

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO (UNICAP)
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA (PRAC)
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**COLAPSO EM CASO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA
RESISTENTE**

Marcelo Lima Silva

Recife

2016

Marcelo Lima Silva

**COLAPSO EM CASO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA
RESISTENTE**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil da Universidade Católica de Pernambuco
(UNICAP).

Orientador: Prof. Dr. Romilde de Almeida Oliveira

Recife

2016

Catálogo na fonte

S586c Silva, Marcelo Lima.
Colapso em caso de incêndio em edifícios de alvenaria resistente /
Marcelo Lima Silva; orientador Romilde de Almeida Oliveira, 2016.
101 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco.
Pró-Reitoria Acadêmica. Coordenação Geral de Pós-Graduação.
Mestrado em Engenharia Civil, 2016.

1. Resistência de materiais. 2. Alvenaria estrutural. 3. Incêndios.
4. Construção civil. I. Oliveira, Romilde de Almeida. II. Título.

CDU 620.17

Marcelo Lima Silva

**COLAPSO EM CASO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA
RESISTENTE**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Concentração Tecnologia das Construções.

Aprovado por:

Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira
(Orientador – Engenheiro Civil – UNICAP)

Prof. Dr. Fernando Artur Nogueira Silva
(Examinador Interno – Engenheiro Civil – UNICAP)

Prof. Dr. José Jeferson do Rêgo Silva
(Examinador externo – Engenheiro Civil – UFPE)

Data 08 / 04 / 2016

Recife
2016

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai (*in memoriam*), aos meus irmãos (Dominique, Filipe e Gustavo), que são referências na minha vida e que tanto amo.

A minha Mãe, que sempre mostrou a importância do caminho do estudo e da pesquisa por seu exemplo de ser uma eterna Estudante e Professora com todo amor a seus filhos e seus alunos. Amo-te, Mãe.

A minha amada Esposa, Cibelly, e filhos Marina e Miguel, a força e motivação ao longo da minha vida. Minha família é o motivo de viver.

Ao Professor Romilde, que acreditou e colaborou na presente pesquisa, professor que nos inspira a seguir em frente.

Aos bombeiros de todo o Mundo, que arriscam e sacrificam a vida para salvar vidas e riquezas alheias.

Far better it is to dare mighty things, to win glorious triumphs, even though checkered by failure, than to take rank with those poor spirits who neither enjoy much nor suffer much, because they live in the gray twilight that knows neither victory nor defeat.

(Theodore Roosevelt)

SILVA, Marcelo Lima. **Colapso em caso de incêndio em edifícios de alvenaria resistente** / Marcelo Lima Silva; orientador Romilde de Almeida Oliveira, 2016. 101 f. : il.

RESUMO

O risco de colapso em estruturas de prédio do tipo caixão é alarmante. A maioria desses prédios tem algum risco potencial. Cerca de 10% da população de Pernambuco habitam nesse tipo de edificação. O Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco (CBMPE) atendeu no ano de 2012 na RMR a 314 ocorrências em residências e em 2013 teve 325 incêndios residenciais. Na cidade de Recife, em 2013, foram 198 ocorrências de incêndio residenciais sendo 36 em edificações multifamiliares, mesmo tipo de ocupação dos prédios tipo caixão. Neste trabalho, apresenta-se um estudo de caso de um incêndio em um apartamento, onde foram observados seus efeitos sobre a alvenaria e verificou-se se esses efeitos poderiam provocar o colapso em um edifício de Alvenaria Resistente, uma vez que nesse tipo de edificação as paredes têm função estrutural. Essas estimativas foram acerca da resistência à compressão nas paredes considerando as reduções de resistência decorrentes dos danos provocados pelo incêndio. Estudos demonstram que os prédios em alvenaria resistente para terem a sua estabilidade assegurada dependem da participação do revestimento na resistência à compressão. As normas relativas à alvenaria estrutural recomendam que não deva ser considerada a contribuição do revestimento. No entanto, sem a contribuição do revestimento, a estrutura estaria numericamente fora dos limites de segurança. Efeitos decorrentes do incêndio poderão ocasionar destruição do revestimento e um terço do bloco cerâmico nas faces expostas ao incêndio, o que deve representar a ruína do edifício se ocorrido no pavimento térreo.

Palavras-chave: Alvenaria resistente. Colapso estrutural. Gestão de riscos. Incêndio. Prédio-caixão.

SILVA, Marcelo Lima. / **Collapse in case of fire in resistant masonry buildings** / Marcelo Lima Silva; advisor Romilde de Almeida Oliveira, 2016. 101 p.

ABSTRACT

The risk collapse of Building type box is alarming. Most of these buildings have some potential risk. About 10% of the population of Pernambuco lives in this type building. The Military Fire Department of Pernambuco (CBMPE) attended in 2012 in RMR 314 occurrences in residential building and in 2013 had 325 residential fires. In the city of Recife in 2013 were 198 occurrences of residential fire being 36 in multifamily buildings, the same occupation of the buildings type box. In this work is presented a case study of a fire in an apartment, where its effects on masonry were observed, and it is verified that these effects could lead to collapse in a Resistant Masonry building, because in this type of building the walls is supporting masonry structure. Such estimates were about the strength in compression of the walls considering reductions in resistance resulting from fire damage. Studies show that the resistant masonry buildings to have their guaranteed stability depend on the participation of the coating on compressive strength. The rules for the structural masonry recommend that should not be considered the contribution of the coating in its strength in compression. However, without the contribution of the coating the structure was numerically outside safe limits. The effects of fire may result in the destruction of the plaster on one side of the wall, and around one third of the ceramic block, which should represent the ruin of the building if it had occurred on the ground floor.

Keywords: Resistant masonry. Structural collapse. Risk management. Fire. Building type box.

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1	– Parede externa com severa fissura ocasionada pela explosão por ocasião do incêndio.....	17
Fotografia 2	– Cômodo incendiado onde a explosão ocorreu.....	17
Fotografia 3	– Edifício interditado depois de um incêndio com obras de recuperação prestes a serem iniciadas.....	18
Fotografia 4	– Destaque da maior fissura ocasionada pelo incêndio vista pelo lado externo da edificação.....	18
Fotografia 5	– Elementos da esquadria derretidos pelo incêndio.....	19
Fotografia 6	– Destaque da maior rachadura ocasionada pelo incêndio vista pelo lado interno da edificação.....	19
Fotografia 7	– Revestimento destruído e fissuras no bloco de concreto em consequência do incêndio.....	20
Fotografia 8	– Edifício tipo caixão interditado após incêndio.....	29
Fotografia 9	– Incêndio no ap. 902 com reflexo nos apto. 802, 1.002 e 1.102.....	40
Fotografia 10	– Parede longitudinal externa do quarto, trecho próximo da parede transversal externa, com danos no reboco, argamassa de assentamento e blocos.....	43
Fotografia 11	– Parede divisória do banheiro.....	44
Fotografia 12	– Parede longitudinal interna: dano nas argamassas de assentamento e de revestimento.....	44
Fotografia 13	– Laje do teto no apartamento 902: trinca paralela às nervuras.....	46
Fotografia 14	– Danos na argamassa de revestimento e blocos.....	47
Fotografia 15	– Laje do teto no apartamento 902: trinca paralela às nervuras, dano na argamassa de revestimento composta de cimento, saibro e areia e nos blocos de concreto.....	47
Fotografia 16	– Laje do teto no apartamento 902: trinca paralela às nervuras, dano na argamassa de revestimento composta de cimento, saibro e areia e nos blocos de concreto.....	48
Fotografia 17	– Laje do teto no apartamento 902: danos na argamassa de revestimento composta de cimento, saibro e areia e nos blocos de concreto.....	48

Fotografia 18 –	Laje do teto no apartamento 902: danos na argamassa de revestimento composta de cimento, saibro e areia e nos blocos de concreto.....	49
Fotografia 19 –	Laje do teto no apartamento 902: danos na argamassa de revestimento e nos blocos de concreto.....	49
Fotografia 20 –	Capiços da janela e peitoril danificados pelo incêndio.....	51
Fotografia 21 –	Capiços da janela e peitoril danificados pelo incêndio.....	52
Fotografia 22 –	Capiços da janela e cerâmica da fachada.....	52
Fotografia 23 –	Capiços da janela e cerâmica da fachada.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição do grau de risco em edifícios no Grande Recife.....	26
Figura 2 – A evolução do incêndio celulósico na edificação.....	31
Figura 3 – Distribuição de temperatura no interior da parede.....	39
Figura 4 – Cópia da planta baixa do Edifício das Graças.....	41
Figura 5 – Planta baixa do pavimento tipo, projeto arquitetônico: destaque para o quarto incendiado.....	45
Figura 6 – Elementos da laje pré-moldada comum, podendo o bloco ser cerâmico, de concreto ou de EPS (Isopor).....	50
Figura 7 – Detalhe da identificação das paredes e lajes.....	56
Figura 8 – Parede antes e depois do incêndio.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição da carga aplicada em uma paredinha típica: análises numéricas.....	57
Tabela 2 – Carga da laje 1 distribuída sobre as paredes.....	58
Tabela 3 – Carga da laje 2 distribuída sobre as paredes.....	58
Tabela 4 – Carga da laje 3 distribuída sobre as paredes.....	58
Tabela 5 – Carga da laje 4 distribuída sobre as paredes.....	59
Tabela 6 – Resumo das cargas do pavimento térreo.....	59
Tabela 7 – Classe de resistência à compressão das amostras de cada classe.....	61
Tabela 8 – Carga de ruptura dos prismas de blocos cerâmicos – blocos com $f_{bk} = 2,15\text{MPa}$	62
Tabela 9 – Resistência à compressão dos prismas.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABT	Auto Bomba Tanque
CBMPE	Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
COSCIP	Código de Segurança contra Incêndio e Pânico
CREA-PE	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
ICCE	Instituto de Criminalística Carlos Éboli
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
ONU	Organização das Nações Unidas
POP	Procedimento Operacional Padrão
RMR	Região Metropolitana do Recife
SENASP	Secretaria Nacional de Segurança Pública
SICER	Salvamento, Isolamento, Confinamento, Extinção e Rescaldo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivos.....	15
1.3	Metodologia.....	15
1.4	Delimitação do trabalho.....	21
1.5	Estruturação.....	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1	Colapso estrutural.....	23
2.1.1	Colapso estrutural em edifícios de alvenaria resistente.....	24
2.2	Incêndio em edificações.....	27
2.2.1	Fatores que influenciam os incêndios.....	30
2.2.2	A reação ao fogo e o sistema de segurança contra incêndio.....	33
2.3	Resistência ao fogo.....	35
2.3.1	Compartimentação horizontal e vertical.....	36
2.3.2	Resistência ao fogo das paredes de alvenaria estrutural.....	37
3	EFEITOS DO INCÊNDIO NA ALVENARIA ESTUDADA.....	40
3.1	Outros danos observados.....	50
3.1.1	Danos no revestimento cerâmico do piso.....	50
3.1.2	Danos no revestimento cerâmico das fachadas.....	51
3.1.3	Danos nas esquadrias.....	51
3.1.4	Danos nos capiaços.....	51
4	CARACTERÍSTICAS DO PRÉDIO TÍPICO DE ALVENARIA RESISTENTE.....	54
4.1	Características construtivas.....	54
4.2	Cargas utilizadas nas análises.....	55
4.2.1	Cargas permanentes.....	55
4.2.2	Cargas acidentais.....	55
4.2.3	Carga nas lajes.....	56
4.2.4	Parede mais carregada.....	57

5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	63
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	67
6.1	Sugestões para futuros trabalhos.....	68
	REFERÊNCIAS.....	69
	ANEXO A – PLANTAS DE EDIFÍCIOS DE ALVENARIA RESISTENTE TÍPICOS.....	72
	ANEXO B – DOCUMENTAÇÃO REFERENTE AO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE PERNAMBUCO.....	79
	ANEXO C – DOCUMENTAÇÃO REFERENTE À PREFEITURA DO JABOATÃO DOS GUARARAPES.....	96

1 INTRODUÇÃO

Na Região Metropolitana do Recife (RMR), existem cerca de 5.300 prédios tipo caixão, e 4.770 apresentam risco, dos quais 340 estão em estado grave, 110 estão interditados e 12 desabaram espontaneamente nos últimos vinte e cinco anos segundo levantamento realizado por pesquisa recente do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), divulgado por Nascimento (2012). Esses edifícios foram construídos a partir dos anos 1970, e as normas vigentes na época não proibiam o uso de blocos de vedação para os fins estruturais. Dessa forma, foram construídos sobre esses blocos, que foram feitos para serem usados em paredes de vedação e suportar apenas o próprio peso. Os blocos cerâmicos de alvenaria estrutural, por sua vez, são compatíveis com os esforços estruturais de pequenos edifícios (RAUBER, 2005).

Em recente trabalho, Oliveira (2014) realizou um parecer técnico sobre um incêndio ocorrido na RMR, que iniciou em um banheiro e se alastrou para o quarto suíte, onde o Corpo de Bombeiros levou quinze minutos para iniciar os trabalhos de combate às chamas, conseguindo confinar o incêndio na suíte e no banheiro, por fim, extingui-lo. Houve severos danos nas paredes de alvenaria e nos blocos da laje de teto, bem como na fachada na região próxima à janela do apartamento superior.

Essa propagação na fachada chegou a provocar um princípio de incêndio no apartamento superior, rapidamente controlado. Os danos foram bastante severos nas paredes desse edifício, mas não houve maiores danos nos elementos estruturais nem risco à estabilidade por se tratar de edifício com estrutura de concreto armado (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Os materiais das paredes mais danificados no incêndio estudado foram: pintura, reboco, emboço, chapisco, bloco, argamassa de assentamento, sendo esses do mesmo daqueles empregados em edifício de alvenaria resistente.

Por conseguinte, este trabalho propõe-se a avaliar comparativamente o risco de colapso estrutural em caso de incêndio, utilizando por base os efeitos causados no estudo de caso citado.

1.1 Justificativa

Com milhares de edificações do tipo prédio-caixão na RMR, sendo centenas com risco grave de colapso, é imprescindível entender os riscos e ter o devido preparo para atuação perante esses cenários de acidentes.

Adicionalmente ao risco intrínseco de colapso dessas edificações, o risco de incêndio é inerente a todo tipo de ocupação, tem maiores consequências, podendo ser justamente a causa necessária para levar essas estruturas ao colapso.

Outro fator relevante é que o dimensionamento da prevenção contra incêndio para esse tipo de edificação é muito limitado (PERNAMBUCO, 1997), em especial em Pernambuco, o que deixa esses prédios mais vulneráveis.

Dessa forma, as informações serão importantes para subsidiar os tomadores de decisão na gestão das ações preventivas, mitigadoras e de atendimento desse problema de ordem pública da região.

1.2 Objetivos

Objetivo geral – Avaliar o risco de colapso estrutural de edifícios de Alvenaria Resistente em situação de incêndio.

Objetivo específico – Estimar os efeitos do incêndio em edifício de alvenaria resistente.

1.3 Metodologia

Este trabalho compreende uma pesquisa teórica e bibliográfica de natureza qualitativa, efetuada por meio de busca de dados e informações procedentes de livros e de sites da internet, contendo artigos científicos, dissertações e cobertura jornalística, bem como consulta e análise da legislação pertinente ao tema abordado. Realiza-se também uma pesquisa de natureza prática com avaliação de projetos, visitas *in loco* e entrevistas com profissionais da área de Engenharia e do Corpo de Bombeiros, objetivando a adequada fundamentação teórica para aplicação dos requisitos funcionais relativos à segurança contra incêndio.

O método do trabalho utilizado foi um estudo de caso, em que foram observados os danos provocados por um incêndio, e todo o histórico da ocorrência, do início do fogo à sua extinção pela atuação do Corpo de Bombeiros. Assentindo no preconizado por Lakatos e Marconi (2003) quando destacam que o estudo de caso busca inspiração para um estabelecimento de uma hipótese, neste caso, restritiva (projeção em caso de incêndio) e aplicada (prédios tipo caixa constituída de alvenaria de vedação).

A pesquisa iniciou-se por um incêndio em um edifício multifamiliar, que se concentrou em um quarto desse apartamento, com severos danos à alvenaria. Embora se

tratasse de um prédio de concreto armado, as características dos materiais e os procedimentos de construção são os mesmos de alvenaria resistente. Outro fator importante foi que, dias após a ocorrência do incêndio, iniciaram-se os levantamentos necessários para confecção de parecer técnico de estabilidade da edificação e da pesquisa, que desencadeou um artigo publicado no Congresso Internacional de Patologia e Recuperação, outro artigo publicado na *Revisa Flammae* e a presente dissertação.

Dentre os edifícios construídos em alvenaria resistente encontrados, localizou-se um edifício desse tipo que, depois de ter sofrido um incêndio, foi interditado por problemas estruturais decorrentes desse incêndio, que se concentrou em apenas um cômodo de um apartamento. Na tentativa de coletar mais informações sobre o caso, solicitou-se à Defesa Civil do município de Jaboatão dos Guararapes acesso ao local do incêndio e ao prédio interditado, o que não foi possível em razão de o apartamento incendiado encontrar-se trancado, e as chaves de posse do proprietário, o qual não foi possível contatar.

Em contribuição a esta pesquisa, a Defesa Civil desse município nos conduziu a alguns edifícios residenciais multifamiliares construídos em alvenaria e interditados em consequência de incêndio que danificou a estrutura de toda a edificação. Esses edifícios tinham sofrido incêndio em apenas um pavimento, o que foi suficiente para afetar todo o edifício. No primeiro edifício, o incêndio ocorreu no térreo.

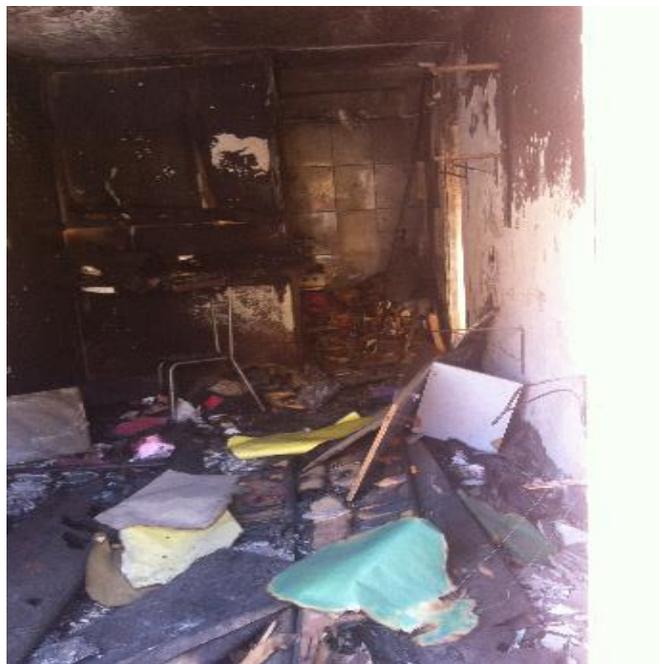
O apartamento fazia comércio de fogos de artifícios. Por motivos não informados, o incêndio atingiu esse material e causou uma explosão que avariou todo o edifício, conforme se vê nas Fotografias 1 e 2.

Fotografia 1 – Parede externa com severa fissura ocasionada pela explosão por ocasião do incêndio



Fonte: O autor.

Fotografia 2 – Cômulo incendiado onde a explosão ocorreu



Fonte: O autor.

Com a unidade incendiada interditada, não foi possível ter maior acesso ao edifício. Dentro do que foi possível verificar, os blocos do edifício eram de concreto assentados na vertical, o que a princípio se configuraria em um edifício de alvenaria estrutural de blocos de

concreto. O segundo edifício visitado sofreu com um incêndio em um quarto do apartamento localizado no terceiro andar conforme Fotografias 3, 4, 5, 6 e 7.

Fotografia 3 – Edifício interditado depois de um incêndio com obras de recuperação prestes a serem iniciadas



Fonte: O autor.

Fotografia 4 – Destaque da maior fissura ocasionada pelo incêndio vista pelo lado externo da edificação



Fonte: O autor.

Fotografia 5 – Elementos da esquadria derretidos pelo incêndio



Fonte: O autor.

Fotografia 6 – Destaque da maior rachadura ocasionada pelo incêndio vista pelo lado interno da edificação



Fonte: O autor.

Fotografia 7 – Revestimento destruído e fissuras no bloco de concreto em consequência do incêndio



Fonte: O autor.

A edificação sofrera o incêndio há mais de um ano dessa visita, assim, alguns serviços já haviam sido feitos. As dimensões dos blocos e a forma de assentamentos, além da ausência de vigas e pilares aparentes, levam-nos a concluir que o edifício foi construído em alvenaria estrutural de blocos de concreto.

Por considerar que a maioria dos edifícios de alvenaria resistente é de blocos cerâmicos e a dificuldade do acesso às edificações citadas, além do tempo decorrido depois do incêndio não permitir a coleta de dados mais precisos, utilizou-se a edificação citada inicialmente, porque ela foi acompanhada logo após o incêndio e o acesso foi facilitado, o que possibilitou diversas visitas à edificação. Outro fato relevante para a escolha da edificação foi porque as paredes encontradas nela são de alvenaria de vedação com blocos cerâmicos de oito furos, assentados em argamassa com saibro e laje do tipo pré-moldada, mesmas características e os mesmos procedimentos adotados em edifícios de alvenaria resistente, com exceção da estrutura, que é em concreto armado no caso da edificação estudada.

Uma vez definido o tema e a edificação, procedeu-se ao levantamento de dados.

Solicitou-se ao Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco (CBMPE) informações sobre ao atendimento ao sinistro, o qual forneceu um formulário de ocorrência onde constava os momentos correspondentes ao acionamento da Corporação, chegada ao local, tempo de combate, quantidade de água utilizada, materiais danificados, etc. Também solicitou-se a

estatística de incêndio dos últimos anos, em especial de edifícios residenciais multifamiliares. Não havia informações específicas sobre edifícios de alvenaria resistente.

Realizou-se pesquisa bibliográfica em dissertações, artigos e documentos relacionados com a alvenaria em situação de incêndio, efeito do fogo sobre a alvenaria, influência no revestimento sobre a resistência a compressão, risco de colapso dos prédios tipo caixão, risco de colapso de prédios em geral, dentre outras pesquisas relacionadas.

Levantados os dados pertinentes à pesquisa, passou-se à formulação do problema, a hipótese de que um incêndio em prédios do tipo caixão poderia ocasionar o colapso da edificação. O único caso concreto de incêndio em edifício de alvenaria resistente encontrado não ocorreu no pavimento térreo, mesmo assim propagou seus efeitos por toda a edificação, que necessitou ser interditada, assim permanecendo até o fim de 2015. Caso tivesse sido no pavimento térreo, supõe-se que a edificação não resistiria muito.

Pelas evidências da importante contribuição do revestimento e do chapisco na resistência mecânica da parede de alvenaria, observou-se a extensão dos danos na edificação estudada nesses elementos e nos blocos.

Com a informação estimada dos danos, procedeu-se a um cálculo estrutural baseado nas equações utilizadas na alvenaria estrutural que são previstas nas normas vigentes, considerando a perda de seção das paredes e alteração das características físicas em decorrência do incêndio. Verificou-se, também, o tempo de duração do incêndio para servir de parâmetro, aferindo-se quanto tempo de incêndio foi necessário para causar tal extensão de dano.

Além disso, o trabalho incluiu pesquisa de campo. As observações realizaram-se *in loco* para investigar e analisar o processo de deterioração dos elementos estudados. No Estudo de Caso, consultaram-se trabalhos acadêmicos a fim de ratificar as observações realizadas.

1.4 Delimitação do trabalho

Esta pesquisa restringe-se, exclusivamente, a cálculo analítico de prédios-caixão com paredes de alvenaria executadas com blocos cerâmicos, assentados com juntas de argamassa horizontais e verticais. A edificação estudada, por ser de concreto armado, não transmite carga dos pavimentos superiores e das lajes para a alvenaria de vedação. Dessa forma, diferem do prédio-caixão por terem suas paredes carregadas apenas com o peso próprio. Enquanto nos edifícios de alvenaria resistente às cargas das lajes e das paredes dos

pavimentos superiores, são transmitidas para as paredes utilizadas para fins estruturais até as fundações e das fundações para o solo.

Os resultados obtidos não são definitivamente conclusivos por se tratar de um estudo aplicado à problemática dos prédios-caixão apenas, e ensaios devem ser feitos para confirmar os efeitos observados.

1.5 Estruturação

Esta dissertação enfoca o tema *Colapso em Caso de Incêndio em Edifícios de Alvenaria Resistente*.

Efetuiu-se uma pesquisa bibliográfica de natureza qualitativa e quantitativa, elaborada por meio da busca de dados e informações existentes em livros, pareceres, artigos científicos, visitas técnicas e em sites da internet.

O trabalho estrutura-se em quatro capítulos: o primeiro versa sobre o risco de colapso estrutural; o segundo aborda o risco de incêndio; o terceiro trata do Estudo de Caso selecionado de incêndio em edificação; no quarto, realiza-se a Análise dos Resultados, em que se comparam os efeitos caso houvesse sido em um prédio de alvenaria resistente.

O trabalho aborda inicialmente conceitos de segurança estrutural, seguidos de exemplos de colapso ocorridos no Brasil pelos mais diversos motivos. Abordam-se alguns casos de colapso e interdições de prédios-caixão na RMR, e a classificação adotada para os prédios que ainda resistem. Apresentam-se aspectos dos incêndios ocorridos em Pernambuco com ênfase nos incêndios em edificações e, por sua vez, em edificações do tipo multifamiliar.

No Estudo de Caso, verificam-se os efeitos do incêndio sobre a alvenaria e o revestimento, e consideram-se seus efeitos no caso de ocorrer em prédio-caixão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, discute-se a bibliografia que baliza o estudo em tela.

2.1 Colapso estrutural

Para proporcionar segurança a uma estrutura, o projetista deve dimensioná-la para resistir às distintas ações durante toda a vida útil, preservando suas características. Alguns aspectos importantes devem ser levados em consideração: segurança, economia, conforto e durabilidade (VERZENHASSI, 2008).

O risco de colapso estrutural é inerente à estrutura de qualquer edificação e está atrelado às diversas formas de ruína que possam vir a ocorrer. Podem ser, principalmente, por erro ou insuficiência de projeto, erro na execução ou fato fortuito extraordinário (VERZENHASSI, 2008).

Um exemplo de colapso estrutural ocorrido no Brasil em consequência de erro de projeto é o do Edifício Palace II, em 1998, no Rio de Janeiro, onde morreram oito pessoas. O laudo do Instituto de Criminalística Carlos Éboli (ICCE) chegou à conclusão de que o Palace II desabou em consequência de um erro generalizado do projeto estrutural; cerca de 80% dos pilares teriam sido projetados abaixo do exigido nas normas técnicas, e dois deles, que deveriam ser dimensionados para suportar 480 toneladas, foram dimensionados e construídos para suportar apenas 230 toneladas. Discordando do laudo do ICCE, que considerava desprezível os erros de execução, os laudos realizados pela Secretaria Municipal de Urbanismo da Cidade do Rio de Janeiro e por uma empresa particular contratada pelas vítimas do Palace II concluíram que os erros de execução foram tão determinantes quanto os de cálculo para a queda do edifício (GRASSELLI, 2004).

No município de Jaboatão dos Guararapes, situado na RMR, em 2004, o Edifício Areia Branca, poucas horas depois de ter sido evacuado, desabou e matou quatro pessoas. O laudo emitido pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco (CREA-PE) chegou à conclusão de que falhas de execução das sapatas e pilares na região enterrada provocaram o colapso vinte e sete anos após a conclusão do edifício (OLIVEIRA et al., 2005).

2.1.1 Colapso estrutural em edifícios de alvenaria resistente

Os casos mencionados acima demonstram – ainda que a estrutura do edifício seja construída em concreto armado, com as técnicas de cálculo e execução consolidadas em normas que devem ser seguidas pelos diversos profissionais envolvidos no processo de construção –, que não só há o risco de colapso, mas casos ocorridos em passado recente no Brasil reforçam essa possibilidade. Os coeficientes de segurança utilizados estão calibrados de tal ordem que permitem a ocorrência do risco de colapso de uma obra em cada 10.000 corretamente calculadas e executadas de acordo com as normas.

Em 2014, o Edifício Emílio Santos, localizado no bairro de Boa Viagem, em Recife, um prédio tipo caixa, que já havia sido interditado e evacuado desde maio de 2013, desabou parcialmente em uma manhã de agosto de 2014. Essa construção suportava precariamente a própria carga, vindo a desabar depois de ter passado pouco mais de um ano desocupada. Outros exemplos de edifícios desse tipo, que ruíram recentemente na RMR, são descritos por Mota (2006).

Os prédios do tipo caixa, como são popularmente conhecidos, caracterizam-se por se utilizar blocos de vedação, que são blocos de alvenaria produzidos para separar os ambientes e suportar apenas o peso próprio (OLIVEIRA; SILVA; PIRES SOBRINHO, 2008). Por isso, são chamados tecnicamente de alvenaria resistente ou autoportante, para que não se confunda com alvenaria estrutural, que é uma forma construtiva normatizada. Pereira (2005) chama a atenção para os blocos de vedação, que, mesmo quando não submetidos a tensões além do próprio peso, podem apresentar anomalias.

Cerca de 10% da população da RMR, aproximadamente 250.000 pessoas, moram nesse tipo de edificação. Os blocos utilizados são predominantemente cerâmicos, com dimensões de 9 cm x 19 cm x 19 cm, assentados com os furos na horizontal ou blocos de concreto, com dimensões médias de 9 cm de largura, 19 cm de altura e comprimento 29 cm ou 39 cm, o que compromete a resistência desses blocos (OLIVEIRA; SILVA; PIRES SOBRINHO, 2008).

Os blocos cerâmicos são alguns dos materiais mais utilizados na construção, e a qualidade desses materiais não foi bem avaliada antes de 2005, quando foi proibida a construção de edifícios de alvenaria resistente. Em pesquisa realizada pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) em 2001, testaram-se blocos provenientes de 12 fabricantes, observando-se critérios como a resistência a compressão e planicidade. Apenas um fabricante teve seus produtos em conformidade, sendo um fator importante na

fragilidade dos edifícios de alvenaria resistente, que tem o embasamento e as paredes constituídas por esses materiais (INMETRO, 2001).

A falta de controle de qualidade dos procedimentos construtivos e a inexistência de norma técnica específica, impulsionadas pela necessidade de redução de custos, contribuíram para fragilizar o esse tipo de edificação.

Essas edificações foram executadas de forma empírica, sem o estabelecimento de padrões de confiabilidade estrutural aceitáveis.

As intervenções sem orientação técnica, geralmente relacionadas com cortes e retirada de paredes que suportavam o peso da estrutura, foram apontadas como causa de colapsos e interdição de edifícios de alvenaria resistente na RMR.

As lajes mais utilizadas são pré-moldadas, com blocos cerâmicos ou de concreto e com capeamento de concreto, assentadas diretamente sobre as paredes, ou quando existente, sobre cintas de concreto executadas no coroamento das paredes.

Os embasamentos são geralmente construídos em alvenaria simples ou dobrada, em continuidade com as paredes da edificação, geralmente assentadas sobre fundação feitas de sapatas corridas de concreto armado ou sobre componentes de fundação pré-moldados.

Em muitos casos, as lajes empregadas são pré-moldadas do tipo volterrana. Muitas vezes, para terrenos com forte declividade, para evitar a execução de aterros de grande altura, foram empregados embasamentos em paredes de alvenaria apoiadas sobre sapatas corridas, sem preenchimento dos espaços compreendidos entre o solo e o nível do piso.

Geralmente a laje do pavimento térreo é também pré-moldada. Resulta, assim, o denominado caixão vazio. As paredes que constituem os embasamentos foram executadas em muitos casos em alvenaria singela de 9 cm ou de 19 cm, sem revestimento, o que conduz a uma exposição do embasamento às intempéries (OLIVEIRA; SILVA; PIRES SOBRINHO, 2008).

Os edifícios de alvenaria resistente se afastam da norma de alvenaria estrutural no critério de esbeltez. A esbeltez é a relação entre a largura da base e a altura da parede. As paredes dos prédios de alvenaria resistente que utilizam um pé direito de 2,60 m têm uma esbeltez próxima de 30, superior aos 20 geralmente admitidos nas normas. Na norma brasileira de Alvenaria Estrutural, a espessura do bloco é no mínimo 140 mm, enquanto os blocos usados nas paredes de vedação são de 90 mm (ABNT, 2005).

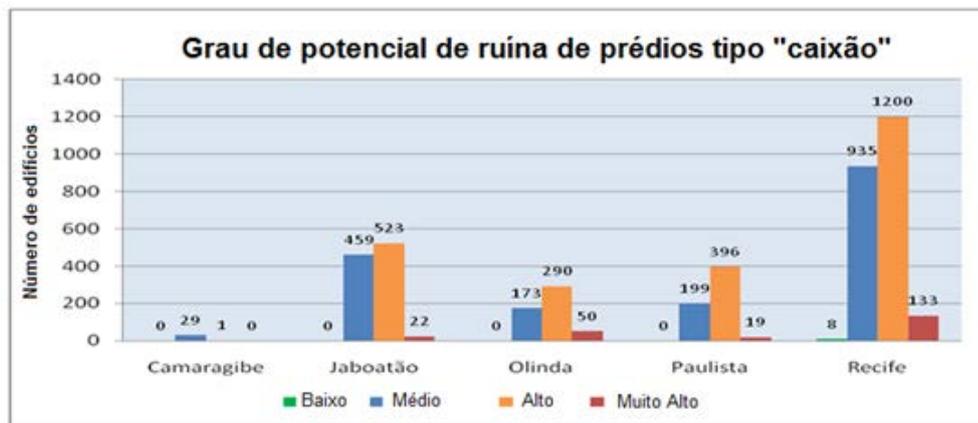
Em 2009, Pires Sobrinho et al. apresentou a caracterização de risco de prédios em alvenaria resistente aplicando método descrito anteriormente (PIRES SOBRINHO et al., 2007). O método baseia-se em critérios da Organização das Nações Unidas (ONU), que

classifica risco como “a probabilidade de ocorrência de danos resultantes da interação entre perigos naturais ou induzidos pelos homens e as condições de vulnerabilidade de um sistema” (ONU apud PIRES SOBRINHO et al., 2009, p. 9), e os perigos naturais estão associados aos vícios construtivos inerentes ao sistema construtivo em alvenaria resistente e os perigos induzidos pelos usuários como a retirada de paredes e ampliações, as construções de poços e plantio de árvores próximas e a falta de manutenção e de ações preventivas.

O método foi aplicado em cinco municípios da RMR: Recife, Paulista, Jaboatão dos Guararapes, Camaragibe e Olinda.

Esse preocupante panorama está expresso na Figura 1:

Figura 1 – Distribuição do grau de risco em edifícios no Grande Recife



Fonte: Oliveira, Pires Sobrinho e Pires (2012).

Embora esse estudo tenha sido pertinente, pois na época era necessário ter um panorama da extensão do problema de prédio tipo caixão, uma edificação pode ser classificada em mais de um grau de risco.

O critério de utilizar as paredes mais carregadas para indicar o grau de risco pode não ser o melhor a ser adotado, pois os colapsos observados geralmente têm ocorrido por paredes menos carregadas, por motivos diversos, o que pode levar uma edificação a ser bem classificada, quando outros motivos, como a deterioração do embasamento por reação do material cerâmico com as intempéries, ou intervenções como reformas sejam ignoradas, quando são os principais motivos dos colapsos.

Esse tipo de edificação tem risco elevado e as ações para recuperação dessas estruturas são estimadas em cinco a dez anos, o que implica em manter planos de ação que deixem as entidades de Defesa Civil e órgãos de controle das prefeituras em constante monitoramento e preparação em caso de sinistro. O Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco tem treinado

equipes para realização de Busca e Resgate em Estruturas Colapsadas, mas é importante que se verifique se os sinistros de incêndio atendidos pelo Corpo de Bombeiros podem tornar-se uma ocorrência de colapso estrutural, por notadamente fragilizar as estruturas.

Diante dos riscos a que esses edifícios estão submetidos, diversas ações foram propostas, todas com diretrizes semelhantes. Envolvem ações governamentais com aportes de recursos a fundo perdido, uma vez que os usuários dessas habitações não dispõem de recursos para arcar com os custos de inspeções, projetos de reforço e recuperação. Um exemplo típico de proposta dessa natureza se encontra em Gusmão et al. (2009), que apresenta um termo de referência de laudos de inspeção de alvenaria resistente com requisitos mínimos a serem seguidos.

2.2 Incêndio em edificações

Segundo o Programa Brasil sem Chamas, inspirado nos estudos da Commission of Fire Prevention and Control dos Estados Unidos 1973, foram registradas 144.232 ocorrências em 2008. Em razão da inexistência do Corpo de Bombeiros na maioria dos municípios brasileiros, o número real de incêndios é muito maior que o indicado. A Secretaria Nacional de Segurança Pública (Senasp), estima que 168.385 incêndios ocorreram no Brasil em 2008 (TOMINA, 2011).

Segundo o Programa Brasil sem Chamas, entre 2005 e 2007, o Brasil foi apontado como o terceiro país com maior número de mortes em incêndios no mundo, ficando apenas atrás dos Estados Unidos e Japão.

O risco tem diversas definições e relaciona-se com a probabilidade de que um evento danoso possa acontecer. Tão importante quanto a frequência com que esse evento ocorre é a severidade que os danos podem provocar às vidas e ao patrimônio (CORREA, 2013).

A severidade do incêndio depende da “carga de incêndio” que é constituída das propriedades térmicas e a quantidade de material combustível presente no ambiente incendiado, da atividade desenvolvida no ambiente; das características da edificação como área, ventilação, compartimentação e os sistemas de prevenção contra incêndio (BONITESE, 2007).

O Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres define como vulnerabilidade: “Condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos prováveis.” (CASTRO, 1998, p. 170).

A atividade humana desenvolvida em um determinado ambiente catalisa os incêndios, e as regiões com grande densidade demográfica têm maior potencial de risco para que isso ocorra. Em regiões como a RMR, onde não houve um desenvolvimento planejado, os pequenos e grandes incêndios são grandemente influenciados pelo crescimento desordenado, por exemplo, nos incêndios provocados por vazamento de gás, curto-circuito, sobrecarga elétrica, uso de equipamentos com potencial de incêndio como ferro de passar roupa, fogão e outros aparelhos que possam provocar um princípio de incêndio e têm potencial de se tornar um desastre (CORREA et al., 2015).

Em Pernambuco, segundo informações do CBMPE, ocorreram em 2013, 2012 e 2011 cerca de 15.000 ocorrências de incêndio; em 30% deles, tratava-se de incêndios em edificações. Esse número de ocorrências de incêndio cresceu entre 2011 e 2012 de 4.444 para 5.539, com aumento percentual de 25% em decorrência do próprio aumento da população pernambucana, que, em 2010, tinha 8.768.000, e, segundo o IBGE (2014), tem em 2014 uma população de 9.277.727. Outro fator de crescimento dessas ocorrências é o crescimento da frota de viaturas de incêndios que tem atendido mais municípios que antes não dispunham dos serviços do Corpo de Bombeiros (CORREA et al., 2015).

Esses números refletem as ocorrências em que o CBMPE atuou, sendo desconsiderado nesses dados o número de ocorrências canceladas, seja por motivo de já ter sido extinguido o incêndio, seja por trote.

Na RMR, vivem 4.046.845 de habitantes (IBGE, 2013), uma parte significativa da população pernambucana, com destaque para os cinco maiores municípios: Recife, Olinda, Jaboatão dos Guararapes, Paulista e Cabo de Santo Agostinho, que totalizam 3.196.404 habitantes. As ocorrências de incêndio em 2012 atendidas pelo CBMPE na RMR foram 3.691 e em 2011 foram 2.646 incêndios (CBMPE, 2014).

Segundo o CBMPE (2014), em 2012, o Estado teve 1.596 incêndios em edificações, sejam elas comerciais, de prestação de serviço, industriais, sejam residenciais, dos quais na RMR foram 314 ocorrências em residências; já em 2013, até o mês de agosto, foram 1.752 incêndios em edificações em todo o Estado; na RMR, houve 325 incêndios residenciais. Somente na cidade de Recife, em 2012, foram 169 ocorrências de incêndio residencial e 198 em 2013, das quais 36 foram em edificações multifamiliares, ou seja, apartamento residencial, mesmo tipo de ocupação dos prédios-caixão.

Dados estimados pela Prefeitura do Recife avaliam que existem 370.000 edificações cadastradas na cidade, levando a uma considerável razão de edificações incendiadas anualmente (RECIFE..., 2012).

Em 2014, noticiou-se um incêndio que teria sido provocado por um curto-circuito em um ventilador em prédio-caixão no município de Jabotão dos Guararapes, bairro de Candeias, que teve de ser desocupado (Fotografia 8). Segundo (CUNHA, 2014), informações prestadas pelo síndico do prédio, o Corpo de Bombeiros chegou em quinze minutos, e conforme informação prestada na notícia pelo Engenheiro da Defesa Civil da Prefeitura de Jabotão dos Guararapes, os apartamentos 002, 102, 202 e 302 apresentam, na parte externa, rachaduras horizontais e diagonais, ocasionadas pela propagação das chamas, motivo pelo qual foi interditado.

Fotografia 2 – Prédio tipo caixão interditado após incêndio



Fonte: Cunha (2014).

O tempo de resposta informado para o incêndio nessa edificação foi o mesmo registrado na edificação utilizada como estudo, isto é, quinze minutos, entendendo por tempo resposta o tempo compreendido entre o chamado e a chegada da equipe do Corpo de Bombeiros. A edificação resistiu o suficiente para o resgate do único morador presente no apartamento 202 e para os trabalhos de combate a incêndio, mas não apresentou condições de segurança após o incêndio para os outros moradores. Desse modo, todos os 16 apartamentos daquele edifício também tiveram de ser evacuados. Ficando o questionamento: se o incêndio tivesse sido no pavimento térreo, o edifício resistiria até o combate ser iniciado?

Segundo Bonitese (2007), não existem mais riscos ao patrimônio antes do *flashover*, que é a inflamação generalizada de todos os materiais combustíveis no ambiente do incêndio.

Dessa forma é importante que o combate ao incêndio seja iniciado pelos sistemas preventivos ou pela ação dos bombeiros quanto antes.

No caso dos prédios-caixão, por sua característica de ser uma edificação residencial com quatro pavimentos e menos de 250 m² de área por pavimento, exige-se como sistema preventivo pelo Código de Segurança contra Incêndio e Pânico (Coscip) apenas o uso de extintores; as escadas do tipo I, sendo dispensados alarmes, elevadores e sistemas de gás, sendo esse abastecimento feito por botijão de gás. Segundo Oliveira, Silva e Pires Sobrinho (2008), prédio-caixão tem esse nome em alusão sua forma como grande caixa. O que podemos observar nessa geometria é a ausência de compartimentação vertical na fachada. Embora não seja uma exclusividade das edificações em alvenaria resistente, essa característica geométrica pode proporcionar uma propagação vertical, ao atingir, por exemplo, uma cortina ou outro material combustível de uma janela aberta acima da edificação do incêndio, principalmente quando consideramos a propagação térmica por convecção.

2.2.1 Fatores que influenciam os incêndios

Dentre os fatores que influenciam o incêndio, estão os seguintes (SEITO et al., 2008):

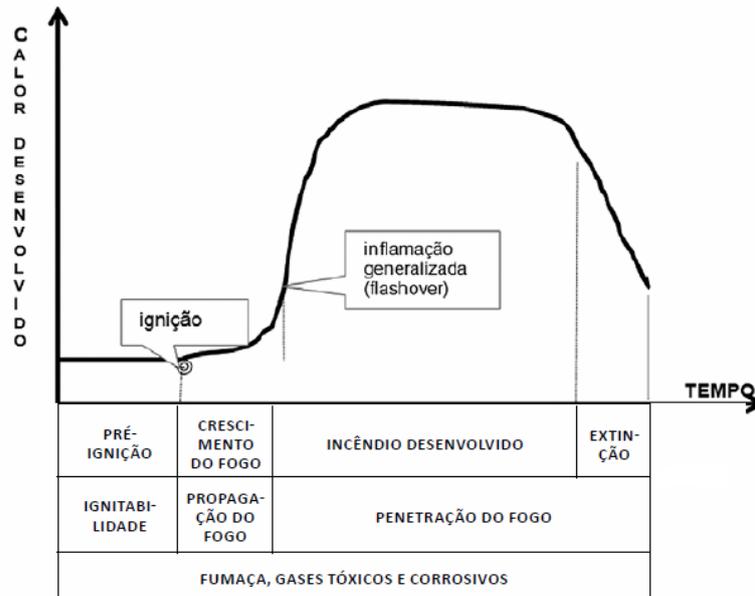
- a) forma geométrica e dimensões da sala ou local;
- b) superfície específica dos materiais combustíveis envolvidos;
- c) distribuição dos materiais combustíveis no local;
- d) quantidade de material combustível incorporado ou temporário;
- e) características de queima dos materiais envolvidos;
- f) local do início do incêndio no ambiente;
- g) condições climáticas (temperatura e umidade relativa);
- h) aberturas de ventilação do ambiente;
- i) aberturas entre ambientes para a propagação do incêndio;
- j) projeto arquitetônico do ambiente e/ou edifício;
- k) medidas de prevenção de incêndio existentes;
- l) medidas de proteção contra incêndio instaladas.

O incêndio inicia-se, na maioria, bem pequeno; apenas um princípio de incêndio. O crescimento dependerá do material que entra em ignição e onde ele se encontra, das

características do comportamento ao fogo dos materiais na proximidade do material em combustão e sua distribuição no ambiente.

Segundo Seito et al. (2008), a curva de evolução do incêndio celulósico na edificação tem três fases e quatro estágios (Figura 2):

Figura 2 – A evolução do incêndio celulósico na edificação



Fonte: Seito et al. (2008).

Fases:

- a) a primeira fase é o início do incêndio tendo-se um crescimento lento, em geral, de duração entre cinco a vinte minutos até a ignição.
- b) A ignição inicia a segunda fase, caracterizada pelas chamas que começam a crescer aquecendo o ambiente. Quando a temperatura do ambiente atinge em torno de 600 °C, todo o ambiente é tomado por gases e vapores combustíveis desenvolvidos na pirólise dos combustíveis sólidos. Havendo líquidos combustíveis, eles contribuirão com seus vapores, ocorrerá a inflamação generalizada (*flashover*) e o ambiente será tomado por grandes labaredas.
- c) A terceira fase caracteriza-se pela diminuição gradual da temperatura do ambiente e das chamas. Isso ocorre por exaurir o material combustível ou o comburente. No sistema de detecção, quando entra em funcionamento na primeira fase e se inicia o combate a incêndio, tem-se maior chance de extinguir o incêndio e minimizar os danos.

Estágios:

- a) Primeiro estágio, pré-ignição – Durante esse estágio, ocorre o abrasamento, em que a combustão é lenta, sem chama e produção de pouco calor, mas com potencial para preencher o compartimento com gases combustíveis e fumaça. Essa combustão pode ter a duração de algumas horas antes do aparecimento de chamas dependendo do tipo de material, por exemplo: serragem de madeira, pilhas de sacos de papel ou de fibras naturais, palhas, folhas secas, capim seco e alguns tipos de material sintético expandido (espuma plástica). Outra fase desse estágio é o chamejamento, que é a forma de combustão em que se pode observar as chamas e a fumaça. O desenvolvimento do calor e da fumaça é mais rápido que a combustão por abrasamento (SEITO et al., 2008).
- b) Segundo estágio, crescimento do incêndio – Ocorre a propagação do fogo para outros objetos adjacentes como móveis de decoração, revestimento sem tratamento da cobertura ou teto. A temperatura do cômodo aumentará diretamente com o desenvolvimento do calor dos materiais em combustão até valores próximos a de atingir a inflamação generalizada, *flashover*, que ocorre quando a temperatura da camada dos gases quentes no teto atinge as mais altas temperaturas (SEITO et al., 2008).
- c) Terceiro estágio, incêndio desenvolvido – Nessa fase as temperaturas do ambiente atingirão valores acima de 1.100°C. Todos os materiais combustíveis do ambiente entrarão em combustão. O incêndio se propagará por meio das aberturas internas, fachadas e coberturas da edificação. Deve-se considerar como constante a razão de consumo dos materiais combustíveis que compõem a carga de incêndio do compartimento (SEITO et al., 2008). A duração desse estágio está ligada à carga de incêndio que passa dos 80% para 30% do valor inicial. A razão de desenvolvimento do calor é diretamente proporcional ao consumo da massa do combustível e do seu efetivo poder calorífico, e pode ser considerado em regime permanente. O desenvolvimento do incêndio nesse estágio é controlado por dois mecanismos: ventilação e carga de incêndio.
 - c.1 Incêndio controlado pela ventilação – quando as aberturas de ventilação são insuficientes para a queima livre dos combustíveis, ou seja, falta o comburente, a queima no ambiente fica mais incompleta, gerando uma fumaça mais densa que sai pelas frestas das portas conduzindo, também, calor e combustível que só não queima em razão da falta de ar; a temperatura continua a subir, e quando ocorre

a quebra de uma janela ou abertura de uma porta de forma abrupta, poderá ocorrer o fenômeno conhecido por *backdraft*, que é uma explosão ambiental em virtude do encontro rápido do comburente que estava pobre no ambiente, com o combustível e o calor (SEITO, 2008).

- c.2 Incêndio controlado pela carga de incêndio – as aberturas de ventilação são suficientes, ou seja, existe ar suficiente para garantir a queima livre dos materiais que estão em combustão, portanto, o crescimento e a duração do incêndio só dependem das características do combustível e seu arranjo no ambiente.
- d) Quarto estágio, extinção do fogo – O incêndio diminuirá de intensidade na proporção que vai extinguindo-se o material combustível que está exposto ao incêndio. A duração da combustão no regime permanente é de trinta minutos a cento e oitenta minutos. Considera-se fim dessa fase quando a temperatura atinge valores abaixo de 2.000°C (SEITO et al., 2008).

2.2.2 A reação ao fogo e o sistema de segurança contra incêndio

Os requisitos funcionais a serem atendidos por um edifício seguro ligam-se à sequência de etapas de um incêndio, as quais se desenvolvem no seguinte fluxo: início do incêndio, crescimento do incêndio no local de origem, combate pelos sistemas existentes podendo extingui-lo, propagação para outros ambientes quando não controlado anteriormente, evacuação do edifício, propagação para outros edifícios e ruína parcial ou total do edifício.

Observando as etapas acima, indicam-se os requisitos funcionais dos edifícios para evitar os efeitos de cada etapa, consistindo em: dificultar a ocorrência do princípio de incêndio; ocorrido o princípio de incêndio, dificultar a ocorrência da inflamação generalizada do ambiente; possibilitar a extinção do incêndio no ambiente de origem antes que a inflamação generalizada ocorra; instalada a inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio, dificultar a propagação para outros ambientes; permitir a fuga dos usuários do edifício; dificultar a propagação do incêndio para edifícios adjacentes; manter o edifício íntegro, sem danos, sem ruína parcial ou total; permitir operações de natureza de combate ao fogo, resgate e salvamento de vítimas.

Segundo Seito et al. (2008), as medidas de prevenção e proteção contra incêndio, quando relacionadas com os requisitos funcionais visando à garantia de níveis adequados de segurança contra incêndio, são:

- a) “precaução” contra o início do incêndio;
- b) limitação do crescimento do incêndio;
- c) extinção inicial do incêndio;
- d) limitação da propagação do incêndio;
- e) evacuação segura do edifício;
- f) “precaução” contra a propagação do incêndio entre edifícios;
- g) “precaução” contra o colapso estrutural;
- h) rapidez, eficiência e segurança das operações relativas ao combate e resgate.

A precaução contra o incêndio constitui-se em medidas que se destinam a prevenir a ocorrência do início do incêndio. Já as medidas de proteção contra incêndio, são aquelas que visam à proteção da vida humana, da propriedade e dos bens materiais, dos danos causados pelo incêndio instalado no edifício. “As medidas de proteção se manifestam quando as medidas de prevenção falham, ocasionando o surgimento do incêndio.” (SEITO et al., 2008).

Segundo Seito et al. (2008), as principais medidas de prevenção e de proteção contra incêndio no âmbito do processo produtivo e do uso dos edifícios são:

- A limitação do crescimento do incêndio por meio do controle da quantidade de materiais combustíveis incorporados aos elementos construtivos.
- Exigências para dificultar a inflamação generalizada e limitar a fumaça. A inflamação generalizada é preponderantemente determinada pela natureza dos materiais presentes nas superfícies dos elementos construtivos. Estes podem sustentar a combustão e propagar o fogo. Os materiais de revestimento, acabamento e isolamento termo acústico empregados na face interna dos sistemas ou elementos que compõem a edificação devem ter as características de reação ao fogo controlado, incluindo-se a incombustibilidade, propagação superficial de chamas e geração de fumaça.
- Extinção inicial do incêndio por meio de: medidas durante o processo produtivo como provisão de equipamentos portáteis; provisão de sistema de hidrantes e mangotinhos; provisão de sistema de chuveiros automáticos; provisão de sistema de detecção e alarme; provisão de sinalização de emergência; após o início do uso da edificação, a manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos de proteção destinados à extinção inicial do incêndio; elaboração de planos para a extinção inicial do incêndio; treinamento dos usuários para efetuar o combate inicial do incêndio; formação e treinamento de brigadas de incêndio.

- Evacuação segura do edifício mediante provisão de sistema de detecção e alarme; provisão de sistema de comunicação de emergência; provisão de rotas de fuga seguras; provisão do sistema de iluminação de emergência; provisão do sistema do controle do movimento da fumaça; controle das características de reação ao fogo dos materiais incorporados aos elementos construtivos.

Considerando-se a reação ao fogo dos materiais combustíveis utilizados como revestimento e acabamento de paredes, tetos e pisos, bem como daqueles incorporados aos elementos construtivos, deve-se observar que ela aparece no sistema de segurança contra incêndio entre as medidas relativas ao processo produtivo do edifício. Muito do controle das características de reação ao fogo dos materiais incorporados aos elementos construtivos, no processo produtivo do edifício, está associado à limitação do crescimento do incêndio, à limitação da propagação do incêndio, à evacuação segura do edifício e à precaução contra a propagação do incêndio entre edifícios. Já no processo de uso do edifício, a reação ao fogo dos materiais está diretamente vinculada ao controle de materiais trazidos para o interior do edifício e à disposição no ambiente.

2.3 Resistência ao fogo

Dentre os materiais que compõem os prédios tipo caixão, as paredes que têm blocos cerâmicos contam com um material que tem características importantes para um material de construção, tais como a resistência, a durabilidade, o isolamento térmico e acústico. Para o presente estudo, destacamos também suas características de desempenho ao fogo; sendo a cerâmica um material incombustível, não propaga chamas e não produz fumaça ou gases tóxicos durante o incêndio (ROMAN, 1991).

Esses aspectos dos blocos cerâmicos nos levam a considerar que a parede constituída por eles tenha bom desempenho ao fogo, por ser constituídas essencialmente por esse material. Segundo a NBR 14432 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2001), é definida como a propriedade de um elemento de construção de resistir à ação do fogo por determinado período de tempo, mantendo sua segurança estrutural, estanqueidade e isolamento, onde aplicável.

As paredes de uma edificação são importantes na compartimentação horizontal do fogo, colaborando com o confinamento do incêndio dentro do cômodo que ela delimita, combatendo tanto a propagação do fogo como da fumaça até o limite da sua resistência, estanqueidade ou isolamento.

O incêndio de apenas quinze minutos foi suficiente para causar fissuras em todos os pavimentos do Edifício Petit Village. As fissuras comprometeram também a estanqueidade da parede embora a parede que propagou o fogo e fumaça naquele incêndio fosse externa. Não causou maiores problemas.

Esse caso chama a atenção de que é importante a realização de mais estudos para verificação da resistência ao fogo dessas paredes, tanto de vedação como de função estrutural, submetendo modelos a altas temperaturas, mas também sobre carga e em situação de serviço, como instalações embutidas, carga de incêndio compatível com a edificação, dentre outras circunstâncias que aproximem os ensaios da realidade do ambiente construído em situação de incêndio.

2.3.1 Compartimentação horizontal e vertical

A compartimentação de uma edificação é proporcionada por uso de componentes da edificação resistentes ao fogo, que, por suas características, podem separar determinados locais da construção, para evitar ou minimizar a propagação do fogo, calor e gases aquecidos (RIGÃO, 2012).

A ação do Corpo de Bombeiros em um incêndio costuma ser ensinada pela sigla Sicer (ou seja, Salvamento, Isolamento, Confinamento, Extinção e Rescaldo), que segue um grau de prioridade nas ações. A compartimentação de uma edificação colabora para todas essas fases, evitando que pequenos incêndios tornem-se incêndios de maiores proporções por isolá-los dos outros compartimentos, e confinar o incêndio aos materiais que estão delimitados, e dessa forma facilitar o salvamento, a evacuação, a extinção e o rescaldo.

Também proporciona o abandono seguro dos ocupantes de uma edificação por meio de rotas de fuga e saídas de emergência, bem como o acesso das equipes de salvamento e combate ao fogo ao interior do edifício (ROSEMANN, 2011).

O papel da compartimentação é imprescindível na segurança contra incêndios e sua participação deve ser considerada nos projetos de incêndio, mas também de arquitetura e estrutural, classificada como uma medida de proteção passiva (ONO, 2007).

Existem duas categorias de compartimentação: a compartimentação horizontal e a compartimentação vertical. A compartimentação horizontal visa evitar a propagação do incêndio no plano horizontal. Os elementos utilizados são justamente as paredes divisórias, além das esquadrias por meio de portas resistentes ao fogo e corta-fogo, dentre outros elementos (SEITO et al., 2008).

As características desses elementos construtivos devem garantir pelo tempo necessário o isolamento térmico e a estanqueidade mediante dimensões mínimas necessárias. As paredes de alvenaria construídas com blocos cerâmicos podem ser utilizadas como paredes corta-fogo, atendendo de forma satisfatória à função de compartimentação horizontal (ONO, 2007).

A compartimentação vertical é uma medida de proteção que visa evitar a propagação do incêndio no plano vertical, entre pavimentos. A atuação dos seus componentes resistentes ao fogo é interna e externa à edificação (SEITO et al., 2008).

As lajes são os principais componentes na atuação interna. A estanqueidade delas tem de ser garantida, observando todos os componentes que atravessam sua estrutura como as instalações, que têm de ser protegidas por materiais resistentes ao fogo.

No exterior, as esquadrias atuam nesse sentido com elementos como beirais, marquises, platibanda, afastando o fogo de cortinas ou outros elementos de fácil combustão que estejam próximos às janelas.

2.3.2 Resistência ao fogo das paredes de alvenaria estrutural

No caso, como a maioria das paredes dos edifícios de prédios-caixão exerce função autoportante e também de suportar as cargas das lajes e pavimentos acima dela, é importante observar o que se espera de uma parede estrutural.

Dentre as características apontadas pelas diversas normas de ensaios de resistência ao fogo estão compreendidos três níveis de segurança: adequação estrutural, estanqueidade e isolamento térmico.

A adequação estrutural está ligada à resistência mecânica e quanto ela permanece suficiente para desempenhar sua função estrutural enquanto está submetida à ação térmica padrão do ensaio de resistência ao fogo. A estanqueidade está atrelada ao isolamento que a parede exerce enquanto está totalmente íntegra, não permitindo a propagação do incêndio por eventuais fissuras pela passagem de chamas, e gases quentes, e também da fumaça que afeta diretamente as rotas de fuga e a sobrevivência das pessoas no interior da edificação.

O isolamento térmico consiste em promover isolamento da temperatura para os ambientes circunvizinhos pelo tempo que durar a resistência ao fogo a uma temperatura predeterminada. Tal característica previne a propagação de incêndio e contribui para a preservação das condições da sobrevivência em caso de sinistro de incêndio. Esses níveis de segurança dependem das características físicas dos materiais, por exemplo, a condutibilidade

térmica e a porosidade, o peso próprio, dentre outras como as características estruturais, como a esbeltez e as restrições existentes (ROSEMANN, 2011).

As paredes dos prédios-caixão são revestidas por chapisco, emboço e reboco que, conforme foi estudado por Araújo Neto (2006) e Mota (2006), participam da resistência a compressão de forma importante nesses prédios, de forma que, para que essas paredes sejam avaliadas quanto à sua resistência ao fogo, elas devem observar no critério de adequação estrutural a influência do revestimento na resistência mecânica, especialmente na ocorrência de *spalling*, que pode ocasionar não só a perda do revestimento, como também a perda de parte do bloco por arrancamento.

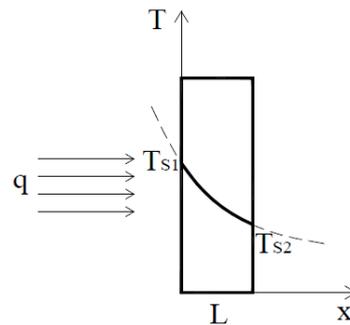
A transferência de calor na parede de alvenaria em uma situação de incêndio é realizada pelas três formas conhecidas: condução, convecção e irradiação. Após o calor ser transmitido pelas camadas de revestimento da face exposta ao fogo por irradiação, convecção e condução, ele é transmitido por condução na face do bloco. Nos septos, o calor é transmitido por condução. Na região de vazios internos dos blocos, novamente haverá transmissão de calor por convecção e irradiação de forma diversa na região dos septos dos blocos, onde a expansão dos gases constituídos pelo ar e vapor d'água proveniente da umidade presente nos poros dos materiais ali confinados podem ser a causa das fissuras e deslocamento observados em situação de incêndio. Esse processo de transmissão de calor é bastante complexo e pode promover reações químicas exotérmicas e endotérmicas, que podem alterar a constituição da argamassa.

No caso da cerâmica que constitui os blocos, a temperatura alcançada nos incêndios, que em geral superam os 600°C, mas não alcançam os 1.100°C, podem contribuir para o melhoramento da resistência mecânica em razão de serem produzidos em forno entre 800°C e 900°C. O amolecimento e a perda da resistência mecânica só são esperados em temperaturas não alcançadas em incêndios (REI, 1999).

Em situação de incêndio, ocorre a mudança de fase da umidade presente nos materiais, onde ocorre o transporte de massa pelo meio poroso parcialmente saturado, afetando a transferência de calor.

Segundo Rosemann (2011), a transmissão de calor que ocorre no interior da parede tem uma distribuição de temperaturas, assume característica não linear conforme a Figura 3.

Figura 3 – Distribuição de temperatura no interior da parede



Fonte: Rosemann (2011).

A curva de distribuição de temperatura é função da espessura da parede e a taxa de aquecimento, onde q =calor; T_{s1} = Temperatura na face exposta ao calor; T_{s2} = temperatura na face externa ao calor; L é a espessura da parede e T é a temperatura (ROSEMANN, 2011).

A estabilidade estrutural é um dos fatores da resistência ao fogo bastante importante para prédio tipo caixão em vista da função estrutural das suas paredes; embora observemos que a temperatura do incêndio pode vir a aumentar a resistência mecânica do material cerâmico dos blocos, eles podem ter suas características prejudicadas de outras formas em conjunto com os outros elementos da alvenaria, como as argamassas dos revestimentos e das juntas de assentamento têm alterações da resistência, apresentando fissuramentos e deslocamentos importantes na faixa de variação de temperatura em situação de incêndio.

Portanto, a degradação desses materiais, a arqueadura, pelo gradiente térmico ao longo da espessura da parede, provoca deformações de ordem diferente, e atrelados às restrições, à geometria da parede e à presença de excentricidades, afetam diretamente a estabilidade da parede (RIGÃO, 2012).

A exposição ao fogo ocorre em uma das faces da parede, provoca um gradiente térmico na espessura da parede de forma que a dilatação térmica causará um encurvamento da parede na direção do fogo em consequência das maiores temperaturas alcançadas no ambiente incendiado. Essa deformação provoca um aumento da excentricidade em relação ao eixo das cargas aplicadas, gerando momentos de segunda ordem, e por os materiais constituintes da parede de alvenaria terem bom desempenho a essas solicitações, pode resultar em um colapso estrutural da parede.

Dentre as medidas adotadas na alvenaria estrutural para minimizar os efeitos de segunda ordem, estão a redução da esbeltez da parede, que aumenta a sua estabilidade, e a previsão de suportes ou pilares ao longo dos bordos das paredes (ROSEMANN, 2011).

3 EFEITOS DO INCÊNDIO NA ALVENARIA ESTUDADA

A edificação escolhida para estudo foi um edifício no bairro das Graças, com doze pavimentos, dois apartamentos por andar e estrutura em concreto armado. As lajes de vigotas pré-moldadas, com blocos de concreto. As paredes de fachada e divisórias são constituídas de blocos cerâmicos de oito furos assentados com argamassa de cimento e areia; as juntas horizontais e verticais estavam preenchidas com argamassa. O revestimento é constituído de chapisco e reboco executado com argamassa de cimento, areia e saibro, internamente pintada e externamente revestida com placas cerâmicas (OLIVEIRA, 2014).

O incêndio ocorreu em fevereiro de 2014, no período aproximado das 12 horas às 13 horas na suíte do apartamento 902. As chamas atingiram parcialmente o apartamento 1.002, os gases e a fumaça atingiram os apartamentos 802 e 1.102, todos pela região da fachada no perímetro da janela (OLIVEIRA, 2014). Na Fotografia 9, mostra-se a imagem do incêndio visto da fachada.

Fotografia 3 – Incêndio no ap. 902 com reflexo nos apto. 802, 1.002 e 1.102



Fonte: Campos (2014).

Segundo informações do Corpo de Bombeiros, o tempo para que a primeira viatura chegasse ao local foi de quinze minutos, o horário de aviso foi 12h30min e de chegada ao local foi 12h45min; o tempo do serviço foi de duas horas e trinta e cinco minutos incluindo o combate às chamas e o rescaldo (CBMPE, 2014). O tempo informado para realizar a extinção do incêndio foi de quarenta minutos conforme relatório de incêndio constante no Anexo B. Uma das dificuldades observadas para a extinção do incêndio foi que os hidrantes da edificação não estavam funcionando, dessa forma houve a necessidade de estabelecer 12 seções de mangueira, com aproximadamente 15 metros cada uma, desde o térreo até o apartamento, com a extensão total de 180 metros. Também não se encontraram extintores de incêndio em alguns pavimentos, que poderiam ter sido usados para extinguir o incêndio quando ainda se encontrava no início. Registrou-se um gasto de 10.000 litros d'água, o equivalente a dois Auto Bombas Tanque (ABT) para extinguir um incêndio confinado em 20 m² aproximadamente, o que pode ser considerado um uso excessivo de água.

Conforme informações do Instituto de Criminalística de Pernambuco (ICPE, 2014) por meio do Laudo Pericial, a causa mais provável do incêndio teria sido um curto-circuito ocorrido no chuveiro elétrico situado no banheiro anexo ao quarto. A propagação para o quarto teria sido inicialmente por um guarda-roupa, que estava em contato com a parede divisória do banheiro, e a porta que separava os dois ambientes, ambos de madeira. Contribuíram ainda para a carga de incêndio os materiais de duas camas, três colchões, estantes e roupas (CBMPE, 2014).

As paredes que sofreram mais intensamente as ações do incêndio foram as mais próximas do local onde se situava o guarda-roupa e a cama. O calor proporcionado pelo incêndio atinge as paredes mediante as chamas, convecção dos gases resultantes da queima incompleta dos materiais combustíveis classe "A" presentes no ambiente, e por irradiação.

Com a elevação da temperatura nos componentes da parede, a água livre existente nas argamassas de revestimento e blocos se transforma em vapor. Nos elementos mais porosos o vapor ali existente expande-se com o aumento da temperatura, a pressão interna também se eleva e, conseqüentemente, forças normais à superfície no sentido de expulsar a camada de argamassa de reboco e de chapisco.

Utilizou-se no combate ao incêndio mangueiras pressurizadas da viatura do Corpo de Bombeiros, que é equipada com bomba. Essas mangueiras lançam água ao ambiente incendiado por duas principais formas de descarga, o jato compacto ou sólido e o jato de névoa ou neblina, proporcionadas por esguichos reguláveis utilizados pelos bombeiros. O jato sólido tem por característica ser concentrado e forte, sendo sua pressão capaz de destruir parte

das paredes, principalmente o revestimento, mas seu objetivo é atingir o foco do fogo para extinguir o incêndio. Eventualmente, esse jato vai atingir as paredes promovendo o seu desgaste.

O jato de neblina é uma forma de descarga que lança água em névoa ou neblina no ambiente sinistrado. A água lançada nessa neblina absorve o calor do ambiente, e cerca de 90% transforma-se em vapor. Esse jato tem efeito de resfriamento e de abafamento (SEITO et al., 2008).

A água utilizada no combate é absorvida principalmente pelo revestimento de argamassa, que é poroso, e rapidamente transformada em vapor pela alta temperatura alcançada no incêndio com a duração que foi observada. Com a transformação em vapor, o aumento de volume nos poros dos materiais da parede provoca uma pressão resultante significativa de dentro para fora; resultará em uma força de arrancamento para as superfícies mais fracas do revestimento e do chapisco que se transfere também às capas externas dos blocos que ficarão tracionados perpendicularmente à superfície da parede pela mesma força. As Fotografias de 10 a 12 mostram os danos nas paredes.

Fotografia 4 – Parede longitudinal externa do quarto, trecho próximo da parede transversal externa, com danos no reboco, argamassa de assentamento e blocos



Fonte: Oliveira (2014).

Fotografia 5 – Parede divisória do banheiro



Fonte: Oliveira (2014).

Fotografia 6 – Parede longitudinal interna: dano nas argamassas de assentamento e de revestimento



Fonte: Oliveira (2014).

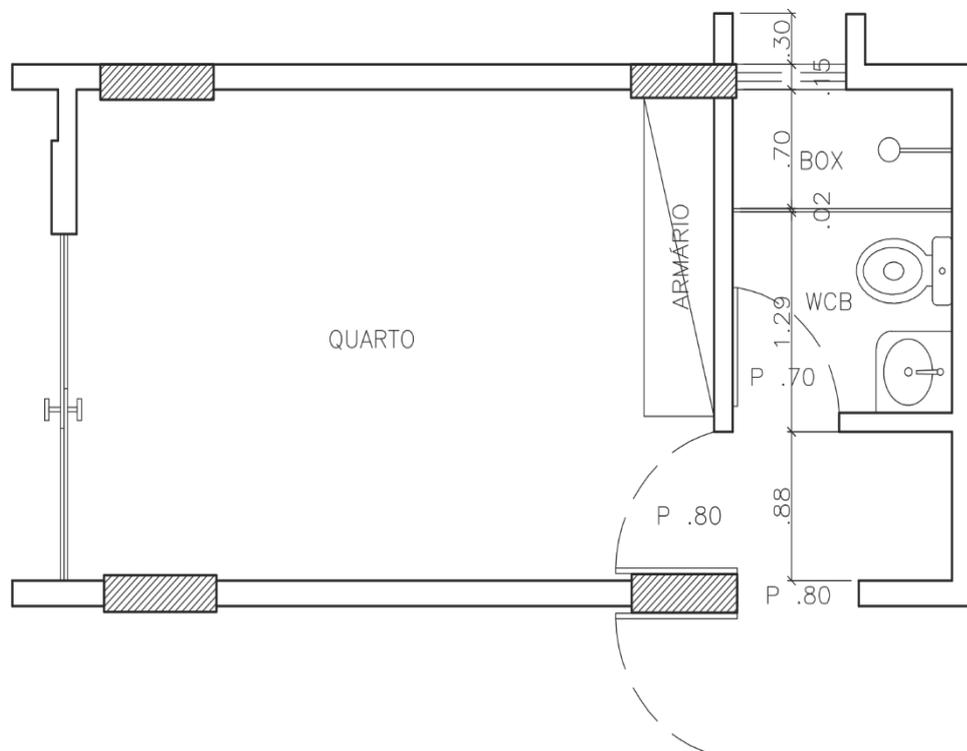
Sob a ação dessa força, poderá haver ruptura da região mais frágil da parede. Poderá ocorrer:

- (i) fragmentação do reboco;
- (ii) ruptura das ligações reboco/chapisco;
- (iii) ruptura na ligação chapisco/bloco;

- (iv) arrancamento do chapisco com desprendimento de partes das placas do bloco que seguram o chapisco;
- (v) ruptura dos septos que seguram a lâmina do bloco que está em contato com o chapisco, voltada para a área onde se desenvolveu o incêndio. Embora menos frequente, observa-se que, em alguns casos, a lâmina central também foi fragilizada, sendo identificados furos resultantes de pipocamento.

Na Figura 5, apresenta-se o local onde ocorreu o incêndio na cor cinza em planta no cômodo onde houve maior dano:

Figura 5 – Planta baixa do pavimento tipo, projeto arquitetônico: destaque para o quarto incendiado



Fonte: O autor, 2015.

Tais danos são derivados do efeito da força de arrancamento ocorrida no chapisco e no revestimento que tracionaram o septo mais externo do bloco, com espessura média de 7 mm, a variação de temperatura naquela região do bloco propriamente dito, que a princípio resistiria às altas temperaturas do incêndio, assentindo no que Rei (1999, p. 178) afirma:

Os materiais cerâmicos de barro, sendo cozidos pelo menos a 900°C, sofrerão, se aquecidos até temperaturas da ordem de 1000 a 1.100°C, melhoria da sua resistência mecânica. Temperaturas capazes de provocar o

seu ‘amolecimento’ sob carga, não são susceptíveis de serem atingidas num incêndio de características ‘normais’.

Não se identificaram trincas ou fissuras nas nervuras da laje. Isso se explica pelo fato de as nervuras, que são artefatos de concreto pré-moldado, terem superfícies lisas em relação aos blocos de concreto e a argamassa cimentícia de revestimento ser pouco porosa e armada longitudinalmente.

Os danos verificados na laje do teto são motivados pelos mesmos mecanismos que danificaram as paredes, anteriormente descritos, tendo o agravante da sua posição, pois pelo efeito da convecção dos gases produzidos no incêndio a região mais próxima ao teto torna-se a região mais quente do ambiente.

Os materiais construtivos do teto têm também maior facilidade de queda pela gravidade enquanto deformado termicamente, e a maior porosidade dos blocos de concreto em relação aos blocos cerâmicos, o que permite que a penetração de água utilizada no combate ao incêndio promova o deslocamento do revestimento do teto junto do bloco. Há de se considerar ainda a frágil aderência das nervuras com o capeamento que também facilitou a passagem da água através da laje. As inspeções efetuadas não identificaram danos aparentes nas vigotas pré-moldadas, que é o elemento estrutural mais importante a ser observado. Os blocos de composição da laje tipo pré-moldada não têm função estrutural, sendo utilizados como forma para o capeamento, isolante térmico e acústico. Detalhes podem ser observados nas Fotografias 13 a 19.

Fotografia 7 – Laje do teto no apartamento 902: trinca paralela às nervuras



Fonte: Oliveira (2014).

Fotografia 8 – Danos na argamassa de revestimento e blocos



Fonte: Oliveira (2014).

Fotografia 9 – Laje do teto no apartamento 902: trinca paralela às nervuras, dano na argamassa de revestimento composta de cimento, saibro e areia e nos blocos de concreto



Fonte: Oliveira (2014).

Fotografia 10 – Laje do teto no apartamento 902: trinca paralela às nervuras, dano na argamassa de revestimento composta de cimento, saibro e areia e nos blocos de concreto



Fonte: Oliveira (2014).

Fotografia 11 – Laje do teto no apartamento 902: danos na argamassa de revestimento composta de cimento, saibro e areia e nos blocos de concreto



Fonte: Oliveira (2014).

Fotografia 12 – Laje do teto no apartamento 902: danos na argamassa de revestimento composta de cimento, saibro e areia e nos blocos de concreto



Fonte: Oliveira (2014).

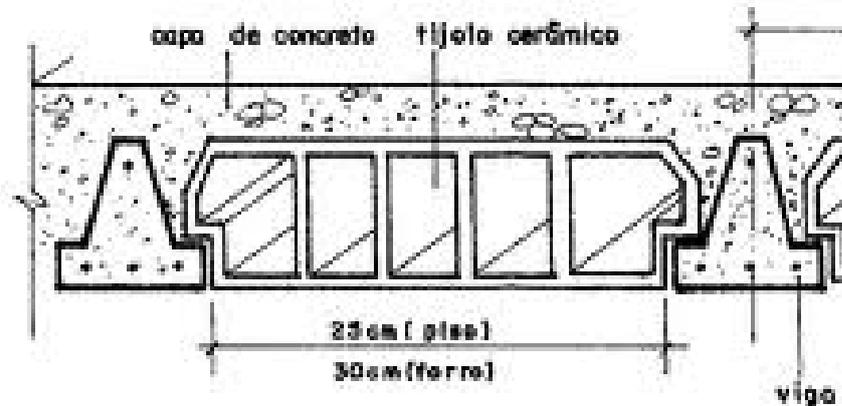
Fotografia 13 – Laje do teto no apartamento 902: danos na argamassa de revestimento e nos blocos de concreto



Fonte: Oliveira, (2014).

Na Figura 6, observam-se os elementos da laje pré-moldada comum, semelhante à utilizada em edifício que tem blocos de concreto.

Figura 5 – Elementos da laje pré-moldada comum, podendo o bloco ser cerâmico, de concreto ou de EPS (Isopor)



Fonte: Disponível em: <<http://construcaociviltips.blogspot.com.br/>>, 2014.

Como o aviso do incêndio foi às 12h30min, começou antes desse horário, e a chegada do Corpo de Bombeiros foi às 12h45min; somados ainda aos quarenta minutos de combate, que envolviam lançar 180 metros de mangueira pelas escadas dos 10 pavimentos, é possível inferir que o incêndio durou aproximadamente quarenta minutos até que o primeiro jato d'água fosse lançado, um total de sessenta minutos de chamas.

3.1 Outros danos observados

Nesta seção destacamos alguns danos ocasionados durante o incêndio além dos já apresentados.

3.1.1 Danos no revestimento cerâmico do piso

Nas visitas efetuadas, o piso do quarto onde se ocorreu o incêndio estava coberto de escombros. Na última visita, um trecho da área onde se encontrava a cama estava descoberto mostrando as placas cerâmicas à vista. Ao se percutir as placas, elas mostravam som cavo, indicativo de que, com a elevada temperatura atingida, o revestimento cerâmico soltou-se da camada de regularização do piso.

3.1.2 Danos no revestimento cerâmico das fachadas

Constataram-se danos no revestimento cerâmico situado no entorno da janela 902 e 1.002. A região situada acima da janela teve contato direto com as chamas, havendo indicativos de se ter a ligação com a argamassa de revestimento fragilizada.

3.1.3 Danos nas esquadrias

A janela de alumínio situada no quarto desse apartamento foi inteiramente destruída em decorrência dos esforços decorrentes das deformações sofridas sob a ação térmica.

3.1.4 Danos nos capiaços

Os capiaços da janela do quarto foram inteiramente destruídos (Fotografias 20 a 23). Esses danos se estendem ao peitoril da janela. Em consequência da alta temperatura desenvolvida, houve também danos na argamassa de revestimento afetando as cerâmicas sobre ela aplicadas.

Fotografia 20 – Capiáculos da janela e peitoril danificados pelo incêndio



Fonte: Oliveira (2014).

Fotografia 21 – Capiços da janela e peitoril danificados pelo incêndio



Fonte: Oliveira (2014).

Fotografia 14 – Capiços da janela e cerâmica da fachada



Fonte: Oliveira (2014).

Fotografia 15 – Capiços da janela e cerâmica da fachada



Fonte: Oliveira (2014).

4 CARACTERÍSTICAS DO PRÉDIO TÍPICO DE ALVENARIA RESISTENTE

As características do prédio tipo caixão típicos estão sendo apresentadas para aplicação dos efeitos do incêndio levantado no estudo de caso. Esses edifícios foram construídos, principalmente como moradia popular, na década de 1970 com a criação do Banco Nacional de Habitação (OLIVEIRA; PIRES SOBRINHO, SILVA, 2012). Na década de 1980, com a redução do poder aquisitivo do mercado consumidor desse tipo de edificação, que já usava blocos de vedação com finalidade estrutural, havia pouco controle de qualidade, e sem uso de norma técnica específica, que não existia, passou-se a retirar elementos importantes para a edificação sobre a justificativa de reduzir custo e viabilizar essas unidades (OLIVEIRA; PIRES SOBRINHO, SILVA, 2012). Deixaram de ser executadas cintas, pilaretes, vergas e contravergas. Passaram a utilizar o caixão vazado, que é a região entre a laje de piso do térreo e o solo.

4.1 Características construtivas

A laje mais utilizada foi a nervurada do tipo pré-moldada, com uso de blocos tanto cerâmico como de concreto, sendo o capeamento de concreto. A execução dessas lajes foi diretamente sobre as paredes ou, quando existente, sobre cintas executadas no coroamento das paredes. Vão máximo utilizado em torno de 3,10 m. O uso desse tipo de laje foi observado no pavimento térreo quando da ocorrência de “caixão vazio” (OLIVEIRA; PIRES SOBRINHO, SILVA, 2012).

O embasamento é tanto em alvenaria simples como dobrada, acompanhando as paredes do pavimento tipo, assentadas sobre sapata corrida em concreto armado ou elemento de fundação pré-moldado e sobre camada de concreto magro (OLIVEIRA; PIRES SOBRINHO, SILVA, 2012).

As paredes são executadas com blocos de concreto e principalmente com blocos cerâmicos, com juntas de argamassa composta de cimento e areia, também observado o uso de saibro ou cal. Os blocos têm dimensão de 9x19x19 cm, de forma que a parede fica com espessura de 9 cm, para um pé direito de 2,60 metros. O revestimento é constituído de argamassa e aplicado em ambos os lados. A caixa da escada serve de estrutura para caixa-d'água; em geral, foi executada com estrutura de pórtico em concreto armado (OLIVEIRA; PIRES SOBRINHO, SILVA, 2012).

As unidades têm planta baixa convencional compostas por 2 quartos, 1 banheiro, área de serviço e sala. Os blocos geralmente têm 4 pavimentos sendo cada um com 4 apartamentos inclusive o térreo. No total, cada prédio tem 16 unidades.

4.2 Cargas utilizadas nas análises

As cargas utilizadas foram determinadas utilizando a NBR 6120 (ABNT, 1980). Conforme informado, boa parte dos edifícios de prédio tipo caixão não tem cintas, vigas, pilares com exceção da região da caixa da escada. Adotaremos para o cálculo as lajes nervuradas com vigotas pré-moldadas de concreto armado e bloco de concreto, altura 12 cm, considerando o capeamento. O bloco das paredes considerado será o bloco cerâmico com dimensões 19x19x19 cm. O revestimento das paredes de 3 cm contando com o chapisco em ambos os lados.

4.2.1 Cargas permanentes

As cargas permanentes adotadas são da NBR 6120 ou composição dos materiais da norma. Seguem abaixo:

- Peso próprio das lajes = 2 kN/m²;
- Peso próprio da parede com revestimento de 3 cm cada lado = 13 kN/m³;
- Coberta com estrutura de madeira e telha colonial 1,20 kN/m²;
- Peso específico do concreto armado 25 kN/m³;
- Peso específico do concreto simples 24 kN/m³;
- Peso específico do tijolo furado 13 kN/m³;
- Revestimento de piso de cerâmica 0,85 kN/m²;
- Reboco de laje 0,25 kN/m².

4.2.2 Cargas acidentais

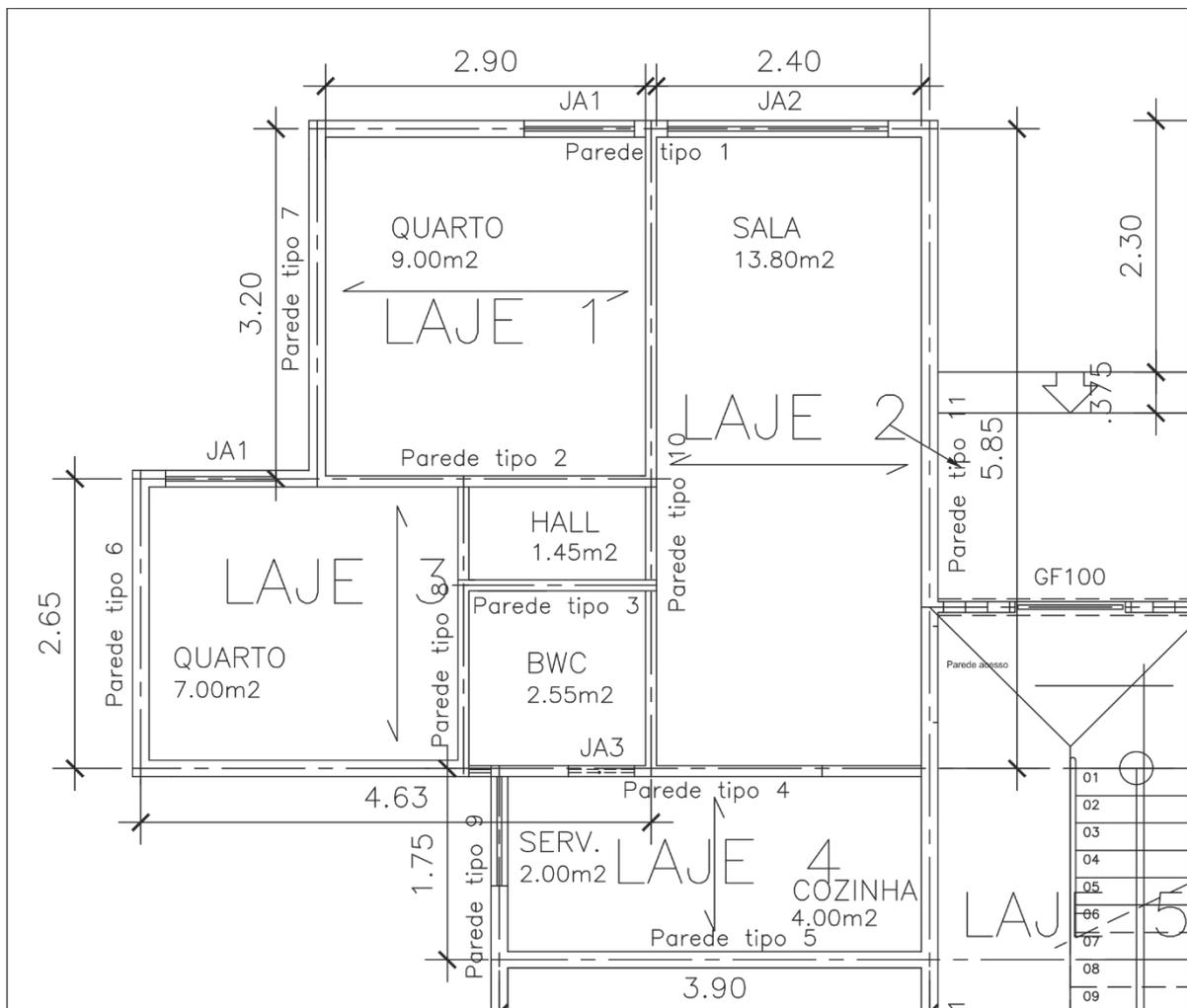
As cargas acidentais adotadas são as de edifício residencial:

- Sobrecarga acidental sala, quarto e corredor = 1,5 kN/m²;
- Sobrecarga acidental cozinha e área de serviço 2 kN/m²;

4.2.3 Carga nas lajes

As lajes pré-moldadas do tipo nervurada encontradas nos prédios tipo caixão são compostas de vigotas simplesmente apoiadas em ambos os lados das paredes que delimitam seu vão, conforme a Figura 7. Isso importa que os esforços à flexão são essencialmente positivos, e a distribuição de cargas para as paredes é dividida igualmente para ambas as paredes do vão.

Figura 6 – Detalhe da identificação das paredes e lajes



Fonte: O autor, 2016.

4.2.4 Parede mais carregada

A análise realizada nesta dissertação visou observar as maiores cargas sobre as paredes onde o incêndio pode acontecer. O térreo é o local mais carregado, com estrutura de alvenaria resistente.

Na Tabela 1, apresenta-se a distribuição da carga aplicada sobre os elementos presentes na paredinha típica com dimensões 90x600x1200 mm³, chapisco 5 mm e revestimento de 15mm em cada face, obtida em uma simulação realizada utilizando os programas de elementos finitos ANSYS 10.0 para análises lineares e DIANA 9.2, para análises não lineares, que tinham por objetivo simular o ensaio de resistência à compressão (OLIVEIRA; PIRES SOBRINHO, SILVA, 2012):

Tabela 1 – Distribuição da carga aplicada em uma paredinha típica: análises numéricas

Material	Carga Atuante (kN)	% da Carga Total
Cerâmica	45,55	42,18
Rejunte	1,53	1,42
Chapisco	38,28	35,44
Revestimento	22,64	20,96

Fonte: Oliveira, Pires Sobrinho e Silva (2012).

O rejunte citado na Tabela 1 corresponde à argamassa de assentamento e às juntas verticais das paredes. Os resultados obtidos nesta pesquisa tiveram uma boa concordância entre os mecanismos de ruptura nos ensaios experimentais e as análises numéricas realizadas.

Pela influência dos revestimentos na resistência à compressão, conforme pode ser observado na Tabela 1, em que a carga distribuída sobre o chapisco e o revestimento respondem pela maioria da carga aplicada em relação aos demais elementos, foi considerada nos cálculos a espessura dos revestimentos, que vão majorar a resistência da parede a aumentar o coeficiente de redução da esbeltez.

O revestimento por norma não é considerado para efeito de cálculo, deve ter resistência menor do que o dos blocos em razão da fragilidade dos blocos. Isso acaba, por vezes, não ocorrendo nos prédios de alvenaria resistente. Pelo exposto, adotou-se a parede contando com o revestimento e o chapisco para efeito do cálculo dos coeficientes de redução de área e do grau de esbeltez.

As Tabelas 2 a 6 apresentam as cargas que atuam nas lajes e distribuídas e aplicadas sobre as paredes.

Tabela 2 – Carga da laje 1 distribuída sobre as paredes

Laje 1				
Parede carregada	1	2	7	10
Área de influência (m ²)	0,00	0,00	4,64	4,64
Comprimento parede (m)	2,90	3,20	3,20	2,90
Carga da cobertura (kN/m)	0,00	0,00	6,73	7,42
Carga por laje 3°,2°,1° (KN/m)	0,00	0,00	6,61	7,30
Peso próprio parede 2,60m (KN/m)	5,20	5,20	5,20	5,20

Fonte: O autor, 2016.

Tabela 3 – Carga da laje 2 distribuída sobre as paredes

Laje 2				
Parede carregada	11	4	1	10
Área de influência (m ²)	8,46	0,00	0,00	8,46
Comprimento parede (m)	5,85	2,53	2,53	5,85
Carga da cobertura (kN/m)	6,71	0,00	0,00	6,71
Carga por laje 3°,2°,1° (KN/m)	6,59	0,00	0,00	6,59
Peso próprio parede 2,60m (KN/m)	5,20	5,20	5,20	5,20

Fonte: O autor, 2016.

Tabela 4 – Carga da laje 3 distribuída sobre as paredes

Laje 3				
Parede carregada	2	4	6	10
Área de influência (m ²)	6,13	6,13		
Comprimento parede (m)	4,63	4,63	2,65	2,65
Carga da cobertura (kN/m)	6,14	6,14	0,00	0,00
Carga por laje 3°,2°,1° (KN/m)	6,04	6,04	0,00	0,00
Peso próprio parede 2,60m (KN/m)	5,20	5,20	5,20	5,20

Fonte: O autor, 2016.

Tabela 5 – Carga da laje 4 distribuída sobre as paredes

Laje 4				
Parede carregada	11	4	5	9
Área de influência (m ²)	0	3,41	3,41	0
Comprimento parede (m)	1,75	3,9	3,9	1,75
Carga da cobertura (kN/m)	0,00	4,06	4,06	0,00
Carga por laje 3°,2°,1° (KN/m)	0,00	4,42	4,42	0,00
Peso próprio parede 2,60m (KN/m)	5,20	5,20	5,20	5,20

Fonte: O autor, 2016.

Tabela 6 – Resumo das cargas do pavimento térreo

Cargas do pavimento térreo							
Paredes	1	2	4	5	7	10	11
Carga Atuante (kN)	15,60	39,86	57,16	50,21	42,17	83,20	79,05

Esforço normal de cálculo da parede 10 (de maior carga):

$$N_k = 83,2 \text{ kN} - N_{rd} = \gamma_f \cdot N_k = 1,4 \times 83,2$$

$$N_{rd} = 1,4 \times 83,2 = 116,48 \text{ kN}$$

$$\lambda = \text{esbeltez} = h_{ef}/t_{ef}$$

$$= 2,60\text{m} / 0,15\text{m} = 17,33 \text{ (considerando o revestimento espessura)}$$

$$R = \text{Redução} = \left[1 - \left(\frac{17,1133}{40} \right)^3 \right] = 0,92$$

$$A = 1 \times 0,15 = 0,15 \text{ m}^2.$$

A inequação abaixo terá de ser resolvida para verificar qual a resistência do prisma necessária para suportar a carga atuante. Essa expressão é da norma de projeto de Alvenaria Estrutural, a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), que está sendo utilizada por não haver uma norma própria para Alvenaria Resistente; por ela seguir parâmetros de entrada semelhantes, está sendo utilizada para avaliar a condição da estrutura em estudo.

$$N_{rd} = N_k \times \gamma_f \leq \begin{cases} 1,0 \text{ paredes} \\ 0,9 \text{ pilares} \end{cases} \times \frac{0,7 f_{pk}}{\gamma_m} \cdot \left[1 - \left(\frac{h_{ef}}{40 t_{ef}} \right)^3 \right] \times A$$

onde:

N_k = Carga característica; f_{pk} = resistência característica dos prismas;

h_{ef} = altura efetiva; t_{ef} = espessura efetiva,

γ_f = coeficiente de ponderação das ações normais = 1,4, e

γ_m = Coeficiente de ponderação da resistência dos materiais = 2,0.

$$116,48 \leq \begin{cases} 1,0 \text{ paredes} \end{cases} \times \frac{0,7 f_{pk}}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{17,33}{40 \times 0,15} \right)^3 \right] \times 0,15$$

$f_{pk} \geq 2,37 \text{ MPa}$ Resistência à Compressão característica do Prisma

Para satisfazer a carga atuante nessa parede, atendendo aos coeficientes de ponderação, o prisma terá de ter uma resistência à compressão atendendo aos valores acima. Obteve-se na pesquisa experimental realizada por Mota (2006) um valor de 0,69 da eficiência prisma/bloco. No entanto, pela resistência da argamassa de assentamento e rejuntamento serem por vezes maiores do que a resistência do bloco, essa eficiência pode ser maior, chegando o prisma a superar a resistência do bloco. Será adotado o valor de 0,7.

$$f_{pk} = 0,7 \times f_{bk}$$

$$0,7 \times f_{bk} \geq 2,37 \text{ MPa}$$

$f_{bk} \geq 3,39 \text{ MPa}$ - Resistência à compressão característica do bloco.

O Inmetro, em 2001, época em que ainda não existia a lei proibindo a construção de prédio-caixão, realizou ensaios em 12 marcas de blocos cerâmicos, onde foram ensaiadas 80 amostras de cada. O motivo da pesquisa foi elevar para 90% o percentual de materiais de construção em conformidade, tendo em vista que mais de 40% dos materiais de construção na época apresentavam não conformidades, conforme a Tabela 7 (INMETRO, 2001).

A pesquisa faz as seguintes ressalvas: “As marcas H, J e L foram classificadas como Classe 25, pois apresentavam a dimensão da largura (L) inferior a 90 mm e foram consideradas não conformes porque não atenderam ao requisito de resistência à compressão estabelecido para esse classe.” (INMETRO, 2012).

Nenhuma das amostras alcançou a classe 45, mesmo as marcas que estão conformes, que seria a classe necessária para atender à resistência à compressão característica necessária.

Tabela 7 – Classe de resistência à compressão das amostras de cada classe

Amostra	Classe de resistência à compressão	Tolerância Mínima (Mpa)	Conclusão
A	10	1,0	Não conforme
B	10	1,0	Não conforme
C	10	1,0	Conforme
D	10	1,0	Conforme
E	10	1,0	Não conforme
F	10	1,0	Não conforme
G	10	1,0	Não conforme
H	25	2,5	Não conforme
I	10	1,0	Não conforme
J	25	2,5	Não conforme
K	15	1,5	Conforme
L	25	2,5	Não conforme

Fonte: Inmetro (2001).

Mesmo tendo considerado a espessura da parede, a verificação realizada acima não foi atendida.

A resistência obtida em ensaios de prismas de blocos de vedação realizadas em pesquisas utilizando prismas com revestimento são da ordem de grandeza do valor verificado no cálculo da carga aplicada conforme a Tabela 3. Os ensaios também foram realizados com prismas em diversas situações visando obter resultados mais próximos da realidade do ambiente construído.

Apresenta-se na Tabela 8 os resultados dos prismas da pesquisa apoiada pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), o Projeto Morear, que teve por objetivo elaborar modelos para recuperação de edifícios de alvenaria resistente, com diversos tipos de prismas ensaiados. Percebe-se, observando a Tabela 8, que a partir da linha dos prismas com revestimentos em diante é que são alcançados valores que superam a carga atuante de 116,48 kN, o que ressalta a importância do revestimento e do chapisco na participação da resistência à compressão das paredes de alvenaria resistentes.

Considerando que a relação entre a resistência à compressão do prisma de três blocos e a parede com 260 cm de altura, ou seja, em uma eficiência prisma/parede, o valor deve ser menor do que 1, pois o valor da resistência da parede é menor do que a do prisma, a carga calculada deve superar o valor da resistência da parede indicando uma situação de insegurança para esse tipo de edificação.

Tabela 8 – Carga de ruptura dos prismas de blocos cerâmicos – blocos com $f_{bk} = 2,15MPa$

Protótipo	Carga Média de Ruptura – (kN)
Prisma sem revestimento com argamassa de assentamento utilizando saibro	18,53
Prisma sem revestimento	32,95
Prisma só chapiscado (5 mm)	43,35
Prismas revestidos com argamassa de traço 1:2:9 com 15 mm de espessura	98,55
Prismas revestidos com argamassa de traço 1:2:9 com 30 mm de espessura	116,94
Prismas revestidos com argamassa de traço 1:1:6 com 15 mm de espessura	126,55
Prismas revestidos com argamassa de traço 1:1:6 com 30 mm de espessura	143,21

Fonte: Oliveira, Pires Sobrinho e Silva (2012).

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observando os efeitos do fogo sobre as paredes do quarto desse edifício, observa-se que todo o revestimento foi destruído e que a parede externa do bloco também sofreu arrancamento. Isso representa para o bloco uma perda de um terço da resistência, visto que boa parte dos blocos da parede mais afetada tiveram o septo central e a parte externa do bloco, permaneceram íntegros.

Considerando as recomendações normativas para alvenaria estrutural, estendidas para edificações executadas com alvenaria resistente, a espessura a ser considerada é apenas a do bloco, desprezando-se a espessura do revestimento. Segundo Mota (2006), para uma edificação típica de prédio-caixão da RMR, com até quatro pavimentos, o valor das cargas atuantes nas paredes mais solicitadas chega à tensão da ordem de 0,7 MPa.

Considerando ainda que, para garantir a segurança estrutural, quanto ao critério de resistência à compressão, o bloco deve ser preferencialmente o elemento mais resistente do sistema, e para que seja verificado esse cálculo é utilizado o ensaio de prismas, composto de dois ou três blocos assentados com argamassa, ou estimando a resistência do prisma e da parede utilizando o fator de eficiência. Aplica-se ao fator de eficiência entre a parede/bloco, prisma/bloco e prisma/parede a fórmula apresentada a seguir (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

$$\gamma_f \cdot N_k \leq \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \text{ paredes} \\ 0,9 \text{ pilares} \end{array} \right\} \times \frac{0,7 f_{pk}}{\gamma_m} \cdot \left[1 - \left(\frac{h_{ef}}{40t_{ef}} \right)^3 \right] \times A$$

onde:

N_k = Carga característica; f_{pk} = resistência característica dos prismas;

h_{ef} = altura efetiva; t_{ef} = espessura efetiva,

γ_f = coeficiente de segurança das ações = 1,4 e

γ_m = coeficiente de segurança dos materiais = 2,0.

Dessa forma, utilizando bloco com resistência 3 MPa, o que de fato chega a ser um pouco acima do apresentado em estudos sobre blocos de vedação cerâmicos, Mota (2006), calculou a tensão admissível, utilizando o fator de eficiência do resultado dos ensaios, de vários prismas, visando verificar a influência do revestimento na resistência à compressão.

A resistência obtida foi de 0,269 MPa, muito abaixo do esperado, o que não explica o fato de esses prédios estarem estáveis, mesmo considerando todos os colapsos ocorridos. Sendo assim, nos ensaios demonstrados por autores como Araújo Neto (2006), que estudou a influência do revestimento à compressão utilizando blocos de concreto e prismas de três blocos, e Mota (2006), que estudou a influência do revestimento à compressão utilizando blocos cerâmicos e prismas de três blocos, chegou-se a conclusões semelhantes às apresentadas na Tabela 9 da pesquisa de Mota (2006), no qual P1 (Prismas nus), P2 (Prismas chapiscado nas duas faces), P3 (prismas chapiscados e revestidos 2,0 cm em ambas as faces com traço fraco), P4 (Prismas chapiscados e revestidos com 2,0 cm em duas faces com traço médio), P5 (Prismas chapiscados e revestidos com 3,0 cm em duas faces com traço fraco) e P6 (Prismas chapiscados e revestidos com 3,0 cm em duas faces com traço médio):

Tabela 9 – Resistência à compressão dos prismas

Prisma	Resultados – Tensão MPa			Incrementos	
	Média (MPa)	D. Padrão (MPa)	COV (%)	No valor médio (%)	No valor característico (%)
P1*	1,96	0,18	9,18	-	-
P2*	2,23	0,22	9,87	13,78	12,65
P3*	3,38	0,25	7,42	72,45	78,92
P4*	4,53	0,39	8,69	131,12	134,34
P5*	3,51	0,36	10,26	79,08	75,90
P6*	4,66	0,61	13,1	137,76	120,48

Fonte: Mota (2006).

Com esses estudos, é possível explicar como esses prédios-caixão resistem às cargas atuantes, pois, além de ser verificada a importante contribuição do revestimento na resistência à compressão, pela própria resistência da argamassa, mas também pela diminuição da esbeltez da parede, que passa a considerar a espessura acrescentada do revestimento.

Entretanto, conforme demonstrado no estudo de caso, praticamente todo o revestimento de uma face da parede foi destruída no incêndio, motivo importante para não ser considerado nos cálculos de alvenaria estrutural. O septo externo dos blocos das paredes mais atingidas também foi destruído.

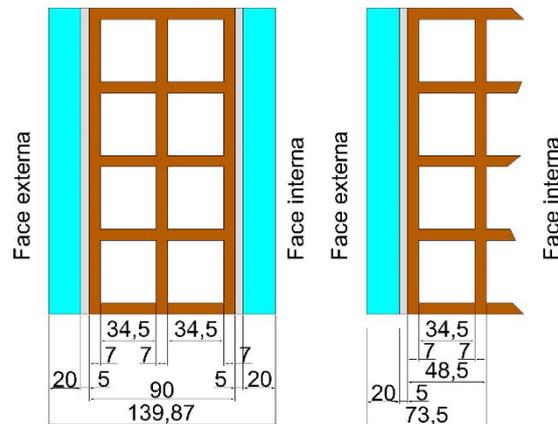
Se todo o revestimento de uma face foi destruído, metade do benefício que ele proporcionava para a resistência à compressão foi reduzida. Para representar essa perda,

utilizou-se o melhor desempenho de incremento de resistência à compressão característico obtido nos ensaios com prismas conduzidos por Mota (2006) apresentados na Tabela 9.

Dessa forma, podemos estimar que 50% de todo o benefício trazido pelo revestimento no seu melhor desempenho característico, que foi de incremento de 134,34%, seja perdido; que a esbeltez aumente com a redução da seção transversal. A resistência do bloco caia em um terço pela destruição da parede externa do bloco. Conforme a Figura 8:

Figura 7 – Parede antes e depois do incêndio

Seção transversal da parede antes e depois do incêndio



Fonte: Elaboração do autor, 2016.

Utilizando ainda a carga atuante na parede mais carregada:

$$116,4 \leq \left\{ \left\{ \begin{matrix} 1,0 \\ paredes \end{matrix} \right\} \times \frac{0,7 f_{pk}}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{33,12}{40 \times 0,0735} \right)^3 \right] \right\} \times 0,0735$$

$f_{pk} \geq 14,68 \text{ MPa}$ Resistência à Compressão característica do Prisma

λ =esbeltez = hef/tef

= 2,60m / 0,0735m = 35,37 (Considerando a dois septos de 7mm, 34,5mm de espaço entre os septos, 5 mm de chapisco e 2 cm de revestimento)

$$f_{pk} = 0,7 \times f_{bk}$$

$$0,7 \times f_{bk} \geq 14,68 \text{ MPa}$$

$f_{bk} \geq 20,98 \text{ MPa}$ - Resistência à compressão característica do bloco.

Não existe bloco dessa resistência à compressão no mercado, portanto, um incêndio que provoque esses efeitos na parede mais carregada de um edifício tipo-caixão deve provocar seu colapso.

Para maior entendimento da extensão do problema, verificamos a mesma situação para a parede menos carregada do pavimento térreo, uma vez que nem sempre a parede mais carregada é aquela em que se inicia a ruptura dos edifícios já colapsados.

$$20,81 \leq \left\{ \left\{ \begin{matrix} 1,0 \\ paredes \end{matrix} \right\} \times \frac{0,7 f_{pk}}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{33,12}{40 \times 0,0735} \right)^3 \right] \right\} \times 0,0735$$

$f_{pk} \geq 3,67 \text{ MPa}$ Resistência à Compressão característica do Prisma

$\lambda = \text{esbeltez} = h_{ef}/t_{ef}$

$$f_{pk} = 0,7 \times f_{bk}$$

$$0,7 \times f_{bk} \geq 3,67 \text{ MPa}$$

$f_{bk} \geq 5,25 \text{ MPa}$ - Resistência à compressão característica do bloco.

Essa resistência encontrada para parede menos carregada somente é encontrada em bloco de alvenaria estrutural íntegro, e é uma resistência característica não encontrada em blocos cerâmicos de vedação.

Com essa análise, podemos concluir que qualquer cômodo do térreo que sofrer um incêndio da magnitude do incêndio estudado deverá colapsar.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Pelos estudos apresentados, concluímos que, para a região das paredes destruídas depois de serem submetidas a incêndio, a resistência da parede é reduzida a valores inferiores à carga atuante nas paredes do pavimento térreo de um prédio tipo caixa, característico da RMR com quatro pavimentos, o que indica que, dentro da estimativa realizada neste estudo, o risco de colapso desse elemento estrutural e a segurança desses edifícios se agrava, em condições de incêndio, a uma situação de insegurança e instabilidade da estrutura.

Os danos observados são compatíveis com a ocorrência do *flashover*, provocando a ruptura de boa parte dos blocos das paredes, que são os componentes mais importantes desse elemento da estrutura, e da face interna do revestimento. A observação desses danos em uma parede com função estrutural em um prédio de alvenaria resistente já é um indicativo da ruptura parcial desse elemento, e poderia desencadear uma redistribuição das cargas para as outras paredes, conseqüentemente, provocar o colapso da estrutura.

No incêndio estudado, registrou-se um gasto de 10.000 litros d'água, o equivalente a dois ABT para extinguir um incêndio confinado em 20 m² aproximadamente, o que em princípio pode ser considerado um uso excessivo de água, que pode sobrecarregar muito mais um prédio do tipo caixa.

Em vista de a intervenção de combate ao incêndio ser uma das causas da deterioração das alvenarias, existe a necessidade de um combate mais efetivo, um uso mais eficaz da água evita maior degradação da estrutura pelos efeitos descritos neste estudo e pela sobrecarga que o peso da água proporciona.

Menor desperdício também significa uma recuperação mais rápida para que a viatura esteja pronta para outras ocorrências de incêndio.

Recomenda-se, também, a implementação de um Procedimento Operacional Padrão (POP), no âmbito do CBMPE, que trate especificamente de incêndios em Edifícios de Alvenaria Resistente (prédios-caixa), vistos todos os riscos discutidos nesta investigação, priorizando a evacuação imediata de todos os ocupantes da edificação e prevendo, também, a partir de sinais estruturais significativos, a evacuação das equipes de combate às chamas em caso de risco iminente de ruína.

6.1 Sugestões para futuros trabalhos

Neste estudo, observaram-se parâmetros, que, para serem mais bem interpretados, carecem de maiores estudos como o tempo de resposta, eficiência do uso da água no combate ao incêndio, falhas no sistema de prevenção contra incêndio, etc.

O estudo dessas informações é importante para prevenir maior degradação dos elementos da estrutura e a sobrecarga que o peso da água pode proporcionar, pelos efeitos descritos neste estudo, proveniente da ação do Corpo de Bombeiros.

Por fim, recomenda-se que os estudos efetuados nesta dissertação sejam aprofundados visando verificar e explicar os fenômenos físicos observados nas alvenarias em situação de incêndio, por meio de procedimentos experimentais ou por cálculos utilizando modelos mais precisos para a determinação das distribuições de tensões nessas estruturas, resistência ao fogo sobre carregamento.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 15812-1**: alvenaria estrutural: Blocos cerâmicos – Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 14432**: exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações: procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15270-1**: componentes cerâmicos: parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação, terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ARAÚJO NETO, G. N. **Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão em prismas de alvenaria resistente de blocos de concreto**. 2006. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil) – Universidade de Católica de Pernambuco, Recife, 2006.

BONITESE, K. V. **Segurança contra incêndio em edifício habitacional de baixo custo estruturado em aço**. 2007. 278 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 4. ed. São Carlos, SP: EDUFSCAR, 2014.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres**. 2. ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998.

CBMPE. Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco. **Ofício n.º 146/14- DIEOp/DIM/CBMPE**: informações estatísticas. Recife, 2014.

CORREA, C. (Org.). **Estudo estatístico operacional bienal 2012-2011 do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco**. Recife: [s. n.], 2013.

_____. **Gerenciamento de riscos e emergências**. Recife: Curso Técnico de Segurança do Trabalho, Secretaria de Educação e Esportes, 2014.

_____. et al. 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, set./dez. 2015.

CUNHA, A. Prédio atingido por incêndio tem risco de desabamento. **Leia Já**, 3 jan. 2014. Disponível em: <<http://www.leiaja.com/noticias/2014/01/03/predio-atingido-por-incendio-tem-risco-de-desabamento/>>. Acesso em: 9 out. 2014.

GRASSELLI, V. A. **Controle das edificações**: uma contribuição ao processo de gestão pelos órgãos públicos. 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

GUSMÃO, A. D. et al. **Diretrizes para solução dos problemas relacionados aos prédios construídos em alvenaria resistente na Região Metropolitana do Recife**. Recife: Universidade de Pernambuco, 2009. Disponível em <<http://www.upe.br/down/imprensa/Ed.Final.pdf>>. Acesso em: 29 dez. 2014.

IBGE. **Estimativas populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2013**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2013/estimativa_dou.shtm>. Acesso em: 8 jan. 2015.

_____. **Nota técnica**: estimativas da população dos municípios brasileiros com data de referência em 1.º de julho de 2014. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/pdf/analise_estimativas_2014.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2015.

ICPE. Instituto de Criminalística de Pernambuco. **Laudo pericial de incêndio**: caso n.º 0366.3.2014. Recife, 2014.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Programa de análise de produtos**: blocos cerâmicos de alvenaria. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **Bloco cerâmico**: tijolo. 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/tijolo.asp>>. Acesso em: 7 jan. 2015.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A.. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2003.

MOTA, J. M. F. **Influências da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial de alvenaria resistente de blocos cerâmicos**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

NASCIMENTO, A. Riscos de prédios-caixão na RMR são debatidos em fórum técnico. **Diário de Pernambuco**, Recife, 22 nov. 2012. Disponível em: <http://www.diariodepernambuco.com.br/app/noticia/vida-urbana/2012/11/22/interna_vidaurbana,408936/riscos-de-predios-caixao-na-rmr-sao-debatidos-em-forum-tecnico.shtml>. Acesso em: 4 out. 2014.

OLIVEIRA, R. A. de. **Parecer técnico Ed. Solar Princesa Danielle**. Recife, 2014.

_____; PIRES SOBRINHO, C. W.; SILVA, F. A. N. (Org.). **Engenharia para prédios-caixão na RMR**. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2012. v. 1.

_____; SILVA, F. A. N.; PIRES SOBRINHO, C. W. Edifícios construídos em alvenaria resistente em Pernambuco: situação atual e perspectivas futuras. In: MONTEIRO, B. S.; VITÓRIO, J. A. P. (Org.). **O SINAENCO-PE e a produção do conhecimento**. Recife: Sinaenco-PE, 2008.

OLIVEIRA, R. A. et al. **Laudo técnico**: causas do desabamento do Edifício Areia Branca, Piedade. Recife: CREA-PE, 2005. v. 1.

ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, 2007.

- PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle**. São Paulo: Nome da Rosa, 2010.
- PERNAMBUCO. Decreto n.º 19.644, de 13 de março de 1997, **Código de segurança contra incêndio e pânico para o estado de Pernambuco**. Recife: Cospic, 1997.
- PEREIRA, M. F. P. **Anomalias em paredes de alvenaria sem função estrutural**. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2005.
- PIRES SOBRINHO, C. W. A et al. Metodologia para caracterização de grau de risco ao desabamento de edificações em alvenaria resistente. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PATOLOGIA, 9., 2007, Quito, Ecuador. **Anais...** Quito, Ecuador, 2007.
- _____ et al. **Caracterização de grau de risco ao desabamento para edificações em alvenaria resistente na Região Metropolitana do Recife**. Recife: Ibracon, 2009.
- RAUBER, F. C. **Contribuição ao projeto arquitetônico do edifício em alvenaria estrutural**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.
- RECIFE tem seis mil imóveis a mais pagando IPTU e arrecadação aumenta. **G1 PE**, 2012, 7 mar. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2012/03/recife-tem-seis-mil-imoveis-mais-pagando-iptu-e-arrecadacao-aumenta.html>>. Acesso em: 5 out. 2014.
- REI, J. C. M.. **Edifício de pequeno porte em alvenaria resistente viabilidade técnico-econômica**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 1999.
- RIGÃO, A. O. **Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.
- ROMAN, H. R. Características físicas e mecânicas que devem apresentar os tijolos e blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e estrutural. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 1991, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1991. p. 101-108.
- ROSEMANN, F. **Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico**. 2011. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- SEITO, A. I. et al. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.
- TOMINA, J. C. Projeto Brasil sem Chamas 2. SEMINÁRIO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO DO MERCOSUL (MERCOFIRE), 10., 2011, Brasília. **Anais...** Brasília, 2011.
- VERZENHASSI, C. C. **Otimização de risco estrutural baseada em confiabilidade**. 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Carlos, São Carlos, SP, 2008.