**MAPEAMENTO DOS INCÊNDIOS EM EDIFICAÇÕES: O EDIFÍCIO MODAL
E SUAS APLICAÇÕES**

*FIRE MAPPING IN BUILDINGS: THE MODAL BUILDING AND ITS
APPLICATIONS*

Cristiano Corrêa¹

Resumo

A presente pesquisa apresenta um modelo de mapeamento de incêndios em edificações, aplicado a cidade de Recife no período de um triênio (2011-2013). Gerando através do conceito de moda estatística um 'Edifício Modal', com natureza de ocupação, carga incêndio, elementos estruturais próprios. Este Edifício Modal representa a projeção dos incêndios em determinado território em um dado tempo, podendo ser replicado para outras cidades e espaços temporais. Busca-se conhecer o problema dos incêndio com a lupa do local, e apossando-se destas informações reproduzir, treinamento as equipes de resposta, legislação e educação para a segurança contra incêndio customizadas. Apresenta-se também um experimento de incêndio real no qual o edifício modal foi reproduzido, em parte, revelando interessantes resultados.

Palavras-chave: Incêndio em Edificações. Edifício Modal. Mapeamento de Incêndios.

Abstract

The present research presents a model of fire mapping in buildings, applied to the city of Recife in a period of three years (2011-2013). Generating through the statistical fashion concept a 'Modal Building', with occupation nature, fire load, structural elements of its own. This Modal Building represents the projection of the fires in a determined territory in a given time, being able to be replicated to other cities and temporary spaces. It seeks to know the problem of fire with the magnifying glass of the place, and by taking this information reproduce, training the response teams, legislation and education for the customary fire safety. There is also a real fire experiment in which the modal building was reproduced, in part, revealing interesting results.

Key words: *Fire in Buildings. Modal Building. Fire Mapping.*

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco - CBMPE, Doutor em Engenharia Civil, com foco em Segurança Contra Incêndio pela UFPE, e-mail cristianocorreacbmpe@gmail.com

INTRODUÇÃO

A quantidade de Incêndios em Edificações sejam eles: comerciais, de prestação de serviço, industriais ou residenciais, exprimem valores preocupantes, a exemplo do município de Recife, que registrou mais de 400 incêndios em edificações, durante o ano de 2012 (PERNAMBUCO, 2013). Nesse contexto os prejuízos multifacetados são acentuados, destacando-se os econômicos com a interrupção de atividades e mesmo cadeias produtivas promovendo a “deterioração de postos de trabalho” (RACHANIOTIS e PAPPIS, 2006), além de montantes financeiros significativos que se destinam a reconstrução de estruturas danificadas ou mesmo destruídas, como destaca Braga (2008):

(um) problema de grande magnitude em todo mundo, com perdas diretas avaliadas em 0,1% do Produto Interno Bruto (PIB) para países como Japão, Espanha e Polônia, até quase 0,3% do PIB para países como Áustria e Noruega, e mortes de até quatro mil e trezentas pessoas, em 2003, nos Estados Unidos da América. (BRAGA, 2008).

Não menos evidentes são os prejuízos sociais relacionados com os incêndios em edificações que causam, além do desemprego temporário ou mesmo a extinção de postos de trabalho, o desalojamento de famílias que perdem, regra geral, o bem material mais precioso que possuem, sua residência. Quanto aos efeitos sociais dos incêndios (McFERRAN, 2011) chama atenção os conflitos e esfacelamentos familiares derivantes de mortes e feridos graves. Não sendo estimada aqui a sensação de insegurança e desamparo que permeia todos os expectadores desses incêndios, principalmente quando atendidos de forma tardia ou morosa.

A perda do patrimônio cultural, por vezes único, em uma cidade com fachadas, monumentos e edifícios históricos, é algo importante a ser considerado em incêndios estruturais. (GOUVEIA, 2006).

Esta pesquisa tem por finalidade propor uma forma simples, clara e exequível de realizar o mapeamento dos incêndios em edificações, estabelecendo um modelo

representativo do conjunto de incêndios em um determinado local e lapso temporal. Este modelo é intitulado ‘Edifício Modal’, visto basear-se na moda estática revelada pelo mapeamento.

Ao estabelecer o ‘Edifício Modal’ se tem a possibilidade de compreender o problema que é planetário, através da lupa do acontecimento em determinado território, podendo revelar padrões e dinâmicas que diferem do senso comum e mesmo do senso acadêmico e técnico. Buscando dá consistência a essa premissa, utilizou-se de uma grande cidade brasileira na qual foi estabelecido o mapeamento e ‘construído’ o edifício modal.

O cenário ou “*locus*” desta pesquisa é o município de Recife, capital política e econômica do Estado de Pernambuco, Brasil. O município conta com uma população estimada acima de 1,6 milhões de habitantes, sendo o núcleo da chamada Região Metropolitana do Recife – RMR. O conjunto de municípios que circundam a capital compõe, ao todo, uma população com mais de 3,9 milhões de pessoas que representa, percentualmente, mais de 41% de toda a população do Estado de Pernambuco, habitando em menos de 3% do território (IBGE, 2017).

INCÊNDIOS EM EDIFICAÇÕES

Incêndios em Edificações são extremamente frequentes em todo mundo. Estima-se que este tipo de incêndio corresponda a aproximadamente um terço (1/3) de todas as ocorrências registradas. A Figura 1 confirma tal afirmação em um levantamento realizado em trinta e dois (32) países (IAFRS/CTIF, 2012, p.35).

Figura 1: Ocorrência de Incêndios pelo mundo no ano de 2010 (IAFRS/CTIF, 2012).

Fonte: IAFRS – CTIF (2012), com tradução livre do autor.

Oliveira (2013) ao descrever incêndios na Grã-Bretanha apresenta o número de incêndios havidos na Figura 2, enquanto na Figura 3 são vistos os números de mortes relacionadas com incêndios por grupo/local registrado na nação em pauta (UK) de acordo com as estatísticas de incêndio do Departamento de Comunidades e Governo Local. A maioria das mortes foram em habitações queimadas (Figura 3).

Figura 2 – Incêndios na Grã-Bretanha e

Figura 3 – Mortes em Incêndios na Grã-Bretanha (2000-12)

Fonte: Adaptado de Oliveira, 2013.

Os Estados Unidos da América (EUA) registrou 1,6 milhões de incêndios em 2005 com 3677 mortes, 83% dessas mortes ocorreram em incêndios em residências (Seito, *et al.*, 2008).

A cada ano, centenas de mortes e bilhões de dólares em perdas de propriedade ocorrem devido a incêndios (BUCHANAN, 2001). Drysdale (1998) relata que na Grã-

Bretanha (UK) perdas diretas, tais como propriedade física, a vida humana, e na linha de produção devido incêndios exceder mais de £ 1 bilhão de libras esterlinas e mais de 800 mortes a cada ano.

Nos EUA as perdas financeiras devido a incêndios aproximam-se de 85 bilhões de dólares, de acordo com Quintiere (1998). O Canadá tem um custo anual devido a incêndios na ordem de 11 bilhões de dólares canadenses com base em 1991 e valores de acordo com Schaenman *et al* (1995). A Dinamarca, em 1998, teve gastos com incêndios que chegam a 10.825 milhões de coroas dinamarquesas (MOLLER, 2001).

Os custos dos incêndios representaram 0,813% do Produto Interno Bruto (PIB) dos EUA, 0,864% do PIB Dinamarca e 0,729% do PIB do Reino Unido de acordo com Ramachandran (1998).

A Tabela 1 apresenta as despesas com perdas diretas e de óbitos devidos a incêndios nos anos de 2005 até 2007, segundo a Associação de Genebra (*apud*, OLIVEIRA, 2013).

Tabela 1 – Perdas Diretas e Mortes em Incêndios (OLIVEIRA, 2013).

País	Perdas Diretas (em bilhões de Euros)				Mortes em Incêndios			
	2005	2006	2007	%PIB	2005	2006	2007	Mortes/100.000 habitantes
Alemanha	2.9	3.3	3.4	0.13	605	510	-	0.68
EUA	8.3	9.0	11.4	0.10	4000	3550	3750	1.23
França	3.4	3.3	3.4	0.19	660	620	605	1.02
Grã-Bretanha	2.1	1.8	1.8	0.30	515	515	465	0.82
Japão	2.3	2.4	2.1	0.12	2250	2100	2050	1.67

Os estudos e investigações acadêmicas, sobre os incêndios em edificações no Brasil são ricos na descrição de métodos de mapeamento de riscos (PIGNATTA e SILVA & COELHO FILHO, 2007), parâmetros para projetos seguros (ONO, 1997 e 2007), entre outros fatores relacionados à segurança contra incêndio.

Os dados estatísticos deste tipo de incêndio, contudo, padecem de investigações, sendo averiguado na literatura disponível apenas mapeamentos geográficos e análises

estatísticas relacionadas a incêndio em vegetação (SOARES e SANTOS, 2002; SANTOS, 2004; MAGALHÃES, *et. al.*, 2011; SOARES, *et. al.*, 2013), sobretudo em áreas de preservação ambiental. Destaca-se que no estudo mundial já citado (IAFRS/CTIF, 2012) nenhum dado do Brasil ou de outro país da América Latina é descrito, ensejando a possibilidade de inexistência ou inconsistência de estatística nacional consolidada na área.

3. METODO

O método desta pesquisa baseia-se na concepção hipotético-dedutiva (LAKATTOS, 2011), presumindo que não existe no Brasil e em parte significativa da América Latina uma metodologia própria para o mapeamento dos incêndios em edificações. Este mapeamento poderá fornecer subsídios para o enfrentamento da questão, que por vezes permanece silente visto a inexistência de dados mapeados e auditáveis.

Os métodos de análises estatísticas, com ênfase naqueles que podem contribuir para trabalhos no campo das operações de combate a incêndio, são empregados nesta pesquisa. Métodos analíticos e de geolocalização também são pauta do estudo, buscando entrelaçar a localização dos incêndios com características socioeconômicas locais, bem como compreender ainda quais as reais medidas para a minimização dos incêndios, sobretudo aqueles que produzem consideráveis prejuízos materiais e sociais, inclusive mortes. O lapso temporal trabalhado foi o triênio 2011, 2012 e 2013.

3.1 Análise Estatística dos Atendimentos de Combate a Incêndio em Edificações

A tomada de decisões supõe uma base consistente de dados dos incêndios, seus motivos, origem, temperaturas, reações químicas incompletas, velocidade de propagação, materiais queimados, carga incêndio etc. (DEL CARLO, 2008)

Esta análise principiou com a aferição de dados já tabulados pelo setor de inteligência estatística do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco e principalmente

por uma pesquisa documental (LAKATTOS, 2011) nos formulários de atendimento as ocorrências atendidas pela instituição.

3.1.1 Mapeamento Incêndios em Pernambuco

Inicialmente foram apresentados os dados dos incêndios em Pernambuco, buscando dá contexto a análise na cidade de Recife, sua principal cidade do ponto de vista populacional e econômico, sendo ainda a capital financeira e política do Estado federado.

A análise comparativa dos incêndios em Pernambuco foi empregada, na apresentação destes resultados, inicialmente inferindo o tamanho percentual das diversas modalidades de incêndio, com ênfase nos incêndios em edificações. Os comparando com as percentualidades encontradas em mais de 32 países e apresentados no já destacado *Word Fire Statistic*.

Também em análise comparativa são elencados oito países com população e territórios semelhantes aos encontrados no Estado Federado de Pernambuco, presentes no *Word Fire Statistic* (2012). Verificando-se coincidências e divergências entre estas nações e o Estado de Pernambuco, cabe nota que em todo texto deixa-se claro que a comparação deve ser de caráter preliminar, visto a diferença (política, administrativa, econômica, de autonomia) entre um país e um Estado no Brasil.

Para efeito metodológico foi buscado dados comparativos (população, quantidade de incêndios, quantidade de bombeiros, entre outros), referentes as datas das aferições, respectivamente 2011 para Pernambuco e 2010 para os oito países.

3.1.2 Mapeamento de Incêndios na Região Metropolitana do Recife – RMR

Após rápida contextualização dos números relacionados ao grupo incêndios atendidos pelo CBMPE, são discutidos os incêndios em edificações na Região Metropolitana que circunda a cidade de Recife, no triênio 2011-2013.

Neste ponto é trazida à baila a classificação dos incêndios em edificações recomendada pela Ligabom, descrevendo os principais grupos de edificações atingidas por incêndios.

Os incêndios em edificações nos anos de 2012 e 2013 na RMR são apresentados através de dados percentuais, conforme a classificação já relatada, verificando-se uma certa aderência no biênio.

Observado que o grupo percentualmente mais citado é o residencial, estes são descritos quanto ao município no qual ocorreram, também sendo apresentados, dentro do biênio (2012-13), por subclassificação (Unifamiliar, Multifamiliar, Coletivo e Outros).

Neste ponto vê-se que Recife é o município que mais concentra incêndios residenciais, apresentando números superiores ao somatório de todos os demais, fortalecendo a hipótese (Método Hipotético Dedutivo) de que o *locus* de pesquisa é significativo.

3.1.3 Mapeamento de Incêndios em Recife

Inicialmente os incêndios Gerais (todos os tipos) são apresentados, em números absolutos para a cidade de Recife.

Posteriormente a distribuição por bairro é apresentada, inicialmente em números absolutos e em seguida graficamente com o auxílio de cores, para discorrer a concentração dos sinistros em cada bairro, auxiliando também na localização geográfica dos eventos.

Os incêndios em edificações na cidade no ano de 2011 são separados em dois seguimentos: residenciais e não residenciais (reunindo todos as demais classificações). Neste ponto vê-se uma decisão pela moda dos edifícios residenciais, numericamente mais significativos, dentre os incêndios em edificações, nos três anos estudados.

Dentre os incêndios em edificações residenciais em Recife no ano de 2011, faz-se um novo exercício de eleição por frequência de acontecimento (moda conceitual), convergindo para edificações unifamiliares.

Ainda com base no preenchimento do relatório recomendado pela Ligabom, afere-se para a cidade de Recife no ano de 2011, os elementos construtivos mais freqüentes nas edificações atingidas por incêndios.

No mesmo relatório (Ligabom) tem-se o campo área construída, sendo apresentadas algumas opções de intervalos, além do ícone indeterminado. Assim, dentro dos resultados, é apresentado apenas o levantamento dos incêndios em edificações residenciais em 2011 no Recife.

A localização do foco inicial do incêndio é pauta de outro campo, do relatório em debate, ficando os dados apresentados desta aferição, também expostos nos resultados.

Por fim, e não menos importante foram relacionados em listagem extensa, todos os objetos identificados como carga-incêndio consumida ou potencial, em todos os relatórios de incêndios residenciais em Recife em 2011, sendo aferido ao lado de cada item quantos sinistros computaram a citação daquele item.

3.2 Estabelecimento do Edifício Modal

Com base nos resultados advindos do mapeamento de incêndio em edificações é estabelecido o ‘Edifício Modal’, uma edificação que baseia-se na moda estatística, para a definição de: tipo de ocupação, elemento construtivo predominante, mobiliário (carga-incêndio) existente, entre outros.

Cabe destaque que o tamanho do ‘Edifício Modal’ foi estabelecido através da média ponderada dos intervalos elencados (4.3.1), utilizando o valor central de cada intervalo como referência no estabelecimento deste cálculo.

3.3 Metodologia do Incêndio Experimental

Observado o ‘Edifício Modal’ e a dinâmica do incêndio, derivante do mapeamento, foi estabelecido um ensaio experimental, que teve por base a necessidade de entendimento mais pleno do típico incêndio na cidade de Recife, *locus* da pesquisa.

Sendo estabelecido um dos dormitórios do ‘Edifício Modal’, como local a ser ensaiado, muito em função de ser um dos ambientes mais frequentemente apontado como de início do incêndio, e, o local onde mais foram encontradas vítimas fatais no ano de 2011.

A estrutura utilizada foi nas instalações de treinamento do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco, onde uma sala foi reformada para o evento, ganhando mobiliário compatível com o dormitório da edificação modal, todo adquirido em uma loja de móveis usados na cidade, buscando a condição de fidedignidade com os sinistros ocorridos diariamente.

O ambiente foi instrumentado com 24 termopares, em uma haste no centro da sala (8 distribuídos a cada 30 cm de altura), nas peças de mobiliário e nas faces interna e externa das paredes.

Havia ainda o monitoramento por imagens convencionais e câmara térmica.

4. RESULTADOS

Neste capítulo são expostos os principais resultados desta pesquisa, iniciando pelo mapeamento dos incêndios em Recife (apresentando antes os números do Estado e Região Metropolitana), passando pela concepção-propositura do ‘edifício modal’ e finalmente apresentando os dados do experimento de incêndio real em compartimento advindo do modelo.

4.1 Padrão Geral dos Incêndios em Pernambuco

A clássica atividade dos Bombeiros no Brasil e no mundo, de combater incêndios, é estudada com minúcia pelo *W.F.S.Report* nº17 do CTIF/IAFSS, já apresentado neste texto.

Buscando uma comparação preliminar entre os dados dos países inventariados e o cenário local (Estado de Pernambuco) a pesquisa investigou o triênio 2011-2013 os comparando com os dados do ‘*Word Fire Statistic*’ em 2010, conforme verifica-se a seguir:

Figura 4 e 5 - Gráficos: Incêndios em 32 países no ano de 2010, adaptado do CTIF, 2012; e; Incêndios Atendidos pelo Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco.

Fonte: Adaptado da Figura 6 do Report nº17 – CTIF, 2012, p. 35; e; Seção de Estatística Operacional do CBMPE.

A similaridade dos incêndios em edificações é bastante significativa, ambos representam o tipo de incêndios com maior número de ocorrências, com cerca de 32% de todos os atendimentos de combate as chamas.

Incêndios veiculares (CTIF/IAFSS) compatibilizados com os incêndios em meio de transporte (Pernambuco) apresentam números que correspondem a 14,5% em nível global e a quase 10% em nível local, demonstrando uma pequena diferença de perfis.

O WFS (CTIF/IAFSS) divide os incêndios de vegetação em dois grupos, a saber: Florestais (*Forest*), compreendido por aqueles ocorridos em florestas devidamente caracterizadas como tal e incêndio em vegetação rasteiras intituladas '*Grass*', no Brasil conforme a padronização nacional, sugerida pela LIGABOM, descrita na metodologia, a classificação é tida simplesmente como 'Incêndio em Vegetação', comparando os números de Pernambuco 32,15% com o somatório dos '*Forest*' e '*Grass*' do estudo mundial 21%, vê-se uma quantidade significativamente maior no âmbito local.

Importante observar uma característica da classificação do CTIF/IAFSS de especificar os Incêndios em Lixo ou '*Rubbish*', com numerosos 9,8%. Deve-se considerar que a ausência desta especificidade na classificação adotada pelo Corpo de Bombeiros de Pernambuco, pode explicar, pelo menos em parte, esta diferença, visto que incêndios em terrenos baldios que possuem vegetação rasteira e lixo podem estar sendo classificados simplesmente como Incêndio em Vegetação. Cabendo novas investigações para o aprofundamento da questão.

4.2. Incêndios em Edificações na Região Metropolitana do Recife – RMR

Nesta pesquisa adota-se a classificação das edificações proposta na Tabela 2 que é utilizada pela Ligabom (2007).

Tabela 2 - Classificação dos Incêndios em Edificações

Classificação	Exemplos
Residenciais	Unifamiliar-Casa; Multifamiliar-Apartamento; Coletivo-Pensionato.
Especiais*	Armazém, Galpão ou similar**; Lixão, Entulho e similar; Terreno Baldio, Lote vago ou similar.
Comerciais	Agência de Veículos; Barbearia, Salão de Beleza; Loja de Departamento; Padaria.
Depósitos	Plástico ou similar; Borracha, pneu.
Industriais	Algodão, tecido ou similar; Alimentícia, massas ou similar, Química, Petroquímica.
Concentração de Público	Estádios; Igrejas e similares; Restaurantes; e; Bares e lanchonetes.
Hospitalares	Hospitais, Clínica, policlínicas ou similares.
Escolares	Creche; Ensino Fundamental e médio; Ensino Superior; Ensino Técnico.
Transitórias	Hotel; Motel; Pousada; Apart-hotel.
Outras	Edificações não especificadas em outra classificação.

Fonte: Relatório Operacional de Atendimento a Incêndios – LIGABOM (2007).

* Apesar de ser classificada como incêndios em edificações, alguns itens, não caracterizam-se como edificações propriamente ditas, onde por vezes aproxima-se do “*Rubbish*”(incêndio em lixo) do Report nº17 (IAFRS/CTIF, 2012).

** Para efeito deste estudo serão analisados, qualitativamente, apenas os Incêndios em Edificações Especiais que se relacionem a Armazéns e Galpões.

Vê-se claramente uma predominância de incêndios em residenciais, computando-se respectivamente 38% e 40% dos totais em 2012 e 2013. Assim para esta região metropolitana é importante uma ênfase nos incêndios em domicílios. Ao observar os atendimentos de Incêndios em Edificações na RMR, nos anos de 2012 e 2013, vê-se a seguinte representação gráfica.

Figura 6 – Incêndios em Edificações na RMR, por classificação, em 2012 e 2013

Nem todos os endereços estão claramente grafados, possibilitando uma localização precisa, contudo, observando aqueles incêndios em residências ocorridos na RMR (2012-2013) e considerando os endereços localizados têm-se:

Tabela 3 - Incêndios em Residência na Região Metropolitana (2012-2013)

Município	2012		Tipo de Residência			
	2012	2013	Unifamiliar Casa	Multifamiliar Apartamentos	Coletivo Pensionato	Outros
	2012	2013				
Abreu e Lima	0	1	00	00	00	01
Cabo de Stº Agostinho	18	12	27	01	00	02
Camaragibe	0	2	02	00	00	00
Igarassú	1	0	01	00	00	00
Ipojuca	4	4	08	00	00	00
Itapissuma	1	0	01	00	00	00
Itamaracá	0	2	02	00	00	00
Jaboatão dos Guararapes	57	52	84	21	00	04
Olinda	46	31	55	7	00	15
Paulista	16	20	21	10	00	04
Recife	169	189	283	67	02	13
São Lourenço da Mata	2	0	02	00	00	00

A cidade de Recife concentra a maioria dos incêndios em residências da Região Metropolitana, sendo estes mais predominantes em Edificações Unifamiliares ou simplesmente ‘casas’, edificadas em sua maioria com um único pavimento e destinando-se a habitação de uma só família. Destaca-se que este é o único Tipo de Edificação (TIPO A – COSCIPE, 1996) a qual não há previsão de sistema preventivo contra incêndio (fixo ou móvel), nos principais códigos e normas de segurança contra incêndio do Brasil (SÃO PAULO, 2011; RIO DE JANEIRO, 1976; MINAS GERAIS, 2008; DISTRITO FEDERAL, 1988; RIO GRANDE DO SUL, 2013; PARANÁ, 2014; SANTA CATARINA, 1994).

4.1 Incêndios em Recife

Incêndios em Recife são constatados diariamente, chegando a somar 3.746 no triênio em Estudo, assim distribuídos por ano: em 2011 - 946; em 2012 - 1.505; e; em 2013 - 1.295 Incêndios.

4.1.3.1 Incêndios em Recife por Bairros

Os bairros são divisões geográficas muito utilizadas nos municípios brasileiros, os Incêndios ou mais especificamente os Incêndios em Edificações são apresentados por bairro nas ilustrações a seguir, tendo por parâmetro a divisão, por bairros, adotada pela prefeitura da cidade (RECIFE, 2014):

Figura 7 – Distribuição dos Incêndios em Edificações no Recife por bairros

4.1.3.2 Incêndios por tipo de Ocupação das Edificações no Recife

Observando o tipo de ocupação das edificações e utilizando como parâmetro a divisão em: Residenciais, Comerciais, Concentração de Público, Escolares, Hospitalares, Industriais e Outras (recomendado pelo o ‘formulário nacional’ - LIGABOM), vê-se um predomínio consistente de incêndios em edificações residenciais com o número absoluto de 202 ocorrências, têm-se o gráfico a seguir para os demais incêndios em edificações do Recife (2011):

Figura 8 – Incêndios em Edificações não residenciais em Recife (2011)

As edificações comerciais e de concentração de público são aquelas com maior número de incêndios, quando excetuam-se os residenciais.

As edificações comerciais têm nas lojas, mercearias e similares a maior quantidade de incêndios (12), as padarias sucedem com sinistros, sobretudo nas cozinhas, fornos e estoques de madeira (7), seguidas de agências e oficinas veiculares (5).

Edificações de concentração de público sofreram incêndios em 2011 em Recife, principalmente advindos das cozinhas e curtos circuitos de bares e restaurantes (20), totalizando este segmento 2/3 desta subclassificação de incêndio.

4.1.3.2.1 Incêndios em Edificações Residenciais

Como já dito, os incêndios em edificações residenciais são a maioria esmagadora dos incêndios em ambientes edificadas na cidade do Recife, em 2011 pode-se constatar a distribuição destes incêndios no gráfico a seguir:

Figura 9 – Incêndios em Edificações residenciais em Recife (2011)

Incêndios em casas destinadas a uma única família correspondem a quase 3/4 dos incêndios em residências do Recife, sendo este segmento aquele que apresenta a maior quantidade de vítimas (feridas) e vítimas fatais, contrariando o senso comum que edificações unifamiliares são extremamente seguras contra incêndios. Apesar de um número expressivo de incêndios em habitações subnormais ou precárias (15 incêndios), estes não são maioria, incidindo a conjectura que as edificações deste tipo (residenciais) devidamente regulares poderiam, pelo menos em parte, serem poupadas de incêndio caso existisse algum sistema preventivo previsto em norma.

4.1.3.2.1.1 Incêndios em Edificações Residenciais e seus elementos construtivos

As edificações que queimaram em Recife no ano de 2011, possuíam várias modalidades construtivas variando da madeira até estruturas metálicas, passando por considerável número de estruturas em concreto e mesmo outras intituladas de indeterminadas. Contudo a imensa maioria de edificações residenciais sejam unifamiliares ou multifamiliares eram constituídas de alvenaria como pode ser visto no quadro a seguir:

Figura 10 – Elementos estruturais dos Incêndios em Edificações residenciais no Recife (2011)

Entende-se como edificações em alvenaria aquelas em que as paredes têm função estrutural, além de divisória de ambientes (alvenaria estrutural, alvenaria resistente). Em Recife estas alvenarias portantes são, em sua grande maioria, constituídas de tijolos cerâmicos. Com base na tradição é comum acreditar que este tipo de material oferece maior segurança à ação de fogo, como mencionado por alguns autores, mesmo sem o amparo de dados estatísticos. Por exemplo: "*A cultura brasileira, boa parte herdada da cultura ibérica, nos levou à utilização da taipa de pilão e à alvenaria que fornece uma boa proteção ao fogo*" (Del Carlo, 2008, p.11). "*O incêndio de Londres de 1666, que destruiu grande número de casas de madeira, alertou os ingleses para a reconstrução da cidade usando tijolos*" (PETRUCCI, 1983, p.2). Por outro lado, o incêndio relatado por Silva *et al* 2015 mostra que a ação do fogo pode levar a danos significativos aos tijolos cerâmicos não-estruturais, inclusive com ruptura de septos, mesmo em alvenaria revestida com chapisco e reboco (figura 11). Na Região Metropolitana do Recife, bem como em outras regiões do país, esse mesmo tipo de tijolo foi bastante usado compondo paredes estruturais em muitas edificações residenciais multifamiliares de menor porte. Mesmo hoje não sendo essa prática recomendada, se faz necessário entender o comportamento mecânico das alvenarias em bloco cerâmico como sistema estrutural ou não, quando submetidas a cargas de incêndio, como é evidenciado por Russo e Sciarretta, 2013, Nguyen e Meftah 2012 e 2014.

Figura 11 - Parede interna do quarto, com danos no revestimento e nos tijolos cerâmicos, devido à ação do fogo.

Fonte: Silva *et al*, 2015.

4.1.3.2.1.2 Área Construída dos Incêndios em Edificações Residenciais

Examinando estes incêndios havidos em 2011 no Recife, vê-se que uma parcela considerável não possui, no relatório de atendimento, a descrição da área construída, contudo observando apenas aqueles que possuem esta identificação intui-se que edifícios com 25 a 50 metros quadrados são mais acometidos pelos incêndios, seguidos de edificações com 50 a 75 metros quadrados de área construída, como é visto a seguir:

Figura 12 – Área Construída dos Incêndios em edificações residenciais no Recife (2011)

4.1.3.2.1.3 Ignição dos Incêndios em Edificações Residenciais

Dos incêndios havidos em edificações residenciais em Recife (2011), pode-se constatar que 69 (34%) ocorreram a partir de chama primária na cozinha, advinda

sobretudo de vazamento de gás e imperícia no uso do fogão/forno e utensílios, 51 (25%) do quarto ou acomodação geralmente relacionando-se a instalações elétricas e uso de equipamentos eletro eletrônicos e velas, 7 (3,5%) foram iniciados na sala ou área de convivência, 5 (2,5%) na área de serviço, 4 (2%) no terraço ou varanda enquanto 60 (30%) eventos tiveram origem indeterminada, outros 6 (3%) foram originados em outros cômodos da unidade habitacional.

4.1.3.2.1.4 Causas e Carga Incêndio dos Sinistros em Edificações Residenciais

Destacando-se que a aferição feita pelas equipes de primeira resposta não tem fim pericial, sendo apenas um indício presumido de motivação dos incêndios, vê-se nos relatórios que a maioria dos eventos tem causa desconhecida, contudo nos incêndios residenciais: 22 episódios estão relacionados ao uso indevido do fogão/cilindro de gás liquefeito de petróleo (GLP) e utensílios, enquanto curtos circuitos em quadros elétricos e instalações foram anotados como causa presumida em 07 incêndios residenciais.

Comparativamente em edificações de ‘concentração de público’ 05 incêndios teriam como causa presumida curtos circuitos e 04 estariam relacionados com fornos, fogões e suprimento combustível (GLP ou madeira). Edificações comerciais tiveram como causa provável de incêndios curtos circuitos em instalações, equipamentos e quadros de recebimento elétrico totalizando 07 eventos, enquanto 04 incêndio tem como causa inicialmente presumida o uso indevido de fornos e outros 03 relacionados à ignição em estoques de madeira ou serragem e finalmente 02 incêndios relacionados a gases combustíveis.

Quanto aos objetos/instalações os quais foram identificados como consumidos nos incêndios em edificações no Recife em 2011, vê-se uma diversidade grande, para este ano foram relacionados 118 itens diferentes, onde alguns se repetiam com certa frequência.

Assim incêndios em edificações residenciais ocorridos em Recife no ano de 2011 tiveram como principais objetos atingidos: Cadeiras em Madeira (77 eventos – ev.); Colchões (54 ev.); Camas (48 ev.); Geladeiras (47 ev.); Painéis em Metal (46 ev.); Televisores (45 ev.); Ventiladores (45 ev.); Fogões (37 ev.); Guarda Roupas em

Madeira (27 ev.); e; Parte da Instalação Elétrica (40 ev.). Incitando uma possível carga-incêndio padrão ou modal para estes sinistros.

4.3 Edifício Modal

Com base na metodologia descrita acima, isto é levantamento estatístico com intervenção lógica dedutiva (Lakattos e Marconi, 2011), foi estabelecida a área construída e distribuição de cômodos, a carga incêndio e a natureza construtiva da edificação modal, além de realizar um pequeno relato sobre a origem mais assinalada dos focos iniciais de incêndio.

4.3.1 Área Construída e distribuição de cômodos

Para o estabelecimento da área da edificação modal foi utilizada a aferição e tabelamento das edificações incendiadas, recorrendo-se a moda estatística, em especial a média ponderada de tendência central, para balizar a área construída, neste particular a grande quantidade de formulários os quais foram preenchidos com ‘área indeterminada’ diminuíram a amostra viável, sendo os dados aferíveis apresentados a seguir:

Tabela 4 - Cálculo da área do edifício residencial modal – Incêndios em Recife (2011)

Área em m ²	Quant. de Incêndios	Percentual do Total	Área Média em m ²	Fator Percentual	Média Ponderada m ²
Até 25	06	8,96%	12,5	0,0896	1,12
De 26 a 50	20	29,85%	38	0,2985	11,34
De 51 a 75	15	22,39%	68	0,2239	15,23
De 76 a 100	11	16,42%	88	0,1642	14,45
De 101 a 150	9	13,43%	125,5	0,1343	16,85
De 151 a 200	2	2,98%	175,5	0,0298	5,23
De 201 a 300	1	1,49%	250,5	0,0149	3,73
De 301 a 400	0	0%	350,5	0,0000	0
De 401 a 500	0	0%	450,5	0,0000	0
De 501 a 650	0	0%	575,5	0,0000	0
Mais de 650	3	4,48%	650	0,0448	29,12
TOTAIS	67	100%		1,0000	97,07m²

Vê-se ainda que as edificações tinham características sobretudo residenciais e com três quartos em média, possuindo dimensões de aproximadamente 97 metros quadrados conforme a moda.

4.3.2 Carga Incêndio da Edificação Modal

Para descrever a carga-incêndio da edificação modal, foi verificado no relato dos incêndios estruturais em 2011, na cidade de Recife, todos os objetos atingidos ou danificados (Corrêa, *et al*, 2015), quantificando-os e ponderando com a população existente, quantidade de cômodos e área construída, chegando-se a: 01 mesa em madeira; 01 Beliche em Madeira; 05 Camas em Madeira; 03 Armários em Madeira; 03 Guarda-roupas em Madeira/Aglomerados; 07 Colchões; 01 Estante em Madeira; 08 Cadeiras em Madeira; 01 Cadeira Plástica; 03 televisores; 01 DVD; 04 Ventiladores; 01 Ar-condicionado; 02 Computadores; 01 Máquina de lavar; 01 Fogão; 01 Geladeira; 02 Cilindros de GLP; 01 Microondas; 02 Engradados de Bebidas; 05 garrafas de bebidas alcoólicas; 02 Sofás em Espuma.

4.3.3 Natureza Construtiva

Edificações que incendiaram em Recife no ano de 2011, possuíam várias modalidades construtivas, contudo a imensa maioria de edificações residenciais sejam unifamiliares ou multifamiliares eram constituídas de alvenaria como pôde ser visto anteriormente.

Entende-se como edificações em alvenaria aquelas em que as paredes têm função estrutural, além de divisória de ambientes (alvenaria estrutural, alvenaria resistente). Em Recife estas alvenarias portantes são, em sua grande maioria, constituídas de tijolos cerâmicos (Oliveira, *et al*, 2017; Silva, *et al*, 2015). Este tipo de edificação ainda carece de normatização mais específica quando submetidas a condição de incêndio, segundo alguns autores (Leite, *et al*, 2016).

4.3.4 Dinâmica dos Incêndios em Recife

Outro fator interessante da pesquisa foi a perspectiva de que os incêndios começam preponderantemente na cozinha e em seguida no quarto, contrariando uma lógica mundial, América do Norte e Europa Ocidental, onde os incêndios residenciais iniciam geralmente na sala (Brennan, 1999; Hanea e Ale, 2009; Kobes, *et al*, 2010),

muito em função do uso cultural dos cômodos e também da distribuição das fontes de energia, sobretudo o gás, no interior da edificação. Esta presença do foco inicial na cozinha ou no quarto, traz uma nova perspectiva para a compreensão da dinâmica dos incêndios na cidade, incidindo a necessidade de explorar o tema em outros centros urbanos do Brasil e América Latina.

4.3.5. Estabelecimento do Edifício Modal

Com base nos levantamentos, rapidamente descritos acima, se projetou a edificação modal, para incêndios estruturais em Recife (2011-2013), sendo está uma edificação unifamiliar em um único pavimento, constituída em alvenaria com cobertura de telhas cerâmicas, instalações elétrica e sanitária embutidas, com 97,07 metros quadrados, contendo: 03 quartos (1 suite), sala, cozinha e área de serviço, conforme vê-se a seguir:

Figura 13 – Edifício Modal – Incêndios em Recife (2011).

Destaca-se que os parâmetros usados podem ser replicados em todas as localidades que possuam aferições de dados de incêndio conforme a norma (ABNT, 1997), podendo gerar edificações modais, que representem os incêndios daquele local.

4.4 INCÊNDIO EM DORMITÓRIO DE RESIDÊNCIA - UM ESTUDO EXPERIMENTAL

A partir da dita casa modal, buscou-se a reprodução de um de seus dormitórios em ambiente experimental em um cômodo na Oficina de treinamento de Combate a Incêndio, dentro do Centro de Ensino e Instrução do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco, construído em estrutura de concreto armado e vedação em blocos cerâmicos não estrutural, além da cobertura em laje pré-moldada. Este cômodo, muito semelhante ao encontrado no modelo determinado por Corrêa e autores (2016), foi reformado e as quatro paredes foram assim preparadas: duas com chapisco cimentício, uma com revestimento de argamassa de cimento e uma com revestimento de argamassa de gesso. Foram instalados termopares nas paredes internamente e externamente, para aferir a condutividade térmica e compará-la nos diferentes revestimentos.

A carga de incêndio do dormitório foi materializada através dos móveis e objetos determinados na pesquisa de Corrêa *et al.* (2016), sendo esta constituída de: 01 (um) cama beliche de madeira, 01 (uma) cama de solteiro de madeira, 03 (três) colchões de espuma, 02 (dois) criados mudos grandes e 01 (um) criado mudo pequeno, ambos em aglomerado de madeira, 01 (um) guarda-roupas em aglomerado de madeira, 02 (dois) ventiladores e 01(um) televisor pequeno, além de 20 kg de roupas e 4 kg de papéis, tudo adquirido em um estabelecimento de móveis usados, buscando a fidedignidade dos objetos, e consequentemente carga incêndio encontrados nas residências frequentemente incendiadas na cidade de Recife. A Figura 14 reproduz este planejamento.

Figura 14 - Esboços do compartimento ensaiado

Após a reforma o cômodo foi devidamente preparado com o mobiliário descrito para posteriormente ser instalada a instrumentação de medição. O cômodo antes da queima estava de acordo com a representação na Figura 15 a seguir.

Figura 15 - Dormitório antes do experimento de incêndio.

Quadro 1 - Carga de incêndio presente no dormitório incendiado

Objeto	Material constituinte	Quant.	Dimensões básicas			Peso (kg)	Densidade (kg/m³)	Potencial calorífico (MJ/kg)	Carga total (MJ)
			Larg. (m)	Prof. (m)	Alt. (m)				
Televisor de tubo 18"	Polipropileno, vidro, componentes eletrônicos, etc.	1,00	0,36	0,40	0,34	9,90	910,00	43,00	425,70
Ventilador 40 cm, 6 pás	Polipropileno, componentes eletrônicos, etc.	1,00	0,50	0,35	0,68	2,86	910,00	43,00	122,98
Ventilador 40 cm, 3 pás	Polipropileno, componentes eletrônicos, etc.	1,00	0,45	0,32	0,63	2,40	910,00	43,00	103,20
Roupas	Tecido	1,00	-	-	-	20,00	390,00	21,00	420,00
Papéis	Papel	1,00	-	-	-	4,00	770,00	17,00	68,00
Guarda-roupas	MDP (MediumDensity Particleboard), plástico, etc.	1,00	1,35	0,47	2,25	90,00	658,52	21,00	1890,00
Criado mudo pequeno	MDP(MediumDensityParticleboard), plástico..	1,00	0,37	0,32	0,49	5,60	658,52	21,00	117,60
Criado mudo grande	MDF(MediumDensityFiberboard), plástico...	2,00	0,52	0,41	0,45	12,90	750,00	21,00	541,80
Cama de solteiro	Madeira, compensado	1,00	0,95	2,04	0,97	33,40	588,46	21,00	701,40
Beliche	Madeira	1,00	0,85	1,95	1,57	48,00	588,46	21,00	1008,00
Colchão (cama de solteiro)	Espuma de poliuretano	1,00	0,80	1,87	0,15	5,20	23,97	23,00	119,60
Colchão (beliche)	Espuma de poliuretano	2,00	0,71	1,91	0,16	7,10	33,78	23,00	326,60
							Carga total (MJ)		
							5844,88		

Assim, o dormitório de 11,70 m² foi preenchido com uma carga total de 5.844,88 MJ, ofertando uma carga de incêndio de 499,56 MJ/m², bem acima dos 300 MJ/m² previstos em normas brasileiras recentes (CBMMG, 2013; CBMGO, 2014).

Buscando aferições térmicas no decorrer do ensaio, foram instalados 24 (vinte e quatro) termopares tipo K, distribuídos no compartimento conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Distribuição dos termopares no compartimento ensaiado

O posicionamento dos termopares teve a seguinte correspondência com a enumeração mostrada na Figura 23: 01 a 08, dispostos a haste representada na figura, instalados a 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 1,8; 2,1 e 2,4 metros, possibilitando a observação do gradiente de temperatura em vários níveis, ou mesmo promovendo a comparação com diversas alturas das vias respiratórias de um homem em pé, agachado, rastejando ou sobre uma peça de mobiliário; 09 e 10, interior e exterior da parede com revestimento de argamassa de cimento; 11 e 12, interior e exterior da parede com revestimento de gesso; 13 e 14 interior e exterior da parede com chapisco cimentício; 15, janela; 16, coleta de gases; 17 e 18, beliche, leito superior e inferior respectivamente; 19, cama de solteiro; 20 e 21, criados-mudos grandes (posicionados ao lado da beliche e cama de solteiro respectivamente); 22, criado-mudo pequeno com o aparelho televisão; 23 e 24, guarda-roupa, posicionado na porta e nos cabides respectivamente. A instalação dos termopares nas paredes foi feita a 2,1 m de altura e a 0,5 m dos vértices, com exceção

da parede com reboco cimentício onde os termopares ficaram a mesma altura e a 0,5 m do portal de entrada.

Ademais, o experimento foi filmado para a complementação da análise, usando-se filmadora convencional e câmara térmica, podendo comparar ambas as imagens e propor uma compreensão mais completa das fases do incêndio ensaiado. A filmadora compacta convencional ficou em um orifício de 3 cm de diâmetro localizado na parede da porta, enquanto a câmara térmica acompanhou as imagens a partir da janela que permaneceu aberta durante todo o experimento.

O experimento foi realizado no período matinal do dia 09 de março de 2017 e durou pouco mais de 45 minutos, contados do acendimento da chama inicial até o término da extinção por parte da equipe de combate a incêndios, e sua saída do local. Sendo iniciado através de um dispositivo em parafina para acendimento de lareiras. A substância (parafina) e a localização do foco inicial também foram inspiradas nas ocorrências verificadas por Corrêa *et al.*(2015).

Inicialmente, a porta do cômodo permaneceu fechada, sendo aberta aos 18 minutos de ensaio favorecendo a ventilação cruzada no compartimento, não houve ventilação ou exaustão por equipamento ou jato de mangueira, sendo observado o fenômeno a partir da ventilação natural.

Resultados do Experimento

Destacam-se alguns resultados a seguir como: cronologia, análise das temperaturas e representação por imagens. Em sequência a cronologia básica, a Figura 17 mostra os eventos do experimento propriamente dito:

Figura 17 - Cronologia do Experimento

1 - 00min35seg - Início da chama em pastilha de parafina;
2 - 03min56seg - Início da queima do leito superior do beliche;
3 - 06min22seg - Saturação de gases da combustão;
4 - 07min38seg - Fim da saturação por exaustão natural dos gases e ingresso de ar com retorno de chama 'viva';
5 - 10min36seg - Nova Saturação de gases da combustão

6 - 11min49seg - Fim da 2ª saturação por exaustão natural dos gases e ingresso de ar com retorno de chama 'viva';
7 - 18min02seg - Abertura de portas possibilitando a circulação cruzada;
8 - 19min04seg - Deslocamento do foco principal de incêndio;
9 - 21min29seg - Início da combustão do plástico do ventilador por sobre a mesa intumescida;
10 - 41min43seg - Desabamento total do beliche;

Os termopares aferiram as temperaturas durante todo o ensaio, utilizando-se ainda o CompactDAQ da National Instruments USB de 4 módulos, com módulo de

medição NI 9213, que tem sensibilidade de até 0,02°C. Mas a incerteza inerente ao termopar está na ordem de 2,2 °C abaixo de 293°C, e +/- 0,75% acima disso (OMEGA, 2004). Exemplo desses dados pode ser visto no gráfico abaixo na Figura 18.

Figura 18 - Temperatura aferidas na haste de termopares colocada no centro do compartimento

Observa-se um crescimento das temperaturas no centro do dormitório nos oito pontos de medição da haste de termopares, durante os primeiros 4 minutos, até que o ambiente foi tomado por espessa nuvem de gases, promovendo uma saturação gasosa (fenômeno descrito na literatura), onde a pressão interna é bem maior que a externa, impedindo o ingresso do ar atmosférico e consequentemente do oxigênio, chegando a ser aferido no termopar a 2,4m 600°C, aos 3 minutos e 40 segundos.

Em seguida a alta pressão interna dos gases, promove uma lenta exaustão da nuvem, acompanhada de uma diminuição gradual das temperaturas até aproximadamente o sétimo minuto, quando um novo ingresso do ar atmosférico, rico em comburente, realimenta a combustão tornando o incêndio novamente vivo (com presença intensa de chamas e luminosidade) acompanhada do aumento de temperaturas, chegando a ser aferido, no termopar a 2,1m do piso, 667°C aos 8 minutos e 35

segundos. Mais uma vez a grande produção de gases da combustão se intensifica diminuindo a disponibilidade de entrada de ar/oxigênio afere-se uma diminuição de mais de 100°C nos pontos mais altos, seguido de uma exaustão natural e um novo ingresso de comburente.

Estes ciclos se repetem algumas vezes até o décimo quinto minuto, quando as temperaturas iniciam um declínio progressivo, chegando o termopar com maior aferição a informar 300°C e os mais baixos menos de 100°C, apresentando a clássica fase de arrefecimento mostrada por Torero (2011).

Destaca-se que, com raras exceções, os termopares na haste apresentaram uma certa compatibilidade tendo as temperaturas crescido e decrescido ao mesmo tempo em todos eles, até a abertura da porta aos 18 minutos, quando anunciava-se o declínio do incêndio. Com a abertura da porta e o estabelecimento da ventilação cruzada as temperaturas aferidas no centro do dormitório perderam a compatibilidade oscilando individualmente sem apresentar um padrão comum. A ventilação cruzada proporcionou uma circulação dos gases quentes em diversas faixas de altura: aos 23 minutos de ensaio, a temperatura do termopar a 0,60 m é maior que as dos termopares a 2,10 m e 2,40 m. Sem a ventilação cruzada, tal situação seria improvável pelo princípio da convecção demonstrado por Janssens (2016).

A partir dos 30 minutos de ensaio, com a diminuição do material combustível, as temperaturas se dividem em dois padrões: os cinco termopares mais elevados (2,4m, 2,1m, 1,8m, 1,5m e 1,2m) apresentam temperaturas próximas aos 200°C e os três termopares mais próximos do piso (0,9m, 0,6m e 0,3m) apresentam temperaturas próximas a 100°C, todavia ambos os padrões apresentam uma queda quase que linear, caracterizando a fase de arrefecimento do incêndio.

Ressalta-se que não houve a generalização do incêndio ou *Flashover*, em sua forma clássica, neste experimento. Observa-se que este incêndio difere da curva clássica de temperaturas apresentada na Figura 7, sobretudo pelo movimento cíclico de Combustão Viva - Saturação Gasosa – Exaustão Natural – Ingresso de Oxigênio –

Combustão Viva, promovendo vales e picos de temperaturas, e consequentemente uma curva bem menos linear.

O comportamento das temperaturas nos objetos de mobiliário pode servistas nos gráficos da Figura 19 a seguir.

Figura 19 - Temperaturas aferidas nos objetos

Vê-se que as maiores temperaturas foram aferidas no leito inferior do beliche, chegando próximo a 800°C em vários momentos (10, 19, 27 e 31 minutos), fato compatível com esta ser a peça de mobiliário onde o incêndio foi iniciado e objeto mais atingido pelas chamas. Chama atenção também, principalmente após os 25 primeiros minutos de queima e da abertura da porta (18 minutos) o aumento de temperatura na porta e no interior do armário, que mesmo não comburindo totalmente alcançou temperaturas que suplantaram os 700°C. Emparte, este aquecimento é explicado pela convecção dos gases para o interior do armário que através de sua geometria facilitou o

acúmulo de gases quentes, além disso, algumas peças de vestuário entraram em combustão promovendo a produção de calor.

Como já revelado, as paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos também tiveram aferições térmicas, feitas na parte interna e externa, destaca-se que todas elas possuíam revestimento de argamassa de cimento externamente, mas havia três tipos distintos de revestimento interno: argamassa de cimento, chapisco cimentício e argamassa de gesso. As paredes que ficaram mais próximas do beliche foram as com revestimento de chapisco cimentício e argamassa de gesso. A seguir a Figura 20 mostra o gráfico que representa as temperaturas aferidas nas paredes durante o experimento.

Figura 20 - Temperaturas aferidas nas paredes interna e externamente

As temperaturas nas paredes internas, principalmente as com chapisco cimentício e argamassa de gesso (mais próximas ao foco inicial de incêndio) acompanharam a curva de aumento e diminuição aferida no centro do dormitório através da haste de termopares, a partir do processo de produção de gases, saturação,

exaustão natural, ingresso de ar atmosférico (oxigênio), queima viva, produção de gases e etc., até a abertura da porta. Esta assertiva pode ser comprovada a partir da comparação destes dois termopares com o localizado a 2,10 m de altura do piso na haste.

Aos 4 minutos de ensaio a parede com revestimento de argamassa de gesso chegou a 702°C em sua face interna, enquanto a com chapisco cimentício chegava a 641°C. Aos 9 minutos e 54 segundos a parede chapiscada estava submetida a 684°C e a revestida argamassa de gesso a 662°C, sendo estes os maiores picos registrados, destaca-se que ambas apresentam uma proximidade bem relevante até o momento da abertura da porta.

A parede com revestimento de argamassa de cimento(mais afastada do foco inicial de incêndio) teve sua curva desenvolvida abaixo dos 400°C até os 14 minutos e 12 segundos, quando teve o último pico de temperatura antes da abertura da porta.

As temperaturas de todas as paredes internas após a abertura da porta se aproximam substancialmente até os 22 minutos de ensaio, quando a temperatura da parede em gesso sobe substancialmente chegando a alcançar valores superiores a 600°C.

Nas temperaturas das paredes externas vê-se pouca variação até a abertura da porta, com valores que não ultrapassam os 60°C. Destaca-se um aumento extremamente significativo da temperatura da face externa na parede com revestimento de argamassa de cimento que, após a abertura da porta e consequente ventilação cruzada, sobem para mais de 645°C em pouco mais de cinco minutos, mantendo picos e vales acima de 400°C e chegando a 878°C aos 30 minutos e 24 segundos.

Para examinar mais detalhadamente a condução térmica a partir das paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos de oito furos horizontais, revestidas internamente com argamassa de gesso, chapisco cimentício e argamassa de cimento, propõe-se o gráfico mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Temperaturas aferidas nas paredes externas

Observa-se que as altas temperaturas internas não foram conduzidas para a face externa das paredes, mesmo aquelas mais próximas ao foco inicial do incêndio. A subida abrupta da temperatura externa da parede revestida com argamassa de cimento está associada à abertura da porta e o início da ventilação cruzada, revelando que a abertura de um compartimento incendiado pode trazer uma elevação substancial da temperatura dos cômodos contíguos e por consequência uma propagação do incêndio.

Cabe notar que, quando analisadas apenas as paredes revestidas internamente com chapisco cimentício e argamassa de gesso nota-se um bom isolamento térmico para ambas, pois mesmo com temperaturas internas que ultrapassaram os 680°C, externamente ambas não chegaram a medir nem 60°C. Contudo, comparando o desempenho, o revestimento de chapisco cimentício revelou-se menos eficaz que o de argamassa de gesso, sendo que o primeiro chegou a 54,38°C aos 5 minutos e 58 segundos e o segundo teve temperatura máxima de 38,19°C aos 47 minutos e 49 segundos de experimento. O ensaio foi acompanhado de filmagem térmica executada por técnico em termografia cedido pela empresa ‘Câmara Térmica FLIR’. A seguir, a

Figura 22 mostra algumas imagens comparativas entre as captadas por câmeras convencionais e as termográficas:

Figura 22 - Imagens Térmicas da Entrada da Equipe de Combate a Incêndios.

Em meio à nebulosidade dos gases inflamáveis visto na imagem VHS à direita, pode ser minimizada em grande parcela, com o uso de câmaras térmicas, como se vê na imagem a esquerda.

Figura 23 - Imagens Térmicas no Ambiente do Experimento.

Nas imagens térmicas pode ser visto uma grande quantidade de informações as quais podem otimizar o combate a incêndios, como peças com grande liberação térmica (focos de incêndio) que ficam invisíveis em meio aos gases da combustão, bem como apontar diferentes componentes estruturais, como tijolos cerâmicos ocultos abaixo do

revestimento, ou ainda dar indicações de colapso estruturais não percebidos a olho nu, proporcionando inclusive a evacuação da área afetada e áreas adjacentes.

Outro fator evidenciado nas imagens térmicas é o processo de resfriamento de estruturas como é visto a seguir na Figura 24.

Figura 24 - Imagens Térmicas do Resfriamento de Estruturas.

Já nas imagens térmicas acima se vê a eficiência da aplicação de um jato ‘atomizado’, jato de água aplicado através de mangueiras de incêndio de 1 ½ polegadas, com pressão de trabalho 8 Kf/cm2(PSI) a uma vazão 30 galões por minuto, com abertura de 60° de acionamento por 1 a 2 segundos, sobre as paredes em alvenaria revestidas.

Na primeira imagem um único jato proporciona, quase que instantaneamente a redução de 160°C para 99,1°C, enquanto na segunda imagem um conjunto de alguns jatos diminuiu a temperatura das paredes para 68,8°C em muitos pontos de sua área.

É importante destacar que um dos criados mudos foi intumescido com tinta específica para madeira de fabricação CKC do Brasil, aplicada conforme instruções do fabricante, sendo a observação do comportamento desta peça em meio a um incêndio natural um estudo próprio.

Após o experimento observam-se alguns mobiliários completamente consumidos (beliche, colchões, ventiladores) ou irrecuperáveis (armário e televisão), as paredes estão completamente chamuscadas mais sem grandes patologias observáveis a olho nú. A Figura 25 mostra as imagens do cômodo após o incêndio:

Figura 25 - Imagens do cômodo após o incêndio.

Conclui-se inicialmente que o estudo experimental ora apresentado (baseado em uma estatística de mais de 1.000 incêndios e com um monitoramento razoável), ainda é escasso na América Latina.

Pode-se concluir que a carga de incêndio do dormitório analisado é bem superior ao estipulado nas normas brasileiras que, em regra geral, apontam 300 MJ/m^2 para este tipo de edificação, contrapondo-se aos $499,56 \text{ MJ/m}^2$ calculados através dos objetos e mobiliário indicados por Corrêa *et al.* (2017).

No experimento se observou uma curva de temperatura vs tempo bem distinta da curva 'clássica', associada a oscilação gerada principalmente pelo processo cíclico de Combustão Viva – Produção de gases – Saturação Gasosa – Exaustão Natural – Ingresso de Oxigênio – Combustão Viva, de certa forma esperado já que a curva comentada é qualitativa e busca apresentar uma média das temperaturas.

Entre os objetos, as maiores temperaturas foram observadas no beliche, principal elemento da carga de incêndio consumida, e no armário que, mesmo não comburindo totalmente apresentou temperaturas acima dos 700°C, mostrando como a geometria dos objetos pode facilitar a concentração de gases quentes e fluxos térmicos, sendo este, mais um fator a ser avaliado na Segurança Contra Incêndio em Edificações (SCIE).

As paredes internas próximas ao foco principal tiveram temperaturas semelhantes, estas eram revestidas argamassa de gesso e chapisco cimentício, alcançando picos de até 700°C nas fases de crescimento e desenvolvimento do incêndio.

A condução térmica das paredes em alvenaria revelou-se baixa neste experimento, não havendo temperaturas a cima de 60 °C nas faces externas das mesmas. Porém quando comparadas, as condutividades das paredes revestidas com argamassa de gesso e chapisco cimentício, nota-se uma diferença em favor da primeira que em sua face externa teve temperatura máxima de 38,19°C enquanto a segunda apresentou 54,38°C.

A abertura de uma porta em um compartimento, como o montado para o experimento, promove fenômenos relevantes à dinâmica do incêndio, entre eles destaca-se a ventilação cruzada que pode levar o fluxo de calor rapidamente para compartimentos adjacentes, como foi aferido pelo termopar da face externa da parede com revestimento de argamassa de cimento, propagando o incêndio em caso de existir material combustível neste compartimento.

O resfriamento das paredes em alvenaria por ‘jato atomizado’ se mostrou bastante eficaz, conforme constatado nas imagens térmicas. Estas imagens também podem ser utilizadas para uma otimização do combate a incêndio e no exame das estruturas durante o sinistro com estas características.

Por fim a utilização de um compartimento com: dimensões, características estruturais, carga-incêndio, e dinâmica semelhantes às encontradas em levantamento estatístico, gera resultados relevantes, todavia a repetição de experimentos baseados em incêndios frequentemente ocorridos em edificações deve ser perseguida, para a cristalização e generalização das conclusões ora levantadas.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14023**. Registro de Atividades de Bombeiros. Rio de Janeiro: 1997.

BRAGA, George C. B. **Investigação de Incêndios**. In ____ A Segurança Contra Incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

BRENNAN, Patricia. Victims and survivors in fatal residential building fires. **Fire and materials**, v. 23, n. 6, p. 305-310, 1999

BUCHANAN, A.H. **Structural design for fire safety**. John Wiley & Sons Ltd, University of Canterbury, New Zealand, 2001.

CORRÊA, Cristiano; RÊGO SILVA, José J.; PIRES, Tiago A.; BRAGA, George C.. Mapeamento de Incêndios em Edificações: Um estudo de caso na cidade do Recife. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, n. 3, p. 15-34, 2015.

CORRÊA, Cristiano; RÊGO SILVA, José J.; PIRES, Tiago A.; BRAGA, George C.. Os Incêndios em Pernambuco: Um estudo comparativo com os padrões mundiais. **Revista FLAMMAE**, vol. 1, nº. 2, p. 08-27, 2015.

_____. Edifício Modal: Uma representação para o Estudo de Incêndios na cidade de Recife. **Revista CIENTEC**, v. 10, n.1, 2018.

CORRÊA, C.; Braga, G. C.; SILVA, J. B.; SILVA, J. J. R.; Tabaczenski, R.; PIRES, T. Incêndio natural em compartimento de residência na cidade de Recife: Um estudo experimental. **Revista ALCONPAT**, v.7, n.3, p. 215-230, 2017.

DEL CARLO, Ualfrido. **A Segurança contra Incêndio no Brasil**, In ____ A Segurança Contra Incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

DISTRITO FEDERAL. **Decreto 11.258 de 16 de setembro de 1988**, que: Aprova o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico, que com este dá baixa e dá outras providências. Brasília, 1988.

DRYSDALE, D. **An introduction to fire dynamics**. John Wiley & Sons Ltd., University of Edinburgh, UK, 1998.

GOUVEIA, Antonio Maria Claret. **Análise de Risco de Incêndio em Sítios Históricos**. Brasília, DF: IPHAN/MONUMENTA, 2006.

HANEA, Daniela; ALE, Ben. Risk of human fatality in building fires: A decision tool using Bayesian networks. **Fire Safety Journal**, v. 44, n. 5, p. 704-710, 2009

JANSSENS, M. **Calorimetry**. In SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2016.

KOBES, M.; HELSLOOT, I.; DE VRIES, B.; Post, J. G. Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, v. 45, n. 1, p. 1-11, 2010

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Fundamentos da Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas, 2011.

MAGALHÃES, S. R.; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G.A. Avaliação do Combate aos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra. *Floresta e Ambiente*, v.01, n.18, p.80-86.

McFERRAN, Katrina. Music Therapy with Young People in Schools: After the Black Saturday Fires. *Voices*, v. 11, 2011.

MINAS GERAIS (Estado). *Decreto 44.746 de 29 de fevereiro de 2008*, que: Regulamenta a Lei 14.130, que dispõe sobre a prevenção contra incêndio e pânico no Estado e dá outras providências. Belo Horizonte, 2008.

MOLLER, K. *The socio-economic costs of fire in Denmark*. Emergency Management Agency, Bikerod, Denmark, 2001.

NGUYEN, Thê-Duong; MEFTAH, Fekri – Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 1: Experimental analysis. *Fire Safety Journal*, 2012.

NGUYEN, Thê-Duong; MEFTAH, Fekri – Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 2: 3D finite element modeling and spalling assessment. *Fire Safety Journal*, 2014.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, F. A. N.; SOBRINHO, C. W. D. A. P.; DE AZEVEDO, A. A. C. Edificações em alvenaria resistente na região metropolitana do Recife. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 2, p. 175-199, 2017.

ONO, Rosaria. Parâmetros para Garantia da qualidade do projeto de Segurança Contra Incêndio em Edifícios Altos. *Ambiente Construído*, v.7, n.1, p.97-113, 2007.

QUINTIERE, J.G. *Principles of fire behavior*. 2016.

RACHANIOTIS, Nikos P.; PAPPIS, Costas P. Scheduling fire-fighting tasks using the concept of "deteriorating jobs". *Canadian Journal of Forest Research*, v. 36, p. 652-658, 2006.

SILVA, Marcelo.L; CORRÊA, Cristiano; OLIVEIRA, Romilde. A. Risco de Colapso em Caso de Incêndios de Alvenaria Resistente do tipo “Prédio Caixaão”. *Revista Flammae*, vol. 1, nº.2, 2015, p.28-54.

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
XVIII Seminário Nacional de Bombeiros – Foz do Iguaçu PR
Vol.04 Nº11 - **Edição Especial XVIII SENABOM** - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>.

SILVA PIGNATTA, Valdir; AZEVEDO, Macksuel Soares. Eurocode method for calculating the external steelwork temperature in fire; comparative studies. *Fire and Materials*, 2015.

SILVA PIGNATTA, Valdir. Segurança das Estruturas em Situação de Incêndio. Uma visão da América Latina, *Revista FLAMMAE*, v.1, n. 1, p.180-185, 2015.

SÃO PAULO (Estado). Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de. *Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros. v. 1*. São Paulo – SP, 2006.

SEITO, Alexandre Itiu. *Fundamentos de Fogo e Incêndio*. In____ A Segurança Contra Incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

TORERO, José L. “Prescrição ou Performance: Quando? Porquê? Como? Quem?”. *Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural*, V.8, N.1, p. 4-21, 2011.