



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

JHENIFER PAVANATTO PERES

**ANÁLISE DE DANO DECORRENTE DA AÇÃO DE INCÊNDIO EM
EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASOS REAIS EM DIFERENTES SISTEMAS
ESTRUTURAIS NA CIDADE DE PALMAS-TO**

**PALMAS
2025**

JHENIFER PAVANATTO PERES

**ANÁLISE DE DANO DECORRENTE DA AÇÃO DE INCÊNDIO EM
EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASOS REAIS EM DIFERENTES SISTEMAS
ESTRUTURAIS NA CIDADE DE PALMAS-TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel no Curso Superior de Engenheiro Civil do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Moacyr Salles Neto

**PALMAS
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

- P434a Peres, Jhenifer Pavanatto
Análise de dano decorrente da ação de incêndio em edificações : Estudos de casos reais na cidade de Palmas-TO / Jhenifer Pavanatto Peres. – Palmas, TO, 2025.
108 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2025.
- Orientador: Dr. Moacyr Salles Neto
1. Incêndio. 2. Manifestações patológicas. 3. Sistemas construtivos. I. Neto, Moacyr Salles. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

JHENIFER PAVANATTO PERES

ANÁLISE DE DANO DECORRENTE DA AÇÃO DE INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASOS REAIS EM DIFERENTES SISTEMAS ESTRUTURAIS NA CIDADE DE PALMAS-TO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil
Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas,
como exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 **MOACYR SALLES NETO**
Data: 09/08/2025 09:42:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Moacyr Salles Neto
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **GILSON MARAFIGA PEDROSO**
Data: 11/08/2025 23:48:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso

Documento assinado digitalmente
 **OCTAVIANO SIDNEI FURTADO**
Data: 12/08/2025 11:20:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Octaviano Sidney Furtado

A minha mãe, Leonice Regina Pavanatto, e a
minha família, sem vocês eu não seria nada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por me conceder forças nos momentos difíceis, luz nos caminhos incertos e serenidade para concluir mais esta etapa da minha vida.

À minha mãe, Leonice, você é o meu maior exemplo de força, de bondade e de doação, sem você eu não seria metade da pessoa que sou hoje e chegar até aqui só foi possível graças ao seu apoio, agradeço por acreditar em mim mesmo quando eu mesma não acreditei.

À minha vó, Maria Luzinete, a minhas primas, minhas tias, meu tio e a toda minha família, vocês são a minha base, agradeço pelo amor incondicional, pelo apoio e pelo incentivo constante.

Agradeço ao Prof. Dr. Moacyr Salles Neto, por ter aceitado o convite de orientar esse trabalho, pela oportunidade de aprender, pela paciência e conhecimento compartilhado durante esse processo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, agradeço por todos os anos que marcaram a minha formação, desde o ensino médio integrado até a graduação. Foi aqui que vivi inúmeras experiências, que me moldaram não apenas como profissional, mas como pessoa. Neste lugar, conheci pessoas incríveis e fiz amigos que hoje posso chamar de família. Essa instituição faz parte da minha história.

A todos os meus amigos, em especial a Raquel, Camile e Gabrielly e todos os outros que tornaram essa caminhada mais leve e possível, minha eterna gratidão. Obrigada por estarem comigo nos momentos bons e nos difíceis, pelas risadas, pela parceria e por fazerem parte dessa jornada.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para essa conquista, meu muito obrigada.

RESUMO

O crescimento urbano acelerado e o uso cada vez mais diversificado de materiais e sistemas construtivos nas edificações contemporâneas aumentam significativamente os desafios relacionados à segurança contra incêndio. Incêndios representam eventos complexos e multifacetados, capazes de comprometer gravemente a estabilidade das edificações e a segurança de seus ocupantes. Compreender os danos provocados por esses sinistros é essencial para melhorar a elaboração de projetos, auxiliar perícias e embasar futuras revisões normativas. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar as manifestações patológicas decorrentes de incêndios em edificações, por meio da avaliação de cinco estudos de caso reais ocorridos na cidade de Palmas-TO. Foram examinados diferentes sistemas estruturais, além de sistemas de vedação vertical, revestimentos de piso e parede e instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias e de ar-condicionado. A metodologia baseou-se em levantamentos fotográficos, análise em campo e entrevista, com foco na identificação de características dos danos e possíveis padrões de ocorrência. A análise dos cinco estudos de caso realizados neste trabalho permitiu identificar alguns fatores que contribuíram para a intensificação dos danos causados por incêndios, bem como evidenciar características recorrentes das manifestações patológicas resultantes desses sinistros.

Palavras-chave: Incêndio. Manifestações patológicas. Sistemas construtivos. Concreto armado. Alvenaria estrutural.

ABSTRACT

Accelerated urban growth and the increasingly diverse use of materials and construction systems in contemporary buildings significantly increase the challenges related to fire safety. Fires are complex and multifaceted events capable of severely compromising the stability of buildings and the safety of their occupants. Understanding the damage caused by such incidents is essential to improve design practices, support forensic investigations, and guide future normative revisions. In this context, this study aims to analyze pathological manifestations resulting from fires in buildings through the evaluation of five real case studies that occurred in the city of Palmas-TO, Brazil. Different structural systems were examined, in addition to vertical sealing systems, floor and wall coverings, and electrical, hydraulic, sanitary, and air conditioning installations. The methodology was based on photographic surveys, field analysis, and interviews, focusing on identifying damage characteristics and possible occurrence patterns. The analysis of the five case studies allowed the identification of factors that contributed to the intensification of fire-related damage, as well as recurring characteristics of pathological manifestations resulting from these events.

Keywords: Fire. Pathological manifestations. Construction systems. Reinforced concrete. Structural masonry.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Índice esclerométrico médio, resistência média à compressão equivalente – fcm e resistência característica estimada à compressão – fck, estimado.....	57
Tabela 02 – Índice esclerométrico médio, resistência média à compressão equivalente – fcm e resistência característica estimada à compressão – fck, estimado.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características dos sistemas dos casos analisados.....	101
Quadro 2 - Tipos de manifestações patológicas encontradas na estrutura.....	101

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Tipos de manifestações patológicas encontradas na alvenaria.....	102
Gráfico 2 – Tipos de manifestações patológicas encontradas no revestimento de parede.....	103
Gráfico 3 – Tipos de manifestações patológicas encontradas no revestimento de piso.....	103

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – O grande incêndio de Roma em 64 d.C	23
Figura 02 – O incêndio no Gran Circo Norte-Americano, em 1961	24
Figura 03 – O incêndio no edifício Andraus, em 1972	24
Figura 04 – O incêndio no edifício Joelma, em 1974.....	24
Figura 05 – O incêndio no edifício Wilton Paes de Almeida, em 2018	25
Figura 06 – O incêndio na Boate Kiss, em 2013.....	26
Figura 07 – O incêndio no Museu Nacional do Rio de Janeiro, em 2018.....	26
Figura 08 – Triângulo do fogo e tetraedro do fogo	30
Figura 09 – Convecção decorrente de um incêndio	32
Figura 10 – Radiação térmica decorrente de um incêndio	33
Figura 11 – Transferência de calor por condução	33
Figura 12 – Fatores que influenciam no cenário do incêndio	34
Figura 13 – Etapas de incêndio real	35
Figura 14 – Edifício de concreto armado	37
Figura 15 – Laje maciça	38
Figura 16 – Laje nervurada.....	38
Figura 17 – Laje treliçada de bloco cerâmico	38
Figura 18 – Representação simplificada das transformações físico-químicas do concreto	40
Figura 19 – Efeito <i>spalling</i> no concreto armado	41
Figura 20 – Componentes da alvenaria estrutural	42
Figura 21 – Famílias de blocos de 14cm e 19cm	44
Figura 22 – Influência da resistência da argamassa sobre a resistência da parede à compressão	45
Figura 23 – Representação da armadura na alvenaria estrutural	46
Figura 24 – Arqueamento da parede em situação de incêndio	49
Figura 25 – Organograma das etapas da pesquisa.....	50
Figura 26 – Organograma organizacional de análise das manifestações patológicas	52
Figura 27 – Detalhe das cubetas da laje	53
Figura 28 – Falha na compartimentação efetiva.....	54
Figura 29 – Propagação vertical das chamas pela fachada do edifício	54
Figura 30 – Chamas saindo da janela do apartamento	55
Figura 31 – Espessura do revestimento de gesso corrido.....	56

Figura 32 – Localização do pilar	56
Figura 33 – Determinação da dureza superficial do concreto com esclerômetro de reflexão	56
Figura 34 – Resquícios do forro de gesso	57
Figura 35 – Condições da laje nervurada após ação do incêndio	58
Figura 36 – Ensaio de determinação da frente de carbonatação	58
Figura 37 – Deterioração da mesa da laje	59
Figura 38 – Presença de fissuras na laje	59
Figura 39 – Desagregação do concreto da laje	60
Figura 40 – Vista ampliada da desagregação do concreto da laje	60
Figura 41 – Deformação permanente das armaduras	60
Figura 42 – Efeito <i>spalling</i> do concreto	60
Figura 43 – Efeito <i>spalling</i> do concreto	61
Figura 44 – Efeito <i>spalling</i> do concreto	61
Figura 45 – Aferição da deformação residual da estrutura da laje de cobertura do apartamento sinistrado	62
Figura 46 – Aferição da deformação residual da estrutura da laje de piso do apartamento superior	62
Figura 47 – Fissuras de mapeamento entre alvenaria e o pilar de concreto	63
Figura 48 – Vista aproximada da fissura de mapeamento entre alvenaria e o pilar de concreto	63
Figura 49 – Leitura da abertura da fissura no painel de alvenaria	63
Figura 50 – Fissura de mapeamento de instalações no painel de alvenaria	64
Figura 51 – Fissura de mapeamento de instalações no painel de alvenaria	64
Figura 52 – Fissura de mapeamento de instalações no painel de alvenaria	65
Figura 53 – Indicativo de elemento energizado através do uso de um pacômetro	65
Figura 54 – Degradação do revestimento na proximidade da janela da suíte	66
Figura 55 – Fissuras e degradação do revestimento da fachada	66
Figura 56 – Expansão higrotérmica no revestimento de gesso corrido dos painéis	67
Figura 57 – Expansão higrotérmica no revestimento de gesso corrido dos painéis	67
Figura 58 – Desplacamento do revestimento de gesso na suíte	67
Figura 59 – Desplacamento do revestimento de gesso no closet	67
Figura 60 – Fissura no revestimento cerâmico do apartamento afetado	68
Figura 61 – Fissura no revestimento cerâmico do apartamento afetado	68
Figura 62 – Fissuras no revestimento cerâmico do apartamento superior	69

Figura 63 – Fissuras no revestimento cerâmico do apartamento superior	69
Figura 64 – Fissuras no revestimento cerâmico do apartamento superior	69
Figura 65 – Fissuras no rejunte do revestimento do apartamento superior	69
Figura 66 – Comprometimento das instalações elétricas e frigorígenas fixadas na laje	70
Figura 67 – Comprometimento das instalações elétricas e frigorígenas fixadas na laje	70
Figura 68 – Comprometimento das instalações hidráulicas fixadas na laje	71
Figura 69 – Comprometimento das instalações sanitárias fixadas na laje	71
Figura 70 – Comprometimento das instalações sanitárias fixadas na laje	71
Figura 71 – Comprometimento das instalações hidráulicas, sanitárias, elétricas e frigorígenas fixadas na laje	71
Figura 72 – Comprometimento da unidade evaporadora e instalações frigorígenas	72
Figura 73 – Fissuras de mapeamento na argamassa de assentamento.....	73
Figura 74 – Fissuras de mapeamento entre blocos e argamassa de assentamento	73
Figura 75 – Vista aproximada da fissuras de mapeamento entre blocos e argamassa de assentamento.....	73
Figura 76 – Fissuras de mapeamento entre blocos e argamassa de assentamento	74
Figura 77 – Fissuras de mapeamento entre blocos e argamassa de assentamento	74
Figura 78 – Fissuras limiformes no revestimento	75
Figura 79 – Fissuras limiformes no revestimento	75
Figura 80 – Tomada danificada pela ação do incêndio	76
Figura 81 – Danos no aparelho de ar condicionado tipo janela	76
Figura 82 – Condições do aparelho tipo janela pós incêndio	77
Figura 83 – Rupturas dos septos das lajotas cerâmicas da laje	78
Figura 84 – Ruptura dos septos da alvenaria de vedação	79
Figura 85 – Ruptura dos septos da alvenaria de vedação	79
Figura 86 – Ruptura dos septos da alvenaria de vedação	79
Figura 87 – Fissuras de mapeamento entre alvenaria e o pilar de concreto	80
Figura 88 – Fissura horizontal no canto inferior da janela	81
Figura 89 – Fissura a 45° próxima no canto inferior da janela	81
Figura 90 – Fissura a 45° próxima no canto superior da porta	81
Figura 91 – Desplacamento do revestimento argamassado da alvenaria	82
Figura 92 – Início do derretimento do quadro de distribuição	82
Figura 93 – Unidade evaporadora destruída pela ação do incêndio	83
Figura 94 – Unidade evaporadora parcialmente derretida	83

Figura 95 – Ruptura no pilar da fachada	84
Figura 96 – Ruptura no pilar da fachada	85
Figura 97 – Fissura de dilatação térmica entre alvenaria e viga.....	85
Figura 98 – Fissura e trincas na alvenaria da platibanda.....	86
Figura 99 – Rupturas dos septos da alvenaria	86
Figura 100 – Fissuras no entorno das janelas.....	87
Figura 101 – Deslocamento do revestimento argamassado.....	88
Figura 102 – Deslocamento do revestimento argamassado.....	88
Figura 103 – Deslocamento do revestimento argamassado.....	89
Figura 104 – Mapeamento da alvenaria sob o revestimento argamassado	89
Figura 105 – Fissura de mapeamento da argamassa de assentamento	90
Figura 106 – Fissura de mapeamento do bloco de alvenaria e da argamassa de assentamento	90
Figura 107 – Possível fissuras de mapeamento das instalações de ar-condicionado	91
Figura 108 – Possível fissuras de mapeamento das instalações de ar-condicionado	91
Figura 109 – Deslocamento do revestimento cerâmico	92
Figura 110 – Deslocamento do revestimento cerâmico	92
Figura 111 – Instalações elétricas afetadas pelo incêndio.....	92
Figura 112 – Unidade evaporadora derretida pelo calor do incêndio	93
Figura 113 – Instalações de ar condicionado comprometidas pelo incêndio	93
Figura 114 – Ensaio de tração realizado com amostras de aço retirado da estrutura.....	94
Figura 115 – Medição de prumo do pilar com clinômetro digital.....	94
Figura 116 – Colapso parcial da parede de separação.....	95
Figura 117 – Detalhe do Colapso A da parede de separação	95
Figura 118 – Detalhe do Colapso B da parede de separação	95
Figura 119 – Arqueamento da alvenaria de vedação.....	96
Figura 120 – Detalhe do arqueamento da alvenaria de vedação	96
Figura 121 – Trinca provocada pelo arqueamento da alvenaria.....	97
Figura 122 – Trinca na alvenaria.....	97
Figura 123 – Fissuras de mapeamento	98
Figura 124 – Fissuras de mapeamento	98
Figura 125 – Ruptura dos septos na face externa	99
Figura 126 – Ruptura dos septos na face interna.....	99
Figura 127 – Desprendimento do chapisco e pintura	100

Figura 128 – Desprendimento do reboco argamassado.....	100
---	-----

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ELU	Estado Limite Último
ELS	Estado Limite de Utilização ou Serviço
GT	Grupos de Trabalho
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
SCI	Segurança Contra Incêndio
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	20
1.2 JUSTIFICATIVA	20
1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 Objetivo Geral.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos	22
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1 HISTÓRICO DE INCÊNDIOS NO BRASIL	23
2.2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS - ESTRUTURAS SUJEITAS A INCÊNDIO	27
2.2.1 Concreto armado	27
2.2.2 Alvenaria estrutural	29
2.3 O FENÔMENO DO INCÊNDIO	30
2.3.1 Formas de transferência de calor	31
2.3.2 Desenvolvimento de um incêndio	34
2.4 CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	36
2.4.1 Concreto Armado	36
2.4.1.1 Definição	36
2.4.1.2 Tipos de edificações de concreto armado	38
2.4.2 Comportamento do concreto armado em situação de incêndio.....	39
2.4.2.1 Propriedades afetadas pelo fogo.....	39
2.4.2.2 <i>Spalling</i>	41
2.5 ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	42
2.5.2 Alvenaria estrutural	42
2.5.2.1 Definição	42
2.5.2.2 Componentes da alvenaria estrutural	43
2.5.2.2.1 Unidades	43
2.5.2.2.2 Argamassa	44
2.5.2.2.3 Graute	45
2.5.2.2.4 Armaduras	46
2.5.3 Comportamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio	46
2.5.3.1 Fatores que influenciam no desempenho da alvenaria estrutural em altas temperaturas	47

2.5.3.1.1 Material e geometria dos blocos.....	47
2.5.3.1.2 Processo construtivo	48
2.5.3.1.3 Estabilidade estrutural	48
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	50
3.1 Identificação das amostras.....	50
3.1.1 Caso 1.....	50
3.1.2 Caso 2.....	51
3.1.3 Caso 3.....	51
3.1.4 Caso 4.....	51
3.1.5 Caso 5.....	51
3.2 Análise das manifestações patológicas.....	51
3.3 Processamento dos resultados	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1 CASO 1.....	53
4.1.1 Manifestações patológicas na estrutura.....	55
4.1.1.1 Pilar	55
4.1.1.2 Vigas e Laje.....	57
4.1.2 Manifestações patológicas na alvenaria.....	62
4.1.3 Manifestações patológicas no revestimento.....	65
4.1.3.1 Revestimento de parede	65
4.1.3.1.1 Revestimento argamassado.....	65
4.1.3.1.2 Revestimento de gesso	67
4.1.3.2 Revestimento cerâmico	68
4.1.4 Manifestações patológicas nas instalações.....	69
4.1.4.1 Instalações elétricas.....	69
4.1.4.2 Instalações hidrossanitárias	70
4.1.4.3 Instalações de ar-condicionado	71
4.2 Caso 2.....	72
4.2.1 Manifestações patológicas na estrutura.....	72
4.2.2 Manifestações patológicas no revestimento.....	74
4.2.3 Manifestações patológicas nas instalações.....	75
4.2.3.1 Instalações elétricas.....	75
4.2.3.2 Instalações de ar condicionado.....	76
4.3 Caso 3.....	77

4.3.1 Manifestações patológicas na estrutura.....	77
4.3.2 Manifestações patológicas na alvenaria.....	78
4.3.3 Manifestações patológicas no revestimento.....	81
4.3.3.1 Revestimento de parede.....	81
4.3.4 Manifestações patológicas nas instalações.....	82
4.3.4.1 Instalações elétricas.....	82
4.3.4.2 Instalações de ar-condicionado.....	83
4.4 Caso 4.....	84
4.4.1 Manifestações patológicas na estrutura.....	84
4.4.2 Manifestações patológicas na alvenaria.....	85
4.4.3 Manifestações patológicas no revestimento.....	87
4.4.3.1 Revestimento de parede.....	87
4.4.3.2 Revestimento de piso.....	91
4.5.4 Manifestações patológicas nas instalações.....	92
4.5.4.1 Instalações elétricas.....	92
4.5.4.2 Instalações de ar condicionado.....	93
4.5 Caso 5.....	94
4.5.1 Manifestações patológicas na estrutura.....	94
4.5.2 Manifestações patológicas na alvenaria de vedação.....	94
4.5.3 Manifestações patológicas no revestimento.....	99
4.5.3.1 Revestimento de parede.....	99
4.5.4 Manifestações patológicas nas instalações.....	100
4.6 Sistematização das Manifestações Patológicas.....	101
5 CONCLUSÃO.....	104
REFERÊNCIAS.....	106

1 INTRODUÇÃO

O homem sempre buscou dominar o fogo, utilizando-o como uma ferramenta para a sua sobrevivência e evolução. Durante milhares de anos, ao realizar a fricção entre uma pedra e outra produzia uma faísca, que colocada em algum material de fácil combustão gerava fogo. No entanto, ele não controlava o fogo, e sim a ignição, e os fenômenos naturais como relâmpagos e erupções vulcânicas, frequentemente causadoras de incêndio, eram associados a ira dos deuses. Inicialmente, o fogo foi empregado para aquecer, proteger e cozinhar alimentos, e com o tempo passou a ser utilizado em processos mais elaborados, como a fabricação de artefatos, a forja de metais, entre outros. Contudo, essa poderosa descoberta também trouxe consigo um elemento de risco significativo, causando tragédias, com perdas de vidas e propriedades ao longo da história (Seito, et. al., 2008).

Com o crescimento e verticalização das cidades, atrelado ao uso de materiais construtivos cada vez mais complexos na sociedade, Crispim e Crispim (2020) destacam que os riscos relacionados a incêndio tem ampliado. Diante desse cenário, compreender o comportamento do fogo tornou-se uma necessidade essencial, passando a ser alvo de estudos cada vez mais aprofundados e rigorosos.

A evolução das medidas de segurança em grande parte, como resposta a tragédias marcadas pela ocorrência do fogo (Quispe, 2022). No Brasil, esse processo não foi diferente: avanços significativos nessa área ocorreram após eventos catastróficos, como os incêndios nos edifícios Andraus (1972) e Joelma (1974), ambos localizados na cidade de São Paulo. Essas tragédias não apenas marcaram a memória coletiva, mas também impulsionaram a criação das primeiras normas de segurança contra incêndios, publicadas em 1975. Desde então, o país tem avançado no desenvolvimento de pesquisas e regulamentações que buscam entender o comportamento do incêndio e mitigar os impactos. Entretanto, ainda há um longo caminho a ser percorrido na tratativa do estudo do fogo como uma ciência, como ocorre internacionalmente, em países como Estados Unidos e Japão, onde a SCI (Segurança Contra Incêndio) é vista como uma área de pesquisa, desenvolvimento e ensino (Seito, et. al., 2008).

Ainda segundo Seito et al. (2008), a investigação de incêndios é fundamental para se entender suas causas, propor ações corretivas e evitar recorrências. Ao mesmo tempo, a natureza multifacetada de cada sinistro torna o comportamento estrutural diante do fogo um desafio técnico relevante. O incêndio é um fenômeno dinâmico e multifacetado, e materiais com diferentes composições e configurações apresentam comportamentos distintos quando expostos a altas temperaturas (Crispim e Crispim, 2020). Para Leite (2018), a resposta de um

sistema ao calor depende das propriedades intrínsecas de seus componentes, bem como da interação entre eles.

Diante disso, a presente pesquisa se propõe a analisar o impacto do fogo sobre diferentes sistemas estruturais e construtivos, com foco nas manifestações patológicas resultantes de incêndios reais. Serão avaliados os danos identificados em cinco edificações localizadas na cidade de Palmas – TO, com enfoque nos sistemas de concreto armado com lajes nervuradas com alvenaria de vedação, concreto armado com lajes pré-moldadas com alvenaria de vedação e alvenaria estrutural. O estudo visa compreender as características e se há padrões nas manifestações patológicas decorrentes de incêndios, mesmo diante de suas singularidades, fornecendo subsídios para futuras investigações.

Assim, o presente trabalho busca contribuir contribuindo para um entendimento mais aprofundado sobre o tema e oferecendo direções para a prevenção e recuperação de danos em edificações.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

As edificações estão sujeitas a diferentes tipos de falhas estruturais ao longo de sua vida útil, e eventos extremos, como incêndios, representam um dos principais riscos à sua integridade. Segundo Caldas (2008), diferentes tipos de falha ocasionam diferentes níveis de riscos em um edifício, comprometendo não apenas a estabilidade da estrutura, mas também a proteção dos ocupantes. Isso ressalta a importância de analisar o comportamento dos materiais e sistemas estruturais frente a situações de incêndio.

Diante desse cenário, este trabalho consiste na pesquisa para responder os seguintes questionamentos: Como os diferentes sistemas estruturais – lajes nervuradas com alvenaria de vedação, lajes pré-moldadas com alvenaria de vedação e alvenaria estrutural – se comportam em relação aos danos causados por incêndios? Quais as principais manifestações patológicas decorrem da ação de incêndio nesses sistemas estruturais, de vedação e nos seus demais subsistemas?

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com Costa (2008, p. 177), "o comportamento estrutural de um edifício é particular quanto às características arquitetônicas, ao arranjo estrutural e ao sistema construtivo". Esse comportamento estrutural adquire ainda mais relevância quando se leva em

consideração a atuação do fogo nas edificações, pois esses fatores podem influenciar significativamente a dinâmica dos incêndios.

O desenvolvimento tecnológico trouxe modificações profundas nos sistemas construtivos, com destaque para o uso de grandes áreas sem compartimentação, fachadas envidraçadas e a incorporação de materiais combustíveis aos elementos construtivos, conforme destacado por Seito et al. (2008). Essas transformações, aliadas ao aumento do número de instalações e equipamentos nos edifícios, introduziram riscos que anteriormente não estavam presentes nas construções. Tais modificações resultaram em edificações mais suscetíveis ao agravamento da propagação do fogo, uma vez que o comportamento de um incêndio é amplamente influenciado pelos materiais empregados na construção. A reação ao fogo dos materiais utilizados nos revestimentos e acabamentos das paredes, tetos e pisos, bem como aqueles incorporados aos sistemas construtivos, é um fator crucial na dinâmica do incêndio (Sito et al., 2008).

É intrínseco ao ser humano exigir segurança em seu local de moradia e de trabalho. De acordo com a ABNT NBR 15200 (2012), norma que trata dos projetos de concreto em situação de incêndio, o primeiro objetivo é a proteção à vida humana. Em segundo plano, prioriza-se a mitigação dos riscos à vizinhança e, por último, os danos à propriedade. Isso evidencia a importância de garantir a integridade das pessoas e a segurança das áreas ao redor das edificações, além da necessidade de reduzir os impactos causados pelos incêndios.

Neste contexto, a análise das manifestações patológicas causadas pelo fogo em diferentes sistemas construtivos torna-se essencial. Cada tipo de sistema estrutural reage de maneira distinta aos danos provocados pelo incêndio, sendo fundamental compreender as particularidades de cada um para desenvolver soluções mais eficazes na prevenção e controle de incêndios. A relevância prática desta pesquisa é clara, pois ela fornecerá dados relevantes que podem auxiliar a tomada de decisão em projetos e na execução de edificações. Além disso, a pesquisa contribuirá academicamente, servindo como base para futuros trabalhos na área de segurança contra incêndios em edificações.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo analisar as manifestações patológicas observadas em edificações após a ocorrência de incêndios, identificando as características dos danos nos

sistemas estruturais, de vedação vertical, revestimentos de parede, revestimentos de piso e nas instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias e de ar-condicionado. A investigação baseia-se na análise de estudos de caso reais registrados na cidade de Palmas–TO, buscando identificar possíveis padrões de recorrência das manifestações em cada um desses sistemas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar as manifestações patológicas mais frequentes em sistemas de concreto armado, com enfoque em laje nervurada e laje pré-moldada com lajota cerâmica após a ação de incêndio;
- Determinar as manifestações patológicas mais frequentes em sistema de alvenaria estrutural após ação de incêndio;
- Analisar os danos provocados pelo incêndio nas alvenarias de vedação e suas interações com os elementos estruturais;
- Analisar os danos provocados pelo incêndio nos revestimentos de piso e parede;
- Analisar o comprometimento das instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias e de ar-condicionado em decorrência da exposição ao incêndio;
- Investigar a possível existência de padrões de ocorrência nas manifestações patológicas identificadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DE INCÊNDIOS NO BRASIL

No contexto mundial, os incêndios representam um problema antigo que tem causado efeitos catastróficos, como prejuízos ambientais, danos materiais e perda de vidas. Historicamente, o grande incêndio de Roma (Figura 01), ocorrido em 64 d.C., foi o primeiro caso amplamente documentado. A rápida propagação desse incêndio foi atribuída, em grande parte, às práticas de ocupação dos espaços e ao uso predominante de madeira nas construções, que eram características comuns das edificações na época.

Outro incêndio histórico é o de Londres, no ano de 1666. Nessa catástrofe mais de 13 mil casas foram destruídas. Esses incêndios tomavam grande parte das cidades antigas devido as ruas estreitas, as edificações contíguas, construídas de estrutura de madeira. Após a modernização das cidades, os incêndios passaram, mais frequentemente, a se restringir aos edifícios (Silva, 2012).

Figura 01 - O grande incêndio de Roma em 64 d.C



Fonte: DantasNet (2023)

Conforme Silva (2012), até o início da década de 70, a segurança contra incêndios no Brasil era negligenciada devido à ausência de grandes incêndios no país. As regulamentações sobre o tema eram limitadas e dispersas, presentes apenas em códigos de obras municipais, sem incorporar as lições aprendidas com os incêndios de grande magnitude ocorridos no exterior. Porém, uma sequência de tragédias marcaram a história do país e culminaram em mudanças no sistema brasileiro de combate a incêndios.

O primeiro deles foi o incêndio no Gran Circo Norte-Americano (Figura 02), em 1961, resultando em 250 mortos e 400 feridos. O número de vítimas decorreu da falta de requisitos

de escape e pessoas treinadas para orientação e contenção do pânico. Outras tragédias foram os edifícios Andraus e o edifício Joelma, ambos na cidade de São Paulo. O incêndio no edifício Andraus (Figura 03) foi o primeiro grande ocorrido em prédios elevados, em 1972. O edifício, destinado a uso comercial e de serviços, possuía 31 andares, estrutura em concreto armado e fachada de vidro. O incidente resultou em 16 mortes e 336 feridos. Após essa tragédia, formaram-se grupos de trabalho (GTs) com o objetivo de estudar a reestruturação do Corpo de Bombeiros e a reformulação do Código de Obras da cidade de São Paulo. Contudo, antes que essas iniciativas gerassem resultados concretos, outro grande incêndio ocorreu, o do Edifício Joelma (Seito et al., 2008).

Figura 02 – O incêndio no Gran Circo Norte-Americano, em 1961



Fonte: Jorge Peter (1961)

Figura 03 – O incêndio no edifício Andraus, em 1972



Fonte: Folhapress (1972)

Figura 04 – O incêndio no edifício Joelma, em 1974



Fonte: Estadão Conteúdo (1974)

O incidente ocorrido no Edifício Joelma (Figura 04), em 1974, gerou 179 mortos e 320 feridos, sendo marcado por imagens fortes e maior comoção devido às cenas de pessoas se

projetando pela fachada e cobertura. A edificação era composta por uma estrutura de concreto armado e não possuía escada de segurança. Como resposta imediata, a Prefeitura de São Paulo editou o Decreto Municipal nº 10.878, que “institui normas especiais para a segurança dos edifícios a serem observadas na elaboração do projeto, na execução, bem como no equipamento e dispõe ainda sobre sua aplicação em caráter prioritário”. Posteriormente, outros órgãos e municípios começaram a adotar medidas semelhantes, alterando a abordagem em relação à segurança contra incêndios em edificações (Seito et al., 2008).

Recentemente aconteceram algumas tragédias envolvendo incêndio em edificações, uma delas foi o incêndio no Edifício Wilton Paes de Almeida (Figura 05), ocorrido em 2018, em São Paulo. O prédio de 24 andares desabou um pouco mais de uma hora e meia depois do início do sinistro (Maximiniano, 2018). A propagação do fogo foi intensificada por dois fatores: pela falta de manutenção e pelo fosso dos elevadores, que estava desobstruído e atuou como chaminé, agravando o incidente (Fanton, 2019).

Figura 05 – O incêndio no edifício Wilton Paes de Almeida, em 2018



Fonte: Estadão Conteúdo (2019)

Em janeiro de 2013, a boate Kiss, em Santa Maria (Rio Grande do Sul), sofreu um incêndio durante uma festa universitária, resultando em uma das maiores tragédias nacionais, com 242 mortos e 636 feridos. A edificação possuía revestimento acústico inflamável, e o fogo se propagou devido a falhas nos extintores próximos ao palco, onde ocorria um show com efeitos pirotécnicos. Fatores como superlotação, apenas saída única de emergência, sinalização inadequada, ausência de janelas para exaustão de fumaça e falhas na concessão de alvarás contribuíram para a gravidade do acidente. Na Figura 06, observa-se o estado final da boate após o incêndio.

Figura 06 – O incêndio na Boate Kiss, em 2013



Fonte: Revista Arco (2021)

Em setembro de 2018, o Museu Nacional do Rio de Janeiro (Figura 07), um dos principais museus do Brasil, foi consumido por um incêndio que destruiu 90% de seu acervo. Embora não houvessem vítimas, já que o local estava fechado para visitação, a tragédia expôs graves irregularidades, como a falta de portas corta-fogo e a ausência de regularização junto ao Corpo de Bombeiros. Além disso, grande parte da estrutura era de madeira, e os hidrantes estavam sem água, comprometendo o combate ao fogo.

Figura 07 – O incêndio no Museu Nacional do Rio de Janeiro, em 2018



Fonte: Agência Brasil (2019)

Atualmente, as edificações, independentemente do tipo de sistema estrutural que as compõem, devem atender a padrões de segurança significativamente mais rigorosos, seja na

fase de projetos ou de execução, garantindo o uso de materiais de qualidade e adequados às exigências específicas de cada caso (Limeira, 2018).

2.2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS - ESTRUTURAS SUJEITAS A INCÊNDIO

Diante do contexto apresentado, ressalta-se a relevância da criação de legislações e normas que tenham como finalidade regulamentar, orientar e estabelecer parâmetros mínimos capazes de assegurar a segurança nas edificações. As normativas são estabelecidas por diferentes órgãos e instituições, abrangendo os âmbitos municipal, estadual, federal e internacional (Silva, 2022). O Corpo de Bombeiros Militar do Tocantins (CBMTO), conta atualmente com 35 Normas Técnicas (NT), que se dividem em normatizar terminologias e simbologias, segurança estrutural, compartimentação, medidas de segurança e sistemas focados na prevenção e combate ao incêndio, entre outros. Destaca-se a NT 06, que tem como objetivo principal:

Esta Norma Técnica estabelece as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram as edificações para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural por tempo suficiente para possibilitar o atendimento das prescrições contidas nas disposições preliminares da Lei de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado do Tocantins (CBMTO, 2024, p. 1).

No âmbito nacional, existem diversas normativas propostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e, além disso, são utilizadas normativas internacionais, como o Eurocode, para regulamentar os estudos e dimensionamentos de estruturas em situação de incêndio. Adiante, serão apresentadas as principais normas utilizadas, com foco específico em estruturas de concreto armado e alvenaria estrutural.

2.2.1 Concreto armado

A Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) que trata sobre projetos de estruturas de concreto normais simples, armado e protendido é a ABNT NBR 6118 - Projeto de estrutura de concreto - Procedimento. Essa normativa foi publicada em 1980 e sua versão atual é do ano de 2024. Compete a essa norma “definir os critérios gerais que regem o projeto das estruturas de concreto, sejam elas de edifícios, pontes, obras hidráulicas, portos ou aeroportos etc.” (ABNT, 2023, p. 16), devendo esta ser complementada por outras normas com critérios para estruturas

específicas. No caso de ações excepcionais como sismos, impactos, explosões e incêndios é orientado a consulta à ABNT NBR 15421:2006, para ações sísmicas, e ABNT NBR 15200:2012, para estruturas de concreto em situações de incêndio.

Outra norma nacional importante com relação a ação do incêndio em edificações é ABNT NBR 14432:2001, esta estabelece os requisitos de resistência ao fogo para elementos construtivos de edificações. Seu objetivo é evitar o colapso estrutural em situações de incêndio e/ou garantir o isolamento da área por tempo suficiente para possibilitar a evacuação segura dos usuários, a realização das ações de combate ao fogo e a redução dos danos à estrutura da edificação.

A ABNT NBR 15200:2012 estabelece os critérios para a elaboração de projetos de estruturas de concreto em situações de incêndio, sendo aplicado apenas às estruturas de concreto projetadas de acordo com a ABNT NBR 6118. Além disso, ABNT NBR 15200:2012 também atende (e demonstra como obter atendimento) aos requisitos de resistência ao fogo da ABNT NBR 14432:2001. Essa norma apresenta alguns métodos de verificação das estruturas, sendo esses: método tabular, método analítico para pilares, método simplificado de cálculo, métodos avançados de cálculo, método experimental e o método do tempo equivalente.

Existem também normas internacionais que oferecem importantes subsídios para o dimensionamento e a verificação de estruturas de concreto expostas ao fogo. Entre elas, destaca-se o Eurocode 2 – *Design of Concrete Structures – Part 1-2: General Rules – Structural Fire Design* (2004). Esse documento é essencial para a aplicação da norma brasileira e concentra-se em requisitos de resistência ao fogo, facilidade de manutenção e durabilidade das estruturas de concreto. Por outro lado, não aborda critérios relacionados ao isolamento térmico ou acústico.

Assim como a ABNT NBR 15200, o Eurocode 2 (EN 1992-1-1: 2004) não cobre métodos ativos de proteção contra incêndio, limitando-se a métodos de proteção passiva, com o objetivo de evitar o colapso estrutural precoce e a propagação do fogo entre compartimentos (função corta-fogo). Essa norma se aplica a estruturas de concreto projetadas em conformidade com o Eurocode 2, com exceção de estruturas de concreto protendido e estruturas em casca de concreto. Além disso, exige que o concreto utilizado seja de peso normal e atenda às classes de resistência especificadas.

O Eurocode 2 (EN 1992-1-2: 2004) apresenta métodos para verificar a resistência das estruturas durante a exposição ao fogo, podendo ser aplicada uma análise de membros isolados, de partes da estrutura ou da estrutura como um todo. A norma também oferece diretrizes para o dimensionamento de estruturas de concreto que atendam à duração mínima de resistência ao

fogo, evitando fenômenos como o *spalling*, que consiste na fissuração e desprendimento do concreto sob altas temperaturas. Entre os métodos de dimensionamento, destacam-se os métodos simplificados de cálculo e os métodos avançados. Além disso, a norma inclui procedimentos para lidar com diversas estruturas específicas, abrangendo uma variedade maior de situações em comparação à ABNT NBR 15200 (Limeira, 2018).

2.2.2 Alvenaria estrutural

A norma ABNT NBR 16868:2020 regulamenta o sistema construtivo de alvenaria estrutural e está sendo estruturada em cinco partes. Até o momento, foram lançadas três: Parte 1 – Projeto, Parte 2 – Execução e controle de obras e Parte 3 – Métodos de ensaio. As demais, incluindo a Parte 4 – Estruturas em situação de incêndio, ainda encontram-se em fase de desenvolvimento. Diante da ausência de um regulamento nacional específico para o dimensionamento da alvenaria estrutural sob ação do fogo, o Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, em sua Instrução Técnica 08 (SÃO PAULO, 2019) recomenda o uso do Eurocode 6 Part 1-2:2005 ou norma similar reconhecida internacionalmente.

O Corpo de Bombeiros do Tocantins, na NT 06 – Segurança estrutural das edificações, reafirma que:

Na ausência de Norma Nacional sobre dimensionamento das estruturas em situação de incêndio, adota-se o Eurocode em sua última edição, ou norma similar reconhecida internacionalmente. No momento da publicação de norma nacional sobre o assunto, esta passará a ser adotada nos termos desta Norma Técnica (CBMTO, 2024, p. 1).

Conforme o Eurocode 6 Part 1-2:2005 alguns critérios são levados em consideração para a verificação da segurança em situações de incêndio, sendo eles: resistência mecânica (R), estanqueidade (E), isolamento térmico (I) e impacto mecânico (M).

O meio técnico, segundo Quispe (2022) também recomenda diversas referências nacionais que apresentam resultados de ensaios em paredes de alvenaria submetidas a altas temperaturas. O manual Desempenho - Sistemas de Alvenaria com Blocos Cerâmicos (PAULUZZI, 2017) fornece informações sobre o desempenho dos produtos cerâmicos em diferentes tipos e configurações de paredes. Já o Manual de Desempenho para Alvenaria de Blocos de Concreto (BLOCO BRASIL et al., 2019) apresenta resultados de ensaios em paredes com e sem função estrutural, além de variações no tipo e espessura do revestimento.

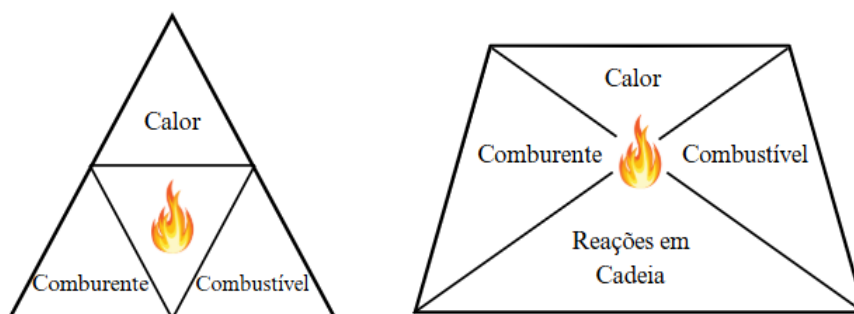
Essas referências técnicas desempenham um papel essencial em assegurar que o nível mínimo de segurança seja exigido e alcançado. No entanto, apesar das inúmeras exigências, é imprescindível que o profissional técnico responsável pelo projeto tenha a competência necessária para compreender os conceitos normativos e aplicá-los de maneira adequada, considerando as particularidades e a realidade de cada situação (Quispe, 2022).

2.3 O FENÔMENO DO INCÊNDIO

O fogo é definido de diferentes maneiras ao redor do mundo. De acordo com a norma brasileira ABNT 13860:1997, o fogo é descrito como um “processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz” (ABNT, 1997, p. 6). Para que o fogo seja gerado, é necessária a presença contínua de três elementos: combustível, calor e comburente (oxigênio). Esses elementos, em conjunto, compõem o chamado triângulo do fogo, representado na Figura 08.

Todavia, a combustão é um processo de reação química em cadeia que, uma vez iniciada, utiliza parte do calor gerado para sua continuidade. Nesse contexto, o modelo evolui para o tetraedro do fogo (ou quadrilátero do fogo), como ilustra a Figura 08, que inclui uma quarta condição essencial para a ocorrência do fenômeno.

Figura 08 – Triângulo do fogo e tetraedro do fogo



Fonte: Autoria Própria (2025)

Os quatro componentes do Tetraedro do Fogo serão explicados a seguir, conforme Silva (2022):

- **Calor** – é a energia necessária para iniciar e propagar a reação gerada entre o combustível e o comburente. De forma geral, o calor pode ser resumido como energia transferida de um ponto a outro devido à diferença de temperatura entre dois ambientes;

- **Combustível** – é todo e qualquer elemento que seja passível de sofrer combustão e propagar fogo, podendo estar presente nos estados sólido, líquido e gasoso. Cada substância ou material possui comportamento diferente diante do calor, que varia conforme sua composição química, o que define o seu grau de inflamabilidade, ou seja, maior ou menor facilidade em entrar em combustão;
- **Comburente** – é o responsável por sustentar as chamas, sendo o principal elemento consumido para que o fogo se mantenha ativo e se propague. Assim, quanto maior a disponibilidade desse elemento no ambiente, maior tende a ser a intensidade das chamas geradas durante um incêndio. E o comburente mais comum que temos em incêndios é o oxigênio, pois está presente em abundância na atmosfera;
- **Reação em cadeia** – Para que os três elementos anteriores mantenham o incêndio em propagação, é indispensável a ocorrência da reação em cadeia. Após o início do fogo, o calor irradiado pelo ambiente provoca a decomposição do combustível, transformando-o em partículas menores. Essas partículas reagem com o comburente, liberando ainda mais calor. Esse processo se retroalimenta, repetindo-se continuamente e mantendo a combustão ativa. Dessa forma, a sucessão dessas reações químicas é o que caracteriza e sustenta a propagação do incêndio.

Seja no triângulo ou no tetraedro do fogo é necessária a coexistência de todos os seus elementos, quando um de seus componentes é retirado ou quando se interrompe a reação em cadeia ocorre a extinção do fogo. Vale salientar que o incêndio é definido como sendo o fogo fora de controle (ABNT, NBR 13860:1997), iniciado a partir de uma fonte de calor que aquece os materiais em sua proximidade ou contato.

2.3.1 Formas de transferência de calor

Na termodinâmica, de maneira simplificada, entende-se que o calor é determinado pela agitação das moléculas em um ambiente. Essa movimentação gera a energia cinética média, também conhecida como energia térmica. De tal modo, a grandeza física utilizada para expressar a quantidade de energia térmica presente em um corpo é a temperatura. Assim, quanto maior for a agitação das moléculas, mais elevada será a temperatura do corpo e, consequentemente, maior será a energia térmica gerada.

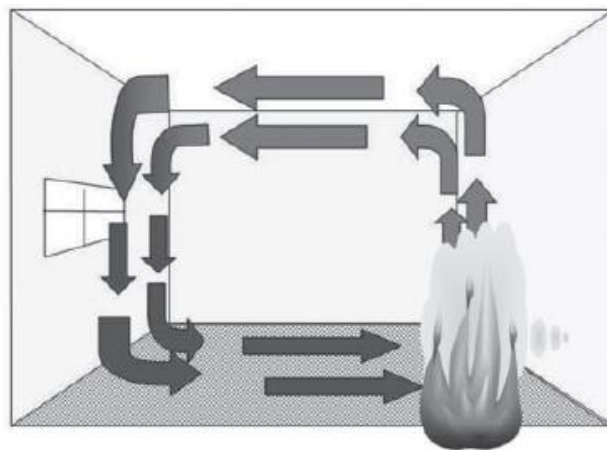
Conforme Almeida (2018) o calor pode ser descrito como:

Quando dois corpos com temperaturas diferentes são colocados em contato, acontece uma transferência de energia térmica do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura, até que o equilíbrio térmico seja atingido. Esta energia térmica em trânsito, resultante do gradiente de temperatura entre os corpos, é chamada de calor. (Almeida, 2018 p. 09)

Esse processo de transferência de energia térmica ocorre por meio de três mecanismos distintos: condução, convecção e radiação. Essas formas de transferência de calor podem ser explicadas, conforme Rodrigues e Oliveira (2021), como:

- **Convecção** - O fluxo de calor por convecção é provocado pela diferença de densidade entre os gases presentes no ambiente em chamas. Os gases quentes, sendo menos densos, sobem para a parte superior da atmosfera, enquanto os gases frios, de maior densidade, se deslocam para a parte inferior. Esse movimento resulta no contato entre os gases quentes e o mobiliário ou os elementos construtivos, ocasionando a transferência de calor.

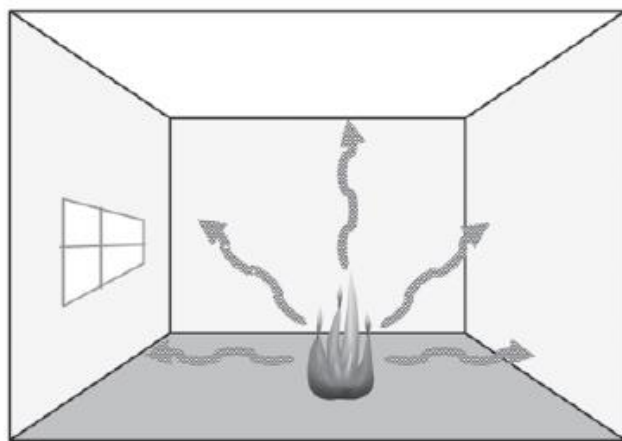
Figura 09 – Convecção decorrente de um incêndio



Fonte: Silva (2007)

- **Radiação** – A radiação térmica, ou irradiação, ocorre através da propagação de ondas eletromagnéticas, seja no vácuo ou em gases, de um corpo de alta temperatura para a superfície de outro com uma temperatura mais baixa. Portanto, não é necessário que haja o contato entre um corpo e outro para que exista a transferência de calor por radiação.

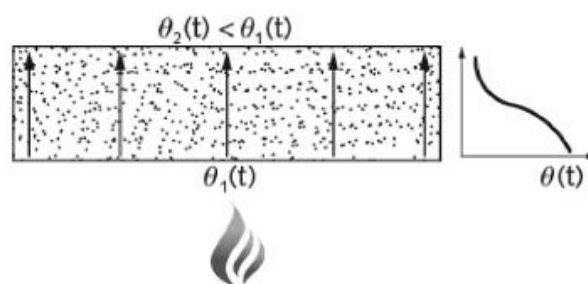
Figura 10 – Radiação térmica decorrente de um incêndio



Fonte: Silva (2007)

- Condução** - A condução térmica ocorre por meio de um material sólido, da região com temperatura elevada para a região de temperatura mais baixa. Por exemplo, a transmissão de calor por condução através de uma parede de compartimentação acontece quando o lado exposto ao fogo é aquecido, transferindo a energia para a parede. A energia cinética das moléculas em contato com o fogo aumenta e se choca com as que não se encontram em contato com o fogo, e desse modo o calor é transferido de molécula para molécula no elemento.

Figura 11 – Transferência de calor por condução



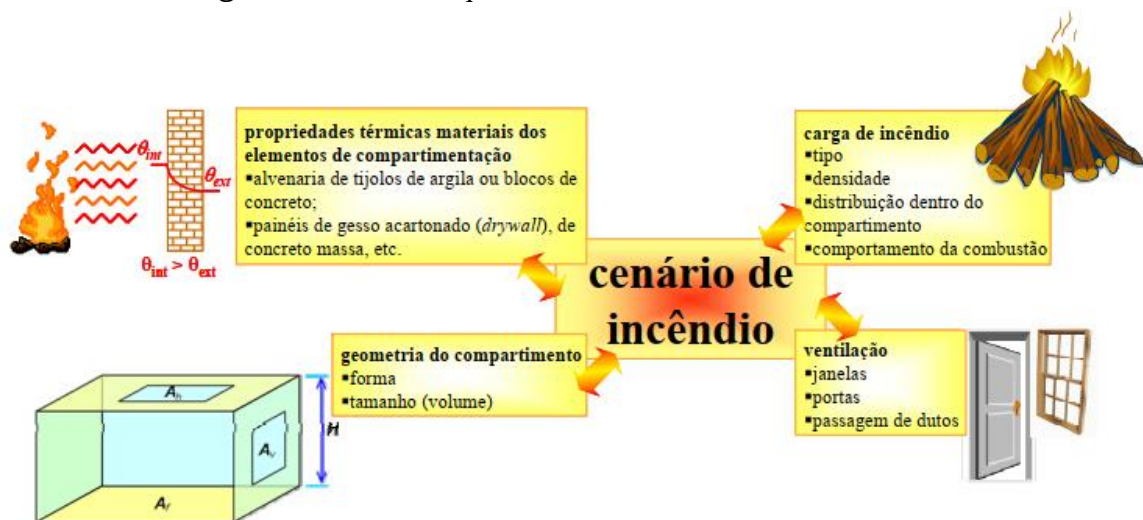
Fonte: Rodrigues e Oliveira (2021)

O índice de condutividade térmica varia de acordo com as propriedades físicas e químicas de cada material. De modo geral, os sólidos apresentam maior capacidade de condução térmica do que os líquidos e gases, pois seus átomos estão mais próximos, facilitando a transmissão da energia cinética (Silva, 2022). No âmbito da construção civil, podemos citar o concreto por possuir condutividade térmica relativamente baixa em comparação a outros materiais comumente utilizados (Silva, 2022), assim como a alvenaria, especialmente as de blocos de argila.

2.3.2 Desenvolvimento de um incêndio

Segundo Seito et al. (2008), os incêndios variam significativamente entre si, pois são influenciados por diversos fatores que afetam seu início e desenvolvimento. Entre esses fatores, destacam-se a geometria e as dimensões do local, a quantidade de material combustível, as aberturas de ventilação e as passagens entre ambientes que facilitam a propagação do incêndio, as medidas de prevenção e proteção contra incêndio existentes, as condições climáticas, entre outros (Figura 12). Além disso, as propriedades térmicas dos materiais que compõem os compartimentos da edificação desempenham um papel que influenciam na severidade do sinistro, já que os elementos de compartimentação são responsáveis por confinar o incêndio no local de origem.

Figura 12 – Fatores que influenciam no cenário do incêndio



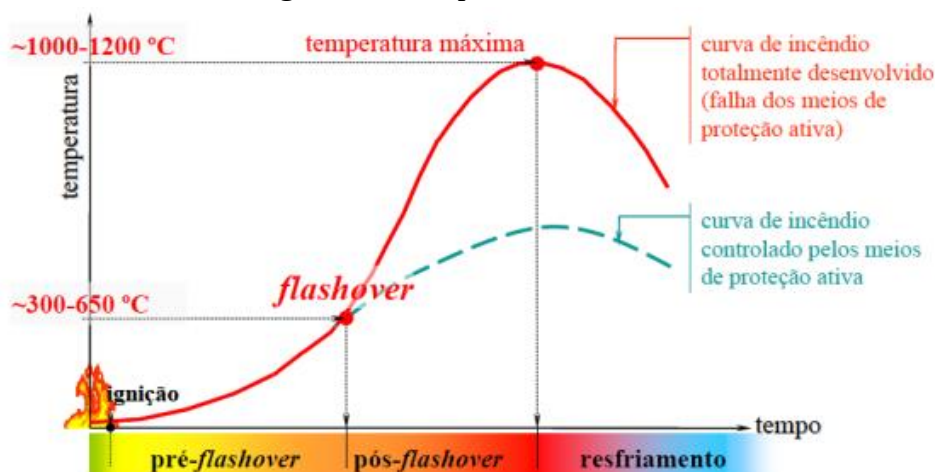
Fonte: Costa (2008)

Cada incêndio possui características únicas, tornando impossível a existência de dois cenários idênticos. A complexidade do desenvolvimento e da propagação desse fenômeno está refletida na variabilidade das condições de cada incidente. Para representar essa dinâmica, utiliza-se uma curva que expressa a variação da temperatura dos gases do compartimento ao longo do tempo, variando conforme os fatores citados (Limeira, 2018, apud Tavares; Nogueira, 2016).

A curva de incêndio real é caracterizada por dois ramos: o aumento da temperatura dos gases no compartimento e o resfriamento, sendo representados por dois segmentos, um ascendente e outro descendente, respectivamente (Figura 13). A elevação e a diminuição da

temperatura de um incêndio podem ser divididas em estágios, definidos pelos pontos de *flashover* e temperatura máxima. Os momentos correspondentes ao *flashover* e à temperatura máxima variam de incêndio para incêndio, assim como as temperaturas registradas em cada um desses instantes (Costa, 2008).

Figura 13 – Etapas de incêndio real



Fonte: Costa (2008)

Para uma compreensão mais clara, a curva é segmentada em diferentes trechos e pontos importantes:

- **Ignição** - O princípio de qualquer incêndio se dá com a ignição, quando um agente ígneo atinge o ponto de inflamação ou ignição de um material combustível, iniciando o processo de combustão viva (chamas). Os peritos e investigadores de incêndio se referem ao local onde ocorre a ignição como o foco inicial do incêndio. Apresenta um crescimento gradual da temperatura (Crispim e Crispim, 2020);
- **Pré-flashover** - É o estágio de aquecimento, caracterizado por uma aceleração no aumento da temperatura. Nesse momento, o incêndio ainda é restrito a uma área específica, e sua duração depende das características do compartimento (como aberturas, material da compartimentação, entre outros), podendo evoluir para o *flashover* (Costa, 2008);
- **Flashover** - Conhecido também como instante da inflamação generalizada, é o ponto ou o “instante” a partir da qual, todo o compartimento é tomado pelas chamas e o sinistro deixa de ser controlável por proteção ativa (Costa, 2008);
- **Pós-flashover** - Região marcada por uma mudança abrupta no aumento da temperatura, momento em que todo o material combustível presente no compartimento entra em

combustão. A temperatura dos gases quentes ultrapassa 300 °C e cresce rapidamente até atingir o ponto máximo da curva, conhecido como a temperatura máxima do incêndio, que representa o pico térmico dos gases no ambiente (Costa, 2008);

- **Resfriamento** - Região que representa a redução gradativa da temperatura dos gases no ambiente, ocorre com o consumo dos materiais combustíveis presentes, levando à redução da liberação de energia e ao controle das chamas por falta de combustível. Nesse estágio, brasas podem permanecer com temperaturas elevadas por algum tempo, enquanto as chamas diminuem progressivamente até desaparecerem por completo. A extinção pode resultar da ausência de oxigênio, do esgotamento do combustível ou da atuação de agentes extintores externos, como bombeiros (Crispim e Crispim, 2020).

O gráfico (Figura 13) traz também os elementos referentes às medidas de proteção, ressaltando a importância da proteção ativa no combate ao incêndio, pois elas podem controlar e extinguir o fogo antes do *flashover*, minimizando os impactos na estrutura (Costa, 2008 apud Silva, 2004).

Os meios de proteção se dividem em dois grupos: proteção ativa e proteção passiva. A proteção ativa é constituída por equipamentos e sistemas que precisam ser acionados, seja de forma manual ou automática. São exemplos desse meio de proteção: sistema de detecção e alarme, extintores, hidrantes, chuveiros automáticos (*sprinklers*), sistema de iluminação de emergência, entre outros. Esses meios são efetivos no combate a incêndio enquanto localizado, antes do seu desenvolvimento completo no compartimento (Costa, 2008).

Já os meios de proteção passiva são incorporados à construção e não requerem nenhum meio de acionamento para o seu funcionamento. São exemplos desse tipo de proteção: acessibilidade do lote e do edifício, rotas de fuga, adequado dimensionamento estruturais à situação de incêndio, a compartimentação e a escolha de materiais de revestimento e acabamento adequados (Costa, 2008, apud Ono, 2004).

2.4 CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

2.4.1 Concreto Armado

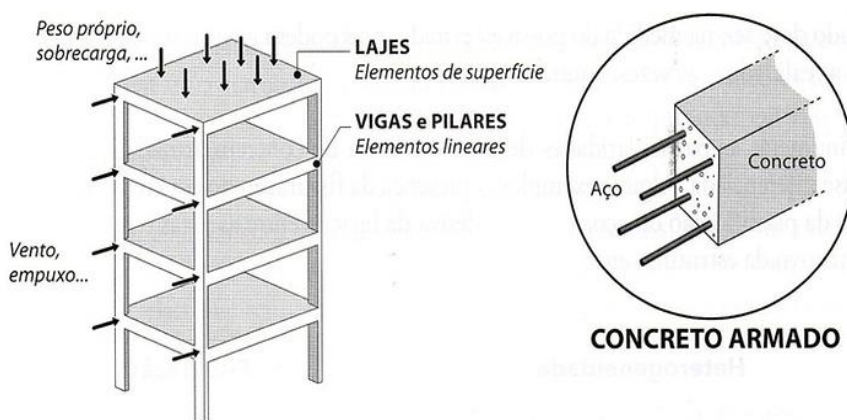
2.4.1.1 Definição

O concreto armado é um sistema estrutural, que como o próprio nome deixa claro, combina o concreto (cimento, água, agregado miúdo, agregado graúdo, aditivos e adições) com uma armadura de aço. Conforme Bastos (2013), as propriedades do concreto – como baixo custo, durabilidade e boa resistência à compressão, ao fogo e à água – são alinhadas com as qualidades do aço, que apresenta elevada ductilidade e excelente resistência tanto à tração quanto à compressão. Essa combinação possibilita a construção de elementos estruturais de variadas formas e volumes, atendendo a uma ampla diversidade de obras.

Um benefício adicional é que o aço, quando devidamente coberto por uma camada adequada de concreto (que varia de acordo com a utilização e localização da edificação), fica protegido contra corrosão e exposição a altas temperaturas em situações de incêndio, ao menos por um certo período de tempo. Além disso, para garantir o desempenho do concreto armado, é fundamental que haja uma boa aderência entre o concreto e o aço, permitindo que ambos atuem de forma conjunta e solidária na absorção dos esforços estruturais (Bastos, 2023).

O concreto armado é um sistema reticulado no qual os esforços são distribuídos por meio de elementos estruturais interligados, como pilares, vigas e lajes, garantindo a dissipação das cargas e formando um conjunto monolítico. Nesse tipo de sistema, as cargas atuantes na edificação são transferidas das lajes para as vigas, que as conduzem até os pilares e, por fim, para as fundações. As paredes, nesse contexto, desempenham exclusivamente a função de vedação. A Figura 14 ilustra uma edificação em concreto armado e suas cargas atuantes.

Figura 14 – Edifício de concreto armado



Fonte: Portal Concreto Armado (2020)

2.4.1.2 Tipos de edificações de concreto armado

O concreto armado é um sistema estrutural altamente versátil, podendo ser aplicado em uma ampla variedade de construções. Mesmo dentro das edificações residenciais e comerciais, existem diferentes tipos de estrutura que podem ser adotados, variando conforme as necessidades arquitetônicas, funcionais e econômicas do projeto.

Uma das principais classificações das edificações de concreto armado está relacionada ao tipo de laje empregado na estrutura. A escolha da laje influencia diretamente em fatores como desempenho estrutural, no custo da obra e na viabilidade construtiva, tornando-se um aspecto fundamental no dimensionamento do projeto. Alguns tipos de lajes utilizadas são: lajes maciças (Figura 15), lajes nervuradas (Figura 16), lajes treliçadas (Figura 17), entre outras.

Figura 15 – Laje maciça



Fonte: Blog da ObraMax (s.d)

Figura 16 – Laje nervurada



Fonte: Inova Civil (2019)

Figura 17 – Laje treliçada de bloco cerâmico



Fonte: Lajes Projeto (2023)

2.4.2 Comportamento do concreto armado em situação de incêndio

2.4.2.1 Propriedades afetadas pelo fogo

Historicamente, o concreto foi considerado um material "à prova de fogo", devido à sua incombustibilidade e capacidade de isolamento térmico. No entanto, quando exposto a temperaturas elevadas, ele sofre três principais efeitos adversos: danos provocados por deformações térmicas, redução das propriedades mecânicas, danos provocados por deformações térmicas e ocorrência de *spalling* (Junior, 2011).

Conforme Maximiniano (2018, apud Fanton, 2019) as propriedades que podem ser alteradas devido elevação da temperatura são divididas em:

- Propriedades térmicas:
 - Massa específica;
 - Calor específico;
 - Condutividade térmica;
 - Expansão térmica.

- Propriedades mecânicas:
 - Resistência;
 - Rigidez.

O concreto é composto por agregados miúdos e graúdos, cimento e água. As barras de aço embutidas no concreto possuem superfície nervurada, o que favorece a aderência entre os materiais, permitindo que atuem de forma conjunta e sejam considerados, em temperatura ambiente, um material aparentemente homogêneo. No entanto, quando submetido a temperaturas superiores a 100°C, a heterogeneidade do concreto se torna evidente, devido às transformações físicas, químicas e mineralógicas que ocorrem na pasta de cimento, nos agregados e no aço (Costa, 2008).

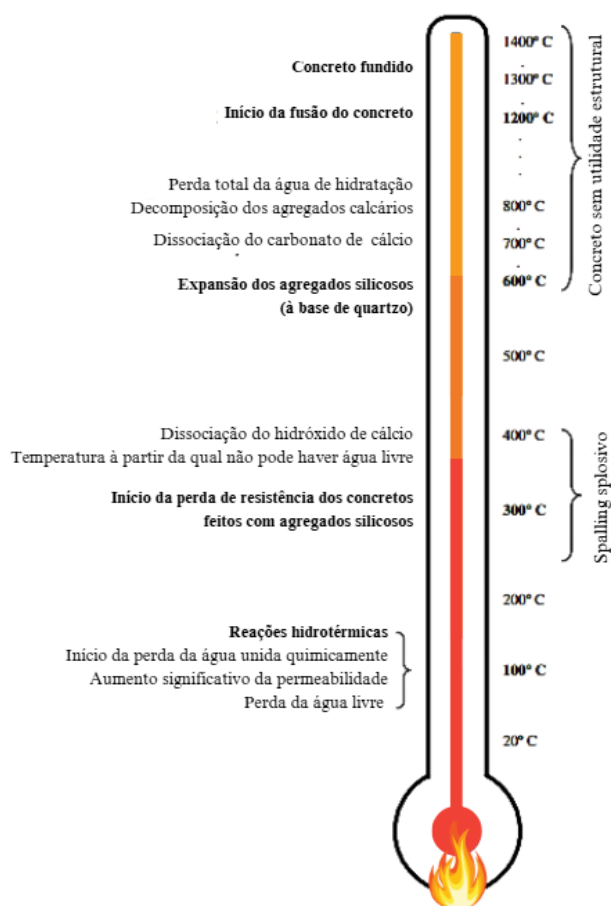
As propriedades físicas e térmicas do concreto e do aço se alteram com o aumento da temperatura. Sob calor intenso, a massa específica do concreto varia devido à perda de umidade e à expansão térmica do material. Por volta dos 100°C, o calor específico do concreto aumenta abruptamente em razão da evaporação da água livre. Já a condutividade térmica está

diretamente relacionada às propriedades dos agregados, embora também seja influenciada pela porosidade da pasta de cimento (Souza, 2015).

Dentre as alterações físico-químicas que ocorrem no concreto sob altas temperaturas, algumas são reversíveis após o resfriamento, enquanto outras são irreversíveis, podendo comprometer a capacidade resistente da estrutura após a ocorrência de incêndio (Júnior, 2011, p. 44).

A Figura 18, apresenta, de maneira simplificada, as transformações físico-químicas que o concreto pode apresentar conforme ocorre a elevação da temperatura.

Figura 18 – Representação simplificada das transformações físico-químicas do concreto



Fonte: Adaptado de Krouny (2000)

Vale destacar que as temperaturas mencionadas são apenas indicadores indiretos do desempenho da estrutura em condições de incêndio.

As propriedades mecânicas do concreto são significativamente afetadas pelo aumento da temperatura. A resistência à compressão reduz-se progressivamente, sendo essa variação

representada matematicamente por um fator redutor que auxilia na estimativa da capacidade dos elementos estruturais em condições de incêndio (ABNT NBR 15200, 2012).

Da mesma forma, o módulo de elasticidade do concreto diminui com o aquecimento, impactando sua rigidez (ABNT NBR 15200, 2012). Em temperaturas mais elevadas, a deformação total do material tende a aumentar, enquanto a resistência sofre reduções mais expressivas, especialmente em corpos de prova submetidos a condições extremas de calor (Hohemberger; Neto; Pinho, 2023 apud Zawadowska, 2021).

Para avaliar essas alterações, realizam-se ensaios em regime de aquecimento constante ou transiente (Souza, 2015). À medida que a temperatura se eleva, a rigidez estrutural diminui, permitindo um maior grau de adaptação plástica. No entanto, os esforços térmicos resultantes desse processo são, em geral, pouco significativos do ponto de vista estrutural. (Hohemberger; Neto; Pinho, 2023).

2.4.2.2 *Spalling*

O concreto, além de sofrer redução em sua resistência, também perde área resistente devido ao fenômeno do "*spalling*". O *spalling* é um tipo de lascamento que ocorre na superfície do elemento de concreto exposto a incêndio (Figura 19). Em concretos de resistência convencional, o *spalling* resulta do comportamento diferencial dos materiais que compõem o concreto em altas temperaturas, além da pressão interna gerada pela evaporação da água, entre outros fatores. O *spalling* pode se manifestar como o *spalling* explosivo, no qual há o deslocamento do concreto, acompanhado de um ruído intenso, devido à dificuldade de percolação da água. Esse fenômeno reduz a área resistente do concreto, expondo, assim, a armadura ao fogo (Souza, 2015).

Figura 19 - Efeito *spalling* no concreto armado



Fonte: Elaborex (2022)

2.5 ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

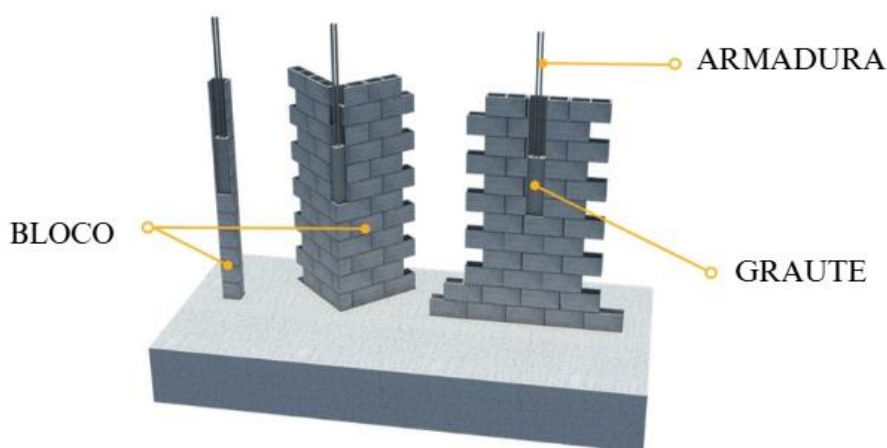
2.5.2 Alvenaria estrutural

2.5.2.1 Definição

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo caracterizado pela utilização de paredes de alvenaria, podendo ser de blocos cerâmicos, de concreto ou sílico-calcáreo, e lajes enrijecedoras como elemento estrutural de sustentação do edifício (Franco, 1992, apud, Carvalho, 2019). Esse sistema possibilita a incorporação de conceitos de racionalização do processo construtivo, produtividade e redução de custos (Neto, 2020).

Para compreender as características desse sistema é necessário conhecer os seus componentes, também chamados de unidades básicas do sistema. A união desses componentes dá origem aos elementos, que, integrados, formam uma estrutura completa. Sendo os principais componentes da alvenaria estrutural as unidades (blocos), a argamassa, o graute e a armadura, representados na Figura 20. A combinação de dois ou mais desses componentes resulta na formação de elementos estruturais, como paredes, vergas e cintas (Carvalho, 2019).

Figura 20 - Componentes da alvenaria estrutural



Fonte: Adaptado de Construindo Casas (2021)

A principal característica do sistema é o seu bom desempenho quanto aos esforços de compressão, sendo os blocos os elementos que mais contribuem para essa resistência, conforme esclarece Carvalho (2019). Isso não exclui a relevância dos demais componentes da alvenaria

estrutural, tornando essencial compreender as funções e características de cada um desses componentes para assegurar o melhor desempenho estrutural desse sistema construtivo.

2.5.2.2 Componentes da alvenaria estrutural

Como mencionado anteriormente, a alvenaria estrutural é um sistema formado por diferentes componentes, que influenciam diretamente no comportamento dos elementos estruturais (Carvalho, 2019). Sendo assim, nos próximos itens serão descritas as principais características desses componentes.

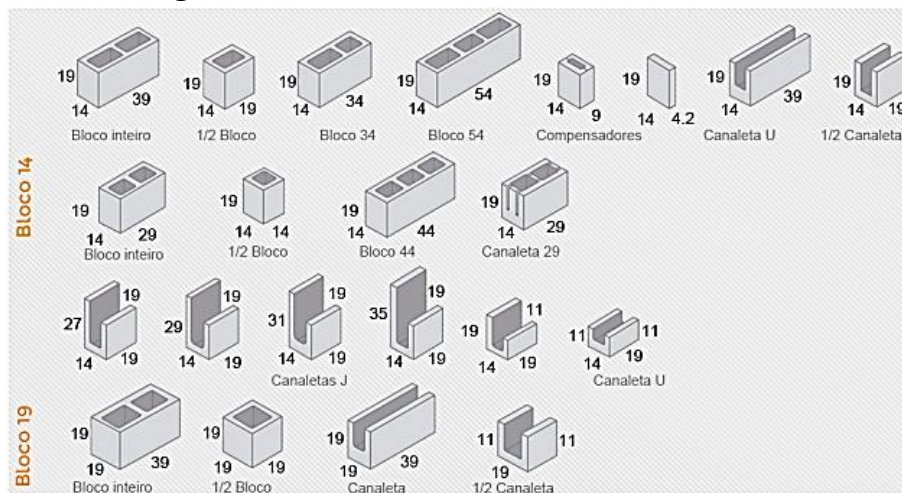
2.5.2.2.1 Unidades

As unidades, os reconhecidos blocos, são os componentes mais importantes da alvenaria estrutural, pois representam a maior parte da alvenaria e são as responsáveis pela resistência à compressão das paredes (principal elemento da estrutura) e pilares. Ou seja, desempenham um papel fundamental na definição das características de resistência da estrutura (Bastos, 2021). Os blocos podem ser classificados de acordo com o material (concreto, cerâmico, sílico-calcário), de acordo com forma (maciço ou vazado) e de acordo com o tipo (vedação ou estrutural).

Independentemente do material utilizado, os blocos devem apresentar as seguintes propriedades:

- Resistência à compressão adequada;
- Capacidade de aderência da argamassa;
- Durabilidade frente a agentes agressivos (umidade, variação de temperatura e ataque por agentes químicos);
- Dimensões uniformes;
- Resistência ao fogo.

Dentro da alvenaria estrutural os blocos são divididos em famílias, sendo classificados conforme suas dimensões e funções, podendo ser designados como bloco inteiro, meio bloco, blocos de amarração em L e T (utilizados em encontros de paredes), blocos compensadores e blocos tipo canaletas. A Figura 21 apresenta as famílias de bloco de 14cm e de 19cm.

Figura 21 – Famílias de blocos de 14cm e 19cm

Fonte: Pavertech (2020)

2.5.2.2.2 Argamassa

A argamassa de assentamento é o elemento responsável pela ligação dos blocos de alvenaria, sendo geralmente constituídas de cimento, cal, agregado miúdo e água, podendo também conter aditivos e adições. Conforme Neto (2020), o principal responsável pela resistência mecânica é o cimento, no entanto se utilizado de forma exagerada, apesar da contribuição com a resistência, apresenta uma redução da trabalhabilidade e capacidade de acomodação das deformações. A cal melhora a trabalhabilidade e a capacidade de deformação da argamassa, porém, reduz sua resistência.

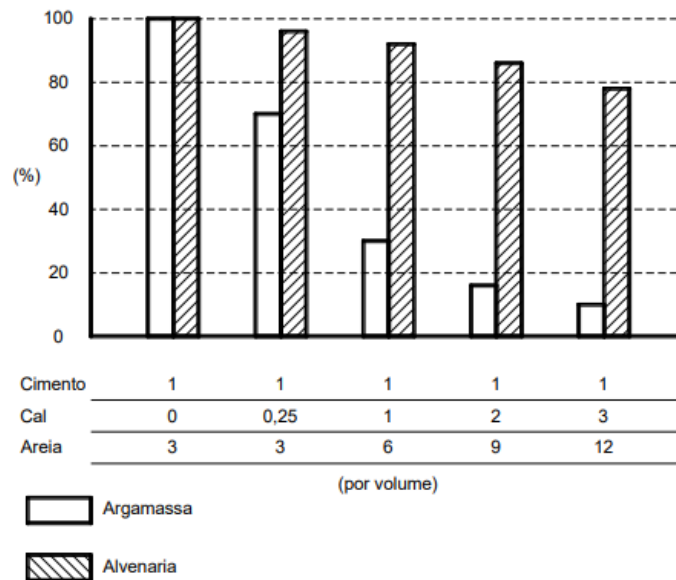
Dentre as funções desempenhadas pela argamassa de assentamento estão a de unir as unidades (blocos) da alvenaria, transferir e uniformizar as tensões entre elas, garantindo aderência. Além disso, a argamassa deve ser capaz de absorver pequenas deformações (provocadas por variações de temperatura, pequenos recalques, retração por secagem etc.), desenvolver resistência adequada para não comprometer a alvenaria, impedir a entrada de água e vento nas edificações e também proteger contra agentes agressivos, além de compensar pequenas variações dimensionais das unidades (Bastos, 2021 apud Ramalho e Corrêa, 2007).

Para um bom desempenho das suas funções as argamassas devem apresentar boas características de trabalhabilidade, resistência, plasticidade, durabilidade e, além disso, a capacidade de retenção de água (Bastos, 2013).

A resistência da argamassa à compressão não desempenha um papel significativo na resistência das paredes à compressão, sendo relevante apenas quando sua resistência é inferior

a 30 a 40% da resistência do bloco (Bastos, 2013). O diagrama de Curtin et al. (1982) mostrado na Figura 22 ilustra o fato.

Figura 22 - Influência da resistência da argamassa sobre a resistência da parede à compressão



Fonte: Bastos (2021, apud Curtin et al., 1982)

2.5.2.2.3 Graute

O graute é reconhecido como um microconcreto, composto pelos mesmos materiais de concreto convencional, com a diferença de possuir agregados mais finos, que passam em sua totalidade na peneira 12,5mm e de consistência fluída (abatimento de 20 a 28cm) (Carvalho, 2019).

Dentre as funções que o graute desempenha na alvenaria estrutural, conforme Bastos (2021), está a sua utilização para preencher os vazios dos blocos, com a finalidade de aumentar a área da seção transversal do elemento, promover a solidarização dos blocos com as armaduras dispostas nos furos (vazios) dos blocos e preencher os blocos canaleta e canaleta tipo J. Sua aplicação permite aumentar a capacidade de compressão da alvenaria ou possibilitar que as tensões de tração sejam absorvidas pela armadura.

Ainda segundo Bastos (2021), o graute precisa aderir aos blocos e envolver a armadura, formando uma estrutura unificada. Além disso, ele fortalece as paredes, aumentando sua resistência: a) a forças laterais, b) a propagação de som e c) ao fogo.

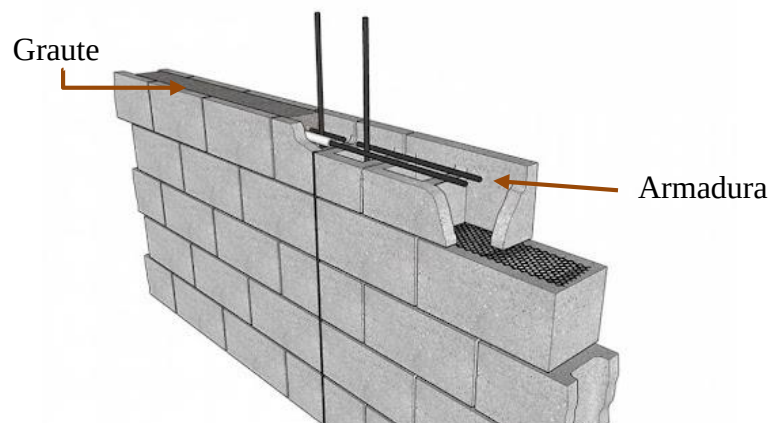
2.5.2.2.4 Armaduras

As armaduras, passivas ou ativas, são as mesmas utilizadas em estruturas de concreto armado e protendido, sendo empregado os aços CA-25, CA-50 e CA-60. Sendo as funções dentro do sistema de absorverem aos esforços de tração e/ou compressão e as necessidades construtivas (Bastos, 2021).

Segundo a NBR 15812:2010, os elementos de alvenaria podem ser definidos conforme a função desempenhada pelas armaduras em:

- **Não-armado:** elemento no qual a armadura não é considerada para resistir aos esforços solicitantes. Nesse caso, a armadura apresenta apenas finalidade construtiva ou de amarração, para prevenir problemas patológicos futuros como trincas por acomodação da estrutura ou por efeito térmico, vento e concentração de tensões;
- **Armado:** elemento que possui armaduras passivas calculadas para resistir aos esforços solicitantes. Nesse caso, as armaduras são dispostas nas cavidades dos blocos e posteriormente preenchidas pelo componente graute (como ilustra a Figura 23);
- **Protendido:** elemento que possui armaduras ativas para resistir aos esforços solicitantes.

Figura 23 - Representação da armadura na alvenaria estrutural



Fonte: Adaptado de Ecivil (2018)

2.5.3 Comportamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio

A resistência ao fogo da alvenaria estrutural está diretamente condicionada ao comportamento resistente de cada um de seus componentes, tanto de forma isolada quanto em conjunto. Por isso, é fundamental compreender as propriedades dos materiais do sistema

construtivo diante das variações de temperatura, assim como o comportamento do próprio sistema sob variações de carregamentos quando submetido a elevadas temperaturas (Carvalho, 2019).

Entretanto, no Brasil, há uma carência significativa de estudos sobre o desempenho desses materiais em situação de incêndio. Leite (2018) aponta a escassez de pesquisas nacionais que avaliem as propriedades térmicas e mecânicas da alvenaria estrutural sob elevadas temperaturas, além do número reduzido de ensaios que analisam o comportamento de paredes submetidas a cargas em condições de incêndio. Essa limitação também é destacada por Neto (2020), que ressalta a necessidade de mais investigações sobre o desempenho estrutural da alvenaria em cenários de altas temperaturas.

2.5.3.1 Fatores que influenciam no desempenho da alvenaria estrutural em altas temperaturas

O comportamento da alvenaria em situação de incêndio é influenciado por diversos fatores. Adreini et al. (2014, apud Carvalho, 2019) apontam que aspectos como forma, geometria, textura dos blocos, espessura das juntas de argamassa, teor de umidade, dimensões, restrições estruturais e a forma de exposição ao fogo podem interferir diretamente na sua resposta ao calor. Além disso, Bonitese (2007, apud Carvalho, 2019) destaca que a composição química dos materiais também exerce grande influência, pois a elevação da temperatura pode alterar suas propriedades físico-químicas, impactando seu desempenho estrutural. Rosemann (2011, apud Carvalho, 2019) complementa essa análise ao mencionar as mudanças nos mecanismos de transferência de calor quando apenas uma face do elemento estrutural é exposta ao incêndio. A umidade presente nos materiais se desloca pelo meio poroso, provocando variações na propagação térmica ao longo da espessura do elemento. Essas alterações na microestrutura do material refletem diretamente em propriedades como condutividade térmica, módulo de elasticidade e calor específico.

2.5.3.1.1 Material e geometria dos blocos

Os materiais dos blocos influenciam diretamente o comportamento térmico das paredes, determinando propriedades como densidade, porosidade e resistência mecânica (Meyer, 2006, apud Carvalho, 2019). Blocos com menor condutividade térmica e maior calor específico proporcionam melhor isolamento térmico. Conforme traz Carvalho (2019), ensaios de Thomaz e Helene (2000) e Chichierchio (1990) mostraram que blocos cerâmicos têm melhor

desempenho térmico e estanqueidade em comparação aos de concreto, além de maior resistência ao fogo. Resultados semelhantes foram obtidos por Al-Hadhrami e Ahmad (2009). Al Nahhas et al. (2007, apud Carvalho, 2019) destacam que a densidade e porosidade dos blocos influenciam o aquecimento da parede devido à umidade presente nos poros.

A geometria dos blocos também interfere na resistência ao fogo. Nguyen et al. (2009, apud Carvalho, 2019) aponta que o tipo de bloco, suas dimensões e o formato dos vazados afetam a transferência de calor. Blocos mais espessos possuem maior isolamento térmico, e a presença de vazados reduz a condutividade térmica efetiva ao alterar os mecanismos de transferência de calor. Ensaaios de Al-Hadhrami e Ahmad (2008, apud Carvalho, 2019) indicam que blocos com dois vazados têm melhor desempenho térmico que os com apenas um. Além disso, a quantidade de juntas de argamassa influencia o isolamento térmico devido às diferenças nas propriedades termo-físicas entre os materiais (Rosemann, 2011, apud Carvalho, 2019).

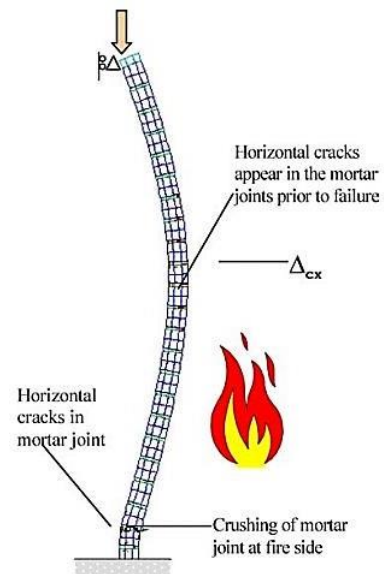
2.5.3.1.2 Processo construtivo

A resistência ao fogo das paredes é influenciada pelo tipo de argamassa, espessura e tipo das juntas, preenchimento dos vazios dos blocos e presença de revestimentos (Meyer, 2006, apud Carvalho, 2019). O uso de materiais isolantes na argamassa melhora o isolamento térmico (Al-hadhrami e Ahmad, 2009, apud Carvalho, 2019), assim como o preenchimento dos vazios com groute ou materiais de baixa densidade (Oliveira, 1998, apud Carvalho, 2019). Revestimentos também aumentam a resistência, mas sua eficácia depende da aderência à parede. Testes mostraram que paredes sem revestimento resistiram por 90 minutos, enquanto revestidas com cimento e areia por 120 minutos (Chichierchio, 1990, apud Carvalho 2019).

2.5.3.1.3 Estabilidade estrutural

Meyer (2006, apud Carvalho, 2019) destaca fatores que afetam a resistência das paredes durante incêndios, como a degradação dos materiais, encurvamento devido à dilatação térmica, restrições e excentricidades. O aumento da temperatura reduz a resistência dos blocos e da argamassa, causando fissuras e possíveis rupturas. Conforme Carvalho (2019) quando o incêndio atinge uma face da parede, o gradiente térmico provoca encurvamento, conforme ilustra a Figura 24, gerando momentos de segunda ordem e maior solicitação. O coeficiente de expansão térmica, a condutividade do material e as cargas verticais influenciam esse processo. A longo prazo, a parede pode se tornar instável, e as restrições aumentam os esforços internos.

Figura 24 – Arqueamento da parede em situação de incêndio

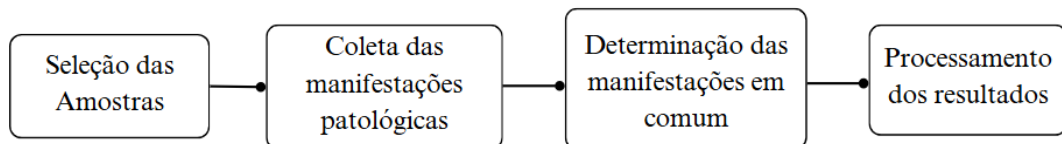


Fonte: Nadjai *et al.* (2006)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa consiste em um estudo de caso envolvendo cinco edificações localizadas na cidade de Palmas–TO, que sofreram a ação de incêndios. Nessas edificações, foram analisadas as manifestações patológicas resultantes dos sinistros, considerando os diferentes sistemas construtivos empregados. Para isso, o estudo foi dividido em etapas, conforme esquematizado na Figura 25 e explicados a seguir.

Figura 25 - Organograma das etapas da pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2025)

3.1 IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS

Nas edificações analisadas, as informações de localização e nome foram preservadas, visto que alguns casos ainda se encontravam em trâmite judicial, sendo descritas apenas as características construtivas relevantes para a análise. Cada amostra foi representada por uma numeração de 1 a 5, adotada ao longo do trabalho para fins de organização e análise.

As amostras selecionadas foram obtidas com o apoio do professor Dr. Moacyr Salles Neto, responsável pelo levantamento inicial das ocorrências. As análises foram realizadas com o objetivo de identificar as características das manifestações patológicas e os padrões de ocorrência associados aos diferentes sistemas construtivos.

3.1.1 Caso 1

O Caso 1 refere-se a um edifício residencial multifamiliar composto por duas torres, cada uma com um subsolo e 19 pavimentos. A estrutura foi executada em concreto armado, utilizando sistema de lajes nervuradas e alvenaria de vedação. A análise concentrou-se no apartamento localizado no oitavo andar, onde o incêndio teve início, bem como na unidade imediatamente superior, também afetada pelo sinistro.

3.1.2 Caso 2

O Caso 2 refere-se a um edifício residencial multifamiliar composto por torres de quatro pavimentos, executado em alvenaria estrutural com blocos de vedação de concreto. A análise concentrou-se em um dos apartamentos localizados no quarto pavimento, onde ocorreu o sinistro.

3.1.3 Caso 3

O Caso 3 refere-se a um sobrado residencial executado em concreto armado, com sistema de laje pré-fabricada treliçada preenchida com lajotas cerâmicas e alvenaria de vedação em blocos cerâmicos. A análise abrangeu todos os ambientes da edificação.

3.1.4 Caso 4

O Caso 4 refere-se a uma edificação institucional destinada ao uso educacional, composta por três pavimentos, sendo estes: térreo, 1º e 2º pavimento. A construção foi executada em concreto armado convencional com alvenaria de vedação em blocos cerâmicos. A análise abrangeu todos os ambientes da edificação.

3.1.5 Caso 5

O Caso 5 refere-se a uma edificação industrial executada em estrutura metálica, com alvenaria de vedação em blocos cerâmicos. Embora o incêndio tenha se originado no edifício vizinho, os efeitos do sinistro atingiram diretamente a edificação analisada, uma vez que ambas compartilham uma única parede de separação. A análise concentrou-se nos danos causados pelo calor e pela transferência térmica através da parede comum, com ênfase nas manifestações patológicas observadas na estrutura e na alvenaria.

3.2 ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Para a análise das manifestações patológicas, foram examinados os registros fotográficos disponíveis e realizada uma entrevista com o Dr. Moacyr Salles Neto, no Caso 1,

foi possível, além disso, realizar a vistoria *in loco* alguns dias após a ocorrência. As manifestações identificadas em cada caso foram agrupadas conforme os principais elementos, possibilitando uma análise sistemática e comparativa dos diferentes sistemas estruturais e construtivos. No que refere-se à estrutura, a avaliação foi conduzida de acordo com sua tipologia: nas estruturas reticulares, foram analisados separadamente os elementos de lajes, vigas e pilares; já nas estruturas laminares, foram analisados os elementos de parede e laje. Além da estrutura, foram avaliadas as manifestações patológicas nos elementos de vedação vertical, instalações (elétricas, hidrossanitárias e frigorígenas), revestimentos de parede e de piso. A Figura 26 representa o organograma organizacional das análises, essa categorização foi idealizada com o objetivo de identificar padrões de ocorrência das patologias em função do sistema estrutural e demais sistemas construtivos.

Outro aspecto relevante foi a análise da interação entre esses elementos, considerando como atuam de forma integrada sob condições de incêndio.

Figura 26 - Organograma organizacional de análise das manifestações patológicas



Fonte: Autoria Própria (2025)

3.3 PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS

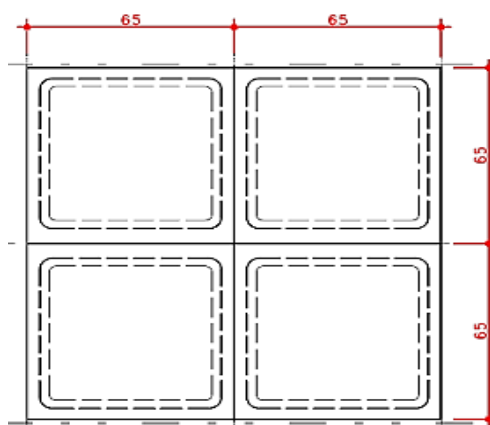
A partir dos resultados obtidos na análise anterior, foram organizados quadros e gráficos contendo os tipos de manifestações patológicas observadas em cada sistema. Esse procedimento auxiliou na identificação dos padrões de comprometimento dos elementos construtivos com relação aos efeitos do incêndio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CASO 1

O Caso 1 refere-se a um apartamento localizado em um edifício com estrutura em concreto armado e laje nervurada. Diferentemente dos demais estudos, além da análise dos registros fotográficos, foi possível ter acesso ao parecer técnico do caso, bem como a realização da inspeção *in loco*, o que permitiu a coleta de informações mais detalhadas sobre o evento. A origem do incêndio foi atribuída a um problema na rede de ar-condicionado. Um aspecto de grande relevância observado durante a vistoria foi a configuração da laje nervurada com uso de cubetas (Figura 27), associada a uma alvenaria de vedação que faceava apenas a parte inferior da laje. Essa característica resultou em falhas na compartimentação vertical do ambiente, uma vez que a ausência de vedação efetiva entre a alvenaria e a laje permitiu a livre passagem de fumaça, calor e gases, conforme ilustra a Figura 28. Segundo Neto¹ (2025, informação verbal), caso houvesse uma compartimentação eficiente entre os ambientes, os efeitos do incêndio poderiam ter sido significativamente reduzidos, restringindo sua propagação. O foco inicial do fogo ocorreu em uma das suítes do apartamento e, devido à ausência de porta entre este cômodo e o closet adjacente, as chamas se alastraram rapidamente para o closet, onde se encontrava a maior carga de incêndio, composta principalmente por roupas e livros.

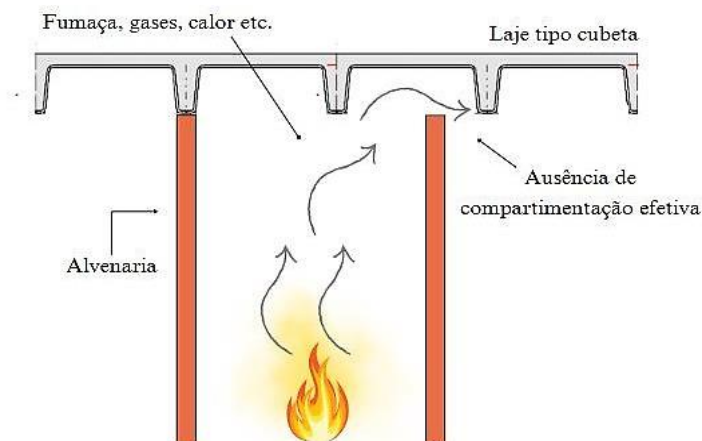
Figura 27 – Detalhe das cubetas da laje



Fonte: Adaptado do Projeto Estrutural (2025)

¹ Entrevista concedida por Moacyr Salles Neto, professor do Instituto Federal do Tocantins, Palmas-TO, em 01 mai. 2025.

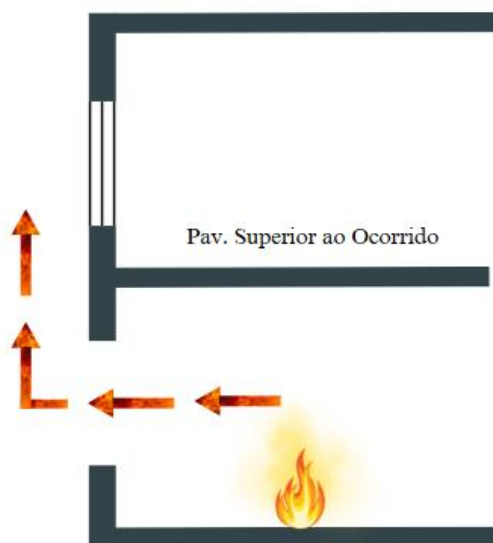
Figura 28 – Falha na compartimentação efetiva



Fonte: Autoria Própria (2025)

Outro fator ocorrido foi a destruição da janela da suíte voltada para a fachada da edificação, que permitiu que as chamas escapassem para o exterior do edifício. Com essa ocorrência o incêndio foi alimentado, aumentando significativamente a temperatura e, conseqüentemente, o dano, conforme Neto² (2025, informação verbal). Essa abertura também contribuiu para a propagação vertical do incêndio, conforme ilustra a Figura 29 e evidencia a Figura 30, causando danos visíveis na fachada e representando um risco adicional a segurança do apartamento do pavimento superior.

Figura 29 – Propagação vertical das chamas pela fachada do edifício



Fonte: Autoria Própria (2025)

² Entrevista concedida por Moacyr Salles Neto, professor do Instituto Federal do Tocantins, Palmas-TO, em 01 mai. 2025.

Figura 30 – Chamas saindo da janela do apartamento



Fonte: NETO (2024)

4.1.1 Manifestações patológicas na estrutura

4.1.1.1 Pilar

O sistema de lajes nervuradas, empregado nesse edifício, possibilita, conforme Souza e Lopes (2016), a execução de vãos maiores, o que, por sua vez, permite o aumento do espaçamento entre pilares e favorece a flexibilidade do projeto arquitetônico. Por essa razão, no cômodo onde o incêndio teve início, existia apenas um pilar estrutural. Esse elemento encontrava-se revestido com gesso corrido estruturado com tela, apresentando uma espessura média de 3,5cm, conforme demonstra a Figura 31. Essa camada de revestimento conferiu uma proteção térmica significativa ao pilar, não sendo constatados danos estruturais visíveis no referido elemento estrutural. A Figura 32 ilustra essa configuração e a integridade do pilar após a exposição ao fogo.

Nesse caso, foi realizada a determinação da dureza superficial do concreto com o auxílio de um esclerômetro de reflexão, conforme ilustra a Figura 33, visando à posterior correlação com a resistência característica do material. A Tabela 01 apresenta os resultados obtidos a partir do ensaio realizado no pilar. Embasado pelo profissional responsável pela análise, não foram observados, nesse elemento, quaisquer danos decorrentes da ação do incêndio, o que reforça a eficácia da proteção proporcionada pelo revestimento.

Figura 31 – Espessura do revestimento de gesso corrido



Fonte: NETO (2024)

Figura 32 – Localização do pilar



Fonte: NETO (2024)

Figura 33 – Determinação da dureza superficial do concreto com esclerômetro de reflexão



Fonte: NETO (2024)

Tabela 01 – Índice esclerométrico médio, resistência média à compressão equivalente – fcm e resistência característica estimada à compressão – fck, estimado

Ponto	Descrição	Índice	Resistência média	Resistência característica
		Esclerométrico	à compressão -	estimada a compressão –
		Médio (Q)	fcm	fck, estimado
1	Pilar Suíte	61,9	43,3 MPa	39,1 Mpa

Fonte: NETO (2024)

4.1.1.2 Vigas e Laje

As vigas e lajes serão tratadas em conjunto, visto que, conforme Pinheiro e Razante (2003), no sistema de laje nervurada forma-se um conjunto de vigas ou nervuras que se cruzam, unidas por uma mesa superior. No presente caso, os maiores danos nesses elementos foram observados no ambiente onde se iniciou o sinistro e no cômodo adjacente, que apresentava a maior carga de incêndio.

A proteção conferida as vigas e laje era conferida apenas pelo forro de gesso em placas, esse foi completamente comprometido durante a ação do incêndio, conforme mostra a Figura 34, expondo diretamente os elementos estruturais ao calor elevado. O forro não foi capaz de proporcionar o mesmo nível de proteção do revestimento de gesso dos painéis, essa condição tornou vigas e lajes mais vulneráveis à ação do incêndio, aumentando o risco de danos estruturais. A Figuras 35 expõem a condição em que esses elementos foram encontrados após o evento.

Figura 34 – Resquícios do forro de gesso



Fonte: NETO (2024)

Figura 35 – Condições da laje nervurada após ação do incêndio



Fonte: NETO (2024)

A degradação observada nos elementos de vigas e lajes não foi homogênea, sendo observados elementos íntegros e comprometidos no mesmo ambiente. Nas cubetas das lajes da suíte e do closet foram realizados também ensaios de determinação da dureza superficial do concreto com o auxílio de um esclerômetro de reflexão. Essas superfícies foram previamente testadas com uma solução indicadora de PH (fenolftaleína) para determinação da sua carbonatação, conforme Figura 36. Uma vez realizada mensuração da carbonatação do concreto, esse fator foi considerado no cálculo da resistência aferida para o concreto. A Tabela 02 apresenta os resultados obtidos a partir do ensaio realizados nas cubetas e viga dos dois ambientes. A resistência especificada no projeto estrutural fornecido era de f_{ck} de 30 MPa e a resistência à compressão equivalente foi ajustada considerando a padronização brasileira para corpos de prova cilíndricos de 15×30 cm. Os resultados obtidos ficaram abaixo do valor especificado no projeto estrutural.

Figura 36 – Ensaio de determinação da frente de carbonatação



Fonte: NETO (2024)

Tabela 02 – Índice esclerométrico médio, resistência média à compressão equivalente – fcm e resistência característica estimada à compressão – fck, estimado

Ponto	Descrição	Índice Esclerométrico Médio (Q)	Resistência média à compressão - fcm	Resistência característica estimada a compressão – fck, estimado
2	Viga Suíte	50,1	24,1 MPa	19,9 MPa
3	Cubeta Suíte	65,6	50,7 MPa	46,8 MPa
4	Cubeta Closet	49,6	23,5 MPa	19,5 MPa

Fonte: NETO (2024)

Além das manifestações patológicas previamente descritas, observou-se em determinado trecho da laje a deterioração acentuada nesse ponto, conforme ilustrado na Figura 37. Também foram identificadas fissuras distribuídas em diversos trechos das cubetas da laje, conforme Figura 38.

Figura 37 – Deterioração da mesa da laje



Fonte: NETO (2024)

Figura 38 – Presença de fissuras na laje



Fonte: NETO (2024)

O parecer técnico aponta que, embora o Estado Limite Último (ELU) não tenha sido atingido, não é possível afirmar o mesmo quanto ao Estado Limite de Utilização (ELS). Isso porque a temperatura estimada no concreto, de aproximadamente 550 °C (obtida pelos ensaios), foi suficiente para reduzir sua resistência e rigidez, favorecendo o surgimento de fissuras e a desagregação superficial do material, como mostrado nas Figuras 39, 40 e 41. Ainda segundo o laudo, essa alta temperatura também causou perda de resistência do aço das armaduras (estimada em 37,5%) e diminuição do módulo de elasticidade do concreto (estimada em 54,5%), provocando deformações permanentes em várias áreas e agravando o desprendimento do cobrimento do concreto pelo efeito *spalling*, conforme ilustrado nas Figuras 42, 43 e 44.

Figura 39 – Desagregação do concreto da laje



Fonte: NETO (2024)

Figura 40 – Vista ampliada da desagregação do concreto da laje



Fonte: NETO (2024)

Figura 41 – Deformação permanente das armaduras



Fonte: NETO (2024)

Figura 42 – Efeito *spalling* do concreto



Fonte: NETO (2024)

Figura 43 – Efeito *spalling* do concreto

Fonte: NETO (2024)

Figura 44 – Efeito *spalling* do concreto

Fonte: NETO (2024)

O aumento da temperatura em situações de incêndio provoca a redução do módulo de elasticidade dos materiais constituintes da estrutura, como o concreto e, principalmente, o aço. Como consequência, a estrutura passa a apresentar maiores incrementos de deformação mesmo sob a mesma carga anteriormente solicitada. Esse comportamento pode não comprometer diretamente a capacidade resistente da estrutura (estado limite último), mas pode provocar deformações excessivas que geram nos usuários a percepção de insegurança quanto à integridade da edificação.

Com o objetivo de aferir as deformações residuais nas lajes do apartamento onde o incêndio se originou, foi utilizado um nível laser autonivelante, realizando-se medições a partir das faces inferiores das nervuras das lajes, Figura 45. Conforme laudo técnico, durante a inspeção, foi constatado que alguns elementos se encontravam em estado avançado de degradação, com ausência total ou parcial do cobrimento da armadura. Em função dessas condições, foi necessário aplicar compensações nas leituras, a fim de minimizar interferências nos resultados.

Ainda conforme laudo, as medições indicaram maior concentração de deformações residuais próximas ao vão central do ambiente afetado (não coincidente com o vão livre estrutural). Ressalta-se que o levantamento das deformações pela face inferior foi dificultado pela presença de uma heterogeneidade pré-existente no nível das nervuras, a qual, embora não compromettesse o desempenho estrutural antes do incêndio, interferiu nas leituras atuais. Diante dessa limitação, optou-se por realizar uma segunda etapa de aferições a partir da face superior da laje, acessando o apartamento localizado no pavimento imediatamente superior, Figura 46. Essa abordagem permitiu uma leitura mais uniforme dos elementos estruturais e confirmou a

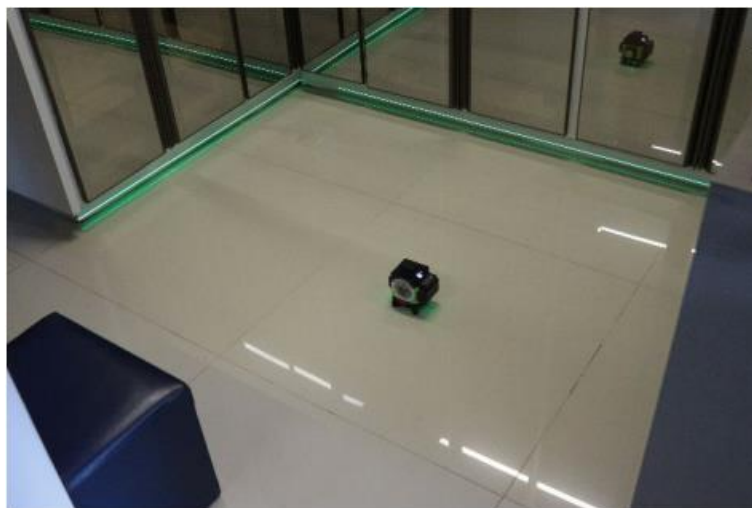
presença de deformações residuais próximo ao vão central do ambiente afetado (não coincidente com o vão livre estrutural) mas com uma amplitude consideravelmente inferior.

Figura 45 – Aferição da deformação residual da estrutura da laje de cobertura do apartamento sinistrado



Fonte: NETO (2024)

Figura 46 – Aferição da deformação residual da estrutura da laje de piso do apartamento superior



Fonte: NETO (2024)

4.1.2 Manifestações patológicas na alvenaria

Durante a análise, constatou-se que o incêndio acarretou fissuração generalizada dos painéis internos do apartamento. Dentre os tipos observados, destacam-se as fissuras de mapeamento, resultantes da dilatação térmica diferencial entre a estrutura de concreto e a alvenaria, conforme expõem as Figuras 47 e 48, provocada pela elevada temperatura gerada

durante o sinistro. A Figura 49 mostra a abertura média de 1,22mm da fissura, aferida através de um medidor digital de fissuras. Esse tipo de fissuração também foi identificado no apartamento imediatamente superior, porém com menor intensidade de ocorrência.

Figura 47 – Fissuras de mapeamento entre alvenaria e o pilar de concreto



Fonte: NETO (2024)

Figura 48 – Vista aproximada da fissura de mapeamento entre alvenaria e o pilar de concreto



Fonte: NETO (2024)

Figura 49 – Leitura da abertura da fissura no painel de alvenaria



Fonte: NETO (2024)

Outro tipo de fissura encontrada foram as fissuras de mapeamento de eletrodutos e tubulações embutidas no painel vertical de alvenaria. As Figuras 50, 51 e 52 apontam algumas das fissuras de mapeamento das instalações encontradas. Vale ressaltar que somente foi possível identificar que essas fissuras estavam relacionadas à presença de elementos embutidos, como instalações, devido à utilização de um scanner de parede, conhecido como pacômetro. A Figura 53 demonstra a presença de um elemento energizado e a informação de profundidade desse objeto. Esse tipo de fissuração também foi identificado no apartamento imediatamente superior, porém com menor intensidade de ocorrência.

Figura 50 – Fissura de mapeamento de instalações no painel de alvenaria



Fonte: NETO (2024)

Figura 51 – Fissura de mapeamento de instalações no painel de alvenaria



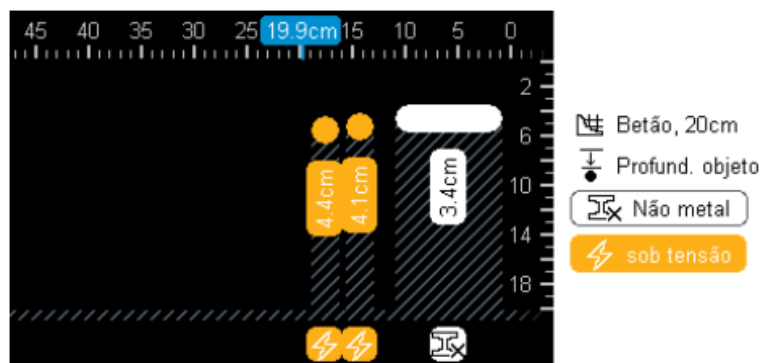
Fonte: NETO (2024)

Figura 52 – Fissura de mapeamento de instalações no painel de alvenaria



Fonte: NETO (2024)

Figura 53 – Indicativo de elemento energizado através do uso de um pacômetro



Fonte: NETO (2024)

4.1.3 Manifestações patológicas no revestimento

4.1.3.1 Revestimento de parede

4.1.3.1.1 Revestimento argamassado

A ação do incêndio e das altas temperaturas resultou em manifestações patológicas nos revestimentos de parede, tanto nas áreas internas quanto na fachada da edificação. Internamente, o revestimento é de gesso corrido, enquanto externamente utiliza-se argamassa. Ambos os materiais apresentaram degradações associadas à exposição térmica, comprometendo parcial ou totalmente sua integridade.

Com relação à fachada, a análise identificou a degradação do revestimento nas proximidades da janela da suíte onde se originou o incêndio, conforme ilustra a Figura 54. A

partir de imagens aéreas obtidas por drone, também foi possível observar o surgimento de fissuras nas imediações dos vãos das janelas, tanto no pavimento do apartamento atingido quanto no imediatamente superior, conforme Figura 55. De acordo com o laudo técnico, os demais pavimentos não apresentaram danos ao revestimento. Embora as fissuras observadas apresentem pequenas aberturas, a ausência de intervenções corretivas pode comprometer a estanqueidade no interior das unidades.

Figura 54 – Degradação do revestimento na proximidade da janela da suíte



Fonte: NETO (2024)

Figura 55 – Fissuras e degradação do revestimento da fachada



Fonte: Adaptado NETO (2024)

4.1.3.1.2 Revestimento de gesso

No revestimento interno de gesso corrido, foram constatadas manifestações de expansão higrotérmica, caracterizadas por fissuras em padrão de mapeamento, conforme ilustram as Figuras 56 e 57.

Outra manifestação patológica observada foi o deslocamento do revestimento de gesso corrido, tanto no ambiente onde foi iniciado o sinistro, Figura 58, quanto no cômodo adjacente de maior carga, Figura 59.

Figura 56 – Expansão higrotérmica no revestimento de gesso corrido dos painéis



Fonte: NETO (2024)

Figura 57 – Expansão higrotérmica no revestimento de gesso corrido dos painéis



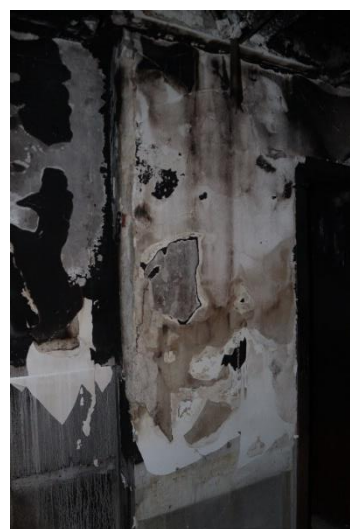
Fonte: NETO (2024)

Figura 58 – Deslocamento do revestimento de gesso na suíte



Fonte: NETO (2024)

Figura 59 – Deslocamento do revestimento de gesso no closet



Fonte: NETO (2024)

4.1.3.2 Revestimento cerâmico

No apartamento onde se originou o incêndio, não foi possível avaliar o revestimento de piso geral do imóvel, uma vez que, na data da vistoria *in loco*, o material já havia sido removido para evitar sobrecargas adicionais à laje. Contudo, em alguns pontos dos banheiros ainda foi possível identificar fissuras no revestimento cerâmico remanescente, possivelmente provocadas por tensões geradas durante o evento térmico, conforme indica as Figuras 60 e 61.

No apartamento imediatamente superior, observou-se uma maior incidência de fissuras no revestimento de piso em comparação as paredes, o que era esperado, considerando que a laje desse apartamento foi mais exposta à elevação de temperatura. Portanto, as fissuras identificadas no revestimento cerâmico do piso, Figuras 62 a 65, foram decorrentes da expansão térmica da laje.

Figura 60 – Fissura no revestimento cerâmico do apartamento afetado



Fonte: NETO (2024)

Figura 61 – Fissura no revestimento cerâmico do apartamento afetado



Fonte: NETO (2024)

Figura 62 – Fissuras no revestimento cerâmico do apartamento superior



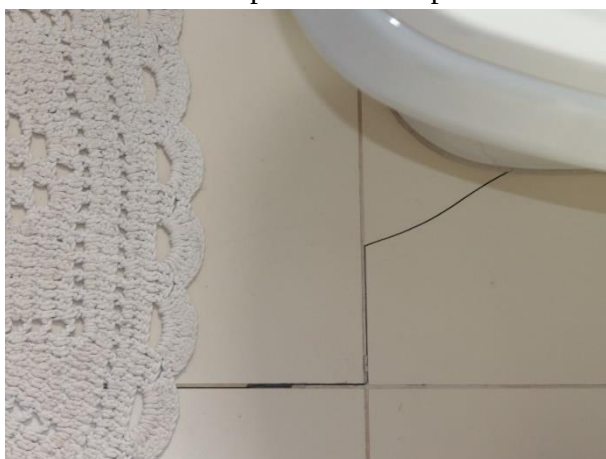
Fonte: NETO (2024)

Figura 63 – Fissuras no revestimento cerâmico do apartamento superior



Fonte: NETO (2024)

Figura 64 – Fissuras no revestimento cerâmico do apartamento superior



Fonte: NETO (2024)

Figura 65 – Fissuras no rejunte do revestimento do apartamento superior



Fonte: NETO (2024)

4.1.4 Manifestações patológicas nas instalações

4.1.4.1 Instalações elétricas

Em grande parte do apartamento atingido, as instalações elétricas foram severamente comprometidas, apresentando perda quase total de funcionalidade. As instalações fixadas na laje apresentaram danos severos provocados pela ação direta do fogo e pelas altas temperaturas, conforme mostram as Figuras 66 e 67. A extensão dos danos evidencia a inutilização do sistema elétrico original, exigindo sua substituição integral. Além disso, a destruição desses

componentes representa um risco à segurança da edificação, caso medidas corretivas não sejam devidamente adotadas.

Figura 66 – Comprometimento das instalações elétricas e frigorígenas fixadas na laje



Fonte: NETO (2024)

Figura 67 – Comprometimento das instalações elétricas e frigorígenas fixadas na laje



Fonte: NETO (2024)

4.1.4.2 Instalações hidrossanitárias

As instalações hidrossanitárias também foram significativamente afetadas pelo incêndio. No apartamento sinistrado, as tubulações hidráulicas fixadas diretamente na laje apresentaram deformações e danos visíveis, conforme mostra a Figuras 68. Além disso, como as instalações sanitárias do apartamento superior também são fixadas na parte inferior da mesma laje, grande parte desses componentes foram comprometidos pela ação do calor ascendente, conforme demonstra as Figuras 69, 70 e 71.

Figura 68 – Comprometimento das instalações hidráulicas fixadas na laje



Fonte: NETO (2024)

Figura 69 – Comprometimento das instalações sanitárias fixadas na laje



Fonte: NETO (2024)

Figura 70 – Comprometimento das instalações sanitárias fixadas na laje



Fonte: NETO (2024)

Figura 71 – Comprometimento das instalações hidráulicas, sanitárias, elétricas e frigorígenas fixadas na laje



Fonte: NETO (2024)

4.1.4.3 Instalações de ar-condicionado

As instalações de ar-condicionado foram diretamente impactadas, considerando que o princípio do incêndio teve origem em um equipamento desse sistema. Durante a análise técnica e visual do local, constatou-se que a maior parte das unidades evaporadoras do apartamento foram severamente danificadas, conforme mostra a Figuras 72. Além disso, as tubulações frigorígenas, que se encontravam fixadas na parte inferior da laje, também foram em sua maior parte comprometidas devido à ação do calor intenso. A extensão dos danos reforça a necessidade de uma revisão e substituição integral do sistema.

Figura 72 – Comprometimento da unidade evaporadora e instalações frigorígenas



Fonte: NETO (2024)

4.2 CASO 2

No Caso 2, por se tratar de um edifício em alvenaria estrutural, a análise dos elementos de alvenaria será abordada dentro do tópico referente à estrutura. Devido ao fato de que, nesse sistema construtivo, a alvenaria não exerce apenas a função de vedação ou compartimentação dos ambientes, mas também desempenha papel como elemento portante, sendo responsável por suportar as cargas da edificação.

O incêndio nesse caso teve seu início a partir gerado também a partir de problemas no ar-condicionado tipo janela.

4.2.1 Manifestações patológicas na estrutura

A partir das análises realizadas foi possível identificar na estrutura da alvenaria a presença de fissuras de mapeamento na argamassa de assentamento, conforme mostra as Figuras 73 a 77. Conforme explicado por Nadjai et al. (2006), em situações de exposição a altas temperaturas, os sistemas verticais podem sofrer curvaturas em direção à face aquecida devido à diferença de temperatura entre os lados exposto e não exposto. Essa diferença térmica gera dilatações desiguais que resultam em tensões de tração superiores à resistência da argamassa, favorecendo o surgimento de fissuras nas juntas de assentamento, as quais podem se estender até o revestimento.

Figura 73 – Fissuras de mapeamento na argamassa de assentamento



Fonte: NETO (2016)

Figura 74 – Fissuras de mapeamento entre blocos e argamassa de assentamento



Fonte: NETO (2016)

Figura 75 – Vista aproximada da fissuras de mapeamento entre blocos e argamassa de assentamento



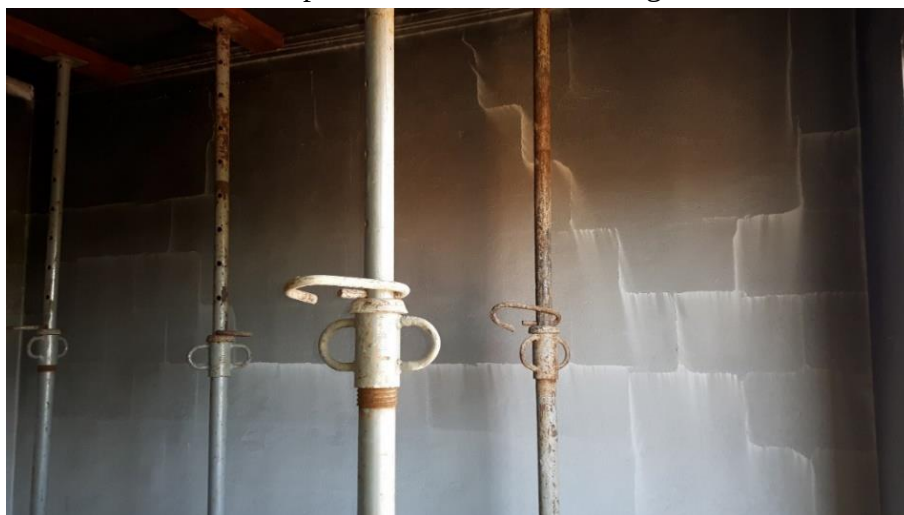
Fonte: NETO (2016)

Figura 76 – Fissuras de mapeamento entre blocos e argamassa de assentamento



Fonte: NETO (2016)

Figura 77 – Fissuras de mapeamento entre blocos e argamassa de assentamento



Fonte: NETO (2016)

4.2.2 Manifestações patológicas no revestimento

Nesse caso o revestimento presente era constituído de gesso corrido e nele foram identificadas a presença de fissuras limiformes, com aspecto semelhante a um craquelamento, conforme mostram as Figuras 78 e 79.

Figura 78 – Fissuras limiformes no revestimento



Fonte: NETO (2016)

Figura 79 – Fissuras limiformes no revestimento



Fonte: NETO (2016)

4.2.3 Manifestações patológicas nas instalações

4.2.3.1 Instalações elétricas

A Figura 80 mostra uma tomada danificada pela ação do incêndio. Durante a análise das fotografias, foi possível verificar o comprometimento parcial das instalações elétricas no ambiente afetado. Parte das fiações e componentes, como tomadas, foi danificada pela ação do fogo, evidenciando o impacto direto das altas temperaturas sobre as instalações elétricas, o que pode comprometer não apenas o funcionamento do sistema, mas também a segurança da edificação.

Figura 80 – Tomada danificada pela ação do incêndio



Fonte: NETO (2016)

4.2.3.2 Instalações de ar condicionado

Nesse caso, o aparelho de ar condicionado era do tipo janela, o que significa que não possuía um sistema de instalações específicas, sendo alimentado apenas por uma tomada elétrica. Diferentemente de sistemas do tipo *split*, como os modelos *hi-wall*, que contam com unidades interligadas por tubulações e conexões elétricas específicas, os aparelhos do tipo janela funcionam de forma independente. Dessa forma, os danos observados foram restritos ao próprio equipamento, conforme ilustra as Figuras 81 e 82.

Figura 81 – Danos no aparelho de ar condicionado tipo janela



Fonte: NETO (2016)

Figura 82 – Condições do aparelho tipo janela pós incêndio



Fonte: NETO (2016)

4.3 CASO 3

Este caso trata de uma residência unifamiliar, em que o sinistro teve origem após a descarga atmosférica de um raio que atingiu a antena e percorreu até a televisão. Embora o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) não seja obrigatoriamente exigido para todas as residências unifamiliares, a norma ABNT NBR 5419:2015 estabelece que deve ser realizada uma análise de risco para determinar a necessidade de implantação do sistema, considerando fatores como localização, frequência de tempestades, tipo de construção e presença de equipamentos sensíveis. Além disso, todas as instalações elétricas devem estar em conformidade com a ABNT NBR 5410, que trata das instalações elétricas de baixa tensão e visa garantir a segurança e o correto funcionamento do sistema elétrico. Outro fator relevante para o agravamento do incêndio foi a presença no cômodo de início do sinistro de um painel em MDF que fez com as chamas aumentassem e se propagassem com maior rapidez.

4.3.1 Manifestações patológicas na estrutura.

A estrutura deste sobrado é composta por um sistema reticulado de concreto armado, com lajes pré-fabricadas formadas por lajotas cerâmicas. Durante a análise, foi possível identificar, nessas lajotas, a ruptura dos septos, conforme indicado pelas setas vermelhas na Figura 83, de forma semelhante ao que ocorre nos blocos cerâmicos de vedação. Considerando que ambos os elementos são fabricados com o mesmo material, variando apenas na aplicação (elementos horizontais e verticais), esse tipo de manifestação patológica era esperado. Cabe

destacar, ainda, que este cômodo corresponde exatamente ao local de início do incêndio, sendo, portanto, provavelmente a área que atingiu as temperaturas mais elevadas durante o evento.

A partir das imagens analisadas e de informações coletadas, não foi possível identificar, neste ambiente, nenhuma outra manifestação patológica aparente na estrutura da laje e vigas.

Figura 83 – Rupturas dos septos das lajotas cerâmicas da laje



Fonte: NETO (2019)

4.3.2 Manifestações patológicas na alvenaria

No mesmo ambiente em que foi identificada a ruptura dos septos nos blocos cerâmicos da laje, observou-se também a ocorrência da mesma manifestação na alvenaria de vedação, conforme mostra as Figuras 84, 85 e 86. Esse fenômeno também é reconhecido como deslocamento ou lascamento (*spalling*), sendo mais conhecido nas estruturas de concreto armado, porém também é recorrente em alvenarias de bloco cerâmicos, conforme apontado por Nguyen e Meftah (2012, 2014). Esse comportamento nas alvenarias consiste na desintegração de partes do bloco, especialmente quando há baixa permeabilidade e presença de umidade interna. Nessas condições, o aquecimento rápido gera pressão de vapor no interior do material, que, sem possibilidade de dissipação, pode levar à ruptura, ocorrendo de forma explosiva ou não. Esse fenômeno compromete o desempenho mecânico da alvenaria, tornando as regiões internas mais expostas ao calor (Hennemann, et. al, 2016).

Figura 84 – Ruptura dos septos da alvenaria de vedação



Fonte: NETO (2019)

Figura 85 – Ruptura dos septos da alvenaria de vedação



Fonte: NETO (2019)

Figura 86 – Ruptura dos septos da alvenaria de vedação



Fonte: NETO (2019)

A Figura 87 evidencia uma fissura na fachada do ambiente onde se iniciou o incêndio, cuja causa provável está associada à dilatação térmica diferencial entre o pilar e a alvenaria, provocada pela elevação da temperatura durante o incêndio.

Figura 87 – Fissuras de mapeamento entre alvenaria e o pilar de concreto



Fonte: NETO (2019)

Sobre a alvenaria de vedação, também foi possível identificar, nas proximidades da janela, uma fissura de mapeamento com orientação horizontal, Figura 88, sugerindo a possível existência de uma contraverga no local. Além disso, observou-se a presença de fissuras com inclinação aproximada de 45°, Figuras 89 e 90, partindo dos cantos das janelas e portas, o que pode indicar uma concentração de tensões resultante da ação do incêndio sobre a alvenaria.

O incêndio, além de causar danos diretos aos elementos construtivos, pode também tornar evidentes manifestações patológicas que já são comuns nos sistemas, como a ocorrência das fissuras por concentração de tensões nos cantos dos vãos. Essas fissuras, geralmente relacionadas a esforços concentrados em regiões de descontinuidade, podem ser agravadas significativamente pela ação do calor intenso. O aumento da temperatura eleva as tensões internas nos materiais devido à dilatação térmica, intensificando os esforços já existentes e, conseqüentemente, ampliando ou tornando mais visíveis essas patologias.

Figura 88 – Fissura horizontal no canto inferior da janela



Fonte: NETO (2019)

Figura 89 – Fissura a 45° próxima no canto inferior da janela



Fonte: NETO (2019)

Figura 90 – Fissura a 45° próxima no canto superior da porta



Fonte: NETO (2019)

4.3.3 Manifestações patológicas no revestimento

4.3.3.1 Revestimento de parede

No mesmo ambiente em que foi observada a ruptura dos septos da alvenaria, identificou-se também o deslocamento do revestimento de parede, conforme mostra a Figura 91. O desprendimento da camada de revestimento deixou os blocos cerâmicos mais expostos à ação direta do incêndio, o que pode ter contribuído para a intensificação dos danos nesse trecho, favorecendo o comprometimento da alvenaria de vedação. Encontrar o estudo que fala que o revestimento protege a alvenaria em casos de incêndio.

Figura 91 – Desplacamento do revestimento argamassado da alvenaria



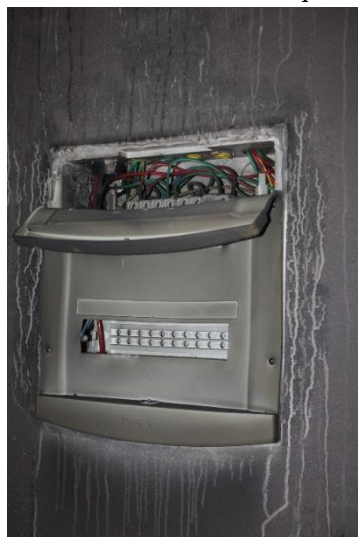
Fonte: NETO (2019)

4.3.4 Manifestações patológicas nas instalações

4.3.4.1 Instalações elétricas

A partir das análises foi possível identificar em alguns pontos o comprometimento das instalações elétricas, em pontos de tomada, luminárias, cabos e eletrodutos de passagem, e dentre eles vale destacar o início do derretimento do quadro de distribuição, como mostra a Figura 92.

Figura 92 – Início do derretimento do quadro de distribuição



Fonte: NETO (2019)

4.3.4.2 Instalações de ar-condicionado

A Figura 93 apresenta a completa destruição da unidade evaporadora instalada no ambiente onde se iniciou o incêndio. Outras unidades, localizadas em ambientes atingidos pela ação do sinistro, também sofreram danos, embora em menor intensidade, como ilustrado na Figura 94. Por outro lado, as evaporadoras situadas em áreas não afetadas pelo incêndio permanecem visivelmente sem sinais aparentes de comprometimento.

Figura 93 – Unidade evaporadora destruída pela ação do incêndio



Fonte: NETO (2019)

Figura 94 – Unidade evaporadora parcialmente derretida



Fonte: NETO (2019)

4.4 CASO 4

Neste caso, o incêndio teve início em um ambiente utilizado para o armazenamento de livros, o que resultou em uma elevada carga de incêndio, devido à natureza altamente combustível do material. Além disso, a ausência de compartimentação horizontal contribuiu significativamente para a rápida propagação do incêndio pelos demais ambientes da edificação, uma vez que não havia laje entre o último pavimento e a cobertura, permitindo a livre circulação de calor, fumaça e gases combustíveis. Essa configuração favoreceu a perda de controle sobre o foco inicial do incêndio, ampliando os danos ao edifício.

4.4.1 Manifestações patológicas na estrutura

Como citado anteriormente a estrutura dessa edificação é constituída de concreto armado convencional. Foi identificado, nessa estrutura, a ocorrência de rupturas em dois pilares da fachada, Figura 95 e 96, os retângulos em vermelho evidenciam o local da manifestação patológica encontrada. A provável causa dessa ruptura foi a dilatação térmica da laje e da viga, que empurraram o pilar, provando uma ruptura no nó.

Figura 95 – Ruptura no pilar da fachada



Fonte: NETO (2023)

Figura 96 – Ruptura no pilar da fachada



Fonte: NETO (2023)

4.4.2 Manifestações patológicas na alvenaria

Na fachada, foram identificadas fissuras horizontais localizadas no encontro entre a alvenaria e a viga de concreto armado, possivelmente associadas à dilatação térmica diferencial dos materiais em função da exposição ao calor intenso. Essa manifestação patológica pode ser atribuída à diferença nos coeficientes de dilatação térmica entre o concreto e a alvenaria, que, quando submetidos a altas temperaturas, expandem-se de maneira distinta, gerando tensões nas interfaces. Conforme explica Thomaz (1989), cada material possui um coeficiente de dilatação próprio e, quando submetidos à mesma variação de temperatura, pode ocorrer fissuração no ponto de encontro entre os dois materiais, exatamente como identificado na Figura 97.

Figura 97 – Fissura de dilatação térmica entre alvenaria e viga



Fonte: NETO (2023)

Na região da platibanda, foram observadas fissuras e trincas em diferentes pontos da alvenaria, conforme mostra a Figuras 98, evidenciada pelos retângulos vermelhos. Essas manifestações patológicas podem estar relacionadas às movimentações da estrutura e ao desabamento parcial da cobertura que possivelmente encontrava-se ali fixada.

Figura 98 – Fissura e trincas na alvenaria da platibanda



Fonte: NETO (2023)

Na parte interna da edificação, foi possível observar, em alguns pontos, a ruptura dos septos dos blocos cerâmicos de vedação, conforme mostra a Figura 99. Essa manifestação patológica foi identificada exatamente na região onde se iniciou o foco do incêndio, sendo provavelmente uma das áreas que atingiu as temperaturas mais elevadas durante o evento.

Figura 99 – Rupturas dos septos da alvenaria



Fonte: NETO (2023)

A Figura 100 expõem fissuras nas proximidades das janelas em um dos ambientes afetados, verifica-se uma possível fissura de mapeamento da contraverga da janela, bem como outras fissuras provavelmente geradas pelo acúmulo de tensões existentes.

Figura 100 - Fissuras no entorno das janelas



Fonte: NETO (2023)

4.4.3 Manifestações patológicas no revestimento

4.4.3.1 Revestimento de parede

As Figuras 101, 102 e 103 apresentam o estado do revestimento das paredes após o incêndio, onde é possível identificar, em determinados trechos, o deslocamento do revestimento argamassado. Essa manifestação pode estar relacionada à elevação da temperatura nos componentes da parede, que ocasiona a transformação da água livre presente nas argamassas de revestimento e nos blocos em vapor, conforme discutido por Silva (2016). O acréscimo da pressão de vapor, pode gerar tensões internas superiores à resistência à tração da argamassa e até mesmo da camada lateral dos blocos cerâmicos de vedação, favorecendo o desprendimento do revestimento, como apontam Pinho et al. (2017).

Um fator analisado foi o deslocamento do revestimento argamassado identificado na região onde teve início o incêndio, local presumidamente submetido às temperaturas mais elevadas. Nos demais ambientes da edificação, esse tipo de manifestação patológica não foi

observado. O desprendimento do revestimento argamassado, portanto, pode estar relacionado à elevação da temperatura.

Figura 101 – Desplacamento do revestimento argamassado



Fonte: NETO (2023)

Figura 102 - Desplacamento do revestimento argamassado



Fonte: NETO (2023)

Figura 103 - Deslocamento do revestimento argamassado



Fonte: NETO (2023)

As Figuras 104 e 105 apresentam o mapeamento dos blocos cerâmicos sob o revestimento argamassado. As linhas em vermelho indicam a fissura de mapeamento da argamassa de assentamento. Já a Figura 106 indica fissuras de mapeamento entre o bloco de vedação e a sua argamassa de assentamento, conforme apontado também pelas setas vermelhas.

Outro aspecto observado nessas imagens refere-se à ausência de compartimentação após a destruição do forro pelo incêndio. Essa falha permitiu a livre circulação de fumaça, gases e calor entre os ambientes, intensificada pelos vazios presentes nas treliças do telhado, que favoreceram a propagação dos efeitos térmicos para outras áreas da edificação.

Figura 104 – Mapeamento da alvenaria sob o revestimento argamassado



Fonte: NETO (2023)

Figura 105 – Fissura de mapeamento da argamassa de assentamento



Fonte: NETO (2023)

Figura 106 – Fissura de mapeamento do bloco de alvenaria e da argamassa de assentamento



Fonte: NETO (2023)

As linhas em vermelho nas Figuras 107 e 108 mostram o caminhamento de prováveis fissuras de mapeamento no revestimento da parede, localizada de modo a sugerir a passagem das instalações do sistema de ar condicionado. No entanto, essa hipótese só poderia ser completamente confirmada caso mediante o acesso aos projetos de instalações da edificação.

Figura 107 – Possível fissuras de mapeamento das instalações de ar-condicionado



Fonte: NETO (2023)

Figura 108 – Possível fissuras de mapeamento das instalações de ar-condicionado



Fonte: NETO (2023)

4.4.3.2 Revestimento de piso

Nas análises foi possível identificar o deslocamento do revestimento cerâmico em determinados trechos (Figura 109 e 110), o que sugere a ocorrência de dilatação térmica. Apesar de materiais cerâmicos e porcelanatos serem classificados segundo a NBR 16626:2025 e apresentado por Gomes (2017) como incombustível, mas assim como afirma Esquivel (2009), todo material apresenta variação dimensional quando há mudança de temperatura. Essa variação térmica provoca expansão quando há aumento de temperatura e retração quando esta é reduzida. Por se tratar de movimentos rígidos, essas variações introduzem tensões de compressão, tração e cisalhamento entre a camada de revestimento e o substrato, que no caso

refere-se do contrapiso da laje, como destaca Paladini (2015). Como o revestimento cerâmico e o substrato possuem coeficientes de dilatação térmica distintos, essa diferença intensifica as tensões internas no sistema. Quando tais tensões superam a capacidade de absorção das juntas de dilatação, pode ocorrer o levantamento das peças, conforme foi constatado.

Figura 109 – Deslocamento do revestimento cerâmico



Fonte: NETO (2023)

Figura 110 – Deslocamento do revestimento cerâmico



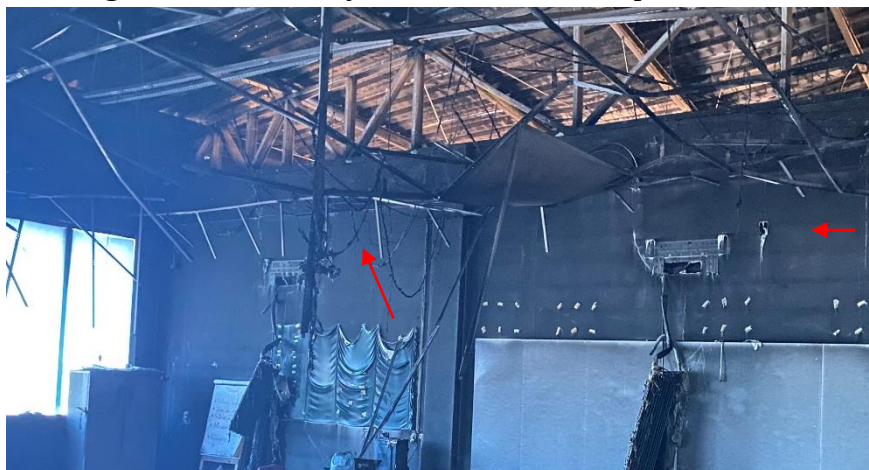
Fonte: NETO (2023)

4.5.4 Manifestações patológicas nas instalações

4.5.4.1 Instalações elétricas

As instalações elétricas dos ambientes afetados foram completamente comprometidas. As fiações que passavam pelas eletrocalhas no forro foram destruídas pela ação do incêndio, conforme mostra a Figura 111.

Figura 111 – Instalações elétricas afetadas pelo incêndio



Fonte: NETO (2023)

4.5.4.2 Instalações de ar condicionado

No que refere-se as instalações de ar condicionado, tanto as unidades evaporadoras, quanto as instalações foram comprometidas pelo incêndio, conforme pode mostra a Figura 112. Já a Figura 113 mostra o local em que o deslocamento do revestimento expôs completamente a instalação existente, tornando-a mais vulnerável ao processo de combustão.

Figura 112 – Unidade evaporadora derretida pelo calor do incêndio



Fonte: NETO (2023)

Figura 113 – Instalações de ar condicionado comprometidas pelo incêndio



Fonte: NETO (2023)

4.5 CASO 5

4.5.1 Manifestações patológicas na estrutura

No que se refere à estrutura do galpão, foi retirada uma amostra de um dos elementos estruturais metálicos com o intuito de verificar, por meio de ensaio laboratorial, se o aço apresentava indícios de alteração em suas propriedades mecânicas, Figura 114, especialmente em relação à resistência e ao módulo de elasticidade, em decorrência da exposição ao incêndio. Além disso, foi realizada a medição da inclinação dos pilares, Figura 115, a fim de avaliar eventuais desvios de prumo, que pudessem indicar deformações provocadas pela ação térmica.

Figura 114 – Ensaio de tração realizado com amostras de aço retirado da estrutura



Fonte: NETO (2012)

Figura 115 – Medição de prumo do pilar com clinômetro digital



Fonte: NETO (2012)

4.5.2 Manifestações patológicas na alvenaria de vedação

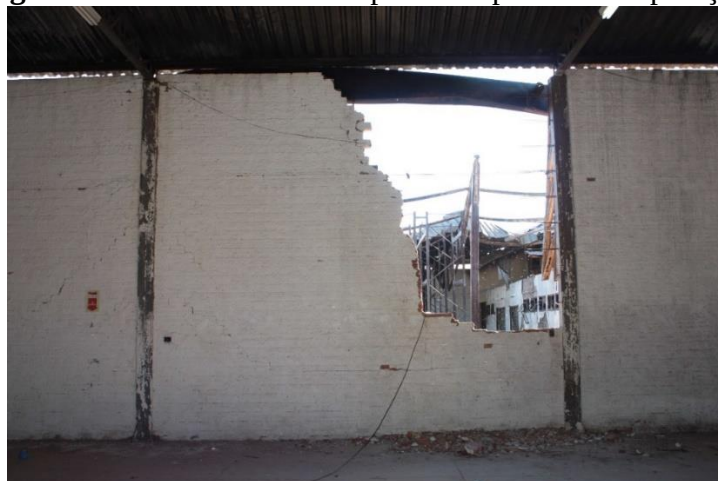
A parede de separação entre o edifício que sofreu a ação do incêndio e o edifício vistoriado é constituída por blocos cerâmicos com furos horizontais. Foi identificado, nessa estrutura, o colapso parcial da alvenaria em dois pontos da parede de separação, como mostram as Figuras 116, 117 e 118.

Figura 116 – Colapso parcial da parede de separação



Fonte: NETO (2012)

Figura 117 – Detalhe do Colapso A da parede de separação



Fonte: NETO (2012)

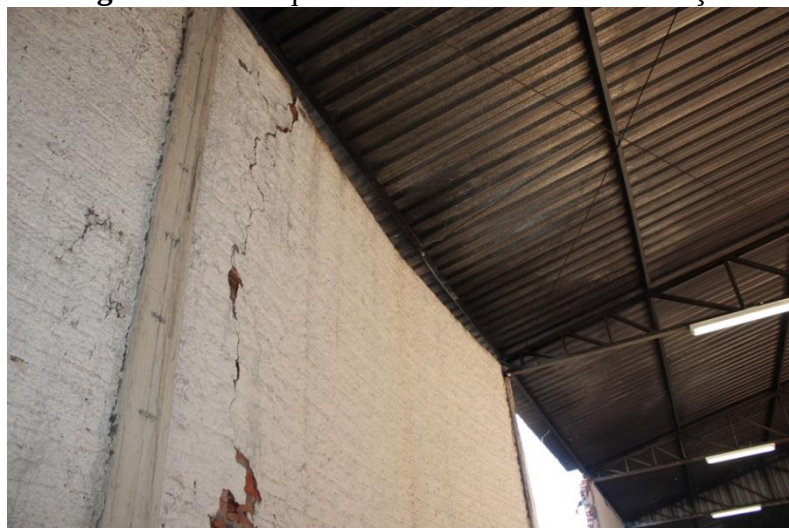
Figura 118 – Detalhe do Colapso B da parede de separação



Fonte: NETO (2012)

A parede de alvenaria, indicada na Figura 119 e 120, apresentou um arqueamento, possivelmente associado à ausência de travamento superior. Outro fator que pode ter contribuído para esse comportamento é a natureza do sistema construtivo, constituído por estrutura metálica. Diferentemente das estruturas de concreto armado, que tendem a oferecer maior confinamento aos painéis de vedação, a estrutura metálica pode permitir maior liberdade de deformação, especialmente em edificações com grandes vãos. Assim, é provável que, durante a incidência do fogo, a alvenaria tenha experimentado dilatações térmicas e, por não estar adequadamente contida, tenha se deformado com maior intensidade. Como resultado desse processo, formou-se uma trinca ao longo da extensão da parede (Figura 121), evidenciando o esforço a que esse elemento foi submetido.

Figura 119 – Arqueamento da alvenaria de vedação



Fonte: NETO (2012)

Figura 120 – Detalhe do arqueamento da alvenaria de vedação



Fonte: NETO (2012)

Figura 121 – Trinca provocada pelo arqueamento da alvenaria



Fonte: NETO (2012)

Além desse, outros trechos da alvenaria apresentaram trincas (Figura 122) e fissuras (Figuras 123 e 124). Essas fissuras encontradas podem ser caracterizadas como fissuras de mapeamento entre o bloco cerâmico e a argamassa de assentamento. Para melhor compreensão foram apontadas em cada figura as manifestações patológicas a partir de setas vermelhas.

Figura 122 – Trinca na alvenaria



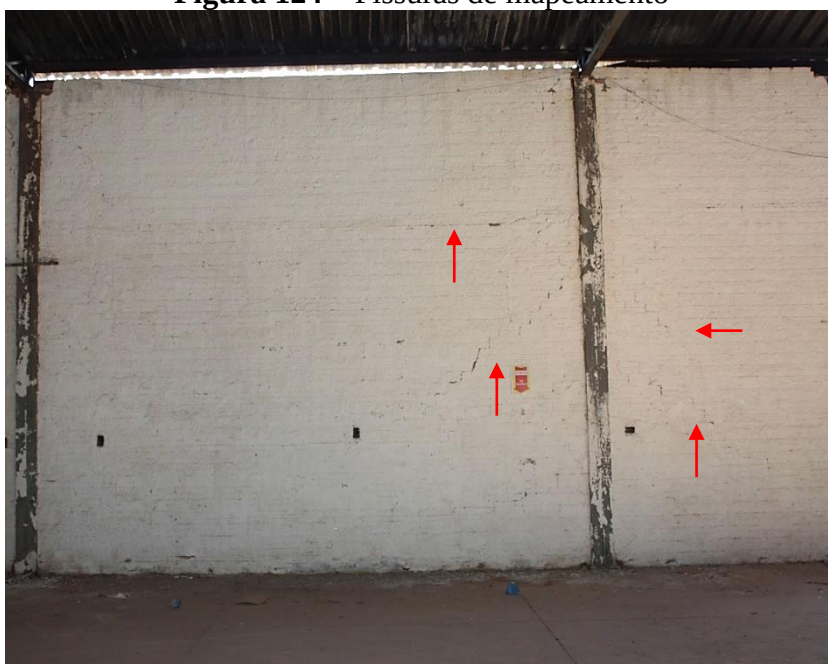
Fonte: NETO (2012)

Figura 123 – Fissuras de mapeamento



Fonte: NETO (2012)

Figura 124 – Fissuras de mapeamento



Fonte: NETO (2012)

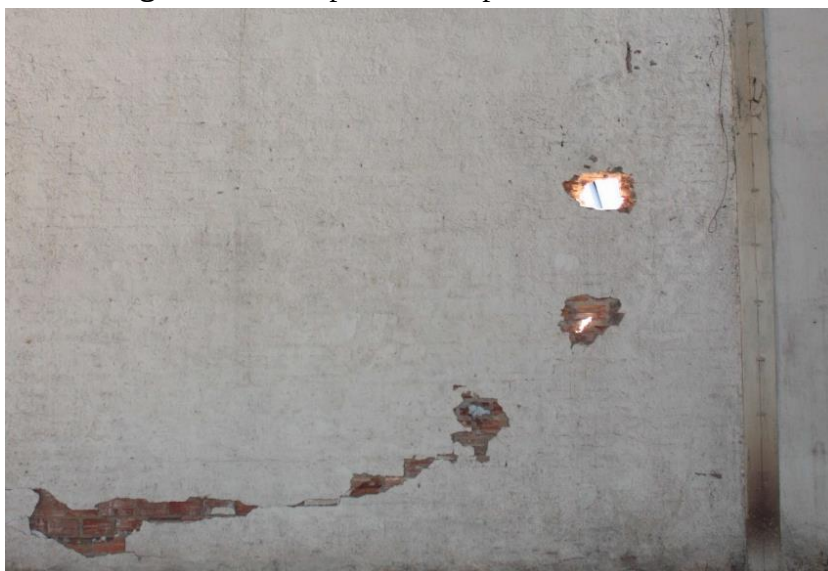
Ainda acerca da alvenaria, outra manifestação patológica identificada foi a ruptura dos septos dos blocos cerâmicos, ocorrida tanto na face externa da parede de separação quanto na face interna. As Figuras 125 e 126 mostram os pontos onde essa ocorrência foi observada.

Figura 125 – Ruptura dos septos na face externa



Fonte: NETO (2012)

Figura 126 – Ruptura dos septos na face interna



Fonte: NETO (2012)

4.5.3 Manifestações patológicas no revestimento

4.5.3.1 Revestimento de parede

Na parte externa da edificação, correspondente à área diretamente exposta à ação do incêndio, observou-se o desprendimento do chapisco e pintura em diversos trechos da superfície da parede, conforme ilustrado nas Figuras 127. A Figura 128 apresenta, que o revestimento argamassado também foi afetado, como evidenciado pelo retângulo vermelho, causando seu desprendimento e deixando a alvenaria exposta, potencializando os danos nesse elemento.

Figura 127 – Desprendimento do chapisco e pintura



Fonte: NETO (2012)

Figura 128 – Desprendimento do reboco argamassado



Fonte: NETO (2012)

4.5.4 Manifestações patológicas nas instalações

No que diz respeito às instalações, não foram disponibilizados registros fotográficos ou relatos técnicos que permitissem uma análise detalhada. Confirmou-se que não havia instalações frigorígenas na edificação, considerando que essa área do galpão era destinada exclusivamente ao armazenamento de materiais. Estando presentes apenas instalações elétricas básicas, como pontos de iluminação e tomada. A única manifestação possível ser observada refere-se à calha metálica localizada na cobertura, que foi totalmente comprometida pela ação

do incêndio, sendo necessária a substituição do sistema de captação de águas pluviais nessa região.

4.6 SISTEMATIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Esse capítulo apresenta a sistematização das manifestações patológicas identificadas nos estudos de caso analisados, com o objetivo de organizar e interpretar os dados obtidos de forma clara e comparativa. O Quadro 01 resume as características de cada caso analisado, trazendo os sistemas que compõe a estrutura, alvenaria de vedação, revestimento de parede e revestimento de piso. Adiante serão apresentados os tipos de manifestações patológicas encontradas em cada sistema.

Quadro 01 – Características dos sistemas dos casos analisados

CASOS	TIPO DE EDIFICAÇÃO	ESTRUTURA	ALVENARIA DE VEDAÇÃO	REVESTIMENTO DE PAREDE	REVESTIMENTO DE PISO
Caso 1	Edifício multifamiliar	Concreto Armado - Laje Nervurada	Blocos Cerâmicos	Reboco argamassado Gesso corrido	Revestimento cerâmico
Caso 2	Edifício multifamiliar	Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto	Blocos de Concreto	Gesso corrido	Não identificado
Caso 3	Residência unifamiliar (sobrado)	Concreto Armado - Laje Pré-Fabricada com Lajotas Cerâmicas	Blocos Cerâmicos	Reboco argamassado	Não identificado
Caso 4	Edifício institucional (educacional)	Concreto Armado	Blocos Cerâmicos	Reboco argamassado	Revestimento cerâmico
Caso 5	Edifício industrial (galpão)	Estrutura Metálica	Blocos Cerâmicos	Reboco argamassado	Não identificado

Fonte: Autoria Própria

No que se refere à estrutura, cada edificação analisada apresenta um sistema estrutural distinto, o que impossibilita a realização de comparações diretas entre os casos. O Quadro 02, portanto, tem como objetivo registrar as manifestações patológicas identificadas em cada sistema estrutural, especificando os elementos afetados em cada ocorrência.

Quadro 02 – Tipos de manifestações patológicas encontradas na estrutura

Caso	Sistema Estrutural	Elemento Afetado	Manifestação Patológica
Caso 1		Vigas e Lajes	- Deterioração da mesa da laje - Presença de fissuras na laje

	Concreto Armado com Laje Nervurada		- Degradação do concreto das cubetas - Deformação das armaduras - Efeito <i>spalling</i> do concreto - Deformação residual da laje
Caso 2	Alvenaria Estrutural com Blocos de Concreto	Alvenaria	- Fissuras de mapeamento entre blocos e argamassa de assentamento
Caso 3	Concreto Armado com Laje Pré-Fabricada com Lajotas Cerâmicas	Laje	- Rupturas dos septos das lajotas cerâmicas da laje
Caso 4	Concreto Armado	Pilar	- Ruptura do pilar
Caso 5	Estrutura Metálica	Não é objetivo desse estudo	-

Fonte: Autoria Própria

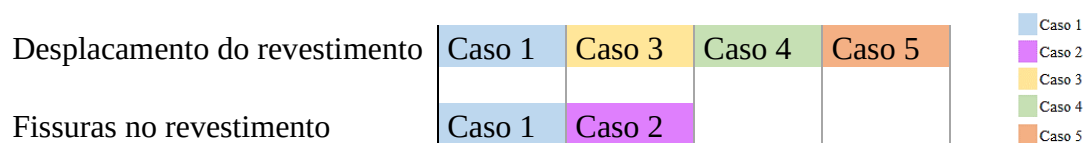
Os Gráficos 01, 02 e 03, apresentam os tipos de manifestações patológicas identificadas nas alvenarias de vedação e/ou estruturais, nos revestimentos de parede e nos revestimentos de piso, respectivamente. Essa abordagem gráfica busca facilitar a compreensão dos padrões de ocorrência, contribuindo para a identificação dos danos mais comuns decorrentes da ação do fogo.

Gráfico 01 – Tipos de manifestações patológicas encontradas na alvenaria

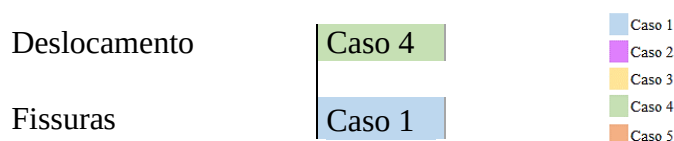
Ruptura dos ceptos	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Fissuras de dilatação térmica estrutura/ alvenaria	Caso 1	Caso 3	Caso 4
Fissura de mapeamento alvenaria/argamassa de assentamento	Caso 2	Caso 4	Caso 5
Fissuras na proximidade dos vãos	Caso 3	Caso 4	
Fissura de mapeamento das instalações	Caso 1	Caso 4	
Colapso parcial da alvenaria	Caso 5		
Arqueamento da alvenaria	Caso 5		

Caso 1
 Caso 2
 Caso 3
 Caso 4
 Caso 5

Fonte: Autoria Própria

Gráfico 02 – Tipos de manifestações patológicas encontradas no revestimento de parede

Fonte: Autoria Própria

Gráfico 03 – Tipos de manifestações patológicas encontradas no revestimento de piso

Fonte: Autoria Própria

No que refere-se as instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias e de ar condicionado foi observado nos casos apresentados o comprometimento total ou parcial em algumas situações. Sendo necessário, na maioria dos casos, a completa substituição do sistema após a ocorrência do sinistro.

5 CONCLUSÃO

A análise dos cinco estudos de caso realizados neste trabalho permitiu identificar alguns fatores que contribuíram para a intensificação dos danos causados por incêndios, bem como evidenciar características recorrentes das manifestações patológicas resultantes desses sinistros.

Primeiramente, destaca-se a presença de fatores de risco que ocasionaram os incêndios analisados. Em dois dos casos, a origem do sinistro esteve relacionada a falhas nos sistemas de ar-condicionado, evidenciando a necessidade de maior atenção quanto à instalação, manutenção e dimensionamento adequado desses equipamentos. Outro fator de risco identificado foi a ausência do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), como observado no Caso 3. Embora a norma vigente não exija esse sistema para edificações residenciais unifamiliares, sua ausência contribuiu diretamente para a ocorrência do incêndio, indicando a pertinência de discussões sobre possíveis revisões normativas, especialmente em regiões com alta incidência de raios.

Outro fator relevante identificado foi a influência das cargas de incêndio presentes nos ambientes analisados. A presença de elementos combustíveis intensificou significativamente a propagação das chamas. No Caso 1, a carga de incêndio composta por livros, roupas e móveis em MDF contribuiu para que o fogo se espalhasse com maior rapidez e intensidade. Situação semelhante foi observada no Caso 3, onde a presença de um painel de MDF atuou como combustível, acelerando a expansão do incêndio logo após seu início. Esses achados ressaltam a importância de considerar os materiais de acabamento e mobiliário no planejamento da segurança contra incêndio, especialmente em ambientes com alta carga térmica potencial.

Outro ponto evidenciado pelos casos analisados foi a importância da compartimentação efetiva dos ambientes. Nos Casos 1 e 4, a inexistência de barreiras físicas adequadas permitiu a rápida propagação do fogo para outros cômodos, ampliando significativamente os danos estruturais e materiais. Uma compartimentação eficiente poderia ter limitado o avanço das chamas, reduzindo os prejuízos. Essa constatação reforça a necessidade de tratar a compartimentação como um requisito obrigatório nos projetos arquitetônicos e estruturais, exigindo atenção redobrada por parte dos profissionais quanto às práticas construtivas adotadas.

Os estudos também demonstraram que os revestimentos exercem papel fundamental na proteção dos elementos construtivos frente à ação do fogo. No Caso 1, por exemplo, a presença de revestimento com espessura adequada favoreceu a preservação tanto da alvenaria quanto do elemento estrutural (pilar) no local analisado. Já no Caso 5, a ausência ou insuficiência do revestimento expôs a alvenaria a danos mais severos.

Observou-se ainda que, nas regiões submetidas a temperaturas mais elevadas durante o incêndio, ocorreram manifestações patológicas intensas, como ruptura dos septos cerâmicos e desprendimento do revestimento. Em contrapartida, nas áreas menos afetadas termicamente, foram registradas manifestações típicas, como o mapeamento dos blocos cerâmicos e fissuras acompanhando as juntas de assentamento da argamassa, conforme identificado nos Casos 3, 4 e 5.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13860: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812: Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos. Parte 1: Projetos.** Rio de Janeiro, 2010.

BASTOS, P. S. **Alvenaria Estrutural.** Bauru: UNESP, 2021. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos>. Acesso em: 10 jan 2025.

CALDAS, R. B. **Análise numérica de estruturas de aço, concreto e mistas em situação de incêndio.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais - Minas Gerais, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/PASA-7NPGE6>. Acesso em: 10 jan 2025.

CARVALHO, P. R. O. **Análise numérica de blocos de concreto em situação de incêndio: ênfase no comportamento térmico e termomecânico.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos - São Paulo, 2019.

TOCANTINS. **Corpo de Bombeiros Militar. Norma Técnica nº 06 – Segurança Estrutural das Edificações.** Anexo VI à Portaria nº 13/2022/CAT, de 5 de dez. de 2022. Diário Oficial do Estado do Tocantins, n. 6235, 22 dez. 2022. Alterada pela Portaria nº 15/2024/CAT, publicada no DOE n. 6595, 21 jun. 2024.

COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio.** Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008.

CRISPIM, C. M. R.; CRISPIM, H. A. F. **Análise de estruturas de concreto armado em situação de incêndio.** Revista Acadêmica do Centro Universitário de Brasília, v. 1, n. 1, 2021. Disponível em: <https://www.publicacoesacademicas.uniceub.br/ra/article/view/7012>. Acesso em: 10 jan. 2025.

FANTON, A. R. **Análise numérica do comportamento termomecânico de lajes de concreto expostas ao fogo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas - São Paulo, 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1637991>. Acesso em: 10 jan. 2025.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** Editora Atlas SA, 4. ed. São Paulo, 2002.

HOHEMBERGER, L. F.; NETTO, M. R.; PINHO, R. R. **Estruturas de concreto em situação de incêndio – uma revisão.** 2. ed. Editora Científica, 2023.

HENNEMANN, G. G.; GIL, A. M.; FERNANDES, B.; BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F. **Avaliação teórico-experimental da influência da espessura de alvenaria na resistência ao fogo de sistemas verticais de vedação.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 183-195, out./dez. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400192>. Acesso em: 10 jan 2025.

JÚNIOR, K. O. **Pilares de concreto armado em situação de incêndio submetidos à flexão normal composta.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

LEITE, H. A. L. **Alvenaria estrutural em situação de incêndio - proposta de avaliação com vistas à normatização.** 2018. 152 p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

LIMEIRA, G. S. **Análise de estruturas de concreto armado em situação de incêndio: estudo de caso do laboratório de habilidades médicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido.** Monografia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Rio Grande do Norte, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/1179>. Acesso em: 10 jan 2025.

MAXIMIANO, D. P. **Análise Numérica Avançada de Estruturas de Aço e de Concreto Armado em Situação de Incêndio.** 197 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

NETO, J. A. D. F. **Estudo experimental do comportamento de elementos de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos em situação de incêndio.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos - São Paulo, 2020.

NGUYEN, T. D.; MEFTAH, F. **Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 1: Experimental analysis.** Fire Safety Journal, v. 52, p. 55–64, 2012.

NGUYEN, T. D.; MEFTAH, F. **Behavior of hollow clay brick masonry walls during fire. Part 2: 3D finite element modelling and spalling assessment.** Fire Safety Journal, v. 66, p. 35–45, 2014.

SÃO PAULO (Município). **Decreto nº 10.878, de 7 de fevereiro de 1974.** Institui normas especiais para a segurança dos edifícios, a serem observadas na elaboração de projetos, execução, equipamento e funcionamento. São Paulo: Câmara Municipal, 1974.

SÃO PAULO (Estado). Corpo de Bombeiros da Polícia Militar. **Instrução Técnica nº 08: Segurança das estruturas.** São Paulo, 2019.

SEITO et al. **A segurança contra incêndio no Brasil.** 1. ed. São Paulo: Projeto Editora, 2008, 496 p.

SILVA, V. P. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: conforme ABNT NBR 15200:2012.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2012.

SILVA, B. R. R. **Análise comportamental de lajes de concreto armado em situação de incêndio**. 2022. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/34937>. Acesso em: 25 jun 2025.

SOUZA, V. P; SILVA, G. P. **Estruturas de concreto em situação de incêndio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2015.

RODRIGUES, J. P. C.; OLIVEIRA, R. L. G. de. **Dimensionamento de estruturas em situação de incêndio**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

ZABEU, L. J. L. **Comportamento de estruturas de concreto de edifícios industriais compartimentados submetidos à situação de incêndio**. Dissertação de pós-graduação. Universidade Estadual de Campinas - São Paulo, 2011. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1616121>. Acesso em: 10 jan 2025.