



AVALIAÇÃO DE UM GALPÃO INDUSTRIAL DE CONCRETO PRÉ-FABRICADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

CURITIBA
2017



AMÁLIA IKEDA

MARCIA HIROMI MAKIYAMA

RENATA CRISTINA COITO

AVALIAÇÃO DE UM GALPÃO INDUSTRIAL DE CONCRETO PRÉ-FABRICADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Tecnologia da Pré-Fabricação, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Tecnologia da Pré-Fabricação.

Orientador: Prof. Msc. Patrícia Ribeiro da Silva Brandão

CURITIBA
2017

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos familiares e amigos que nos apoiaram a mais esta jornada de estudos e aprendizados.

A Cassol Pré-fabricados que plantou a semente e abriu a oportunidade para que iniciássemos esta pós-graduação.

Ao IDD que nos incentivou a permanecer e não desanimar diante de contratempos encontrados ao longo da trajetória.

Aos mestres e colegas que fizeram das horas e finais de semana um agradável encontro e troca de conhecimentos.

E a Deus que sempre nos acompanha, nos zela, e abençoa cada passo de nossas vidas.

FOLHA DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DE UM GALPÃO INDUSTRIAL DE CONCRETO PRÉ-FABRICADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Por

AMÁLIA IKEDA

MARCIA HIROMI MAKIYAMA

RENATA CRISTINA COITO

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM TECNOLOGIA DA PRÉ-
FABRICAÇÃO, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA
PELOS PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) 28 de Junho de 2017.

Profº M. Sc. Kirke Andrew Wrubel Moreira

Profª M. Sc. Patrícia Ribeiro da Silva Brandão

Profº M. Sc. Luiz Henrique Felipe Olavo

RESUMO

O presente trabalho avalia se uma estrutura pré-fabricada que não foi verificada para situações de incêndio na fase de projeto, dimensionada somente levando em consideração as normas específicas de projetos de concreto e elementos pré-moldados, tais como, NBR 6118 (ABNT, 2014) – Projeto de estruturas de concreto e NBR 9062 (ABNT, 2006) – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, atende também quando avaliada levando em consideração as normas de incêndio. Foi verificado individualmente cada um dos elementos pré-fabricados componentes da estrutura através das normas NBR 14432 (ABNT, 2001) – Exigências de resistência ao fogo dos elementos construtivos das edificações e NBR 15200 (ABNT, 2012) – Projetos de estruturas de concreto em situação de incêndio, e conclui-se que a maioria dos elementos não apresentam resultados satisfatórios quanto ao cobrimento mínimo das armaduras para atender ao tempo requerido de resistência ao fogo exigido. Com o resultado deste trabalho, reforça a importância do tema, e a necessidade de uma preocupação maior por parte do responsável, com maior cobrança dos órgãos competentes a fim de evitar e minimizar os riscos de incêndio, prezando pelas vidas humanas de quem utiliza a estrutura, evitando danos ao meio ambiente e ao patrimônio.

Palavras chave: pré-fabricado, resistência ao fogo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fator redução da resistência do concreto silicoso em função da temperatura.....	24
Figura 2 - Fator redução da resistência aço na armadura passiva em função da temperatura.....	26
Figura 3 - Comparativo Aço x Concreto	27
Figura 4 - Triângulo do fogo	28
Figura 5 - Curva de desenvolvimento de incêndio real	29
Figura 6 - Incêndio Edifício Andraus -1972, SP.....	30
Figura 7 - Incêndio Edifício Joelma-1974, SP	31
Figura 8 - Incêndio Boate Kiss-2013, RS	32
Figura 9 - Curva Padronizada de Incêndio.....	36
Figura 10 - Distância c_1 e c_{11}	38
Figura 11 - Definição das dimensões para diferentes tipos de seção transversal de vigas	39
Figura 12 - Corte longitudinal da obra	45
Figura 13 - Planta do nível 12,40	46
Figura 14 - Planta do Nível Intermediário.....	47
Figura 15 - Planta de Cobertura.....	48
Figura 16 - Valores das cargas de incêndio específicas (laboratório químico)	50
Figura 17 - Classificação das edificações quanto a sua ocupação (laboratório químico)	50
Figura 18 - Classificação das edificações quanto a sua ocupação (depósito)	51
Figura 19 - Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) para o laboratório químico.....	51
Figura 20 - Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) para o depósito..	52
Figura 21 - Seção da viga I.....	52
Figura 22 - Seção da viga T.....	53
Figura 23 - Seção da laje alveolar LP20.....	54

Figura 24 - Seção do pilar (40x40) cm.....	55
Figura 25 - Seção da telha W.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRF), em minuto.....	35
Tabela 2 - Dimensões mínimas para vigas biapoiadas ^a	39
Tabela 3 - Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos ^a	40
Tabela 4 - Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas ^c	40
Tabela 5 - Dimensões mínimas para lajes contínuas ^c	41
Tabela 6 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas ^c (Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))	41
Tabela 7 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas contínuas em pelo menos uma das bordas ^c	42
Tabela 8 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma só direção ^c	42
Tabela 9 - Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta ao fogo	43
Tabela 10 - Classificação do galpão para este estudo.....	49
Tabela 11 - Comparativo dos cobrimentos c e c1 das peças projetadas com os valores exigidos em norma - laboratório químico.....	56
Tabela 12 - Comparativo dos cobrimentos c e c1 das peças projetadas com os valores exigidos em norma - depósito	57

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1) - Fator de redução da resistência à compressão do concreto em função da temperatura.....	24
Equação (2) - Fator de redução da resistência do aço na armadura passiva em função da temperatura.....	26
Equação (3) - Solicitação de cálculo em situação de incêndio	38

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Classificação das edificações quanto à sua ocupação.....	64
Anexo 2 - Valores das cargas de incêndio específica	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.2. OBJETIVOS	16
1.2.1. Objetivo Geral	16
1.2.2. Objetivos Específicos	16
1.3. HIPÓTESE	17
1.4. JUSTIFICATIVAS	17
1.4.1. Tecnológicas	17
1.4.2. Econômicas	18
1.4.3. Sociais	18
1.4.4. Ecológicas	19
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	21
2.1.1. Concreto	21
2.1.2. Aço	25
2.2. ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	28
2.2.1. Ocorrência de incêndio no Brasil	30
2.2.2. Ações térmicas em estrutura de concreto	32
2.2.3. Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)	34
2.2.4. Método de cálculo em estruturas em situação de incêndio	37
2.2.5. Pinturas de proteção contra incêndio	43
3. ESTUDO DE CASO	44
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
4.1. ANÁLISE DE VIGAS PROTENDIDAS E ARMADAS	52
4.2. ANÁLISE DE LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS	54

4.3. ANÁLISE DE PILARES ARMADOS	54
4.4. ANÁLISE DE TELHAS PROTENDIDAS W37	55
4.5. ANÁLISE DE RESULTADOS	56
4.6. RECUPERAÇÃO / REUTILIZAÇÃO DA ESTRUTURA DE CONCRETO	59
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
7. ANEXOS.....	64

1. INTRODUÇÃO

O setor da engenharia vem sofrendo grandes avanços ao longo das últimas décadas nas áreas de projeto e construção civil. E apesar da importância do setor para a economia brasileira, a construção civil esteve por muito tempo marcado por um conjunto de aspectos negativos, tais como: altos índices de desperdícios, baixa produtividade, mão de obra desqualificada e o uso de equipamentos rudimentares.

Dentre esses avanços, iniciou-se no Brasil na década de 50 o emprego do pré-fabricado, o qual hoje tem sido uma forte tendência por ser um sistema mais vantajoso nos aspectos de reduzido tempo de execução, com processos de industrialização mais racionais, uso dosado dos materiais com menor desperdício, aproveitamento de mão de obra, menor agressividade ao meio ambiente, maior resistência ao fogo e um melhor controle tecnológico dos materiais e do produto final.

Quando uma estrutura é exposta a situação de incêndio, a construção pode sofrer danos de grandes proporções, pondo em risco a segurança dos usuários e da sociedade. Elas devem estar preparadas para as situações de riscos, tanto acidental quanto pela manipulação dos produtos no interior dela.

Em se tratando de estruturas de concreto armado, as diferentes propriedades do material que as compõem, fazem com que os materiais reajam de forma diferente quando sujeitas a elevadas temperaturas, o que leva as muitas variáveis a serem analisadas na hora do dimensionamento.

Em meio a este cenário, o presente trabalho pretende contribuir apresentando um estudo de caso, relacionado ao desempenho e segurança das estruturas em situação de incêndio, cujo objetivo principal é proteger a vida humana, atendendo um tempo de fuga seguro aos usuários e combatentes do incêndio, reduzir o risco a vizinhança e a sociedade, analisadas com base na NBR 14432 (ABNT, 2001) e NBR 15200 (ABNT, 2012).

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Tendo em vista o crescimento do emprego de elementos pré-fabricados em concreto no Brasil, aumenta a necessidade da análise das estruturas em situação de incêndio. As estruturas dimensionadas e fabricadas industrialmente de modo racional e economicamente competitivas, atendem aos requisitos exigidos por norma tanto pela carga de incêndio quanto aos seus cobrimentos quando submetidas ao fogo?

1.2. OBJETIVOS

Neste item apresentam-se os objetivos gerais e específicos da pesquisa a ser desenvolvida.

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo principal é avaliar se um galpão industrial executado em concreto pré-fabricado, constituído por lajes alveolares, pilares, telhas W protendidas, vigas armadas e protendidas, atende a NBR 15200 (ABNT, 2012) - Projetos de estruturas de concreto em situação de incêndio e a NBR 14432 (ABNT, 2001) - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações, devido seu uso apresentar risco de incêndio.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- I. Descrever o tempo de resistência ao fogo de vigas, telhas, lajes e pilares;
- II. Verificar se os cobrimentos atendem ao tempo requerido de resistência ao fogo;

- III. Apresentar comparativo de cobrimentos para cada elemento do projeto executado com os exigidos em situação de incêndio segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012).

A partir dos dados obtidos, pretende-se contribuir para o melhor entendimento e domínio técnico do tema, tornando o sistema construtivo mais seguro, racional e sustentável.

1.3. HIPÓTESE

Mesmo atendendo as normas, estruturas pré-fabricadas podem levar vantagem em relação às estruturas em concreto armado convencional. Podendo ainda ter a sua eficiência melhorada com a adição de compostos na mistura ou através de proteção adicional pós-fabricação como aplicação de argamassas ou de pinturas especiais.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Por tratar-se de um tema que exige atenção especial, e o volume de pesquisas na área ainda ser restrito a poucas instituições de ensino e empresas, seguem as justificativas tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas que motivam a elaboração desse estudo.

1.4.1. Tecnológicas

A utilização do pré-fabricado tem sido uma forte tendência no mercado, e assim como qualquer outro tipo de edificação, o pré-fabricado também está sujeito a grandes riscos de incêndio.

Há pouco tempo, as estruturas pré-fabricadas estavam restritas aos galpões industriais, e rapidamente evoluíram para as edificações comerciais como mercados e shoppings, e até mesmo obras residenciais onde há grande concentração de pessoas.

Para garantir a integridade das estruturas em situação de incêndio permanecendo um maior tempo sem ruir, de forma a poder realizar com segurança a evacuação e combate ao incêndio, pretende-se analisar o dimensionamento estrutural e contribuir com melhorias tecnológicas das peças armadas e protendidas pré-fabricadas, que proporcionem um melhor isolamento térmico e maior resistência mecânica.

1.4.2. Econômicas

Tornar o pré-fabricado mais atraente e economicamente viável visto ser uma estrutura com processos produtivos de maior controle e baixo índice de desperdícios, em comparação às estruturas convencionais.

Desta forma espera-se aumentar o emprego de estruturas pré-fabricadas, mostrando que ela é economicamente competitiva quando se leva em conta a durabilidade, segurança, e possibilidade de recuperação da estrutura pós-incêndio.

1.4.3. Sociais

Este estudo busca adequar o projeto de estruturas pré-fabricadas as recomendações da NBR 15200 (ABNT, 2012), quanto aos requisitos de segurança e conforto aos usuários, atendendo a:

- i. Limitar risco a vida humana;
- ii. Limitar risco da vizinhança e da própria sociedade;
- iii. Limitar risco da propriedade exposta ao fogo.

1.4.4. Ecológicas

A preservação do meio ambiente é uma preocupação constante nos dias de hoje, e a construção civil ainda gera um impacto significativo no que diz respeito à utilização dos recursos naturais, consumo de energia, poluição, ruídos e desperdícios.

Comparado aos métodos construtivos tradicionais, os sistemas pré-fabricados oferecem muitas vantagens, como processos de produção mais racionais, controle tecnológico, uso dosado de materiais, menor tempo de construção, resistência ao fogo, e uma melhor relação com o meio ambiente.

Com essa proposta, justifica cada vez mais a aplicação do pré-fabricado na construção civil, e o conhecimento do comportamento das peças armadas e protendidas pré-fabricadas em situação de incêndio são de suma importância para se evitar que elementos submetidos ao fogo sejam condenados e descartados erroneamente por falta de conhecimento técnico.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica, com base em livros editados, pesquisas a teses, monografias, artigos científicos e dissertações, além das normas aplicáveis ao tema.

O método adotado é verificar o atendimento ou não às condições previstas em normas específicas de incêndio, quanto às exigências e considerações de projeto.

O trabalho analisará cada um dos elementos pré-fabricados que compõe a estrutura, quanto ao cobrimento e grupo de ocupação entre o projeto da obra existente com o exigido pela NPT 008/2012 – Norma de Procedimento Técnico do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Paraná (CBPMPR), através das NBR 14432 (ABNT, 2001) e NBR 15200 (ABNT, 2012).

A NPT 008/2012 é baseada na instrução técnica N° 08/2011 (Resistência ao fogo dos elementos de construção) do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP).

Visto ter entrado em vigor novas atualizações de Norma ao longo do presente estudo, a análise será realizada com base na norma vigente do período de elaboração do projeto e execução da obra.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Para um melhor entendimento do presente trabalho, aqui será apresentado sucintamente o conteúdo de cada capítulo que o compõe:

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delineia as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre conceitos de concreto e aço quando sujeitos a temperaturas elevadas, como ocorre um incêndio em uma estrutura, alguns exemplos de ocorrência de incêndio no Brasil e as ações térmicas na estrutura de concreto. Apresenta também as tabelas de normas para determinar o TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo e as tabelas de normas de cálculo dos principais elementos pré-fabricado a serem analisados, como pilares, vigas, lajes e telhas W.

O **Capítulo 3** apresenta a obra analisada no estudo de caso do presente trabalho, descrevendo e apresentando suas características, com as ilustrações de plantas baixa e uma seção longitudinal da obra.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados com base na verificação do cobrimento em relação aos exigidos em normas vigentes para o TRRF apresentado, devido às características da obra.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item será apresentada uma revisão bibliográfica sobre projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.

2.1. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Nos itens 2.1.1 E 2.1.2 serão apresentadas definições referentes às resistências a compressão do concreto e do aço em altas temperaturas.

2.1.1. Concreto

No Século XIX, quando edifícios de múltiplos andares de aço começaram a ser construídos, o concreto era utilizado, sem função estrutural, como material de revestimento do aço, para proteção contra fogo e corrosão. As espessuras de concreto eram grandes, em vista de o concreto não ser um isolante ideal. Anos após, o concreto também foi aproveitado como elemento estrutural, trabalhando em conjunto com o aço para resistir aos esforços, inicialmente na função de piso. Em seguida, surgem as estruturas mistas (vigas e pilares) de aço e concreto. Mais tarde iniciou-se a construção de edifícios de múltiplos andares de concreto armado. (SILVA, 2012).

Para Morales, Campos e Fagarello (2011) o concreto é um composto de materiais de diferentes propriedades entre si e que reagem de formas distintas quando submetidas a altas temperaturas, e que pode levar ao colapso da estrutura devido à perda de resistência mecânica em função do tempo de exposição, traço do concreto utilizado, temperatura máxima atingida, elementos estruturais envolvidos e ao tempo de resfriamento. O efeito da elevação da temperatura sobre a resistência mecânica do concreto é variável podendo ser acentuado quando em situação de resfriamento rápido. Quando realizado o resfriamento lentamente há uma possibilidade de recuperação quase total, dependendo da temperatura máxima atingida.

Segundo Rosso (1975) o efeito da temperatura nas propriedades físicas do concreto apresenta o seguinte esquema deste comportamento:

- **100-500°C** – Lascamento, “explosive spalling”, início do processo de desidratação do gel de C-S-H, que se intensifica em 300°C e prossegue até próximo de 400°C;
- **200°C** – idem e retração por perda de água da tobermorita e dilatação dos agregados;
- **300 – 400°C** – Redução da água do gel com a formação de silicatos anidros ocorrendo fissuras superficiais;
- **400 – 500°C** – Idem e retração acentuada por desidratação do hidróxido de cálcio;
- **500 – 600°C** – Desidratação mais rápida do hidróxido de cálcio;
- **575°C** – Expansão do quartzo na transformação de alfa para beta, com fissuração da matriz cimentícia;
- **600°C e 700°C** – Transformações de outros agregados; O CaCO_3 começa a se transformar em CaO e a liberar CO_2 ;
- **800°C** – Retração por perda de água combinada da tobermorita;
- **870°C** – Expansão do quartzo na transformação de beta em tridimita.

O concreto possui boas propriedades em relação à resistência ao fogo: o concreto é um material incombustível, continua a apresentar um desempenho satisfatório durante um período de exposição ao fogo relativamente grande e não emite gases tóxicos. (NEVILLE, 2016).

Ainda conforme Neville (2016), concreto com agregados leves apresenta uma perda de resistência à compressão muito menor do que o concreto normal.

Segundo Costa e Silva (2002) a pasta de cimento desestrutura-se quimicamente por desidratação, onde a água livre presente na pasta evapora-se à medida que a temperatura se eleva, enfraquecendo o concreto endurecido. Após 100°C, as águas, livre e capilar, presentes na pasta de cimento começam a evaporar, retardando o aquecimento do concreto.

Uma das alterações que ocorre quando a temperatura sobe até cerca de 400 °C é a decomposição do hidróxido de cálcio, restando CaO, em virtude da secagem. Entretanto, caso, após o resfriamento, entre água no concreto, a reidratação do CaO pode causar desagregação, e a manifestação do dano pode ocorrer após o incêndio. Desse ponto de vista é útil adicionar pozolanas à mistura, pois elas removem o hidróxido de cálcio. (NEVILLE, 2016).

Para Costa e Silva (2002) a utilização de concretos com resistências maiores ($f_{ck} > 18$ MPa), permite a concepção de elementos estruturais cada vez mais esbeltos, isto é, áreas de seção transversal menores e comprimentos maiores. Todavia, peças de menor massa e volume se aquecem rapidamente aumentando a instabilidade das peças.

Neville (2016) diz que quanto menor for a permeabilidade do concreto e maior for a velocidade de elevação da temperatura, maior será o risco de lascamento explosivo. Uma observação associada a esse fato é que a perda de resistência em temperaturas elevadas é maior em concreto saturado do que em concretos secos, sendo o teor de umidade na hora da aplicação da carga o responsável por essa diferença.

Desta forma o pré-fabricado por utilizar concretos de alta densidade, apresenta uma menor permeabilidade aumentando o risco ao lascamento explosivo, mas não desqualificando o uso desse tipo de estrutura. Segundo Castro, Tiba e Pandolfelli (2011) apud Zago, Moreno Junior e Marin (2014) pode ser contornado esse efeito com a adição de aditivos incorporadores de ar como as fibras de propileno que em altas temperaturas se degradam criando canais adicionais para alívio das pressões internas.

De acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012) a resistência à compressão do concreto decresce com o aumento da temperatura, conforme mostrado na Figura 1, obtidas através da equação 1:

$$f_{c,\Theta} = k_{c,\Theta} f_{ck} \quad (1)$$

onde:

f_{ck} = é a resistência característica à compressão do concreto à temperatura ambiente;

$k_{c,\Theta}$ = é o fator de redução da resistência do concreto na temperatura Θ .

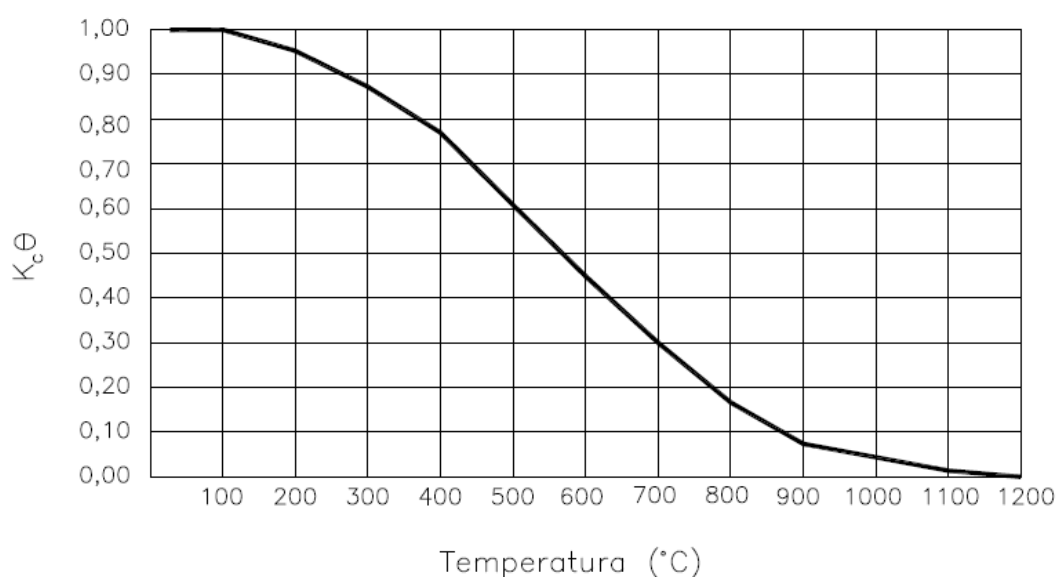


Figura 1 - Fator redução da resistência do concreto silicioso em função da temperatura
(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

Na equação 1 é fornecida a relação entre a resistência a compressão do concreto submetido a diferentes temperaturas ($f_{c,\Theta}$) e a resistência característica à compressão do concreto a temperatura ambiente (f_{ck}), tabela válida para concretos com agregados siliciosos, que tem pior comportamento ao fogo. (NBR 15200 (ABNT, 2012)).

Para valores intermediários de temperatura pode ser feita a interpolação linear.

2.1.2. Aço

O concreto é um material que apresenta baixa resistência à tração. Sendo assim surgiu a necessidade de incorporá-lo a um material que convenientemente está disposto a resistir essas tensões de tração atuantes. Com esse material composto surge então o chamado “concreto armado”. E, para que exista o concreto armado, é imprescindível que haja a solidariedade entre ambos, ou seja, que o trabalho seja de forma conjunta (BASTOS, 2006).

Para Zago, Moreno Junior e Marin (2014) o concreto e o aço possuem aproximadamente o mesmo coeficiente de dilatação térmica, e trabalham simultaneamente sobre ação de uma carga devido à aderência, até uma determinada variação de temperatura.

Segundo Queirós (1996) apud Prado (1998), o aço em relação ao concreto (massa) é um bom condutor térmico, absorvendo melhor o calor. Por isso, o aço contribui para o aquecimento localizado nos elementos de concreto armado, em virtude de maior proximidade da face da peça à fonte de calor, diferenças no cobrimento da armadura e existência de vazios sob as barras. Dessa forma, o calor se propaga mais rápido ao longo das ferragens enquanto o concreto permanece com uma temperatura média baixa. A temperatura no aço aquecido se uniformiza rapidamente e as armaduras se dilatam mais do que o concreto. As barras flambam e comprimem a zona de aderência aço-concreto oprimindo a interface; por essa razão há perda de aderência e ancoragem.

O Eurocode 2 (EN 1992-1-2 (2004)) admite que a resistência do aço se anule completamente aos 1200 °C. À medida que a temperatura se eleva, a taxa de redução do módulo de elasticidade do aço é maior que a observada na resistência.

Enquanto o aço comum tem como temperatura crítica 500°C e as barras protendidas 400°C conforme Eurocode 2 (EN 1992-1-2 (2004)), o concreto segundo Morales, Campos e Fagarello (2011) nesta temperatura sofre danos significativos, mas através de reidratação posterior poderá recuperar até 90% da resistência mecânica original no prazo de um ano.

De acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012) com o aumento da temperatura a resistência ao escoamento do aço na armadura passiva tem um decréscimo significativo de acordo com a equação (2) e a Figura 2:

$$f_{y,\Theta} = k_{s,\Theta} f_{yk} \quad (2)$$

onde:

f_{yk} = é a resistência característica do aço de armadura passiva à temperatura ambiente;

$k_{s,\Theta}$ = é o fator de redução da resistência do aço na temperatura Θ .

- Curva contínua: $k_{s,\Theta}$ quando $\epsilon_{yi} < 2\%$, utilizadas para armaduras tracionadas como vigas, lajes e tirantes;
- Curva pontilhada: $k_{s,\Theta}$ quando $\epsilon_{yi} > 2\%$, utilizadas para armaduras comprimidas como pilares, vigas ou lajes.

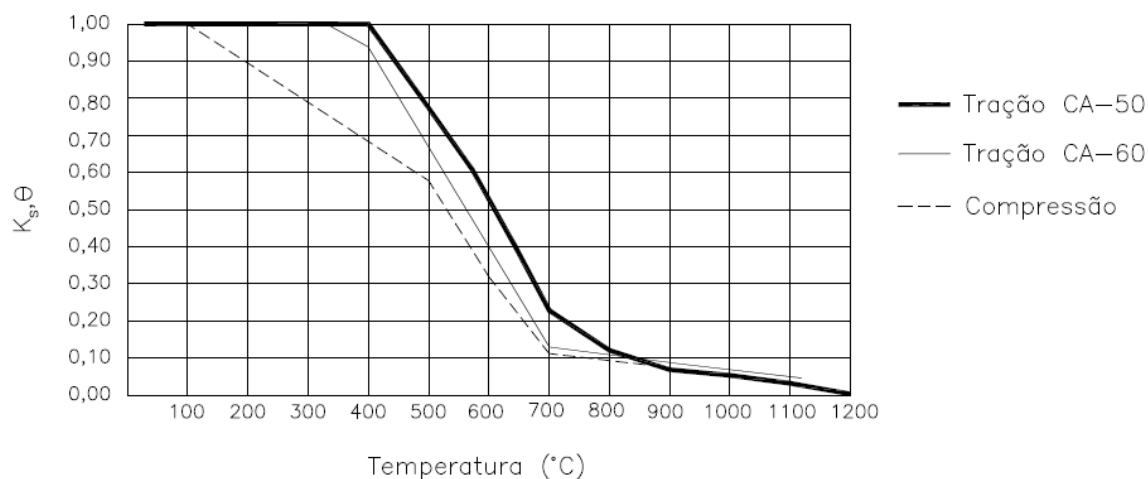


Figura 2 - Fator redução da resistência aço na armadura passiva em função da temperatura
(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

Com base nos gráficos da Figura 1 e Figura 2, da NBR 15200 (ABNT, 2012), observa-se o comportamento do concreto e do aço quanto à perda de resistência quando submetidas às altas temperaturas, agrupados aqui na Figura 3:

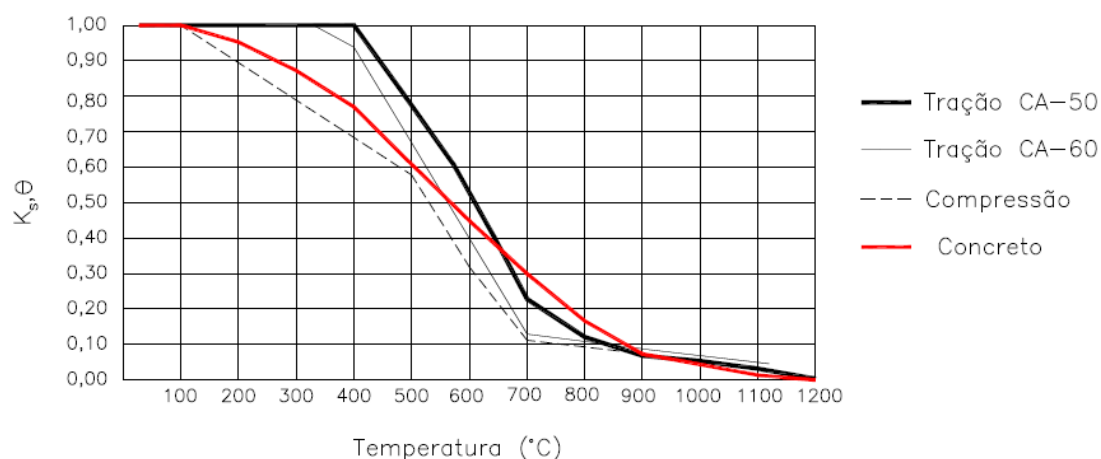


Figura 3 - Comparativo Aço x Concreto
(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

Observa-se através do gráfico da figura 3 que em temperaturas acima de 400°C o aço perde rapidamente sua resistência, perdendo em torno de 50% de sua resistência a frio quando atinge a 600°C.

Já o concreto começa a ter perdas de resistência a partir dos 100° C, mas por ter menor condutibilidade térmica ela aquece mais lentamente e as perdas de resistência ocorrem também na mesma proporção, aos 350°C ela perde 20% da sua resistência e chega a 40% aos 500°C.

Em ambos os casos a resistência se anula completamente ao atingir 1200° C.

Baseando nesta revisão bibliográfica do concreto e aço, pode-se dizer que o concreto é um material que suporta bem a altas temperaturas, mas com limitação quando submetidas a temperaturas acima de 500°C, quando ocorre a perda da água que leva a desidratação do hidróxido de cálcio, e as barras de aço das armaduras sofrem expansões nas suas seções, agravando no caso das cordoalhas por ter seção maior. Por isso, em estruturas sujeitas a riscos de incêndio adota-se como medida protetiva cobrimento adicional das armaduras.

2.2. ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

O concreto é conhecido por ter um bom desempenho ao fogo. Do ponto de vista da segurança contra incêndios, o concreto é visto como vantajoso devido ao fato de ser incombustível, possuir baixa condutividade térmica e não exalar gases tóxicos quando submetido a altas temperaturas. Porém os danos causados no concreto podem denotar grandes perdas da sua capacidade resistente (COSTA E SILVA, 2002).

Um dos modelos mais antigos destinados a explicar a formação do fogo é expresso no denominado triângulo do fogo, figura 4: diz-se que só haverá fogo se houver a presença simultânea de material combustível, oxigênio e calor. (CLARET, 2006).



Figura 4 - Triângulo do fogo
(Fonte: <http://www.cursor10.com/teoria-do-fogo>)

Conforme mencionado em Claret (2006) é certo que, se faltar um dos elementos essenciais, não haverá o início da ignição. Desta forma, sugere três meios de redução do risco de incêndios: a redução da carga combustível em um compartimento, a redução da probabilidade de o material combustível vir a ser exposta a uma fonte de calor e, finalmente, a redução do teor de oxigênio no ambiente. Sendo estas as premissas levadas em consideração na elaboração de projetos de segurança contra incêndio.

Uma segunda forma de descrever um incêndio, ainda muito utilizada, é por meio de uma curva tempo-temperatura ou, simplesmente, uma curva $\Theta(t)$, apresentada na figura 5. (SILVA, 2012).

Segundo Silva (2012), a curva da Figura 5 apresenta um ramo inicial (fase de ignição) de baixa temperatura, em que o incêndio é considerado de pequenas proporções, denominado pré-flashover. Quando há um aumento brusco da temperatura, a superfície de toda a carga combustível presente no ambiente entra em ignição, e a partir deste instante, o incêndio torna-se de grandes proporções, tomando todo o compartimento. Aumentando bruscamente a inclinação da curva, é conhecida como “flashover”, onde a temperatura dos gases eleva-se rapidamente até o material combustível extinguir-se. A partir daí, inicia-se a fase do resfriamento onde haverá a redução gradativa da temperatura dos gases.

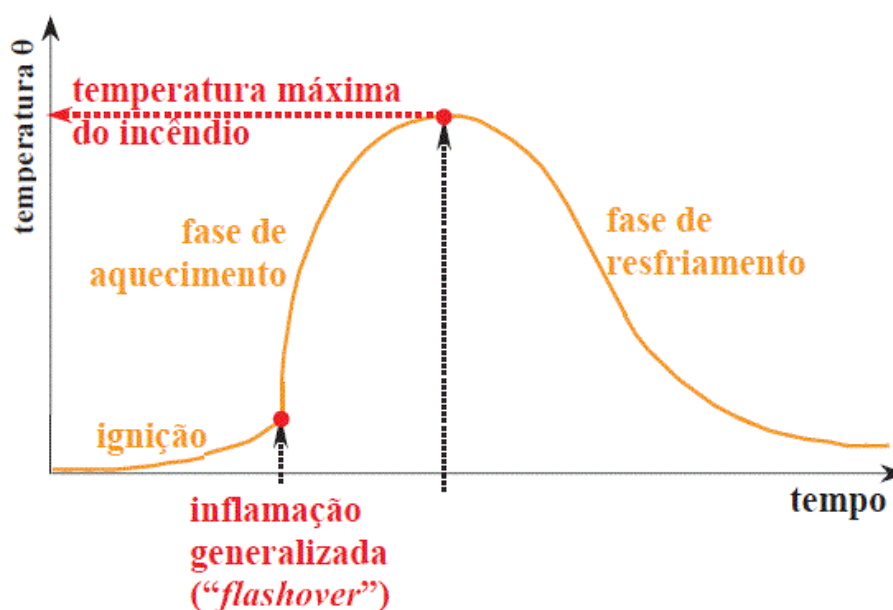


Figura 5 - Curva de desenvolvimento de incêndio real
(Fonte: Silva (2012))

Para Costa e Silva (2002), o aumento da temperatura dos elementos estruturais, decorrentes da ação térmica devido aos incêndios, causa alterações na micro e na macroestrutura do concreto. A elevação gradual de temperatura provoca efeitos distintos no concreto e nas argamassas, verificando-se alteração na coloração, e perda de resistência mecânica, esfarelamento superficial, fissuração até a própria desintegração da estrutura.

A seguir serão apresentadas as definições básicas referentes à resistência ao fogo de estruturas de concreto.

2.2.1. Ocorrência de incêndio no Brasil

Segundo Silva (2012) o incêndio é considerado uma ação excepcional, que são de curta duração ou com baixa probabilidade de ocorrência durante a sua vida útil, mas que não devem ser desprezadas quando de conhecimento do risco.

No ano de 1972 ocorreu o incêndio no edifício Andraus, figura 6, e dois anos depois ocorreu o incêndio do edifício Joelma, figura 7. Conforme Silva (2012) após esses dois eventos se deu início à reformulação das medidas de segurança contra incêndios no Brasil. Desde então se criaram leis e norma técnica específica, sendo a mais recente NBR 15200. (ABNT, 2012).



Figura 6 - Incêndio Edifício Andraus -1972, SP
(Fonte: Pinterest)

O Edifício Andrauss, figura 6, era um edifício comercial com 31 andares, sem escada de incêndio, que vitimou 16 pessoas e deixou 336 feridos, cuja tragédia só não foi maior pela existência de um heliponto na cobertura, para onde as pessoas se deslocaram e puderam ser resgatadas, protegidas pela laje e pelos beirais, conforme Silva (2012).

Também conforme Silva (2012), no Edifício Joelma, figura 7, a tragédia foi maior, vitimando 179 pessoas e deixando 320 feridos, por conta de ser um edifício com 23 andares, também sem escada de segurança, e sem oferecer outros meios de fuga do local. Muitas das vítimas se projetaram para fora do prédio se lançando pelas fachadas do prédio.



Figura 7 - Incêndio Edifício Joelma-1974, SP
(Fonte: Eivind Molberg-1º.fev.1974/Folhapress)

Mais recentemente ressurgiu o enfoque ao tema com a tragédia na Boate Kiss, em Santa Maria – RS, figura 8, segundo a UOL Notícias (2013) vitimando 242 pessoas em janeiro de 2013. Sem grandes danos a estruturas, mas com danos irreparáveis à vida humana, levantado questões quanto ao rigor na segurança contra incêndio.



Figura 8 - Incêndio Boate Kiss-2013, RS
(Fonte: Germano Roratto/Agência RBS)

2.2.2. Ações térmicas em estrutura de concreto

A capacidade resistente do concreto (Eurocode EN 1992, 2004), do aço (Eurocode EN 1993, 2003), das estruturas mistas (Eurocode EN 1994, 2003), da madeira (Eurocode EN 1995, 2004), da alvenaria (Eurocode EN 1996, 2005) e do alumínio (Eurocode EN 1999, 2007) em situação de incêndio é reduzida, em vista da degeneração das propriedades mecânicas dos materiais ou da redução da área resistente. (SILVA, 2012).

Para Silva (2012) pode-se dizer que as estruturas de concreto possuem maiores resistências térmicas quando comparadas a outros sistemas estruturais.

Segundo Costa e Silva (2002), as estruturas metálicas, mais esbeltas, possuem menor resistência térmica em comparação as de concreto, contudo, as condições das estruturas de concreto devem ser avaliadas quando submetidas a situações de incêndio.

Apesar de a redução das propriedades mecânicas do concreto em função da temperatura ser mais acentuada que do aço, a temperatura média atingida por um elemento isolado de aço em incêndio é geralmente maior que a de outros materiais. (SILVA, 2012).

De acordo com Costa (2008) se o elemento estrutural for exposto a ações térmicas elevadas, podem ocorrer variações nas micro e macroestruturas do concreto, resultando em alterações físico-químicas que influenciam diretamente nas propriedades mecânicas como módulo de elasticidade, resistência à compressão e a tração do concreto.

Ainda conforme Costa (2008), as ações térmicas que ocorrem nas estruturas, podem ser descritas através da soma de calor convectivo e radioativo.

Convecção é o processo pela qual o calor flui, envolvendo movimentação de fluido, principalmente entre sólidos e fluidos. Decorrente da diferença de densidade entre os gases com diferentes temperaturas no ambiente em chamas, eles se movimentam e tocam as estruturas transferindo-lhes calor. (SILVA, 2012).

Radiação é o processo pela qual o calor flui na forma de propagação de ondas de um corpo em alta temperatura para outro em temperatura mais baixa. (SILVA, 2012).

Segundo Neville (2016), o que se quer do concreto estrutural é que ele preserve sua ação estrutural por um determinado período de tempo, o que é um aspecto diferente de resistente ao fogo.

Ainda segundo Neville (2016), a aplicação de água em um incêndio é equivalente a um resfriamento brusco: há uma elevada redução da resistência, devido aos grandes gradientes de temperatura que surgem no concreto.

2.2.3. Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

Entende-se por dimensionamento ao incêndio, a verificação dos elementos estruturais e suas ligações referentes à capacidade de resistência aos esforços solicitantes em temperatura elevada. Em outras palavras, trata-se da determinação das dimensões e características do material de proteção contra incêndio, que um determinado elemento estrutural e sua ligação possam vir necessitar.

Considera-se que o colapso estrutural deva ser evitado por um tempo suficiente para possibilitar:

- a) a fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança;
- b) a segurança das operações de combate ao incêndio;
- c) a minimização de danos a edificações adjacentes e à infraestrutura pública.

A este tempo, é dado o nome de tempo requerido de resistência ao fogo, e é representado pela sigla TRRF.

O TRRF é designado de modo simplificado como tempo de resistência ao fogo, ou apenas resistência ao fogo e devem ser determinados de acordo com a sua ocupação conforme a Tabela 1 - Tempo Requerido da Resistência ao Fogo NBR 14432 (ABNT, 2001), com base no Anexo 1 (Classificação das edificações quanto à sua ocupação) e Anexo 2 (Valores de carga de incêndio).

Segundo a NBR 14432 (ABNT, 2001), o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) é o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão, e a resistência ao fogo é a propriedade de um elemento de construção de resistir à ação do fogo por determinado período de tempo, mantendo sua segurança estrutural, estanqueidade e isolamento onde aplicável. (SILVA, 2012).

Para Silva (2012) o incêndio-padrão (figura 9) é um modelo fictício, que procuram simular a real situação de um compartimento em chamas. Ela é determinada por uma curva ascendente, mostrando que a temperatura dos gases é sempre crescente com o tempo.

Tabela 1 - Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRF), em minuto
(Fonte: NBR 14432 (ABNT, 2001))

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _s > 10m	Classe S ₁ h _s ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12m < h ≤ 23m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 a B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 e G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

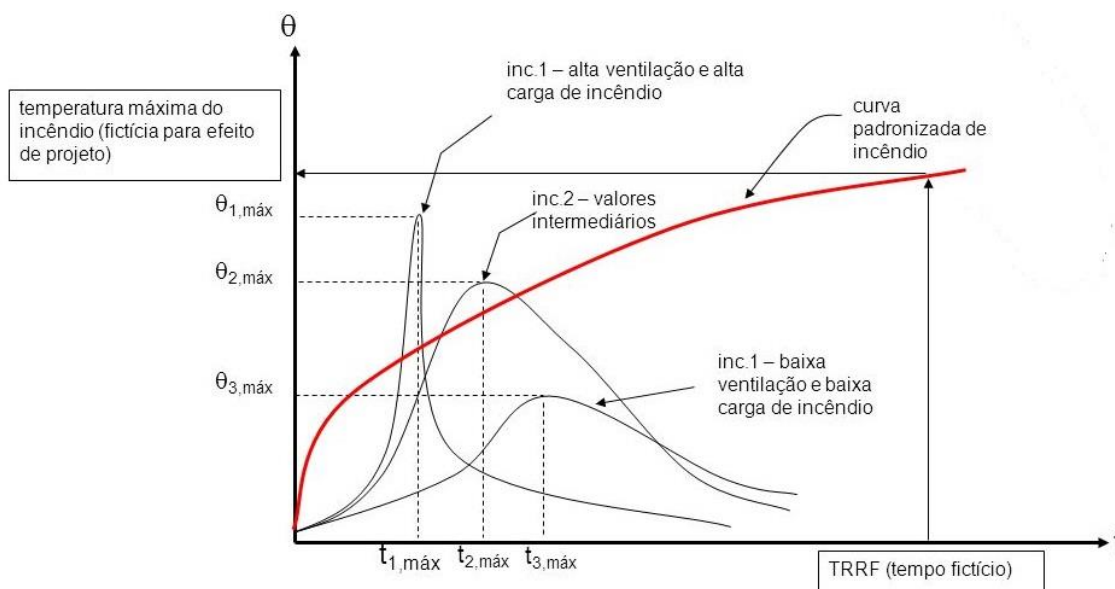


Figura 9 - Curva Padronizada de Incêndio
(Fonte: Silva, 2012)

De acordo com Silva (2012) a NBR 15200 (ABNT, 2012) sugere que esforços provenientes de deformações impostas pelo incêndio, com base na curva padrão, podem ser desprezados. Esta proposição é dada como sendo favorável à segurança para as simplificações impostas quanto à dilatação, no entanto sem demonstrações.

Segundo Albuquerque et al. (2012) apud Costa (2008) a resistência ao fogo deve-se a análise estrutural, que é regida pelas teorias de estática e de resistências dos materiais. Essas teorias em situação de incêndio são válidas e aplicáveis, tendo como diferença as ponderações de ações em caráter excepcional e as características químicas, físicas e mecânicas em que os materiais dos elementos estruturais se encontram.

A NBR 14432 (ABNT, 2001) propõem algumas exigências que isentam as estruturas da verificação em projeto de condições impostas por um incêndio, são elas: Medidas de proteção ativa contra o incêndio – chuveiros automáticos, hidrantes e brigada de incêndio e medidas de proteção passiva – compartimentação e saídas de emergência, conforme as normas e regulamentos de órgãos públicos vigentes.

2.2.4. Método de cálculo em estruturas em situação de incêndio

Os métodos tabulares são métodos de dimensionamento com base em dados organizados em tabelas, e por tipo de peças, como pilares, vigas e lajes.

Para o caso da verificação de estruturas em situação de incêndio por meio do método tabular, os cálculos são feitos através da correlação das dimensões mínimas dos elementos com seu TRRF (NBR 15200 (ABNT, 2012)).

Ainda pela NBR 15200 (ABNT, 2012), os ensaios mostram que em situação de incêndio considera-se apenas a armadura longitudinal, pois as peças de concreto em situação de incêndio rompem usualmente por flexão ou flexo-compressão e não por cisalhamento.

Esses métodos são encontrados em normas internacionais, tais como:

- ACI 216R (1989);
- NBCC2 (1990);
- FIP-CEB Bulletin N° 208 (1991);
- Eurocode 2 (EN 1992-1-2 (2004));
- BS 8110-2 (1985);
- NZS 3101 Part 1 (1995);
- AS 3600 (2001)).

As versões mais recentes das normas internacionais apresentam maior rigor quanto à exigência de segurança contra-incêndio.

O método tabular fornecido pelo Eurocode 2 (EN 1992-1-2 (2004)), apresenta as dimensões mínimas em função do TRRF, considerando a estanqueidade, a esbeltez, as condições de vínculo e as taxas de armadura e de carregamento.

O Eurocode 2 (EN 1992-1-2 (2004)), recomenda ainda limites para as características tecnológicas do concreto, como o teor de umidade livre e fator água/cimento.

Tais medidas têm o objetivo de prevenir fenômenos como o “spalling” instantâneo, que podem acarretar no colapso estrutural local ou global.

Geralmente, desprezam-se todos os esforços em função das deformações por serem muito reduzidos e também oriundos das grandes deformações plásticas ocorrentes em situações de incêndio (NBR 15200 (ABNT, 2012)), porém os sinistros devem ser levados em conta a redução de resistência dos materiais e na capacidade das peças estruturais que se resume na equação 3:

$$S_{d,fi} = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_q \cdot \sum_2^n (\Psi_{2j} \cdot F_{qjk}) \leq R_{d,fi} \quad (3)$$

Onde:

$S_{d,fi}$ = solicitação de cálculo em situação de incêndio;

F_{gk} = ação permanente, valor característico;

F_{qj} = ação variável, valor característico;

γ_g = coeficiente de ponderação das ações permanentes;

γ_q = coeficiente de ponderação das ações variáveis;

Ψ_{2j} = fator de redução de combinação quase permanentes, igual a 0,3 quando o incêndio atuar como ação principal.

2.2.4.1. Cálculo para vigas

As dimensões mínimas de b_{min} e b_{wmin} das vigas e o valor de cobrimento c_1 das armaduras inferiores, em relação ao TRRF, são dados na Tabela 2 e Tabela 3, dadas para a figura 10:

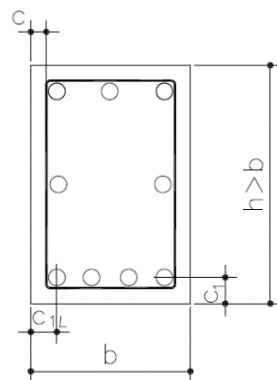


Figura 10 - Distância c_1 e c_{1l}

(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

Onde:

c = é o cobrimento da armadura em relação à face do elemento;

c_1 = é a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo;

c_{1L} = é a distância entre o eixo da armadura longitudinal do canto em seção de viga e a face lateral do concreto.

Para larguras variáveis devem se seguir o b_{wmin} conforme a Figura 11 e atender aos valores das tabelas 2 e 3:

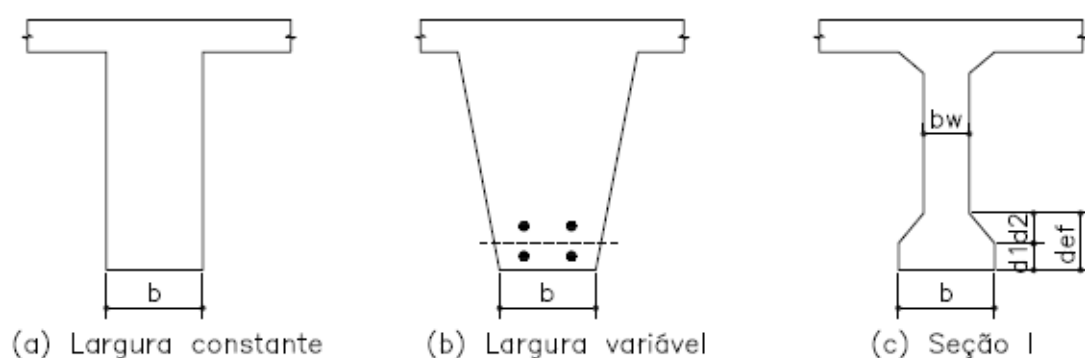


Figura 11 - Definição das dimensões para diferentes tipos de seção transversal de vigas

(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

Tabela 2 - Dimensões mínimas para vigas biapoiadas^a
(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

TRRF min	Combinações de b_{min}/c_1 mm/mm				b_{wmin} mm
	1	2	3	4	
30	80/25	120/20	160/15	190/15	80
60	120/40	160/35	190/30	300/25	100
90	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140

^a Os valores de C_1 indicados nesta tabela são válidas para armadura passiva. No caso dos elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinadas acrescentando-se 10mm para barras e 15mm para fios e cordoalhas.

Tabela 3 - Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos^a
(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

TRRF min	Combinações de b _{min} /c ₁ mm/mm				b _w mín mm
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	-	-	80
60	120/25	190/12	-	-	100
90	140/37	250/25	-	-	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

^a Os valores de C₁ indicados nesta tabela são válidas para armadura passiva. No caso dos elementos protendidos, os valores de c₁ para as armaduras ativas são determinadas acrescentando-se 10mm para barras e 15mm para fios e cordoalhas.

2.2.4.2. Cálculo para lajes

As espessuras mínimas para lajes e capas de lajes nervuradas em situação de incêndio na face inferior e o valor de cobrimento c₁ das armaduras nessas faces, em relação ao TRRF, são dadas nas Tabelas 4 a Tabela 7.

A altura de laje mínima para garantir a função corta-fogo deve atender aos valores de h das Tabelas 4, 5, 6 e 7.

Tabela 4 - Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas^c
(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

TRRF min	h ^a mm	c ₁ mm		
		Laje armada em duas direções ^b		Laje armada em uma direção ly/lx > 2
		ly/lx ≤ 1,5	1,5 < ly/lx ≤ 2	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40
180	150	30	40	55

^a Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.

^b Lajes apoiadas nas quatro bordas; caso contrário, a laje deve ser considerada armada em uma direção.

^c Os valores de c₁ indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c₁ para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10mm para barras e 15mm para fios e cordoalhas.

Tabela 5 - Dimensões mínimas para lajes contínuas^c
(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

TRRF min	h^a mm	c1^b
30	60	10
60	80	10
90	100	15
120	120	20
180	150	30

^a Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.
^b Válido para lajes armadas em uma ou duas direções.
^c Os valores de c1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10mm para barras e 15mm para fios e cordoalhas.

Para a Tabela 5, aplicam-se os mesmos requisitos para vigas contínuas referentes à redistribuição de momentos e prolongamento das armaduras negativas no vão dos elementos estruturais. Caso não atenda, as lajes contínuas sobre vigas devem ser tratadas como simplesmente apoiada (Tabela 4).

Tabela 6 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas^c
(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

TRRF min	Nervuras Combinações de bmin/c1 ^a mm/mm			Capa^b h/c1 mm/mm
	1	2	3	
30	80/15			60/10
60	100/35	120/25	190/15	80/10
90	120/45	160/40	250/30	100/15
120	160/60	190/55	300/40	120/20
180	220/75	260/70	410/60	150/30

^a bmin corresponde a largura mínima da nervura ao nível do centro geométrico das armaduras.
^b h é a altura mínima da laje para garantir a função corta-fogo.
^c Os valores de c1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10mm para barras e 15mm para fios e cordoalhas.

As Tabelas 6 e 7 são adequadas a lajes nervuradas armadas em duas direções. Para lajes nervuradas armadas em uma só direção, a Tabela 8 aplica-se as nervuras e a tabela 4 (coluna para lajes armadas em uma só direção), à capa.

Tabela 7 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas contínuas em pelo menos uma das bordas^c
(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

TRRF min	Nervuras Combinações de bmin/c1 ^a mm/mm			Capa ^b h/c1 mm/mm
	1	2	3	
30	80/10			60/10
60	100/25	120/15	190/10	80/10
90	120/35	160/25	250/15	100/15
120	160/45	190/40	300/30	120/20
180	310/60	600/50		150/30

^a bmin corresponde a largura mínima da nervura ao nível do centro geométrico das armaduras.
^b h é a altura mínima da laje para garantir a função corta-fogo.
^c Os valores de c1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10mm para barras e 15mm para fios e cordoalhas.

Tabela 8 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma só direção^c
(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

TRRF min	Nervuras Combinações de bmin/c1 ^a mm/mm	
	1	2
30	80/25	100/20
60	100/45	120/40
90	130/60	150/50
120	160/65	220/50
180	220/80	

^a Os valores de c1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10mm para barras e 15mm para fios e cordoalhas.

2.2.4.3. Cálculo para pilares

As dimensões mínimas para seção transversal para os pilares com uma face exposta ao fogo em situação de incêndio e o valor de cobrimento c1 das armaduras nas faces, em relação ao TRRF, são obtidas através da Tabela 9.

Tabela 9 - Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta ao fogo
(Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012))

TRRF min	Combinações de bmin/c1 mm/mm
30	155/25
60	155/25
90	155/25
120	175/35
180	230/55

As Tabelas aqui apresentadas neste capítulo, Tabelas 2 a 9, serão utilizadas para verificar as peças (pilares, vigas, lajes e telhas) do estudo de caso que segue no próximo capítulo.

2.2.5. Pinturas de proteção contra incêndio

Para Pitanga (2004) existem ainda proteções adicionais que podem ser adotadas para evitar o aumento excessivo da temperatura nos elementos estruturais em situação de incêndio, com o emprego de materiais isolantes térmicos, como a aplicação de argamassas e fibras projetadas, placas de lã de rocha, mantas ou pinturas com tinta intumescente.

No presente trabalho se aplica melhor o uso de pinturas, por se tratar de elementos estruturais que ficam aparentes na arquitetura.

As tintas intumescente, antichamas ou ignífugas tem ótima qualidade contra incêndio e aguentam até 30 minutos de exposição em fogo direto, como garantem alguns fornecedores. Com excelente desempenho no retardamento da propagação do fogo, possui boa resistência a produtos químicos, abrasão e intempéries. Outros tipos como a antichama intumescente desenvolvem uma espuma micro-porosa, que ajuda a impedir a propagação do fogo durante seu tempo de atuação, são produtos reativos ao calor que intumescem e se expandem, formando uma esponja rija na superfície da estrutura, o que provoca o retardamento da elevação da temperatura.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso desta pesquisa trata de uma edificação industrial, executada no estado do Paraná em 2015, projetada, produzida e montada por uma empresa de pré-fabricados.

Representado através das Figuras 12, 13, 14 e 15, possui uma área total de 958,00 m² e volume de concreto de 419 m³.

Composta de elementos pré-fabricados como vigas armadas e protendidas, lajes alveolares, pilares armados e telhas W37 protendidas. Também compõe a estrutura fechamento em painéis tipo π , que foram desconsideradas da análise deste estudo por serem reaproveitadas de uma antiga estrutura desmontada de outra unidade e de outro fornecedor.

O foco do estudo se baseou na verificação das peças isoladamente onde foram avaliadas se os cobrimentos da obra projetada atendem aos cobrimentos mínimos requeridos pela NBR 15200 (ABNT, 2012) em situação de incêndio fazendo o comparativo pelo método tabular em relação ao Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF).

Dentro dessa estrutura é feito a manipulação de peróxido de hidrogênio, mais conhecido como água oxigenada. Foi dividido o galpão em dois compartimentos, uma de produção e outra de armazenamento, onde eles fornecem o produto para indústrias têxteis, de produtos de limpeza e higiene, e outras indústrias em geral.

O peróxido de hidrogênio é um óxido a base de hidrogênio e oxigênio (H₂O₂), portanto é um material não inflamável, mas que se decompõe facilmente em água e oxigênio, onde o oxigênio pode favorecer a combustão no caso de incêndio próximo. É um forte oxidante e reage violentamente em contato com combustíveis e metais. Meios de extinção em caso de incêndio, somente água, nenhum outro tipo de pó químico ou outras substâncias. (FISPQ, 2002).

Os elementos pré-fabricados foram analisados para as duas condições: Como laboratório químico onde ela é manipulada, e como depósito onde é estocada.

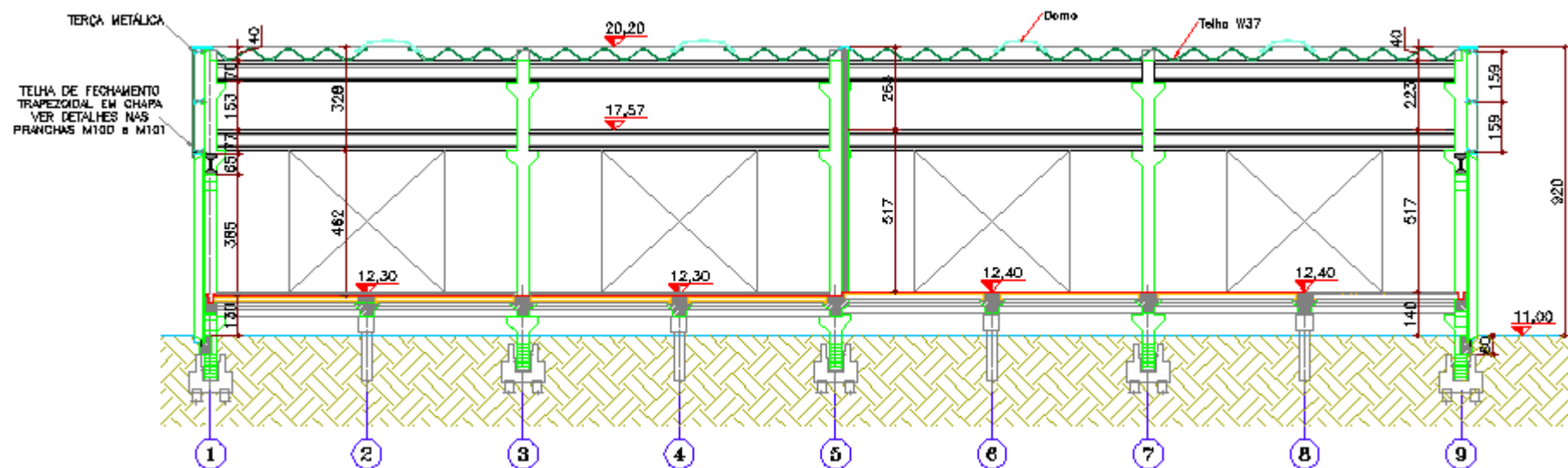


Figura 12 - Corte longitudinal da obra

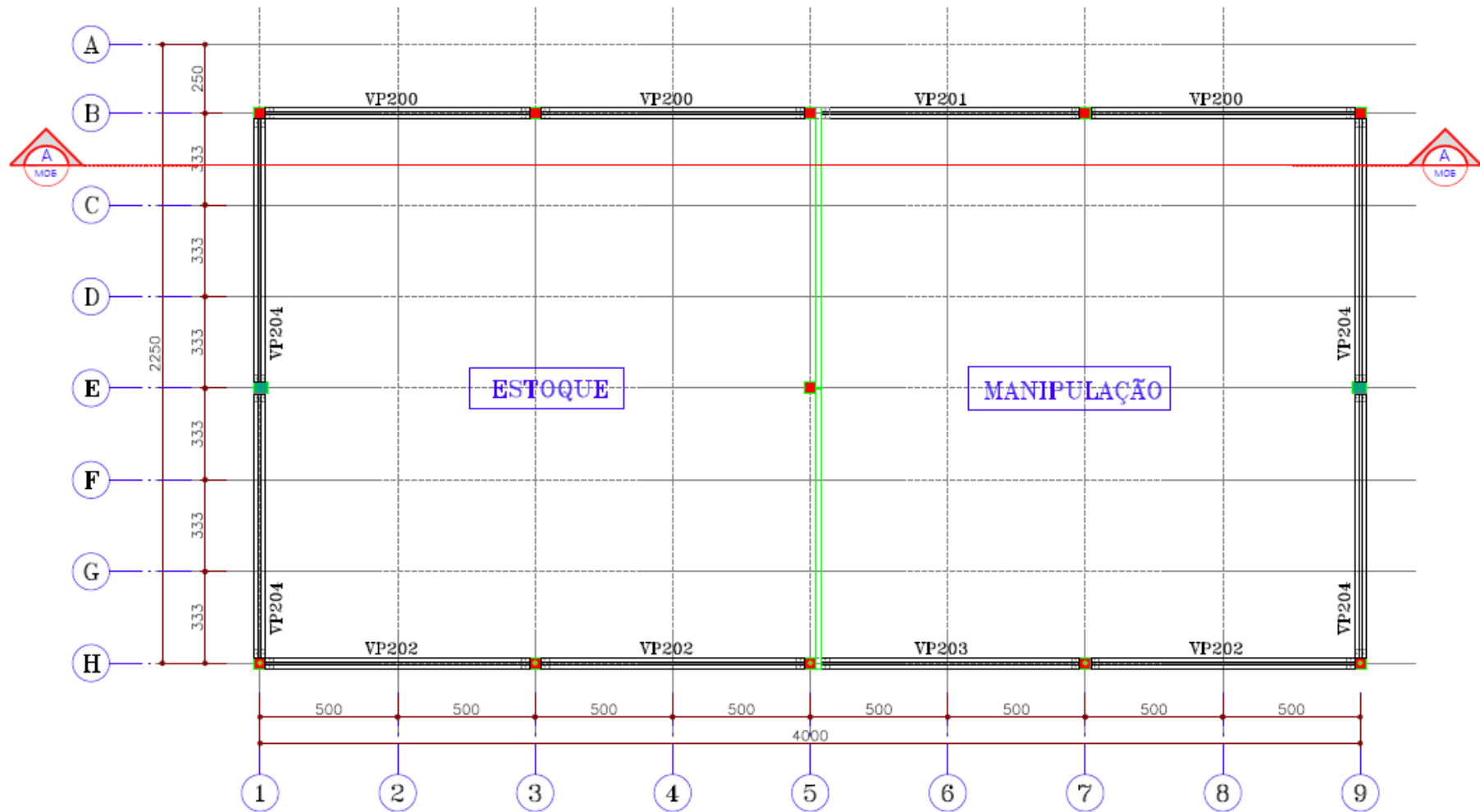


Figura 14 - Planta do Nível Intermediário

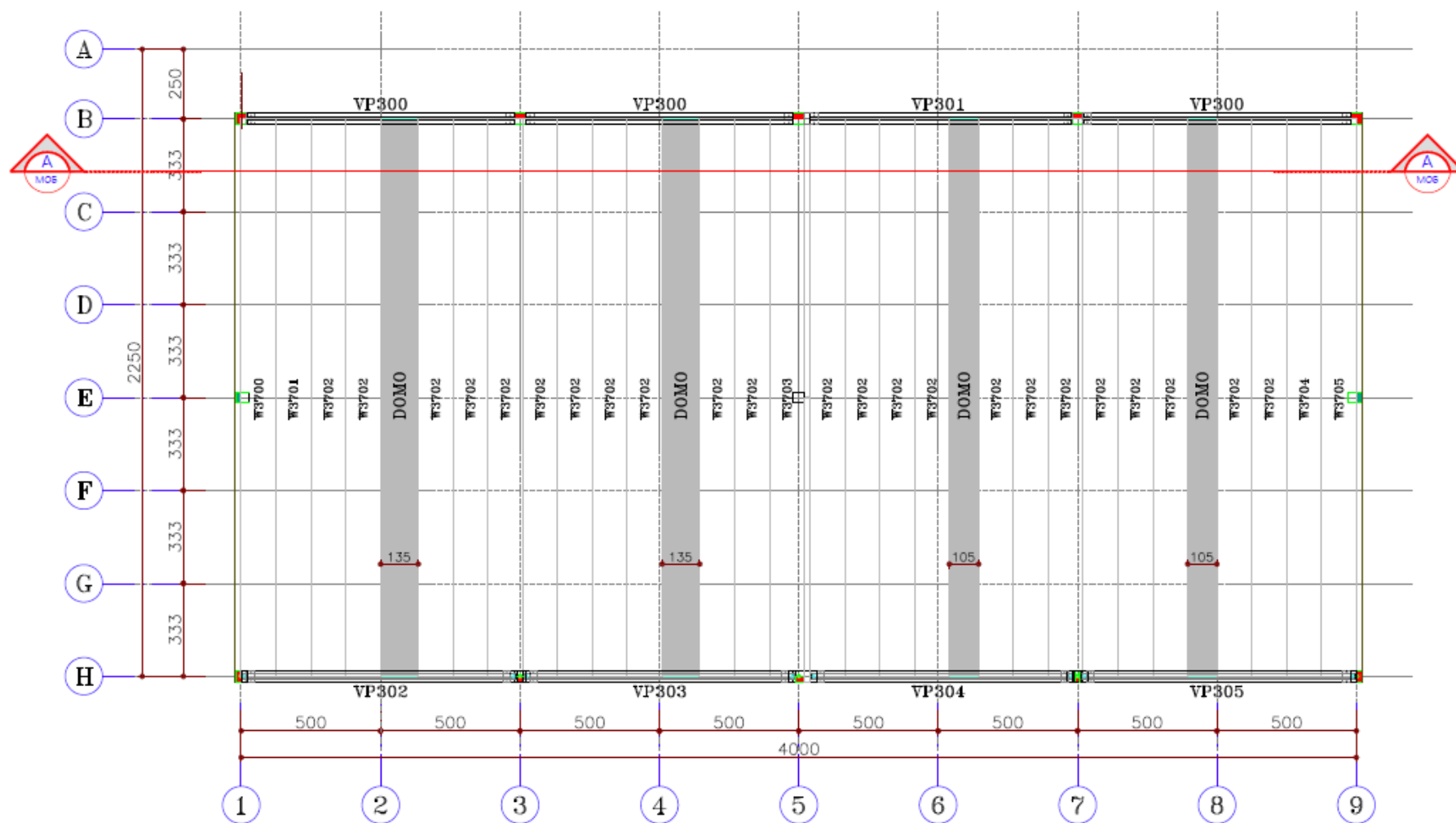


Figura 15 - Planta de Cobertura

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Segundo Oliveira (2013), em uma situação de incêndio em concreto armado a estrutura deve obedecer pelo menos dois requisitos mínimos: de estanqueidade e isolamento, para garantir a segurança de fuga e combate ao incêndio sem que ocorra colapso da estrutura.

Os critérios especificados pela NBR 14432 (ABNT, 2001) para a capacidade destrutiva de incêndios devem atender aos fatores quanto ao tipo de ocupação, área, profundidade do subsolo, altura da edificação. Para a obra em estudo foi avaliado somente o TRRF pelo método Tabular da NBR 15200 (ABNT, 2012).

A obra refere-se a um galpão industrial com área de 958,00 m², situada no estado do Paraná, com 9,20m altura, construída em concreto pré-fabricado de fck= 40 Mpa vigas protendidas, fck=45 Mpa para vigas armadas, fck=30 Mpa para lajes, fck=40 Mpa para pilares e fck=45 Mpa para telhas. Pilares e vigas pré-fabricadas formam a estrutura para o apoio das lajes alveolares e telhas W pré-fabricadas. Após o conjunto montado as lajes recebem um capeamento em concreto de no mínimo fck=30 Mpa com espessura mínima de 5cm e uma malha de aço para evitar a fissuração do piso.

Dentre essas características, a obra em estudo, em relação ao TRRF, se classifica conforme abaixo (Tabela 10), com base na Figura 16 (vide Anexo 2), Figura 17 e 18 (vide Anexo 1) e Figura 19 e 20 (Vide Tabela 1):

Classificação	Manipulação	Estoque
Grupo	I	J
Ocupação	Industrial	Depósito
Altura da Edificação	Classe P2	Classe P2
Carga de Incêndio	500 MJ/m ²	Médio e alto risco
Divisão	I-1	J-2

Tabela 10 - Classificação do galpão para este estudo

Ocupação/uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio MJ/m ²
Industrial	Gráficas (empacotamento)	I-1	2000
	Gráficas (produção)	I-2	400
	Guarda-chuvas	I-1	300
	Hangares	I-1	200
	Instrumentos musicais	I-1	600
	Janelas e portas de madeira	I-1	800
	Jóias	I-1	200
	Laboratórios farmacêuticos	I-1	300
	Laboratórios químicos	I-1	500
	Lápis	I-1	600
	Lâmpadas	I-1	40
	Laticínios	I-1	200
	Malharias	I-1	300

Figura 16 - Valores das cargas de incêndio específicas (laboratório químico)

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1	Hospitais veterinários e assemelhados	Hospitais, clínicas e consultórios veterinários e assemelhados (inclui-se alojamento com ou sem adestramento)
		H-2	Locais onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, reformatórios sem celas e outros
		H-3	Hospitais e assemelhados	Hospitais, casa de saúde, prontos-socorros, clínicas com internação, ambulatórios e postos de atendimento de urgência, postos de saúde e puericultura e outros
		H-4	Prédios e instalações vinculadas às forças armadas, polícias civis	Quartéis, centrais de polícia, delegacia distritais, postos policiais e outros
		H-5	Locais onde a maioria das pessoas sofre restrições	Hospitais psiquiátricos, reformatórios, instituições em geral e instituições assemelhadas
I	Industrial, comercial de médio e alto risco, atacadista	I-1	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados ou depositados apresentem médio potencial de incêndio	Locais onde a carga de incêndio não atinja 1200 MJ/m ² . Ver Anexo 2
		I-2	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados ou depositados apresentem grande potencial de incêndio	Locais onde a carga de incêndio ultrapasse 1200 MJ/m ² . Ver Anexo 2
J	Depósitos	J-1	Depósitos de baixo risco de incêndio	Depósitos sem risco de incêndio expressivo. Edificações que armazenam tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e outros materiais incombustíveis
		J-2	Depósitos de médio e alto risco de incêndio	Depósitos com risco de incêndio maior. Edificações que armazenam alimentos, madeira, papel, tecidos e outros

Figura 17 - Classificação das edificações quanto a sua ocupação (laboratório químico)

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1	Hospitais veterinários e assemelhados	Hospitais, clínicas e consultórios veterinários e assemelhados (inclui-se alojamento com ou sem adestramento)
		H-2	Locais onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, reformatórios sem celas e outros
		H-3	Hospitais e assemelhados	Hospitais, casa de saúde, prontos-socorros, clínicas com internação, ambulatórios e postos de atendimento de urgência, postos de saúde e puericultura e outros
		H-4	Prédios e instalações vinculadas às forças armadas, polícias civil e militar	Quartéis, centrais de polícia, delegacia distritais, postos policiais e outros
		H-5	Locais onde a liberdade das pessoas sofre restrições	Hospitais psiquiátricos, reformatórios, prisões em geral e instituições assemelhadas
I	Industrial, comercial de médio e alto risco, atacadista	I-1	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados ou depositados apresentem médio potencial de incêndio	Locais onde a carga de incêndio não atinja 1200 MJ/m². Ver Anexo 2
		I-2	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados ou depositados apresentem grande potencial de incêndio	Locais onde a carga de incêndio ultrapasse 1200 MJ/m². Ver Anexo 2
J	Depósitos	J-1	Depósitos de baixo risco de incêndio	Depósitos sem risco de incêndio expressivo. Edificações que armazenam tijolos, pedras, telhas, cimentos, metais e outros materiais não combustíveis
		J-2	Depósitos de médio e alto risco de incêndio	Depósitos com risco de incêndio maior. Edificações que armazenam alimentos, madeira, papel, tecidos e outros

Figura 18 - Classificação das edificações quanto a sua ocupação (depósito)

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S2 h _s > 10m	Classe S1 h _s ≤ 10m	Classe P1 h ≤ 6m	Classe P2 6m < h ≤ 12m	Classe P3 12m < h ≤ 23m	Classe P4 23m < h ≤ 30m	Classe P5 h > 30m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 a B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 e G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Figura 19 - Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) para o laboratório químico

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S2 $h_s > 10\text{m}$	Classe S1 $h_s \leq 10\text{m}$	Classe P1 $h \leq 6\text{m}$	Classe P2 $6\text{m} < h \leq 12\text{m}$	Classe P3 $12\text{m} < h \leq 23\text{m}$	Classe P4 $23\text{m} < h \leq 30\text{m}$	Classe P5 $h > 30\text{m}$
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90		30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90			30	60	90	120
		I-2	120	90		60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)		30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Figura 20 - Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) para o depósito

Portanto, temos que, para a obra em questão, o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) de 30 minutos para a área de manipulação e de 60 minutos no depósito, que é o tempo mínimo exigido para a fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança e garantir que as operações de combate ao incêndio sejam atendidas antes do colapso das estruturas.

4.1. ANÁLISE DE VIGAS PROTENDIDAS E ARMADAS

No estudo foram analisados dois tipos de vigas em concreto protendido pré-fabricado: uma com seção I $b_w = 10\text{cm}$ e $h = 70\text{cm}$ e outra viga com seção T $b_w = 40\text{cm}$ e $h = 45\text{cm}$, conforme a Figura 21 e Figura 22.

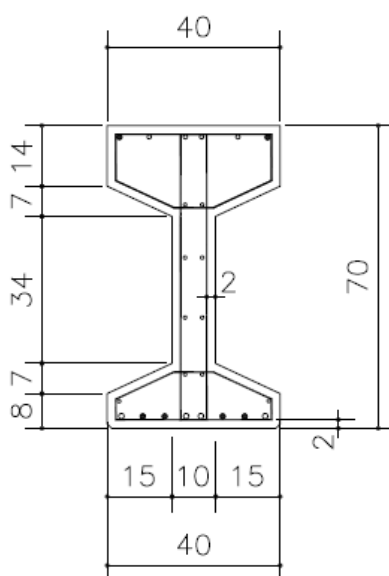


Figura 21 - Seção da viga I

Dados da viga I:

$F_{ck} = 40 \text{ Mpa}$

Cobrimento $c = 2,0\text{cm}$

Cobrimento $c_1 = 2,0 + \varnothing_{\text{barra}}/2 = 2,0 + 0,8/2 = 2,4\text{cm}$

Comprimento total = 938cm

Aço utilizado: CA-50, CA-60, CP170 RB, CP190 RB

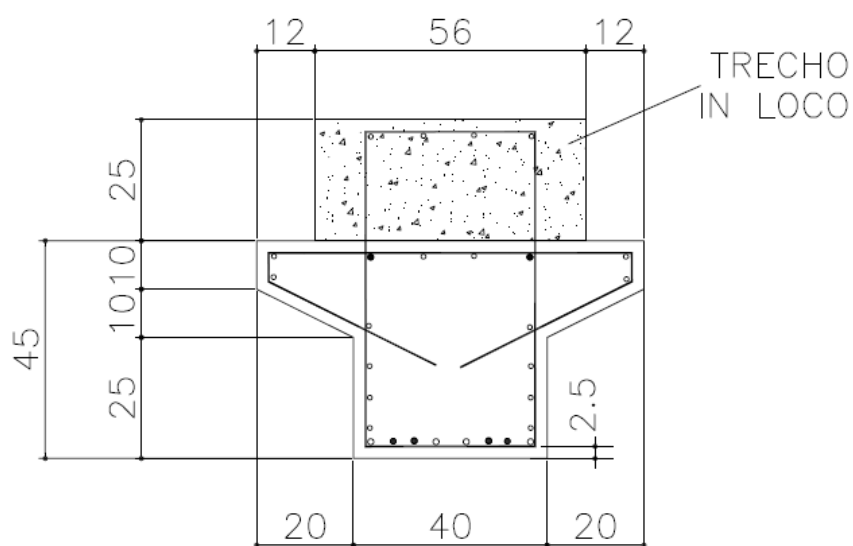


Figura 22 - Seção da viga T

Dados da viga T:

$F_{ck} = 40 \text{ Mpa}$

Cobrimento $c = 2,5\text{cm}$

Para CA-50:

Cobrimento $c_1 = 2,5 + \varnothing_{\text{barra}}/2 = 2,5 + 1,25/2 = 3,125\text{cm}$

Para CP190:

Cobrimento $c_1 = 2,5 + \varnothing_{\text{barra}}/2 = 2,5 + 1,27/2 = 3,135\text{cm}$

Comprimento total = 331cm

Aço utilizado: CA-50, CP170 RB, CP190 RB

4.2. ANÁLISE DE LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS

Foi analisado uma laje alveolar pré-fabricada protendida altura $h=20\text{cm}$ e com 125cm de largura com 6 alvéolos com 7 cordoalhas $\varnothing 12,7\text{mm}$ de diâmetro dispostas conforme Figura 23.

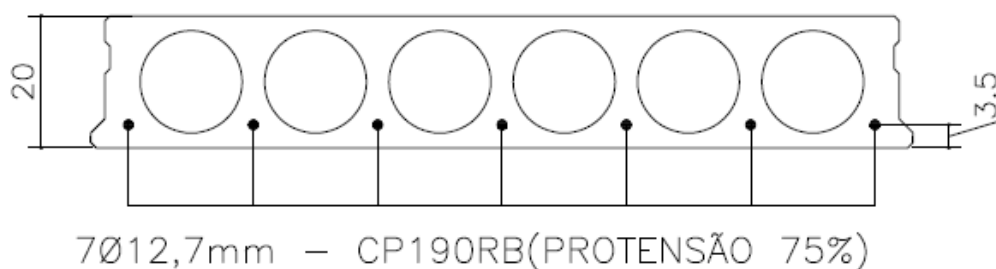


Figura 23 - Seção da laje alveolar LP20

Dados da laje:

$F_{ck} = 30 \text{ Mpa}$

Cobrimento $c = 2,865\text{cm}$

Cobrimento $c_1 = 2,865 + \varnothing_{\text{barra}}/2 = 2,865 + 1,27/2 = 3,5\text{cm}$

Comprimento total = 462cm

Aço utilizado: CP 190 RB

4.3. ANÁLISE DE PILARES ARMADOS

Foi analisado a seção de um pilar em concreto armado pré-fabricado de seção $(40 \times 40) \text{ cm}$ e armadura longitudinal com 12 barras de $\varnothing 16\text{mm}$ de diâmetro dispostas conforme Figura 24.

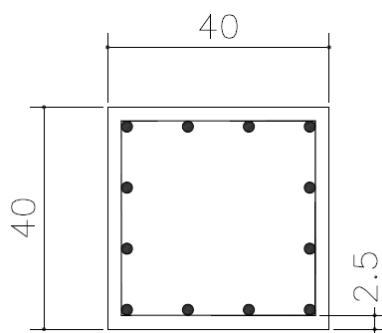


Figura 24 - Seção do pilar (40x40) cm

Dados do pilar:

$F_{ck} = 40 \text{ Mpa}$

Cobrimento $c = 2,5 \text{ cm}$

Cobrimento $c_1 = 2,5 + \frac{\varnothing_{\text{barra}}}{2} = 2,5 + \frac{1,6}{2} = 3,3 \text{ cm}$

Comprimento total = 1000 cm

Aço utilizado: CA-50, CA-60

4.4. ANÁLISE DE TELHAS PROTENDIDAS W37

Foi analisado a seção de uma telha em concreto protendido pré-fabricado de seção W e armadura longitudinal com 8 barras de $\varnothing 9,5 \text{ mm}$ de diâmetro dispostas conforme Figura 25.

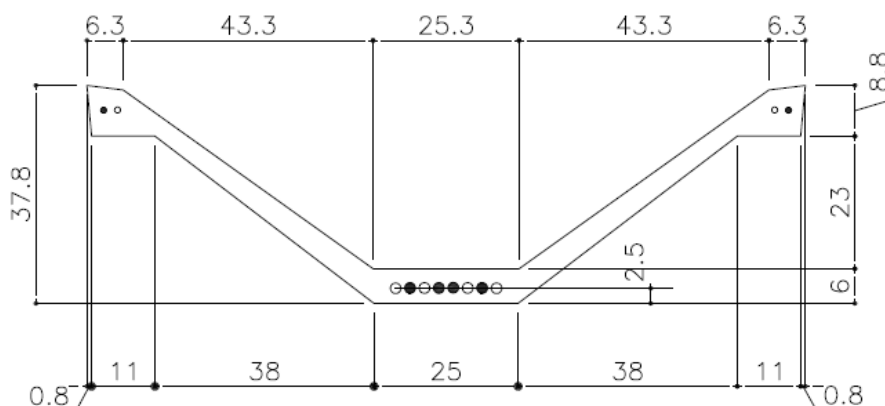


Figura 25 - Seção da telha W

Dados da telha:

$F_{ck} = 45 \text{ Mpa}$

Cobrimento $c = 2,025 \text{ cm}$

Cobrimento $c_1 = 2,025 + \varnothing_{\text{barra}}/2 = 2,025 + 0,95/2 = 2,5 \text{ cm}$

Comprimento total = 2000cm

Aço utilizado: CA-50, CP170 RB, CP190 RB

4.5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Com base nos dados das vigas, lajes, pilares e telhas W, comparando com as tabelas 02 a 09 do método tabular, para o TRRF de 30 minutos (laboratório químico) as vigas I e T não atenderam as exigências de cobrimento mínimo (c_1), de 3,5 cm para armaduras ativa e de 4,0 cm para fios e cordoalhas quando elementos protendidos conforme Tabela 2.

Segue abaixo na Tabela 11 o comparativo dos cobrimentos de projeto e de norma para cada um dos elementos:

Tabela de cobrimentos					
Peça	Projetado			NBR 15200 (ABNT, 2012)	
	bw / hw (cm)	c (cm)	c1 (cm)	bw _{min} / hw _{min} (cm)	c1 (cm)
Vigas I	10	2,0	2,4	8,0	3,5 (CA50) 4,0 (CP190)
Vigas T	40	2,5	3,125 (CA50) 3,135 (CP190)	8,0	3,5 (CA50) 4,0 (CP190)
Lajes	20	2,865	3,5	6,0	2,0 (CA50) 2,5 (CP190)
Pilares	40	2,5	3,3	15,5	2,5
Telhas	6	2,025	2,2	6,0	2,0 (CA50) 2,5 (CP190)

Tabela 11 - Comparativo dos cobrimentos c e c1 das peças projetadas com os valores exigidos em norma - laboratório químico

Observa-se que neste caso, o TRRF exigido era pequeno, devido o galpão em estudo ser relativamente baixo. Para uma mesma condição de obra, com a mesma área, mas com um pé direito superior a 12,00 metros, por exemplo, esse tempo requerido já subiria para 60 minutos.

Tempo este que é o mesmo definido para a área de depósito, onde refazendo as condições de c1 para 60 minutos, obtiveram-se os valores abaixo da Tabela 12.

Tabela de cobrimentos					
Peça	Projetado			NBR 15200 (ABNT, 2012)	
	bw / hw (cm)	c (cm)	c1 (cm)	bw _{min} / hw _{min} (cm)	c1 (cm)
Vigas I	10	2,0	2,4	12,0	5,0 (CA50) 5,5 (CP190)
Vigas T	40	2,5	3,125 (CA50) 3,135 (CP190)	12,0	5,0 (CA50) 5,5 (CP190)
Lajes	20	2,865	3,5	8,0	3,0 (CA50) 3,5 (CP190)
Pilares	40	2,5	3,3	15,5	2,5
Telhas	6	2,025	2,2	8,0	3,0 (CA50) 3,5 (CP190)

Tabela 12 - Comparativo dos cobrimentos c e c1 das peças projetadas com os valores exigidos em norma - depósito

Para atender às exigências normativas quanto à resistência ao fogo, o ideal seria que as vigas tivessem sido produzidas com alma maior no caso das vigas I e maior cobrimento nas vigas T.

A telha protendida W37, não apresenta especificação na NBR 15200 (ABNT, 2012) para o cobrimento mínimo, somente quanto à sua classe de agressividade conforme NBR 6118 (ABNT, 2014). Pela falta de especificação em normas de incêndio, as telhas foram analisadas como lajes simplesmente apoiadas em uma direção conforme Tabela 4. Da mesma forma que as vigas, as telhas também apresentaram cobrimentos de projeto abaixo dos cobrimentos sugeridos em norma.

Peças com dimensões menores que as exigidas em situações de incêndio podem ter um melhor comportamento, protegidas com produtos que garantem a resistência ao fogo como tintas antichamas ou ignífugas ou intumescentes.

Para a seção do pilar 40x40 o resultado foi satisfatório e dentro dos exigidos em norma para as duas situações, 30 e 60 minutos.

A laje alveolar pré-fabricada foi analisada através da Tabela 4 como laje simplesmente apoiada. Considerando que o valor de $l_y/l_x > 2$ para o TRRF de 30 minutos, tem-se o cobrimento em 10 mm, acrescido de 15 mm por ser um elemento protendido com cordoalhas, tem-se o cobrimento mínimo requerido de 25 mm. Como a laje em estudo foi projetada com 35 mm, ela está atendendo com folga os requisitos previstos em norma. Para o tempo de 60 minutos, o c1 das cordoalhas aumenta para 35mm, e a laje projetada também continua atendendo para essa TRRF.

No presente trabalho foi levada em consideração somente a proteção passiva, que é o conjunto de medidas incorporadas ao sistema construtivo do edifício, sendo funcional durante o uso normal da edificação e que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias ao seu crescimento e propagação, segundo NBR 14432 (ABNT, 2001).

Adota-se como medida complementar pela NBR 14432 (ABNT, 2001) o uso da proteção ativa, que é o tipo de proteção contra incêndio que é ativada manual ou automaticamente em respostas aos estímulos provocados pelo fogo, através da qual a probabilidade de início de um incêndio é reduzida, através das instalações prediais de proteção contra incêndio, tais como: detectores de fumaça, chuveiros automáticos, brigada contra incêndio, iluminação de emergência e compartimentação adequada.

4.6. RECUPERAÇÃO / REUTILIZAÇÃO DA ESTRUTURA DE CONCRETO

Para Silva (2012), dimensionar estruturas para situação de incêndio não impede que haja deformações e fissuras exageradas. O concreto ao ser resfriado, geralmente, não recupera a resistência inicial, podendo perder até 10% dessa resistência (GUO;SHI,2011). O valor da resistência após resfriamento depende da temperatura atingida durante o incêndio e da velocidade de resfriamento.

Conforme Silva et. al. (2006) apud Silva (2012), o aço até atingir a temperatura de aproximadamente 720°C, que corresponde ao ponto eutético, onde a austenita se transforma em perlita, pode-se considerar que ela recupera totalmente a resistência inicial ao ser resfriada. Acima dessa temperatura é que o aço perde alguma resistência não recuperável.

Segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012), plastificações, ruínas e até colapsos são aceitos. E por essa razão, a estrutura só pode ser reutilizada após um incêndio se for vistoriada, tiver sua capacidade remanescente verificada e sua recuperação for projetada e executada. Essa recuperação pressupõe que a estrutura volte a ter as características que apresentava antes do incêndio, recuperando todas as capacidades últimas e de serviço exigidas.

Também segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012), após essa verificação pode eventualmente concluir que não existe necessidade de recuperação da estrutura, se o incêndio tiver sido de pequena severidade ou se a estrutura tiver proteção superabundante.

O sistema estrutural em concreto pré-moldado possui grande vantagem em situação de incêndio, devido ao controle tecnológico realizado em fábrica, uso de concretos com resistência mais elevadas, controle no posicionamento da armadura para garantir o cobrimento adequado e controle do teor de umidade dos agregados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão apresentadas as considerações finais deste estudo.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um estudo sobre os efeitos do fogo em um galpão industrial em concreto pré-fabricado com o objetivo de avaliar o cobrimento mínimo exigido por norma em situação de incêndio por meio de cálculo do Método Tabular conforme ABNT NBR 15200:2012.

A análise abrangeu os principais elementos constituintes da estrutura, vigas, lajes, pilares e telhas W, a fim de tornar o estudo e a avaliação representativa para toda a edificação.

Após analisar os elementos em situação de incêndio, conclui-se que as lajes alveolares e pilares pré-fabricados atenderam às exigências de cobrimento mínimo em situação de incêndio tanto para o TRRF de 30 minutos quanto para o de 60 minutos. Em contrapartida as vigas e telhas W ficaram abaixo do esperado, mas que podem ter a sua condição melhorada se aplicadas proteções com produtos que prolonguem sua resistência ao fogo.

Em se tratando de estrutura pré-fabricada, diferente das construções moldadas no local, o pré-moldada requer ainda uma atenção especial devido às condições impostas ao elemento desde a sua fabricação, transporte e montagem.

Na utilização, o desconhecimento do comportamento deste tipo de estrutura devido às incertezas nas transmissões dos esforços nas ligações, que podem levar a possíveis alterações no esquema estático global, também levanta a preocupação quanto à estabilidade analisando o conjunto da estrutura, visto que as verificações aqui realizadas se baseiam apenas na análise das peças isoladamente.

Apesar dos resultados não serem tão negativos na análise dos elementos, não era o resultado esperado, salientando assim a necessidade de uma maior fiscalização e cobrança na elaboração do projeto, para que no mínimo as normas já conhecidas quanto a incêndio sejam levadas em consideração em todos os dimensionamentos.

Durante o trabalho, foram encontradas dificuldades quanto a carência de estudos mais aprofundados como esforços adicionais que podem ocorrer nas estruturas hiperestáticas devido às deformações térmicas, influência das ligações, estabilidade da estrutura como um todo, reparos possíveis, deixando aqui como sugestão para futuros trabalhos, assim como avaliar a eficiência das pinturas ignífugas, para confirmar as garantias sugeridas pelos fornecedores.

Acredita-se que um dos grandes motivos pelo qual o profissional de engenharia deixa de fazer a verificação para situações de incêndio, seja o fato de que implicaria em seções maiores dos elementos, demandaria um maior tempo de projeto, o que não o tornaria competitivo, visto que a maioria dos profissionais e empresas do ramo não considera.

Ficou evidente neste estudo a importância da verificação na etapa de projeto quanto ao risco de incêndio, pois os danos causados a uma edificação podem ser irreparáveis. Estes danos tendem a apresentar prejuízos superiores ao custo de um projeto mais caro e de um provável consumo maior de materiais, principalmente por se tratar de segurança a vidas humanas.

Quando se desconhece o risco na estrutura, devido indefinição do uso durante o projeto, não é levado em consideração a verificação quanto ao incêndio, pois não há uma exigência legal para dimensioná-las desta forma, e também por ser considerada baixa a probabilidade de que ela ocorra. Ideal que seja sempre consultado um engenheiro na liberação da estrutura para outros fins que não sejam o inicialmente considerado, para que sejam realizadas as medidas protetivas como as instalações das proteções ativas, pinturas especiais, e reforços na estrutura se fizerem necessário.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: **exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações**: procedimento. ABNT. Rio de Janeiro, 2001.

BASTOS, P. S. **Fundamentos do concreto armado**. Notas de aula, fundamentos do concreto armado. UNESP - Campus Bauru/SP, 2006.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instrução Técnica Nº 08: **Resistência ao fogo dos elementos de construção**. CBPMESP. São Paulo, 2011.

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

COSTA, C. N. e SILVA, V. P. **Estruturas de concreto armado em situação de incêndio**. XXX Jornadas Sul-americanas de Engenharia Estrutural. Brasília-DF, 2002.

EUROPEAN STANDARD EUROCODE – **Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1.2: General Rules – Structural Fire Design** – EN 1992-1-2. CEN. Brussels, 2004.

MORALES, G.; CAMPOS, A.; FAGARELLO, A. M. P. **A ação do fogo sobre os componentes de concreto**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v.32, n.1, p.47-55, jan/mar.2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto [recurso eletrônico]**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini, 5ª Ed., Porto Alegre: Bookman, 2016.

OLIVEIRA, I. A. **Estrutura de concreto armado em situação de incêndio. Uma análise térmica de uma viga sob flexão simples** – Monografia para Graduação – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

PITANGA, Marcelo de Andrade. **Análise térmica de vigas mistas aço-concreto em situação de incêndio**. Dissertação de mestrado de pós-graduação em engenharia civil - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2004.

PRADO, Eduardo Parente. **Intervenções em estruturas de concreto**. Dissertação de mestrado em engenharia de estruturas - PEF-EPUSP. São Paulo, 1998.

ROSSO, T. **Incêndios e arquitetura**. Apostila. São Paulo: FAUUSP, 1975.

SILVA, Valdir Pignatta. **Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**: conforme ABNT NBR 15200:2012. São Paulo: Blucher, 2012.

ZAGO, C. da S.; MORENO JUNIOR, A. L.; MARIN, M. C. **Considerações sobre o desempenho de estruturas de concreto pré-moldado em situação de incêndio**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.15, n.1, p.49-61, jan./mar.2015.

7. ANEXOS

Anexo 1 - Classificação das edificações quanto à sua ocupação (Fonte: ABNT NBR 14432:2001)

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitações unifamiliares	Casas térreas ou assobradadas, isoladas ou não
		A-2	Habitações multifamiliares	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitações coletivas	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos
B	Serviços de hospedagem	B-1	Hotéis e assemelhados	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, albergues, casas de cômodos
		B-2	Hotéis residenciais	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais)
C	Comercial varejista	C-1	Comércio em geral, de pequeno porte	Armarinhos, tabacarias, mercearias, fruteiras, butiques e outros
		C-2	Comércio de grande e médio portes	Edifícios de lojas, lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercado e outros.
		C-3	Centros comerciais	Centro de compras em geral (shopping centers)
D	Serviços profissionais pessoais e técnicos	D-1	Locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, consultórios, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros, laboratórios de análises clínicas sem internação, centro profissionais e outros
		D-2	Agências bancárias	Agências bancárias e assemelhados
		D-3	Serviços de reparação (exceto os classificados G e I)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros
E	Educativa e cultura física	E-1	Escolas em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e
		E-2	Escolas especiais	Escolas de artes e artesanatos, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira e outras
		E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou práticas de artes marciais, ginásticas (artística, dança, musculação e outros), esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e outros
		E-4	Centros de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral
		E-5	Pré-escolas	Creches, escolas maternais, jardins-de-infância
		E-6	Escolas para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e outros
F	Locais de reunião pública	F-1	Locais onde há objetos de valor inestimável	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e outros
		F-2	Templos e auditórios	Igrejas, sinagogas, templos e auditórios em geral
		F-3	Centros esportivos	Estádios, ginásios e piscinas cobertas com arquibancadas, arenas em geral
		F-4	Estações e terminais de passageiros	Estações rodoferroviárias, aeroportos, estações de transbordo e outros

**Anexo 1 - Conclusão...Classificação das edificações quanto à sua ocupação
(Fonte: ABNT NBR 14432:2001)**

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
		F-5	Locais de produção e apresentação de artes cênicas	Teatros em geral, cinemas, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão e outros
		F-6	Clubes sociais	Boates e clubes noturnos em geral, salões de baile, restaurantes dançantes, clubes sociais e assemelhados
		F-7	Construções provisórias	Circos e assemelhados
		F-8	Locais para refeição	Restaurantes, lanchonetes, bares, cafés, refeitórios, cantinas e outros
G	Serviços automotivos	G-1	Garagens sem acesso de público e sem abastecimento	Garagens automáticas
		G-2	Garagens com acesso de público e sem abastecimento	Garagens coletivas sem automação, em geral, sem abastecimento (exceto veículos de carga e coletivos)
		G-3	Locais dotados de abastecimento de combustível	Postos de abastecimento e serviço, garagens (exceto veículos de carga e coletivos)
		G-4	Serviços de conservação, manutenção e reparos	Postos de serviço sem abastecimento, oficinas de conserto de veículos (exceto de carga e coletivos), borracharia (sem recauchutagem)
		G-5	Serviços de manutenção em veículos de grande portes e retificadores em geral	Oficinas e garagens de veículos de carga e coletivos, máquinas agrícolas e rodoviárias, retificadoras de motores
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1	Hospitais veterinários e assemelhados	Hospitais, clínicas e consultórios veterinários e assemelhados (inclui-se alojamento com ou sem adestramento)
		H-2	Locais onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, reformatórios sem celas e outros
		H-3	Hospitais e assemelhados	Hospitais, casa de saúde, prontos-socorros, clínicas com internação, ambulatórios e postos de atendimento de urgência, postos de saúde e puericultura e outros
		H-4	Prédios e instalações vinculadas às forças armadas, polícias civil e militar	Quartéis, centrais de polícia, delegacia distritais, postos policiais e outros
		H-5	Locais onde a liberdade das pessoas sofre restrições	Hospitais psiquiátricos, reformatórios, prisões em geral e instituições assemelhadas
I	Industrial, comercial de médio e alto risco, atacadista	I-1	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados ou depositados apresentem médio potencial de incêndio	Locais onde a carga de incêndio não atinja 1200 MJ/m². Ver Anexo 2
		I-2	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados ou depositados apresentem grande potencial de incêndio	Locais onde a carga de incêndio ultrapasse 1200 MJ/m². Ver Anexo 2
J	Depósitos	J-1	Depósitos de baixo risco de incêndio	Depósitos sem risco de incêndio expressivo. Edificações que armazenam tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e outros materiais incombustíveis
		J-2	Depósitos de médio e alto risco de incêndio	Depósitos com risco de incêndio maior. Edificações que armazenam alimentos, madeira, papel, tecidos e outros

Anexo 2 - Valores das cargas de incêndio específica
(Fonte: ABNT NBR 14432:2001)

Ocupação/uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio MJ/m ²
Residencial	Alojamentos estudantis	A-1	300
	Apartamentos	A-2	300
	Casas térreas ou sobrados	A-1	300
	Pensionatos	A-3	300
Serviços de hospedagem	Hotéis	B-1	500
	Motéis	B-1	500
	Apart-hotéis	B-2	300
Comercial varejista	Açougues	C-1/C-2	40
	Antiguidades	C-1/C-2	700
	Aparelhos domésticos	C-1/C-2	500
	Artigos de bijouteria, metal ou vidro	C-1/C-2	300
	Artigos de couro, borracha, esportivos	C-1/C-2	800
	Automóveis	C-1/C-2	200
	bebidas destiladas	C-1/C-2	700
	Brinquedos	C-1/C-2	500
	abeleireiro	C-1/C-2	300
	Calçados	C-1/C-2	500
	Drogarias (incluindo depósitos)	C-1/C-2	1000
	Ferragens	C-1/C-2	300
	Floriculturas	C-1/C-2	80
	Galeria de quadros	C-1/C-2	200
	Livrarias	C-1/C-2	1000
	Lojas de departamento ou centro de compras	C-2	600
	Máquinas de costura ou escritório	C-1/C-2	300
	Materiais fotográficos	C-1/C-2	300
	Móveis	C-1/C-2	500
	Papelarias	C-1/C-2	700
	Perfumarias	C-1/C-2	400
	Produtos têxteis	C-1/C-2	600
	Relojoarias	C-1/C-2	300
	Supermercados	C-2	400
	Tapetes	C-1/C-2	800
	Tintas	C-1/C-2	1000
	Verduras	C-1/C-2	200
	Vinhos	C-1/C-2	200
	Vulcanização	C-1/C-2	1000
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Agências bancárias	D-2	300
	Agências de correios	D-1	400
	Centrais telefônicas	D-1	100
	Consultório médicos ou odontológicos	D-1	200
	Copiadora	D-3	400
	Encadernadoras	D-3	1000
	Escritórios	D-1	700
	Estúdios de rádio ou de televisão ou de fotografia	D-1	300
	Lavanderia	D-1	300
	Oficinas elétricas	D-3	600
	Oficinas hidráulicas ou mecânicas	D-3	200
	Pinturas	D-3	500
	Processamentos de dados	D-1	400

Anexo 2 - Continuação...Valores das cargas de incêndio específica
(Fonte: ABNT NBR 14432:2001)

Ocupação/uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio MJ/m ²
Educativa e cultura física	Academias	E-3	300
	Creches	E-5	400
	Escolas	E-1/E2/E4	300
Locais de reunião pública	Bibliotecas	F-1	2000
	Cinemas ou teatros	F-5	600
	Igrejas	F-2	200
	Museus	F-1	300
	Restaurantes	F-8	300
Serviços automotivos	Estacionamentos	G-1/G-2	200
	Oficinas de conserto de veículos	G-4	300
Industrial	Aparelhos eletrodomésticos, fotográficos, ópticos	I-1	300
	Acessórios para automóveis	I-1	300
	Acetileno	I-1	700
	Artigos de borracha, cortiço, couro, feltro, espuma	I-1	600
	Artigos de argila, cerâmica ou porcelanas	I-1	200
	Artigos de bijuteria	I-1	200
	Artigos de cera	I-1	1000
	Artigos de gesso	I-1	80
	Artigos de mármore	I-1	40
	Artigos de peles	I-1	500
	Artigos de plásticos em geral	I-1	1000
	Artigos de tabaco	I-1	200
	Artigos de vidro	I-1	700
	Automotiva e autopeças (exceto pintura)	I-1	300
	Automotiva e autopeças (pintura)	I-1	500
	Aviões	I-1	600
	Blanços	I-1	300
	Baterias	I-1	800
	Bebidas destiladas	I-1	500
	Bebidas não-alcóolicas	I-1	80
	Bicicletas	I-1	200
	Brinquedos	I-1	500
	Café (inclusive torrefação)	I-1	400
	Caixotes, barris ou pallets de madeira	I-1	1000
	Calçados	I-1	600
	Carpintarias, marcenarias	I-1	800
	Cereais	I-2	1700
	Cervejarias	I-1	80
	Chapas de aglomerados ou compensado	I-1	300
	Chocolate	I-1	400
	Cimento	I-1	40
	Cobertores, tapetes	I-1	600
	Colas	I-1	800
	Colchões (exceto espuma)	I-1	500
	Condimentos, conserva	I-1	40
	Confeitarias	I-1	400
	Congelados	I-1	800
	Couro sintético	I-1	1000

Anexo 2 - Continuação...Valores das cargas de incêndio específica
(Fonte: ABNT NBR 14432:2001)

Ocupação/uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio MJ/m ²
Industrial	Defumados	I-1	200
	Discos de música	I-1	600
	Doces	I-1	800
	Espumas	I-2	3000
	Farinhas	I-2	2000
	Feltros	I-1	600
	Fermentos	I-1	800
	Fiações	I-1	600
	Fibras sintéticas	I-1	300
	Fios elétricos	I-1	300
	Flores artificiais	I-1	300
	Fornos de secagem com grade de madeira	I-1	1000
	Fundição de metal	I-1	40
	Galpões de secagem com grade de madeira	I-1	400
	Geladeiras	I-1	1000
	Gelatinas	I-1	800
	Gesso	I-1	80
	Gorduras comestíveis	I-1	1000
	Gráficas (empacotamento)	I-1	2000
	Gráficas (produção)	I-2	400
	Guarda-chuvas	I-1	300
	Hangares	I-1	200
	Instrumentos musicais	I-1	600
	Janelas e portas de madeira	I-1	800
	Jóias	I-1	200
	Laboratórios farmacêuticos	I-1	300
	Laboratórios químicos	I-1	500
	Lápis	I-1	600
	Lâmpadas	I-1	40
	Laticínios	I-1	200
	Malharias	I-1	300
	Máquinas de lavar, de costura ou de escritório	I-1	300
	Massas alimentícia	I-1	1000
	Mastiques	I-1	1000
	Materiais sintéticos ou plásticos	I-2	2000
	Metalurgia	I-1	200
	Montagem de automóveis	I-1	300
	Motocicletas	I-1	300
	Motores elétricos	I-1	300
	Móveis	I-1	600
	Óleos comestíveis	I-1	1000
	Padarias	I-1	1000
	Papéis (acabamento)	I-1	500
	Papéis (preparo de celulose)	I-1	80
	Papéis (processamento)	I-1	800
	Papelões betuminados	I-2	2000
	Papelões ondulados	I-1	800
	Pedras	I-1	40
	Perfumes	I-1	300

**Anexo 2 - Conclusão...Valores das cargas de incêndio específica
(Fonte: ABNT NBR 14432:2001)**

Ocupação/uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio MJ/m ²
Industrial	Pneus	I-1	700
	Produtos adesivos	I-1	1000
	Produtos de adubos químicos	I-1	200
	Produtos alimentícios (expedição)	I-1	1000
	Produtos com ácido acético	I-1	200
	Produtos com ácido carbônico	I-1	40
	Produtos com ácido inorgânico	I-1	80
	Produtos com albumina	I-2	2000
	Produtos com alcatrão	I-1	800
	Produtos com amido	I-2	2000
	Produtos com soda	I-1	40
	Produtos com limpeza	I-2	2000
	Produtos graxos	I-1	1000
	Produtos refratários	I-1	200
	Rações	I-2	2000
	Relógios	I-1	300
	Resinas	I-2	3000
	Roupas	I-1	500
	Sabões	I-1	300
	Sacos de papel	I-1	800
	Sacos de juta	I-1	500
	Sorvetes	I-1	80
	Sucos de fruta	I-1	200
	Têxteis em geral	I-1	700
	Tintas e Solventes	I-2	4000
	Tintas látex	I-1	800
	Tintas não-inflamáveis	I-1	200
	Transformadores	I-1	200
	Tratamentos de madeira	I-2	3000
	Tratores	I-1	300
	Vagões	I-1	200
	Vassouras ou escovas	I-1	700
	Velas	I-1	1000
	Verduras desidratadas	I-1	1000
	Vídeos ou espelhos	I-1	200
	Vinagres	I-1	80