).

Excluindo os dados do atentado ocorrido no *World Trade Center* (WTC) em 11 de setembro de 2011 (que foi um evento atípico), nos Estados Unidos da América (EUA) aproximadamente 20% dos bombeiros mortos durante o combate a incêndio estrutural entre os anos de 1996 e 2006 foram vítimas de um colapso estrutural (STROUP; BRYENER, 2007) No Brasil não há sequer disponíveis dados sobre acidentes de bombeiros em nível nacional, tampouco uma análise detalhada da correlação entre acidentes e colapso estrutural.

Existem dois estudos com dados dos EUA que apresentam estatísticas sobre óbitos de bombeiros ocorridos em função de colapso estrutural. O primeiro intitulado *Analysys Report On Fire Fighter Fatalities - Fire Ground Fatalities As a Result of Structural Collapse 1983 - 1992* sendo identificado que durante este período 71 bombeiros foram mortos em decorrência de colapso estrutural durante o combate a incêndio (RITA FAHY, 1993). Outro estudo, *Trends in Firefighter Fatalities Due to Structural Collapse, 1979 - 2002*, buscou identificar tendências nos óbitos ocorrido em bombeiros durante um colapso estrutural. No período de 23 anos este estudo identificou a morte de 180 bombeiros em incêndios onde houve o colapso estrutural (BRASSELL; EVANS, 2003).

Diante do cenário descrito, o objetivo deste trabalho é fazer uma revisão bibliográfica exploratória do tema, apontando os principais indicadores de

colapso estrutural iminente em caso de incêndio, trazendo evidências claras e que possam ser utilizadas pelos bombeiros durante o combate a incêndio em edificações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INCÊNDIOS COM MORTE DE BOMBEIROS POR COLAPSO ESTRUTURAL

O colapso repentino é um dos riscos mais temidos entre os bombeiros. Apesar de saberem os conceitos dos fenômenos do fogo mais perigosos e como identificá-los (o *flashover* e o *backdraft*), o colapso repentino de um prédio é um dos riscos mais imprevisíveis. Ser enterrado vivo sob toneladas de tijolos, vigas fumegantes e gesso é o terror de todos os bombeiros (DUNN, 2010).

Vicent Dunn (2010) elaborou a principal bibliografia em nível internacional tratando especificamente sobre colapso de estruturas em situações de incêndio, e cita uma série de incêndios nos EUA que levaram bombeiros a óbito, em decorrência de colapso estrutural. Cita ainda o potencial mortal deste evento, quando afirma que o colapso repentino de edifícios em chamas pode matar um grande número de bombeiros ao mesmo tempo.

Quadro 1 - Incêndios nos EUA que levaram bombeiros a óbito

Local do acidente	Óbitos	Ano	Descrição do evento
Chicago	21	1910	A parede do prédio desabou no topo do galpão sobre uma plataforma de carga
Filadélfia	14	1911	O chão e as paredes de um prédio de uma fábrica de couro repentinamente desabaram. Primeiro, os pisos desabaram e prenderam três bombeiros e, em seguida, as paredes desabaram sobre os socorristas e mataram mais onze bombeiros
Massachusetts	13	1941	Os bombeiros que puxavam o teto de uma sala de cinema morreram esmagados quando o telhado de treliça e o teto de ripas de arame ruíram
New Jersey	5	1967	A queda do telhado empurrou para fora uma parede de alvenaria em cima dos bombeiros do lado de fora do prédio em chamas
Massachusetts	9	1972	O chão e as paredes do <i>Vendome Hotel</i> desabaram
Nova Jersey	5	1988	um telhado de treliça de madeira desabou durante um incêndio em uma concessionária de automóveis
Pensilvânia	4	1991	Piso de um prédio de madeira desabou
Washington	4	1995	Incêndio em um depósito causou o desabamento de um piso
Massachusetts	6	1999	Estrutura colapsou após um incêndio iniciado por um sem-teto em um depósito vazio
Nova York	343	2001	ataque terrorista seguido de um incêndio no <i>World Trade Center</i>

Fonte: Dunn (2010).

Após o atentado ao *World Trade Center* houveram ainda mais alguns eventos significativos. Yarlagadda *et al.* (2018) conduziu um estudo para investigar o incidente ocorrido em 2017 no edifício Torre de Plasco, no Irã,

onde após uma intensa explosão seguida de um incêndio que durou três horas e meia veio a colapsar, tirando a vida de 16 bombeiros e 6 civis.

No Brasil, recentemente dois eventos culminaram em colapso estrutural com óbito de bombeiros. Em 2019 na cidade de Araçatuba, estado de São Paulo um prédio comercial em chamas veio a colapsar, levando um bombeiro a óbito (SÃO PAULO, 2019).

O outro evento, ironicamente, ocorreu no prédio onde funcionava a Secretaria de Segurança Pública do governo do Estado do Rio Grande do Sul, na cidade Porto Alegre, onde um incêndio seguido de um colapso parcial da estrutura tirou a vida de dois bombeiros (RIO GRANDE DO SUL, 2021).

2.2 DADOS SOBRE COLAPSO ESTRUTURAL EM CASO DE INCÊNDIO

Apesar do perigo potencial para os bombeiros de um colapso repentino de edifícios, os corpos de bombeiros compilam poucas informações sobre o assunto. Perguntas simples, como porque um prédio cai ou que parte de uma estrutura em chamas desaba primeiro, raramente são respondidas após uma falha estrutural. Em todos os estudos e pesquisas sobre combate a incêndios, pouca ou nenhuma atenção é dada às causas do colapso (DUNN, 2010).

Uma razão que explica este fato é que qualquer pesquisa sobre o tema do colapso de edifícios em chamas oferece poucos benefícios para a população em geral, exceto para os bombeiros. A população não receberá nenhum benefício indireto das informações descobertas sobre o colapso de um prédio em chamas. Os ocupantes geralmente foram evacuados com segurança dos prédios em chamas antes que o perigo de colapso se tornasse real. Pouquíssimas pessoas, além dos bombeiros, são mortas pelo desabamento de um edifício em situação de incêndio, já que apenas os bombeiros estão próximos quando ele for enfraquecido a ponto de causar um colapso (DUNN, 2010).

Outra razão pela qual há pouca informação sobre um assunto tão importante é a falta especialização técnica dos próprios corpos de bombeiros. Depois que um prédio em chamas desaba e mata ou fere gravemente um membro, os peritos envolvidos na investigação são incapazes de analisar objetivamente por que o prédio desabou ou mesmo como a estrutura desabou. Investigadores imparciais externos, que não estavam operando no local do incêndio no momento do colapso e que podem avaliar objetivamente os escombros do colapso, são necessários para conduzir uma análise do incidente (DUNN, 2010).

Esses investigadores devem ser treinados nas técnicas e práticas de investigação pós-incêndio, não somente para definir as causas do incêndio e local de origem, mas sim para uma avaliação técnica voltada para a área da construção civil. Nos EUA, desde 1990 são conduzidas investigações objetivas de desabamentos de edifícios em chamas pelo Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) e pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST), e são disponibilizadas a população em suas páginas na internet (DUNN, 2010).

Outra razão pela qual são obtidas poucas informações precisas durante a investigação de um colapso é a atitude daqueles que conduzem a investigação,

os peritos. Por causa das considerações legais envolvidas quando alguém é morto ou ferido em um incêndio, muitas vezes os encarregados da investigação estão preocupados apenas em colocar a culpa ou evitar problemas legais. Informações valiosas sobre o perigo de colapso e lições de segurança que poderiam ser dadas aos bombeiros são frequentemente esquecidas e perdidas durante a investigação (DUNN, 2010).

Falando sobre o contexto norte americano, a razão final e mais importante para a ausência de informações de colapso para os bombeiros após 200 anos de experiência no combate a incêndios nos EUA é a falta de documentação do corpo de bombeiros sobre registro de colapso. Quase nunca há um registro ou relatório escrito de um colapso, a menos que vários bombeiros tenham sido mortos e o colapso seja de interesse nacional. A maioria dos bombeiros que morre em colapsos de prédios em chamas morre um de cada vez. Esses fatos raramente são registrados em um documento escrito que pode ser usado como uma fonte de treinamento (DUNN, 2010).

Nos EUA, desde 1996, o Congresso determinou ao Instituto Nacional de Segurança Ocupacional (NIOSH) para investigar todas as mortes de bombeiros no país. Antes disso, muitos desabamentos de edifícios em chamas que mataram bombeiros nunca foram investigados e as causas nunca foram determinadas (DUNN, 2010).

Em 1999, a NFPA publicou um estudo de 10 anos sobre bombeiros mortos por desabamento de edifícios. Este estudo documentou as partes exatas de um edifício que desabou durante um incêndio. O estudo descobriu que 56 bombeiros morreram em incêndios em edifícios durante o período de 1990 a 1999; 21 morreram por colapso do chão, 19 por colapso do telhado, 14 por colapso da parede e dois por colapso do forro. Este estudo instrui o serviço de bombeiros sobre qual parte de um edifício tem maior probabilidade de colapsar e matar os bombeiros. O colapso do chão mata a maioria dos bombeiros, a próxima falha estrutural mais perigosa é o colapso do telhado, depois o colapso da parede e, finalmente, o colapso do forro (DUNN, 2010).

Através dos estudos já realizados, foi possível identificar os principais fatores que influenciam no colapso estrutural de um edifício em situação de incêndio, os quais serão abordados a seguir.

2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NO COLAPSO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO

Segundo Dunn (2010), espera-se que o colapso estrutural durante o combate a incêndios aumente ainda mais no século 21, em função de quatro fatores principais: idade de um edifício, abandono, construção leve e métodos ilegais e/ou de má qualidade e reformas de edifícios realizadas de maneira defeituosa.

2.3.1 Idade dos Edifícios

Um edifício, como uma pessoa, tem uma expectativa de vida. Uma estrutura de 75 ou 100 anos, como uma pessoa, está perto do fim de sua expectativa de vida. Além dessa idade, uma estrutura fica gravemente deteriorada. Existem estruturas que têm mais de um século e estão

enfraquecidas pelo tempo. A madeira encolhe e apodrece, a argamassa perde as suas qualidades adesivas e o aço sofre corrosão. A menos que haja um esforço muito maior para a preservação, reabilitação e renovação legal de edifícios, as estruturas mais antigas entrarão em colapso cada vez mais e matarão mais bombeiros (DUNN, 2010).

2.3.2 Edifícios Abandonados

Edifícios abandonados são os chamados perigos-alvo. Edifícios como esses devem ser observados pelos bombeiros para inspeções frequentes, pois representam um grande perigo de colapso durante um incêndio. Um prédio vazio por vários anos e exposto à chuva, calor do verão e temperaturas baixas, desabará mais rapidamente durante um incêndio do que um prédio em bom estado de conservação e ocupado por residentes ou empresas (DUNN, 2010).

Em um prédio vazio, a chuva que penetra nas janelas quebradas apodrece rapidamente o piso, o telhado ou a fundação de madeira. O vento e a chuva corroem a argamassa entre os tijolos. Em um edifício desocupado, as coberturas retardadoras de fogo são rapidamente removidas dos suportes estruturais pela umidade. Pessoas sem-teto e viciados em drogas se abrigam nessas estruturas e iniciam incêndios mortais (DUNN, 2010).

2.3.3 Materiais de Construção Leves

O uso generalizado de materiais de construção leves representa outro sério perigo para os bombeiros da América. O combate a incêndios dentro de um prédio em chamas construído com materiais leves (principalmente madeira e aço) é muito mais perigoso do que o combate a incêndios dentro de um prédio em chamas construído com concreto armado e alvenaria (DUNN, 2010).

A NFPA afirma que "Vigas de barra de aço leve e desprotegidas falham quando expostas a 5 ou 10 minutos de exposição ao fogo" (DUNN, 2010).

Hoje, os arranha-céus estão usando cada vez mais materiais leves. As torres do *World Trade Center* tinham pisos de vigas de barra de aço sem suporte de 18 metros. Este foi um fator no rápido colapso das torres após o ataque terrorista seguido pelo incêndio. O efeito cascata da falha das ligações das vigas com os pilares levou o edifício ao colapso. A torre um (WTC I) desabou após 102 minutos a partir do impacto da aeronave, e a torre dois (WTC II) iniciou o colapso após 56 minutos do impacto da aeronave (GROSS; MCALLISTER, 2005)

Métodos e materiais de construção leves são uma das respostas dadas pela indústria da construção como a solução para moradias populares. A construção de edifícios leves inclui também pequenas mudanças invisíveis, por exemplo: os apoios de madeira entre o piso e a viga do telhado são eliminados; a construção da parede e do piso com vigas de madeira possuem um espaçamento maior no centro; o revestimento de madeira para telhado e piso tem espessura reduzida, e quando não tratados com devido revestimento contra o fogo, implicam em um risco adicional de colapso. Há uma tendência a este tipo de construção continuar, então o serviço de bombeiros deve mudar sua estratégia e tática de combate a incêndios em estruturas leves (DUNN,

2010).

2.3.4 Reformas Defeituosas

Outra causa do desabamento de edifícios em chamas são os métodos de construção e reforma ilegais e inadequados. Os edifícios recém-construídos e os reformados ou ampliados devem cumprir os códigos de construção existentes. Frequentemente, isso não acontece porque uma reforma ilegal ou imprópria está sendo realizada. O desabamento do piso e da parede do *Vendome Hotel* em Boston e o desabamento do piso da *23rd Street Wonder Drug Store* em Nova York tiveram reformas impróprias e ilegais como principais causas do colapso (DUNN, 2010).

A causa de vários desabamentos de prédios em chamas recentes em New York City, que matou e feriu bombeiros, foi determinada como sendo devido a reformas ilegais ou impróprias. Por exemplo: paredes corta-fogo que suportavam um piso foram removidas para aumentar o espaço alugável; bombeiros operando mangueiras neste andar acima de um incêndio morreram quando o piso sem suporte desabou; o telhado de um prédio construído sem notificação ou aprovação do departamento de construção desabou matando um bombeiro avançando com uma equipe de mangueira; a reforma ilegal foi um fator no colapso do chão de uma loja que tirou a vida de dois bombeiros (DUNN, 2010).

3 RESULTADOS

Existem alguns tipos de edificações, materiais construtivos e partes das construções que oferecem maiores riscos de colapso estrutural durante um incêndio, os quais serão expostos a seguir

3.1 INDICADORES GERAIS

A maneira de evitar ser atingido por um colapso é examinar a estrutura constantemente, bem como as circunstâncias ao redor (principalmente o incêndio), em busca de indicações de que o edifício está perdendo a batalha contra a gravidade. Essas indicações podem ser itens fisicamente visíveis, como rachaduras nas paredes, ruídos que indicam movimento, ou podem ser apenas condições como um piso muito carregado, ou um pavimento tomado pelo fogo por completo. Cada indicador considerado separadamente pode não alertar os bombeiros a ponto de que seja provocada a evacuação do pessoal, no entanto, quando vistos como um todo, podem ser sinais de alerta de que o prédio está em perigo (NORMAN, 2012).

Alguns tipos de ocupações representam por si só um risco elevado de colapso. Edificações com carga de piso excepcionalmente pesadas como lojas de materiais de construção, lojas de eletrodomésticos, gráficas, são exemplos de edificações que deve ter um exame cuidadoso durante o incêndio para sinais de possível colapso. Estoques absorventes de água (papel, tecidos) também causam sobrecarga no piso, já que 1000 litros de água absorvidos por estes materiais equivale a 1000 kg a mais na carga que o piso está resistindo

(NORMAN, 2012).

Outras ocupações como supermercado, concessionárias de automóveis, pistas de boliche, igrejas, ou seja, construções com grandes vãos geralmente possui a estrutura do telhado feita de treliça, sendo extremamente frágil em situação de incêndio, devido ao fato de que cada elemento da treliça é dependente dos outros, ou seja, quando um dos elementos perder a resistência, ocorrer a falha, ocorrerá um colapso em cadeia de toda a estrutura do telhado (NORMAN, 2012).

Durante um incêndio, a identificação precoce de uma treliça é a chave para uma operação segura. Quando a treliça é identificada precocemente, lesões graves podem ser evitadas pela adoção de uma estratégia defensiva. O bombeiro que descobrir qualquer tipo de treliça em um prédio deve imediatamente repassar essa informação ao superior que está comandando o incidente, para que as ações de segurança possam ser tomadas (DUNN, 2010).

O tempo de exposição da estrutura ao fogo após o *flashover* ou a partir do momento que o fogo atinge todo o pavimento da edificação é um indicador de possível colapso estrutural. Uma rápida olhada na estrutura pode não indicar a extensão do fogo ou há quanto tempo está queimando, mas se o fogo estiver crescendo e não foi possível apagar em 20 minutos, deve-se considerar a retirada das equipes da edificação. Quando os primeiros membros saírem do prédio com seus alarmes de baixa pressão de ar tocando, é um bom indicador para se fazer uma avaliação de um possível colapso estrutural. Mesmo o limite de 20 minutos é muito longo para incêndios que envolvem construção leve. Nesse caso, um limite de tempo de 5 minutos pode ser apropriado, o que pode significar nenhuma entrada se o tempo que a equipe levou para chegar ao incêndio se aproximar de 3 ou 4 minutos. Todos esses limites de tempo dependem também das observações reais das condições. Se as condições forem severas o suficiente, deve-se retirar os bombeiros muito mais cedo. Se a situação for mais clara, é possível permanecer dentro da edificação por mais tempo (NORMAN, 2012).

Rachaduras nas paredes são sinais óbvios de fraqueza. Infelizmente, quando elas aparecem, o colapso pode ser iminente. Por outro lado, a rachadura pode estar presente na parede há anos. As rachaduras que estão se expandindo ou alongando são indicações definitivas de movimento e geralmente devem levar à evacuação se forem extensas (NORMAN, 2012).

O tipo de material utilizado na edificação também dá sinais específicos de colapso estrutural, os quais serão vistos adiante.

3.2 ESTRUTURAS DE MADEIRA

Os principais riscos de colapso estrutural envolvendo estruturas de madeira são o colapso do piso, o colapso do teto, e o colapso generalizado da edificação (DUNN, 2010).

Sempre que a edificação de madeira possuir mais de um pavimento, ou possuir um porão existe o risco do colapso do piso. Deve-se observar se existe o enfraquecimento do piso, marcas de queimado ou fumaça brotando do piso, sendo estes os principais indicadores de colapso de piso em edificações de madeira (DUNN, 2010).

Recomenda-se que para o colapso do piso seja utilizada uma ferramenta para sondar à frente ou manter sempre uma perna estendida, de modo a apoiar o peso do corpo na perna de trás. Quando é identificado o possível colapso no piso, deve-se usar o alcance de um fluxo de mangueira para ficar longe do piso enfraquecido ou realizar um ataque externo defensivo. Quando se tratar do perigo de colapso de um piso em uma edificação com três ou mais andares, os bombeiros devem ser retirados do prédio e também longe das paredes do prédio (DUNN, 2010).

A construção em treliça de madeira é o sistema de telhado mais perigoso que um bombeiro encontrará. É conhecido o seu colapso durante os estágios iniciais de um incêndio e, com frequência, causará o colapso subsequente da parede frontal ou traseira do invólucro de alvenaria da estrutura. Chamas saindo pelas laterais do telhado indicam uma estrutura de madeira suportando o telhado, e também um colapso iminente desta parte da estrutura (DUNN, 2010).

A "trilogia trágica de treliça de madeira" mostra as três maneiras pelas quais os bombeiros podem morrer quando combatendo incêndios envolvendo construção de treliça de madeira. Bombeiros podem ser mortos operando do lado de fora de um prédio de telhado de madeira em chamas, pois quando as treliças desmoronam, elas podem empurrar uma parede de alvenaria. A queda do telhado pode causar o colapso da parede secundária. Os bombeiros que operam no telhado acima de uma armação de madeira em chamas podem cair do telhado em colapso e entrar no fogo. Os bombeiros que operam dentro de um prédio em chamas podem ser esmagados e queimados até a morte quando o telhado de treliça em colapso cai em cima deles (DUNN, 2010).

Ainda sobre a treliça de madeira leve como suporte de telhado, a experiência em testes de combate a incêndios mostra que esta construção pode falhar em 5 a 10 minutos após a exposição ao fogo. Essa construção, amplamente utilizada em residências particulares e lojas, é uma das causas que contribuem para a morte de bombeiros. Em média, em toda a América, um bombeiro a cada dois anos morre no colapso de uma construção de treliça de madeira leve (DUNN, 2010).

Sobre o colapso generalizado em estrutura de madeira, ocorre principalmente em edificações com dois ou mais andares. Quando um incêndio grave se espalhar por todo um pavimento deste tipo de edificação há um potencial elevado de colapso generalizado da estrutura. Bombeiros que já passaram vivenciaram esta situação relataram que a estrutura não dá sinais visíveis de que vai colapsar, mas que o sinal mais perceptível são os rangidos e estalos que a estrutura emite momentos antes do colapso (DUNN, 2010).

3.3 ESTRUTURAS DE AÇO

Estruturas metálicas apesar de não combustível, são as menos resistente ao colapso quando exposta ao fogo. Isso ocorre principalmente porque grandes quantidades de aço não protegido são usadas em sua construção. O comportamento do aço sob condições de fogo cria vários problemas do ponto de vista do colapso. A primeira é que o aço se expande quando é aquecido. Uma viga I de 30 metros de comprimento aquecida uniformemente a 540 °C

se expandirá 25 cm no sentido do comprimento. Isso pode derrubar colunas ou paredes, bem como fazer buracos nas paredes através dos quais o fogo pode se espalhar (DUNN, 2010).

Quando o aço é aquecido ainda mais a cerca de 815 °C, ele perderá sua resistência, deixando cair sua carga ou torcendo-se e cedendo. Qualquer peça da estrutura que dependa dele cairá. Além disso, quando o aço é resfriado de volta à sua temperatura original, ele se contrai de volta ao comprimento de 30 metros, enquanto mantém sua forma. Se uma viga I fosse fortemente torcida ou curvada e depois resfriada por um fluxo de mangueira, o aço encolheria, possivelmente o suficiente para que as extremidades das vigas não estivessem mais apoiadas em seus suportes originais e poderia ocorrer o colapso (NORMAN, 2012).

Vigas de barra de aço leves podem perder sua resistência em torno de 5 a 10 minutos de exposição ao fogo. As peças mais grossas de aço demoram mais para aquecer, mas quando atingem 815 °C, sua falha é tão garantida quanto as leves. Felizmente, o aço geralmente cede antes da falha total. Isso pode fornecer um aviso suficiente para os bombeiros que trabalham em uma plataforma de aço, mas pode não ser visível para as pessoas que trabalham abaixo dela devido à fumaça que obscurece sua visão (NORMAN, 2012).

Uma situação particularmente perigosa envolvendo aço desprotegido ocorre em colunas fabricadas com tubos e placas de aço. Neste caso, as colunas são feitas cortando-se um pedaço de tubo no comprimento desejado e soldando-se dois pedaços de chapa nas pontas. Isso resulta em uma câmara selada que, quando aquecida, pode se romper com violência explosiva que pode derrubar tudo o que ela suporta, incluindo telhados, pisos e paredes (NORMAN, 2012).

Há uma diferença entre os termos não combustível e resistência ao fogo. O aço não é combustível, nem é resistente ao fogo. O aço, por não ser combustível não adiciona combustível ao fogo, mas também não resiste ao fogo. Ele entrará em colapso com os efeitos do fogo. O calor de um incêndio destrói as qualidades de suporte de carga do aço. Os bombeiros devem se lembrar de treliças de vigas de barra de aço desprotegidas e vigas C de aço não são resistentes ao fogo. Eles podem entrar em colapso após 5 a 10 minutos de exposição ao fogo (DUNN, 2010).

3.4 ESTRUTURAS DE CONCRETO

Entre os materiais de construção mais utilizados, as estruturas de concreto são as que melhor se comportam em situação de incêndio. Muitos dos edifícios de concreto armado que sofrem incêndios graves são reparados e podem voltar a serem utilizados. O concreto é um material incombustível, e possui baixa condutividade térmica, além de seu revestimento (pasta de cimento) sofrer uma reação endotérmica quando exposta ao fogo, o que reduz o aumento da temperatura do concreto. Diferente da madeira e do aço, o concreto tende a permanecer no lugar durante um incêndio, mantendo mais frio o aço de reforço e o núcleo interno dos elementos, mantendo assim a sua estabilidade e capacidade de carga (BUCHANAN; ABU, 2017).

Norman (2012) cita que a "regra dos 20 minutos" não se aplica a este

tipo de edificação. Edificações com estrutura de concreto podem suportar várias horas de exposição ao fogo e podem exigir muitas equipes de bombeiros trabalhando e realizando várias trocas de cilindros de ar até concluir a extinção final.

No entanto o concreto apresenta um risco específico diferente das outras estruturas. O concreto de qualquer idade exposto ao fogo elevado está sujeito a fragmentação (*spalling*), ou seja, a separação de pedaços com força explosiva, que é causada pela expansão da água presa no concreto quando esta se transforma em vapor. Pedaços muito substanciais, pesando 45 kg ou mais, podem entrar em colapso como resultado da exposição ao fogo. Estes fragmentos podem atingir os bombeiros resultando em graves ferimentos ou até a morte (NORMAN, 2012).

Em estruturas de concreto os principais indicadores de colapso iminente são a exposição dos elementos de aço que reforçam a peça, pois quando o aço é exposto ao fogo rapidamente ocorre a perda da sua resistência, o estilhaçamento das camadas externas do concreto, podendo ser explosivas ou não, o que indica que a peça de concreto está sendo aquecida a elevadas temperaturas, e possivelmente pode vir a colapsar, fenda em expansão em paredes de concreto pré moldado representa que a armação de aço está sendo aquecida, como consequência do aquecimento está se expandindo e perdendo sua resistência e fumaça saindo por rachaduras mostrando a falha iminente na resistência da peça de concreto. Em vigas e pilares, fissuras inclinadas, armaduras longitudinais expostas e com os estribos rompidos também indicam danos importantes na estrutura (DUNN, 2010).

3.5 ESTRUTURAS DE ALVENARIA

Em estruturas de alvenaria os riscos concentram-se nas paredes, nos pisos de alvenaria quando colocados sobre vigas de madeira, e nos elementos decorativos feitos de alvenaria, como parapeito e marquise (DUNN, 2010).

Um parapeito é a continuação de uma parede externa acima do nível do telhado, ou seja, é a parte da parede frontal que se eleva acima do telhado. Uma marquise é uma grande estrutura fixada na entrada de um teatro ou loja que se estende da parede frontal até a rua. Os bombeiros que respondem a um incêndio em um prédio que tem qualquer desses anexos estruturais como parte de sua fachada devem considerá-lo um perigo de colapso, pois são elementos independentes e que possuem pouca resistência estrutural além da necessária para suportar a si mesmos. Logo, durante um incêndio, a menor perda da sua resistência é suficiente para que venham a colapsar, então o simples fato de a edificação possuir um destes elementos é um sinal de possível colapso parcial da estrutura (DUNN, 2010).

O perigo de colapso da parede do parapeito é uma das razões pelas quais a área diretamente em frente a um prédio de incêndio é tão perigosa e por que os bombeiros são obrigados a se afastar totalmente da frente do prédio.

Sobre os pisos de alvenaria, representam uma séria ameaça aos bombeiros quando são colocados sobre vigas de madeira. Os bombeiros se acostumaram a pensar no concreto e na alvenaria como sendo construções resistentes ao fogo. Em um sentido literal, elas são, uma vez que o concreto

não queima. Prédios altos construídos com concreto e alvenaria têm um excelente histórico de resistência ao fogo e colapso, e é nesse registro que os bombeiros pensam quando encontram um piso de concreto. Ainda assim, esse registro é baseado em um tipo de alvenaria, concreto reforçado com aço, que se comporta de maneira muito diferente sob a exposição ao fogo do que outros tipos de concreto e construção em alvenaria (NORMAN, 2012).

Os métodos de construção antigos, usam madeira para suportar as cargas de tração. O piso só ficará levantado enquanto as vigas de madeira do piso puderem suportar o peso. Se as vigas do piso de madeira forem danificadas pelo fogo, o piso desabarará, o concreto não terá nada que o ajude a resistir ao colapso. Na verdade, o concreto agrava o problema. Suas propriedades isolantes podem evitar que os bombeiros percebam que estão operando diretamente sobre um incêndio violento, e o peso da alvenaria aumenta o potencial de colapso precoce (NORMAN, 2012).

Os principais sinais de um colapso iminente em piso de alvenaria são fumaça saindo do piso bem como deformações e desnivelamento, indicando que a estrutura de suporte do piso está sendo danificada (NORMAN, 2012).

Sobre as paredes de alvenaria, existem três maneiras pelas quais a parede externa de um edifício de alvenaria pode desabar. A parede pode cair em linha reta em uma peça monolítica em um ângulo de 90 graus, de maneira semelhante à queda de uma árvore; a parede pode desmoronar diretamente na chamada queda da cortina; ou a parede pode desabar para dentro / para fora, com a parte superior caindo para dentro e a parte inferior para fora (DUNN, 2010).

O colapso do ângulo de 90 graus é o tipo mais comum de falha da parede de alvenaria que ocorre em incêndios (fig. 4-1). A parede cai em linha reta e o topo da parede em colapso atinge o solo, a distância é igual à altura da seção de queda medida a partir da base da parede. Um incêndio descontrolado que se espalha por uma estrutura de tijolo e vigas causa o colapso interno de todos os pisos. A pilha de entulho comprimido criada pelo interior caído exerce uma força externa ou lateral contra o interior de uma das paredes de tijolo ainda existentes. Conforme a parede experimenta essa força lateral, uma rachadura vertical ou separação aparece em um canto, começando no topo e progredindo para baixo. A parede começa a se inclinar para fora na parte superior, separando-se das outras paredes circundantes e cai em um ângulo de 90 graus (DUNN, 2010).

No colapso tipo cortina, a parede de alvenaria externa cai como uma cortina que cai solta no topo. A parede desmorona e cai em linha reta, na vertical, com tijolos e argamassa formando uma pilha no chão perto da base da parede. O colapso do folheado de tijolo, cavidade de tijolo ou parede de pedra apoiada em alvenaria geralmente ocorre como uma queda tipo cortina. Se as amarras de metal que prendem uma parede de tijolo folheado ao suporte de madeira forem destruídas pelo fogo, ou se a ligação de argamassa entre uma parede de pedra acabada externa e uma parede revestida de alvenaria for danificada, grandes seções de folheado de tijolo ou pedra podem cair do edifício exterior (DUNN, 2010).

Quando uma parede de alvenaria se torna instável e começa a se inclinar para dentro, nem sempre significa que a parede cairá para dentro. Os

bombeiros que fazem o combate ao incêndio externamente a edificação ainda devem manter uma distância segura entre eles e a parede instável, porque quando uma seção da parede quebrada cai para dentro, a parte inferior da parede pode cair para fora, ou a parte superior pode inicialmente cair para dentro, mas depois deslizar para baixo e para fora na rua. Conhecido como colapso para dentro/para fora, esse tipo pode ser causado por uma força dirigida contra a superfície interna da parede em colapso. Uma explosão ou impacto externo causado pelo colapso de um telhado ou de vários andares podem causar um colapso interno/externo de várias paredes circundantes simultaneamente (DUNN, 2010).

Os indicadores de colapso estrutural relacionados a estruturas de alvenaria são uma ou mais fendas em expansão em uma parede de alvenaria, tijolos caindo de uma parede, paredes separando nos cantos onde as paredes externas se encontram, a inclinação de uma estrutura para algum dos lados, grandes volumes de escoamento de água de mangueiras externas através de juntas de argamassa ou por cima de peitoris de janela, água ou fumaça vazando através de uma parede de tijolos sólidos e grandes rachaduras ou protuberâncias nas paredes (DUNN, 2010).

4 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi levantar os principais indicadores de colapso estrutural perceptíveis durante um incêndio, de modo a facilitar esta identificação pelos bombeiros.

No Brasil não existem dados disponíveis de acidentes ou óbitos de bombeiros, tampouco a relação entre óbitos de bombeiros e colapso estrutural.

Foram identificados alguns fatores relacionados às edificações, que por si só tornam estas edificações mais suscetíveis a colapso estrutural, sendo eles edifícios com idades elevadas, edifícios abandonados, edificações construídas com materiais leves (madeira e aço) e reformas defeituosas, onde elementos estruturais da construção são modificados ou até excluídos.

Existem indicadores gerais que são aplicáveis a todos os tipos de edificações, e existem riscos específicos intrínsecos aos materiais utilizados na construção. O simples fato de o telhado da edificação possuir treliças, sejam elas de madeira ou de aço, é um forte indicativo de colapso iminente da edificação em caso de incêndio, bem como um incêndio generalizado em um dos pavimentos da edificação.

Estruturas de madeira são as que menos suportam a estrutura em caso de incêndio. Podem colapsar total ou parcialmente em poucos minutos, bem como os principais riscos para os bombeiros são os colapsos do piso e do teto.

Estruturas de aço apesar de não serem combustíveis possuem resistência ao fogo reduzida, de modo que em pouco tempo de exposição perdem sua resistência estrutural, vindo a ceder, sendo um sinal evidente da iminência de um colapso.

Estruturas de concreto e de alvenaria são as mais resistentes ao fogo, no entanto principalmente o risco de colapso de piso está presente, quando o material que suporta o piso é combustível, como a madeira.

No serviço de bombeiros, como em outros campos, esta é a "era da

informação". Cada vez mais é perceptível que a informação é a chave para o sucesso no combate a incêndios. Como uma estrutura contribui para a propagação do incêndio e o perigo estrutural específico de um edifício são alguns dos itens de informação mais importantes que um os bombeiros podem saber para combater um incêndio de forma eficiente e segura.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6022**: informação e documentação: artigo em publicação periódica científica impressa: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: elaboração: referências. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**: Informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6028**: resumos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citação em documentos. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

BRASSELL, Lori; EVANS, David. **Trends in Firefighter Fatalities Due to Structural Collapse, 1979 - 2002**. Gaithersburg: National Institute Of Standards And Technology, 2003. Disponível em: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=861268. Acesso em: 15 set. 2021.

BUCHANAN, Andrew; ABU, Anthony. **Structural Designs for Fire Safety**. 2. ed. West Sussex: John Wiley & Sons Inc, 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. Centro de Ensino Bombeiro Militar. **Manual de Formatação e Normalização de trabalhos acadêmicos**. Florianópolis: CEBM, 2011.

DUNN, Vincent. **Collapse of Burning Buildings**: a guide to fireground safety. 2. ed. [S.I.]: Fire Engineering, 2010.

GROSS, John L.; MCALLISTER, Therese P. **Structural Fire Response and Probable Collapse Sequence of the World Trade Center Towers**. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster (NIST NCSTAR 1-6). DRAFT for Public Comments. 2005. Disponível em: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=101279. Acesso em: 20 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Normas de apresentação tabular. 3. ed. Rio de Janeiro, 1993.

NORMAN, John. **Fire Officer's**: handbook of tactics. 4. ed. Oklahoma: Penn Well, 2012.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RIO GRANDE DO SUL. Corpo de Bombeiros Militar de Rio Grande do Sul. Secretaria de Segurança Pública. **Nota de Pesar**. 2021. Disponível em: <https://www.bombeiros.rs.gov.br/nota-de-pesar-60f8e294d1113>. Acesso em: 20 set. 2021.

RITA FAHY. Federal Emergency Management Agency. **Analysys Report On Fire Fighter Fatalities**. Quincy: National Fire Protection Association, 1993. Disponível em: https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/ff_fat92.pdf. Acesso em: 15 set. 2021.

SANTOS, M; ALMEIDA, A. Principais riscos e fatores de risco ocupacionais associados aos bombeiros, eventuais doenças profissionais e medidas de proteção recomendadas. **Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 43-63, jan. 2016. Disponível em: <https://www.rp-so.pt/principais-riscos-e-fatores-de-risco-ocupacionais-associados-aos-bombeiros-eventuais-doencas-profissionais-e-medidas-de-protecao-recomendadas/>. Acesso em: 13 set. 2021.

SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros Militar de São Paulo. Secretaria de Segurança Pública. **Nota de pesar**. 2019. Disponível em: <http://https://www.policiamilitar.sp.gov.br/noticias/noticia-interna/2019/4/2078/falecimento-de-policia-militar-do-corpo-de-bombeiros>. Acesso em: 15 set. 2021.

STROUP, D; BRYNER, N. **Structural Collapse Research at NIST**. Gaithersburg: National Institute Of Standards And Technology, 2007. Disponível em: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=861448. Acesso em: 15 set. 2021.

YARLAGADDA, Tejaswar *et al.* Preliminary Modelling of Plasco Tower Collapse. **International Journal Of High-Rise Buildings**. [S.I.], p. 397-408. dez. 2018. Disponível em: <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/4024-preliminary-modelling-of-plasco-tower-collapse.pdf>. Acesso em: 14 set. 2021.