

HELENA MARIA DE QUEIROZ GONZAGA

**DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO
EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO
DA SILVA**

ANÁPOLIS / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

GONZAGA, HELENA MARIA DE QUEIROZ

Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio

64P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Vigas

3. Dimensionamento

I. ENC/UNI

2. Incêndio

4. Estruturas

II. Bacharel (10^o)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GONZAGA, Helena Maria de Queiroz. Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio

TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 64p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Helena Maria de Queiroz Gonzaga

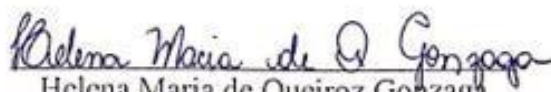
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Helena Maria de Queiroz Gonzaga

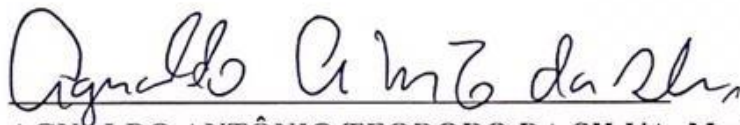
Hmaria0608@gmail.com

HELENA MARIA DE QUEIROZ GONZAGA

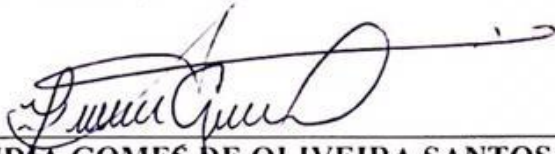
**DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO
EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:



**AGNALDO ANTÔNIO TEODORO DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**



**CLÁUDIA GOMES DE OLIVEIRA SANTOS, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**AURELIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 28 de Maio de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível. Agradeço por ser O motivo pelo qual nunca me deixei abater com os problemas do dia-a-dia, procurando sempre forças para continuar. Agradeço aos meus pais que nunca mediram esforços para me ajudar a chegar até aqui.

Agradeço aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado em especial ao meu professor e orientador Me. Agnaldo Antônio Teodoro Da Silva. Agradeço também a minha instituição por ter me dado a chance e todas as ferramentas que permitiram chegar hoje ao final desse ciclo.

Helena Maria de Queiroz Gonzaga

RESUMO

A segurança contra incêndio é algo que está sendo aprimorado após algumas tragédias que aconteceram no Brasil. Fatos estes, que contribuíram de maneira determinante para o início dos estudos e criação de novas regulamentações e normas regidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que têm como objetivo amenizar o risco a vida e a redução de perda patrimonial. O principal ponto do estudo das normas regidas pela ABNT, gerenciavam apenas assuntos ligados a produção de incêndio, atualmente tem-se acesso a normas como a NBR 15200 – Projetos de estruturas de concreto em situação de incêndio – (ABNT, 2012) que tem como objetivo principal estabelecer critérios de projetos para estruturas de concreto em situação de incêndio, baseada na correlação entre o comportamento dos materiais e da estrutura em temperatura ambiente. Para a definição de um material em situação de incêndio é imprescindível conhecer o comportamento dos materiais durante este processo. Segundo a NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – (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, sendo que, essa resistência ao fogo é a propriedade de um elemento construtivo de resistir à ação do fogo por determinado período de tempo, mantendo sua segurança estrutural. Na NBR 15200 (ABNT,2012) consta métodos tabulares de cálculo para a verificação dos elementos estruturais, um método simples, onde basta atender às dimensões mínimas apresentadas nas tabelas em função do tipo de elemento estrutural e do TRRF, respeitando-se as limitações indicadas. Diante da análise e os cálculos obtidos no comparativo entre as vigas convencionais e em situação de incêndio observa-se que alguns resultados não foram satisfatórios de acordo com o método tabular. Os resultados obtidos demonstra a importância da verificação, pois mesmo utilizando softwares usuais para o dimensionamento seguindo a NBR 6118 – Projetos de estruturas de concreto – (ABNT, 2007) nem sempre atentem as normas prescritas na NBR 15200 (ABNT, 2012) de verificação.

PALAVRAS-CHAVE:

Incêndio. Dimensionamento. Estruturas. Vigas.

ABSTRACT

Fire safety is something that is being improved after some tragedies that have happened in Brazil. These facts contributed decisively to the start of studies and the creation of new regulations and standards governed by the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), which aim to reduce life risk and reduce patrimony losses. The main point in the study of norms governed by the ABNT, only managed matters related to fire production, we currently have access to standards such as NBR 15200 (ABNT, 2012), whose main objective is to establish project criteria for concrete structures in based on the correlation between materials' behavior and the structure at ambient temperature. To define a material on fire situation it's indispensable to know the materials' behavior during this process. According to NBR 14432 - Fire resistance requirements of building elements - (ABNT, 2001) Required Fire Resistance Time (TRRF) is the minimum fire resistance time of a constructive element when subjected to standard fire, being that this resistance to fire is the property of a constructive element of resisting the action of fire for a certain period of time, maintaining its structural safety. In NBR 15200 (ABNT, 2012) there are tabular methods of calculus for the verification of structural elements, a simple method, where it's sufficient to take into account the minimum dimensions presented in the tables according to the structural element type and the TRRF, taking into account the limitations indicated. In view of the analysis and the calculus obtained, it's observed that some results were not satisfactory according to the tabular method. The obtained results demonstrate the importance of the verification, because even using the usual software for the sizing according to NBR 6118 (ABNT, 2007) it has not always been observed the norms prescribed in NBR 15200 (ABNT, 2012).

KEYWORDS:

Fire. Sizing. Structures. Beams.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Elementos Estruturais.....	17
Figura 2 – Viga Isolada	19
Figura 3 – Viga contínua	19
Figura 4 – Viga em balanço.....	20
Figura 5 – Classificação dos pilares quanto à situação de projeto	22
Figura 6 – Curva temperatura-tempo de um incêndio real.....	23
Figura 7 – Cura-padrão temperatura-tempo (material celulósico)	25
Figura 8 – Curva temperatura-tempo para hidrocarbonetos.....	26
Figura 9 – Fator de redução da resistência dos concretos silicosos e calcário em função da temperatura.....	35
Figura 10 – Fator de redução do modulo de elasticidade do concreto em função da temperatura.....	36
Figura 11 – Fator de redução da resistência do aço de armadura passiva em função da temperatura.....	37
Figura 12 – Fator de redução do modulo de elasticidade do aço de armadura passiva em função da temperatura	38
Figura 13 – Fator de redução da resistência do aço da armadura ativa formada por fios ou cordoalhas em função da temperatura	40
Figura 14 - Fator de redução do módulo de elasticidade do aço da armadura ativa em função da temperatura	40
Figura 15 – Dimensões mínimas de largura (<i>bmín</i>) e distância entre o eixo da armadura longitudinal inferior e a face do concreto exposta ao fogo (<i>c1</i>)	42
Figura 16 – Envoltória de momentos fletores	44
Figura 17 – Distâncias <i>c1</i> e <i>c1l</i>	46
Figura 18 – Definição das dimensões para diferentes tipos de seção transversal de vigas	47
Figura 19 – Vista 3D no programa Eberick® do projeto estrutural	49
Figura 20 – Planta de forma do pavimento Tipo 1	50
Figura 21 – Especificações das vigas utilizadas.....	51
Figura 22 – Corte A-A da viga V4	51
Figura 23 – Detalhamento da viga 4 e dimensões (em cm) em temperatura ambiente.....	52
Figura 24 – Corte B-B da viga V7.....	53
Figura 25 – Detalhamento da viga 7 e dimensões (em cm) em temperatura ambiente.....	53

Figura 26 – Corte B-B da viga V17.....	54
Figura 27 – Detalhamento da viga 17 e dimensões (em cm) em temperatura ambiente.....	55
Figura 28 – Corte D-D da viga 28.....	55
Figura 29 – Detalhamento da viga 28 e dimensões (em cm) em temperatura ambiente.....	56

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Temperatura segundo o modelo de incêndio-padrão	25
Tabela 2- Valores da relação $k_{c, \theta} = f_{c, \theta} / f_{ck}$ para concretos de massa específica normal (2 000 kg/m ³ a 2 800 kg/m ³) preparados com agregados predominantemente silicosos e calcários.	34
Tabela 3-Valores das relações $k_{s, \theta} = f_{yk, \theta} / f_{yk}$ e $k_{Es, \theta} = E_{s, \theta} / E_s$ para aços de armadura passiva	39
Tabela 4-Valores da relação $f_{pyk, \theta} / (f_{pyk, \theta/0, 9} f_{pyk})$ e $E_{p, \theta} / E_p$ para fios e cordoalhas da armadura ativa	41
Tabela 5-Dimensões mínimas para vigas biapoiadas	43
Tabela 6-Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos.....	43
Tabela 7 – Dados da viga 4 para verificação de situação de incêndio	52
Tabela 8 – Dados da viga 07 para verificação de situação de incêndio	53
Tabela 9 - Dados da viga 17 para verificação de situação de incêndio	54
Tabela 10 – Dados da viga 28 para verificação em situação de incêndio	56
Tabela 11 - Modificações necessárias para atender os requisitos	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tempo Requerido de Resistência ao fogo (TRRF), em minutos, segundo NT8 ...	28
Quadro 2 – Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação segundo a NT	
01.	29

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

CBMGO – CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS

NBR – NORMA BRASILEIRA

TRRF – TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 METODOLOGIA	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 ELEMENTOS ESTRUTURAIS	17
2.1.1 Lajes.....	17
2.1.2 Vigas	18
2.1.3 Pilares	20
2.2 INCÊNDIO	22
2.3 INCÊNDIO PADRÃO	23
2.4 PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO	26
2.5 TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO(TRRF).....	27
2.6 MÉTODO TABULAR.....	32
3 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	33
3.1 CONCRETO ARMADO	33
3.2 AÇO	36
3.2.2 Módulo de elasticidade do aço de armadura passive	37
3.3 RESFRIAMENTO E PÓS INCÊNDIO	41
4 DIMENSIONAMENTO DE VIGAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	42
4.1 VIGAS BIAPOIADAS	42
4.2 VIGAS CONTÍNUAS E REDISTRIBUIÇÃO DE MOMENTOS	43
4.3 REDUÇÃO DE c_1	44
4.4 ARMADURAS DE CANTO	45
4.5 ARMADURAS EM VÁRIAS CAMADAS	46
4.6 VIGAS COM LARGURAS VARIÁVEIS	46
4.7 REVESTIMENTO	47
5 ESTUDO DE CASO	49
5.1 APRESENTAÇÃO DO EXEMPLO.....	49
5.2 VERIFICAÇÃO PELA NBR 15200(ABNT,2012)	56
5.2.1 Método Tabular	56

5.3	RESULTADOS.....	60
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndios aprimora-se desde o ano de 64, em Roma, quando aconteceu o primeiro incêndio histórico registrado. O fogo tomou grande parte da cidade, em virtudes das edificações serem feitas de estruturas de madeiras e com ruas estreitas. Posteriormente, com a modernização das cidades, os incêndios passaram a se restringir a edifícios, então houve a necessidade de criação de novas técnicas para o combate.

Sendo levada em segundo plano até a década de 70 no Brasil pela inexistência desses acontecimentos a segurança contra incêndios, se restringia somente as normatizações quanto ao dimensionamento da largura das saídas e escadas e da incombustibilidade das escadas e estruturas em prédios elevados descritos nos códigos dos municípios. O corpo de bombeiros apresenta algumas regulamentações, onde regiam a obrigatoriedade de algumas medidas a combate de incêndios, sendo esses o fornecimento de extintores e hidrantes e a sinalização dos mesmos. Entretanto as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) regularizavam apenas assuntos ligados à produção de incêndios (SILVA, 2016).

Desde então foram acontecendo algumas tragédias no Brasil que trouxeram mudanças no sistema brasileiro de combate a incêndio. Como por exemplo pode-se citar: o edifício Andraus que possui 115 metros de altura e 32 andares, ocorrido em 24 de fevereiro de 1972 deixando 16 mortos e 330 feridos - sendo o primeiro incêndio em prédios elevados - e o Edifício Joelma que possuía 23 andares, ocorrido em 1º de fevereiro de 1974 deixando 179 mortos e 320 feridos.

Desde então a regulamentação vem sempre se modernizando. A partir dessas tragédias os decretos e as normas regidas pela ABNT vêm se avançando gradualmente. Hoje no Brasil alguns estados brasileiros possuem leis específicas para a segurança em situações de incêndio, e aquele que não usufruem dessas leis usam o Código do Consumidor que requer a obediência as normas da ABNT. No estado de Goiás, o Corpo de Bombeiros Militar (CBMGO), possui algumas especificações resultantes da Lei Estadual nº 15802, de 11 de setembro de 2006.

Os objetivos fundamentais da segurança contra incêndio são minimizar o risco à vida. Como consequência, tem-se à redução da perda patrimonial. Desse modo a ABNT NBR 15200:2012 tem-se o objetivo de estabelecer critérios de projetos de estrutura de concreto em situação de incêndio.

“O projeto de estruturas de concreto em situação normal deve atender às prescrições da ABNT NBR 6118 e, em se tratando de estruturas de concreto pré-moldado, também da ABNT NBR 9062. O projeto de estruturas de concreto em

situação de incêndio é baseado na correlação entre o comportamento dos materiais e da estrutura em situação normal, ou seja, à temperatura ambiente (considerada próxima a 20°C), com o que ocorre em situação de incêndio.” (ABNT NBR 15200:2012, item 4.1).

Seguindo esse raciocínio este trabalho terá foco no dimensionamento estrutural de vigas em situação de incêndio regido pela NBR 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – (ABNT, 2012).

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil após tragédias de grande impacto ocorridas por situações de incêndio deu-se início ao processo de reformulação de medidas de segurança contra incêndios. Tendo em vista o objetivo de amenizar o risco a vida e redução de perda patrimonial.

Dessa forma a NBR 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio prescreve o dimensionamento de tais estruturas considerando o efeito em altas temperaturas.

Dentre o ambiente de projetos vários engenheiros não consideram tal situação se restringindo apenas a segurança contra incêndios em projetos hidráulicos, elétricos e arquitetônicos. Hoje em dia sabe-se que é de extrema importância a consideração nos projetos de estruturas pois o aumento da temperatura das estruturas ocasionam a sua perda de resistência, variação do módulo de elasticidade em que compromete-se a sua funcionalidade.

Dessa forma o presente trabalho irá apresentar as situações de cálculos para vigas nessas condições e descrever as potencialidades de dimensionamento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar o dimensionamento segundo a NBR 15200 de vigas considerando a situação de incêndio destacando o processo de cálculo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Fazer levantamento dos quesitos exigidos pela NBR 15200 para dimensionamento;
- Realizar dimensionamento de vigas de concreto considerando incêndio;
- Comparar os resultados obtidos com vigas convencionais;
- Apresentar um manual para o dimensionamento;

1.3 METODOLOGIA

A pesquisa adotada no presente trabalho é de caráter exploratório e de estudo de caso. O início do trabalho se dá através das pesquisas, o referencial teórico a respeito de assuntos voltados a estruturas em situação de incêndio, desde conceitos básicos de elementos estruturais, conceitos sobre incêndio, uma breve explicação de proteção ativa e passiva, definições de concreto armado e suas variabilidades na resistência e módulo de elasticidade quando exposto a elevadas temperaturas, apresentação de tabelas e figuras para o auxílio no dimensionamento vigas conforme a NBR 15200(ABNT, 2012).

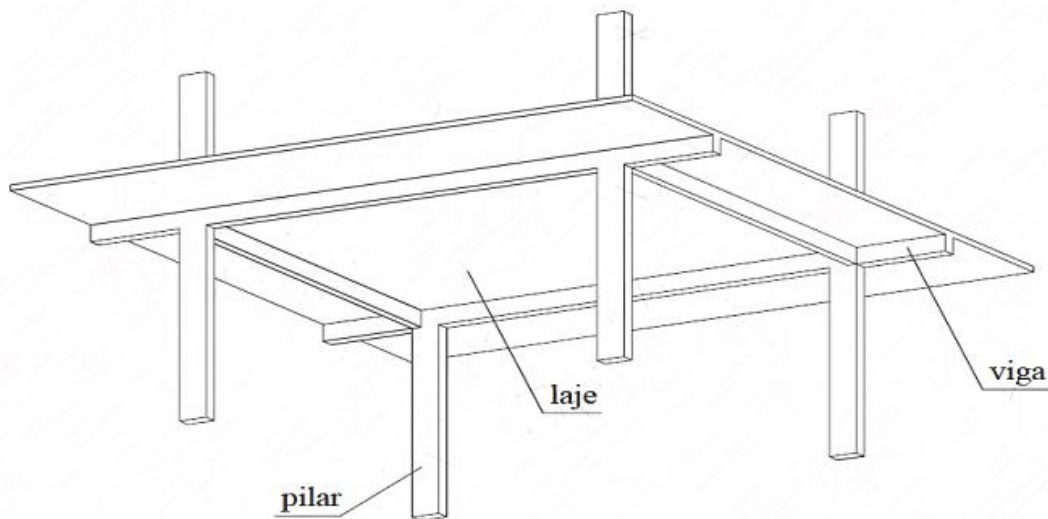
Em seguida será realizado o estudo de caso em um edifício de 13 andares onde será realizado o dimensionamento convencional e considerando a situação de incêndio com o intuito de realizar um comparativo metodológico no dimensionamento com auxílio do programa Eberick.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Um sistema convencional de estruturas de concreto armado pode ser constituído essencialmente por lajes, vigas e pilares, sendo que as lajes recebem os carregamentos provenientes da utilização das pessoas, móveis acrescidos de seu peso próprio, as quais são transmitidos às vigas, que se descarregam seus esforços aos pilares e esses às fundações (SMIRIGLIO, 2004).

Figura 1- Elementos Estruturais



Fonte: Smiriglio,2004

Com relação às ações horizontais atuantes nos edifícios, o sistema existente é constituído pelos pórticos verticais, pilares e vigas que, além de absorverem a ação do vento, contribuem para a estabilidade global (GIONGO, 2007).

2.1.1 Lajes

A lajes são estruturas planas, onde sua espessura é inferior a largura e ao comprimento. Destinam-se a receber grande parte das ações aplicadas em uma construção. As ações são frequentemente perpendiculares ao plano da laje, podendo ser divididas em:

distribuídas na área, distribuídas linearmente ou forças concentradas. As ações são transmitidas para vigas de apoio ou diretamente aos pilares.

Segundo Borges, 2010, elas são construídas de forma que possa suportar todo carregamento apoiado sobre ela e resistir ao esforço provocado por esse carregamento. As ações pode-se variar de acordo com as cargas acidentais que são pessoas, móveis e utensílios em geral que são denominados como sobrecarga, é medido em kg/m^2 e a avaliação é feita através de tabelas estipuladas pela norma NBR 6120 (ABNT, 1980). Existem diversificados tipos como maciças, nervuradas, lisas e pré-moldadas.

Lajes maciças são aquelas que a sua espessura é toda preenchida com concreto, não possuem vazios e possuem armaduras embutidas no concreto. Usualmente encontradas em construção de grande porte como indústrias, escolas, hospitais e etc. De acordo com o item 13.2.4.1 da norma NBR 6118:2014 as lajes maciças devem ter espessuras mínimas de 7 cm para lajes de cobertura não em balanço e 10 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço.

A NBR 6118 (ABNT, 2014), item 14.7.7 descreve-se lajes nervuradas como lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte. As lajes com nervuras pré-moldadas são usualmente chama de pré-fabricadas e devem atender as normas específicas regidas pelas ABNT NBR 14859 e NBR 14860.

As lajes maciças ou as nervuradas moldadas no local tem a necessidade de realizar a construção de uma estrutura auxiliar normalmente construída em madeira que sirva de fôrma. Há uma necessidade também de cimbramentos que pode ser em estruturas de madeira ou metálica (GIONGO, 2007).

Com o alto custos das fôrmas e presando a questão ambiental estão sendo utilizadas para a moldagem de lajes nervuradas fôrmas feitas por matérias metálicos e fibra de vidro. E quando há uma necessidade arquitetônica de uma laje plana dispõem-se de blocos matérias cerâmicos, isopor, plásticos.

“Lajes-cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto lajes lisas são as apoiadas nos pilares sem capitéis” (NBR 6118, (ABNT,2014), item 14.7.8).

2.1.2 Vigas

As vigas tem uma função básica de receber cargas verticais concentradas ou distribuídas ao longo do seu comprimento. As vigas são usualmente apoiadas em pilares onde transmite sobre ele todos os seus carregamentos.

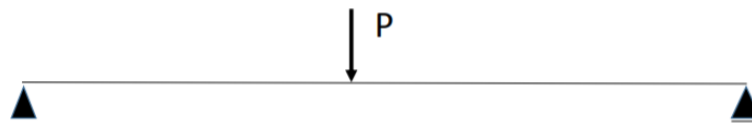
Segundo Borges, 2010, atuam sobre as vigas, principalmente, as cargas distribuídas provenientes das LAJES apoiadas sobre elas, cargas concentradas de outras VIGAS que descarreguem sobre as mesmas ou cargas distribuídas provenientes de PAREDES apoiadas ao longo do seu comprimento.

A NBR 6118 (ABNT, 2014), item 14.4.1.1 descreve-se as vigas como elementos lineares em que a flexão é preponderante. Elementos lineares dispõem-se de uma espessura com a mesma ordem de grandeza da altura, mas ambas são muito menores que o comprimento. Sendo também chamados de “barras”. Geralmente as vigas ficam acima de paredes (ABNT, 2014).

Existem três tipos de vigas: Isoladas, contínuas e em balanço. Segundo Borges, 2010, as vigas isoladas são as que possuem apenas um vão com dois apoios, vigas contínuas são sustentadas por vários apoios formando dois ou mais vãos e as vigas em balanço são sustentadas por apenas um apoio engastado.

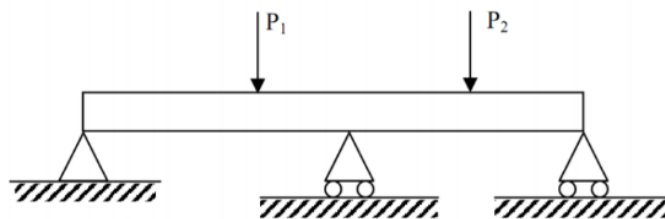
A distância representada por L chama-se de vão.

Figura 2 – Viga Isolada



Fonte: Nadal, 2015

Figura 3 – Viga contínua



Fonte: Nadal, 2015

Figura 4 – Viga em balanço



Fonte: Nadal, 2015

2.1.3 Pilares

A NBR 6118 (ABNT, 2014), item 14.4.1.2 descreve-se pilares como elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes.

Normalmente os pilares sustentam os pilares de andares superiores. Em alguns casos, como o de lajes cogumelo ou colmeia as lajes também podem descarregar seus esforços diretamente sobre pilares (BORGES, 2010).

Os pilares podem ser classificados como curtos, moderadamente esbeltos e esbeltos. São classificados de acordo com o índice de esbeltez considerando-se ou não o efeito de segunda ordem.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), item 15.8.2 apresenta que os esforços locais de 2º ordem em elementos isolados podem ser ignorados quando o índice de esbeltez for menor que o valor-limite. O índice de esbeltez deve ser calculado através da equação 1, 2 e 3:

$$\lambda = \frac{l_e}{i} \quad (1)$$

Onde

λ – índice de esbeltez

l_e – comprimento equivalente

i – raio de giração

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2)$$

Sendo

I – momento de inércia

A – área da seção

A esbeltez limite pode ser calculado através da equação 3

$$\lambda_1 = \frac{25 + 12,5 \frac{e_1}{h}}{\alpha_b}, 35 \leq \lambda_1 \leq 90 \quad (3)$$

Onde:

λ_1 – esbeltez limite

e_1 – excentricidade de 1ª ordem

h - altura

α_b – coeficiente adimensional

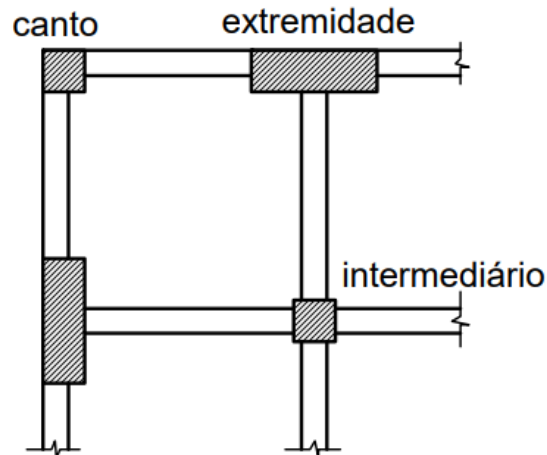
Os pilares podem ser classificados em:

Pilares pouco esbeltos	$\rightarrow \lambda \leq \lambda_1$
Pilares de esbeltez média	$\rightarrow \lambda_1 < \lambda \leq 90$
Pilares esbeltos	$\rightarrow 90 < \lambda \leq 140$
Pilares excessivamente esbeltos	$\rightarrow 140 < \lambda \leq 200$

Segundo Araújo, 2014, os pilares curtos são aqueles para os quais não há necessidade de se considerar os efeitos de segunda ordem. Para os pilares moderadamente esbeltos, os efeitos de segunda ordem são importantes e não podem ser desprezados. E para os pilares esbeltos os efeitos de segunda ordem são tão importantes que não se pode admitir o emprego de processos simplificados. Para esses pilares é exigida uma análise rigorosa, que leva em conta a não linearidade física decorrente do comportamento mecânico dos materiais, bem como a não linearidade geométrica. Portanto de modo geral, a maioria dos pilares dos edifícios se enquadra nos pilares curtos ou moderadamente esbeltos.

Pode-se classificar quanto a situação de projeto de acordo com o seu posicionamento na estrutura, sendo pilares intermediários, pilares de extremidades ou pilares de canto.

Figura 5 – Classificação dos pilares quanto à situação de projeto



Fonte: Araújo, 2014

Os pilares intermediários estão principalmente submetidos a cargas axiais de compressão. A situação básica de projeto para os pilares intermediários é, portanto, a de compressão centrada (FILHO, 2014).

Os pilares de extremidade correspondem a apoios de extremidade para as vigas. Neste caso, os momentos transmitidos pelas vigas devem ser considerados e a situação de projeto é de flexo-compressão normal (ARAÚJO, 2014).

2.2 INCÊNDIO

Segundo Caldas, o incêndio é definido como fogo que lava com intensidade, em material que não estava destinado, destruindo e, às vezes, causando prejuízos, e pode ter origem física, biológica, físico-química, acidental ou intencional.

O aumento da temperatura dos elementos estruturais, em decorrência da ação de um incêndio, causa redução de esforços solicitantes adicionais decorrentes das restrições às deformações de origem térmica (SILVA, 2016).

A propagação de calor de um ambiente para a estrutura ocorre por radiação e convecção.

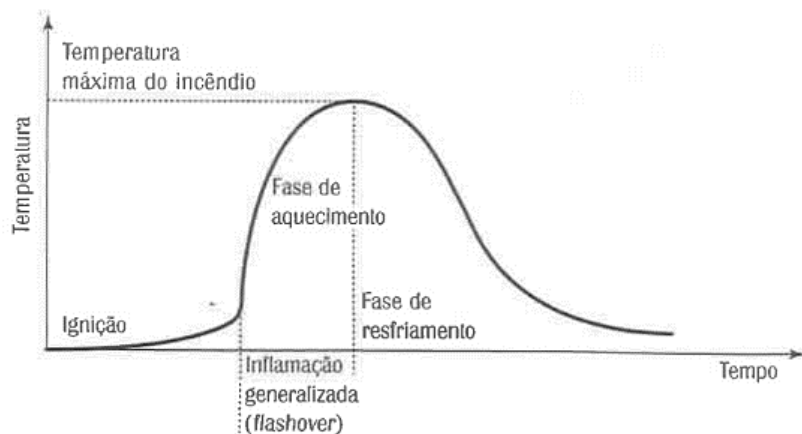
Segundo Kreith e Bohn, 1997, a radiação é um processo pelo qual o calor é transmitido de um corpo a alta temperatura para um de mais baixa quando tais corpos estão separados no espaço, ainda que exista vácuo entre eles.

Segundo Kreith e Bohn, 1997, a convecção é o processo de transporte de energia pela ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de

mistura. A convecção é importante principalmente como mecanismo de transferência de energia entre uma superfície sólida e um líquido ou gás.

Quando há uma análise estrutural, o incêndio se caracteriza pela relação entre a temperatura dos gases quentes e o tempo, onde representada por meio de “curvas temperatura-tempo” ou, simplesmente, “curvas de incêndio”. A partir dessas curvas é possível calcular a máxima temperatura atingida pelas peças estruturais e a sua correspondente capacidade resistente. Num incêndio real, a curva representativa da variação de temperatura é caracterizada por três estágios delimitados por dois pontos (Figura): “flashover” e temperatura máxima (COSTA & SILVA, 2003).

Figura 6 – Curva temperatura-tempo de um incêndio real



Fonte: Silva, 2016

Segundo Costa e Silva, 2003, essas regiões denominam-se:

Ignição: região que representa o início da inflamação e a temperatura cresce gradualmente; esse momento é também conhecido como “pré-flashover” e termina no instante conhecido por “flashover” (onde apresenta a inflamação generalizada);

Fase de aquecimento: região que se caracteriza por uma mudança repentina de crescimento de temperatura; nesse compartimento todo o material entra em combustão e a temperatura dos gases quentes cresce aceleradamente até atingir o pico da curva – a temperatura máxima dos gases do ambiente;

Fase de resfriamento: representa a redução de temperatura dos gases no ambiente.

2.3 INCÊNDIO PADRÃO

“O incêndio-padrão é o modelo de incêndio idealizado para análises experimentais, admitindo-se que a temperatura dos gases quentes no compartimento em chamas obedeça às curvas padronizadas” (COSTA & SILVA, 2006).

Com a ausência de dados reais, as curvas padronizadas pode-se considerar como a função temperatura da atmosfera do ambiente compartimentado.

A curva padronizada tem como principal característica possuir apenas um ramo de crescimento, entretanto a temperatura dos gases é sempre crescente em função do tempo.

Segundo Silva, 2016, para a elevação padronizada de temperatura em função do tempo as normas brasileiras NBR 14432(ANBT, 2000) – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – e NBR 5628 (ABNT, 2001) – Resistência ao fogo em estruturas – indicam com base na ISO 834(1990).

$$\theta_g = 345 \log_{10}(8t + 1) + \theta_{g,0} \quad (4)$$

Sendo:

θ_g – temperatura dos gases no ambiente em chamas (°C).

$\theta_{g,0}$ – temperatura dos gases no instante, geralmente admitida 20°C.

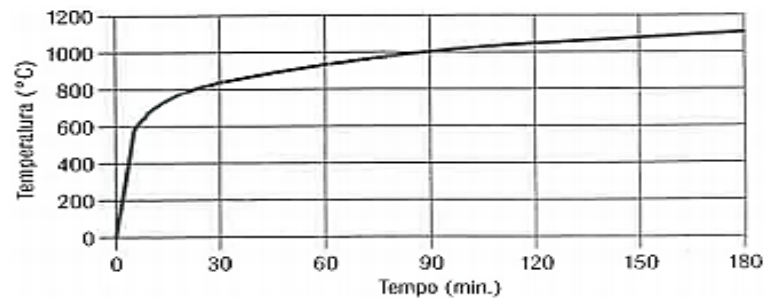
t – tempo (mínimo)

A partir de dessa equação (1) é construído a Figura 7 e Tabela 1 para material celulósico.

Tabela 1 - Temperatura segundo o modelo de incêndio-padrão

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
0	20	95	1014
5	576	100	1022
10	678	105	1029
15	739	110	1036
20	781	115	1043
25	815	120	1049
30	842	125	1055
35	865	130	1061
40	885	135	1067
45	902	140	1072
50	918	145	1077
55	932	150	1082
60	945	155	1087
65	957	160	1092
70	968	165	1097
75	979	170	1101
80	988	175	1106
85	997	180	1110
90	1006		

Fonte: Silva, 2016.

Figura 7 – Cura-padrão temperatura-tempo (material celulósico)

Fonte: Silva, 2016

Quando os materiais são compostos por hidrocarbonetos o incêndio é mais rigoroso pela composição com derivados do petróleo. A Eurocode 1 fornece a equação 5, para a curva “H” – “hydrocarbon curve”

$$\theta_g = 1080(1 - 0,33e^{-2,50t}) + 20 \quad (5)$$

Sendo:

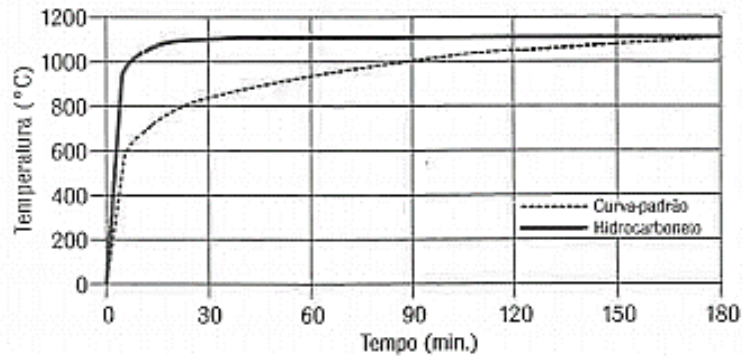
t = tempo mínimo

A curva “H” foi desenvolvida com prioridade para projetos de segurança contra incêndio de indústrias petroquímicas e offshore; atualmente ela tem sido recomendada para

projeto de túneis e outras vias de transporte de veículos movidos a combustíveis inflamáveis. (COSTA,2008).

A partir dessa equação tem-se uma curva temperatura-tempo para hidrocarbonetos.

Figura 8 – Curva temperatura-tempo para hidrocarbonetos



Fonte: Silva, 2016

2.4 PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO

Os objetivos fundamentais da segurança contra incêndio são minimizar o risco à vida e ter como consequência redução de perda patrimonial. (SILVA, 2016).

Um sistema de segurança contra incêndio é composto por um conjunto de meios de proteção ativos e passivos que possa assegurar a desocupação dos usuários da edificação, possibilitar as operações de combate ao incêndio e minimizar danos à edificação (CALDAS, 2008).

A inclusão dessas medidas deve ser analisada por todos que incluem na obra, desde o projetista até o proprietário do imóvel, levando em consideração tipo de obra, tipo de edificação e até mesmo o número de usuários.

Dentro desse sistema de segurança encontra-se dois tipos de proteção:

Segundo a NBR 14432 (ABNT, 2000), item 3.2 a proteção ativa são os tipos de proteção contra incêndios que é ativada manualmente ou automaticamente em resposta a incentivos provocados pelo fogo, composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndios. Como por exemplo: Detecção e alarme manual ou automático de incêndio; iluminação e sinalização de emergência; controle de movimento de fumaça.

Segundo a ABNT NBR 14432 (ABNT, 2000), item 3.3 a proteção passiva é aquela cuja há um conjunto de medidas incorporado 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 a propagação,

garantindo a resistência do fogo, facilitando a fuga dos usuários, bem como a aproximação e o ingresso no edifício para o desenvolvimento das ações de combate. Como por exemplo: Resistência ao fogo das estruturas; rotas de fuga; separação entre as edificações.

2.5 TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO(TRRF)

Para a definição da resistência de um material em situação de incêndio é imprescindível conhecer o comportamento dos materiais durante o incêndio. Segundo a ABNT NBR 14432:2001, 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 e o isolamento. O TRRF são fornecidos pelas Instruções Técnicas dos Corpos de Bombeiro de cada estado, ou se não estiver no estado requerido ele é fornecido pela NBR 14432 (ABNT, 2000). O TRRF em conjunto com a curva-padrão tem-se o objetivo de amenizar probabilidades de colapso estrutural durante a vida útil da edificação. Destacando-se para que os valores fornecidos são apenas um parâmetro para projetos.

O TRRF é um tempo que pode ser calculado segundo as Teorias das Estruturas e da Transferência de Calor. Tendo em vista, entretanto, a dificuldade desse cálculo, esse “tempo” é fixado na base do consenso (COSTA & SILVA, 2003).

Quadro 1 Tempo Requerido de Resistência ao fogo (TRRF), em minutos, segundo NT8

Grupo	Ocupação / Uso	Divisão	Profundidade do Subsolo hs		Altura da Edificação							
			Classe S ₂ Hs > 10m	Classe S ₁ Hs ≤ 10m	Classe P ₁ H ≤ 6m	Classe P ₂ 6m < h ≤ 12m	Classe P ₃ 12m < h ≤ 23m	Classe P ₄ 23m < h ≤ 30m	Classe P ₅ 30m < h ≤ 80m	Classe P ₆ 80m < h ≤ 120m	Classe P ₇ 120m < h ≤ 150m	Classe P ₈ 150m < h ≤ 250m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
B	Serviços de Hospedagem	B-1 a B-2	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
C	Comercial Varejista	C-1	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
		C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
D	Serviços Profissionais, pessoais e técnicas	D-1 a D-3	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8 e F-10	90	60	60	60	60	90	120	150	180	-
		F-3, F-4 e F-7	90	60	Ver item A.2.3.3		30	60	60	90	120	-
		F-9	90	60	30	60	60	90	120	-	-	-
G	Serviços Automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60	120	120	150
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
		H-2, H-3 e H-5	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
I	Industrial	I-1	90	60	30	30	30	60	120	-	-	-
		I-2	120	90	30	30	60	90	120	-	-	-
		I-3	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
J	Depósitos	J-1	60	30	Ver item A.2.3.4		30	30	60	-	-	-
		J-2	90	60	30	30	30	30	60	-	-	-
		J-3	90	60	30	60	60	120	120	-	-	-
		J-4	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
L	Explosivos	L-1, L-2 e L-3	120	120	120						-	-
M	Especial	M-1	150	150	150						-	-
		M-5	120	90	60	60	90	120	-	-	-	-
		M-3	120	90	90	90	120	120	120	150	-	-

Notas:
 1. Casos não enquadrados serão definidos pelo Conselho Técnico deliberativo do CBMGO;
 2. O TRRF dos subsolos não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo (ver item 5.10);
 3. Para edificações de madeira verificar item 5.20;
 Para indústria ou depósito com inflamáveis considerar I-3 e J-4, respectivamente.

Fonte: Goiás, 2014

Quadro 2 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação segundo a NT 01.

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Tipificação
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Condomínios de casas térreas ou assobradadas isoladas e assemelhados.
		A-2	Habitação multifamiliar	Condomínios de casas térreas ou assobradadas não isoladas, edifícios de apartamentos em geral e condomínios verticais e assemelhados.
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residências geriátricas com capacidade máxima de 16 leitos e assemelhados.
B	Serviço de Hospedagem	B-1	Hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos e divisão A3 com mais de 16 leitos e assemelhados.
		B-2	Hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, flats, hotéis residenciais) e assemelhados.
C	Comercial	C-1	Comércio com baixa carga de incêndio	Armarinhos, artigos de metal, louças, artigos hospitalares e outros.
		C-2	Comércio com média e alta carga de incêndio	Edifícios de lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros.
		C-3	Shoppings centers	Centro de compras em geral, feiras permanentes, <i>shopping centers</i> e outros. .
D	Serviço profissional	D-1	Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros, centros profissionais e assemelhados.
		D-2	Agência bancária	Agências bancárias e assemelhados.
		D-3	Serviço de reparação (exceto os classificados em G-4)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros.
		D-4	Laboratório	Laboratórios de análises clínicas sem internação, laboratórios químicos, fotográficos e assemelhados.
E	Educativa e cultura física	E-1	Escola em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos, pré-universitários e assemelhados.
		E-2	Escola especial	Escolas de artes e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira, escolas religiosas e assemelhados.
		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 assemelhados.

Fonte: Goiás, 2014

Quadro 2 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação segundo a NT 01 -
continuação

		E-4	Centro de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral
		E-5	Pré-escola	Creches, escolas maternas e de educação infantil e assemelhados.
		E-6	Escola para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e assemelhados.
F	Local de Reunião de Público	F-1	Local onde há objeto de valor inestimável	Museus, centro de documentos históricos, bibliotecas e assemelhados.
		F-2	Local religioso e velório	Igrejas, capelas, sinagogas, mesquitas, templos, cemitérios, crematórios, necrotérios, salas de funerais e assemelhados.
		F-3	Centro esportivo e de exibição	Estádios, ginásios e piscinas com arquibancadas, rodeios, autódromos, sambódromos, arenas em geral, pista de patinação e assemelhados.
		F-4	Estação e terminal de passageiro	Estações rodoferroviárias, metrô, aeroportos, heliponto, estações de transbordo em geral e assemelhados.
		F-5	Arte cênica e auditório	Teatros em geral, cinemas, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão, auditórios em geral e assemelhados.
		F-6	Clubes sociais e de Diversão	Boates, clubes em geral, salões de baile, restaurantes dançantes, clubes sociais, bingo, bilhares, tiro ao alvo, boliche e assemelhados.
		F-7	Eventos Temporários	Eventos temporários com concentração de público
		F-8	Local para refeição	Restaurantes, lanchonetes, bares, cafês, refeitórios, cantinas e assemelhados.
		F-9	Recreação pública	Jardim zoológico, parques recreativos e assemelhados, instalados em edificações permanentes.
		F-10	Exposição de objetos e animais	Salões e salas de exposição de objetos e animais, show-room, galerias de arte, aquários, planetários e assemelhados em edificações permanentes.
G	Serviço automotivo e assemelhados	G-1	Garagem sem acesso de público e sem abastecimento de combustível	Garagens automáticas
		G-2	Garagem com acesso de público e sem abastecimento de combustível	Garagens coletivas sem automação, em geral, sem abastecimento (exceto veículos de carga e coletivos)
		G-3	Local dotado de abastecimento de combustível	Postos de abastecimento de combustível e serviço, garagens (exceto veículos de carga e coletivos)
		G-4	Serviço de conservação, manutenção e reparos	Oficinas de conserto de veículos, borracharias (sem recauchutagem); oficinas e garagens de veículos de carga e coletivos, máquinas agrícolas e rodoviárias, retificadoras de motores
		G-5	Hangares	Abrigos para aeronaves com ou sem abastecimento de combustível e

Fonte: Goiás, 2014.

Quadro 2 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação segundo a NT 01 -
continuação

		assemelhados		
H	Serviço de saúde e institucional	H-1	Hospital veterinário e assemelhados	Hospitais, clínicas e consultórios veterinários e assemelhados (inclui-se alojamento com ou sem adestramento)
		H-2	Local onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, hospitais psiquiátricos, reformatórios, tratamento de dependentes de drogas, álcool e assemelhados. Todos sem celas
		H-3	Hospital e assemelhado	Hospitais, casa de saúde, prontos-socorros, clínicas com internação, ambulatórios e postos de atendimento de urgência, postos de saúde e puericultura e assemelhados com internação.
		H-4	Repartições públicas e assemelhados	Edificações do Executivo, Legislativo e Judiciário, tribunais, cartórios, quartéis, centrais de polícia, delegacias, postos policiais, postos de bombeiros e assemelhados.
		H-5	Local onde a liberdade das pessoas sofre restrições	Hospitais psiquiátricos, manicômios, reformatórios, prisões em geral (casa de detenção, penitenciárias, presídios) e instituições assemelhadas. Todos com celas
		H-6	Clínica e consultório médico e odontológico	Clínicas médicas, consultórios em geral, unidades de hemodiálise, ambulatórios e assemelhados. Todos sem internação
I	Indústria	I-1	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam baixo potencial de incêndio. Locais onde a carga de incêndio não chega a 300MJ/m ²	Atividades que manipulem materiais com baixo risco de incêndio, tais como fábricas em geral, onde os processos não envolvem a utilização intensiva de materiais combustíveis (aço; aparelhos de rádio e som; armas; artigos de metal; gesso; esculturas de pedra; ferramentas; fotogravuras; jóias; relógios; sabão; serralheria; suco de frutas; louças; metais; máquinas)
		I-2	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam médio potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio entre 300 e 1.200MJ/m ²	Atividades que manipulam materiais com médio risco de incêndio, tais como: artigos de vidro; automóveis, bebidas destiladas; instrumentos musicais; móveis; alimentos marcenarias, fábricas de caixas e assemelhados.
		I-3	Locais onde há alto risco de incêndio. Locais com carga de incêndio superior a 1.200 MJ/m ²	Fabricação de explosivos, atividades industriais que envolvam líquidos e gases inflamáveis, materiais oxidantes, destilarias, refinarias, ceras, espuma sintética, elevadores de grãos, tintas, borracha e assemelhados.
J	Depósito	J-1	Depósitos de material incombustível	Edificações sem processo industrial que armazenem tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e outros materiais incombustíveis. Todos sem embalagem
		J-2	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio até 300MJ/m ²
		J-3	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio entre 300 e 1.200MJ/m ²

Fonte: Goiás, 2014.

**Quadro 2 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação segundo a NT 01 -
continuação**

		J-4	Todo tipo de Depósito	Depósitos onde a carga de incêndio ultrapassa 1.200MJ/m ²
L	Explosivos	L-1	Comércio	Comércio em geral de fogos de artifício e assemelhados
		L-2	Indústria	Indústria de material explosivo
		L-3	Depósito	Depósito de material explosivo
M	Especial	M-1	Túnel	Túnel rodoviário, destinado a transporte de passageiros ou cargas diversas.
		M-2	Líquido ou gás, inflamáveis ou combustíveis	Edificação destinada a produção, manipulação, armazenamento e distribuição de líquidos ou gases combustíveis e inflamáveis.
		M-3	Central de comunicação e energia	Central telefônica, centros de comunicação, centrais de transmissão ou de distribuição de energia e assemelhados.
		M-4	Propriedade em transformação	Locais em construção ou demolição e assemelhados
		M-5	Silos	Armazéns de grãos e assemelhados
		M-6	Terra Selvagem	Floresta reserva ecológica, parque florestal e assemelhados.
		M-7	Pátio de containers	Área aberta destinada a armazenamento de containers
		M-8	Torres de telefonia móvel	Torre metálica com armários para equipamentos de telefonia
Quando não houver previsão de classificação na tabela 1, será adotada a tipificação mais próxima para a sua destinação, ocupação ou uso.				

Fonte: Goiás, 2014.

2.6 MÉTODO TABULAR

A NBR 15200 informa que neste método, basta atender às dimensões mínimas apresentadas nas tabelas, em função do tipo de elemento estrutural e do TRRF, respeitando-se as limitações indicadas. Essas dimensões mínimas devem sempre respeitar também a ABNT NBR 6118 (ANBT, 2014)

“Os ensaios mostram que em situação de incêndio as peças de concreto rompem usualmente por flexão ou flexocompressão e não por cisalhamento. Por isso, considera-se apenas a armadura longitudinal nesse critério” (ABNT NBR 15200:2012)

3 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Para uma análise estrutural deve-se atentar as propriedades térmicas e mecânicas dos materiais como as resistências a tração e à compressão, módulo de elasticidade, calor específico e massa específica.

3.1 CONCRETO ARMADO

O concreto é um material composto, dá-se pela mistura de cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), e ar. Pode ocorrer o acréscimo de aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades (BASTOS, 2006).

Cimento é a substância responsável pelas reações químicas no interior do concreto, que facilitam a coesão e causam o seu endurecimento. O agregado graúdo tem a responsabilidade da resistência mecânica da mistura, e juntamente com o agregado miúdo, proporciona a elevada resistência à compressão do concreto (BORGES, 2010).

O concreto armado pode ter surgido da necessidade de se unir as qualidades de resistência à compressão e durabilidade com concreto com as resistências mecânicas do aço, com as vantagens de poder assumir qualquer forma, com rapidez e facilidade, e proporcionar a necessária proteção do aço contra a corrosão (BASTOS, 2006).

Segundo ABNT NBR 6118 Item 3.1.3 os elementos de concreto armado aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

No entanto, deve-se obrigatoriamente existir entre o concreto e a armadura o fenômeno da aderência. Para que ambos o concreto e o aço tenha um trabalho realizado de forma conjunta.

O trabalho em conjunto do aço e do concreto é possível graças à semelhança de duas de suas propriedades físicas essenciais: os dois oferecem aderência recíproca; e tem os coeficientes de dilatação aproximadamente iguais.

A aderência impede o escorregamento entre as armaduras e o concreto, e transmite esforços de um para outro material, sendo a propriedade fundamental para o trabalho conjunto dos dois materiais. Os coeficientes de dilatação aproximadamente iguais envolvem em deslocamentos semelhantes provocados por variações de temperatura, desse modo não destruí a aderência, tornando possível o trabalho conjunto desses materiais (ALMEIDA, 2002).

3.1.1 Resistência a compressão do concreto em elevadas temperaturas

Quando o concreto é exposto a elevadas temperaturas ele possui uma redução na sua resistência à compressão. Que pode ser obtida através da Equação 6 (ABNT NBR 15200:2012).

$$f_{c,\theta} = k_{c,\theta} f_{ck} \quad (6)$$

Onde:

$f_{c,\theta}$ É a resistência característica à compressão do concreto em situação normal;

$k_{c,\theta}$ É o fator de redução da resistência do concreto na temperatura, conforme na tabela;

f_{ck} É a resistência característica do concreto.

Tabela 02 e 03 concede os valores para relação entre a resistência à compressão do concreto que ele é submetido a diferentes temperaturas ($f_{c,\theta}$) e a resistência característica à compressão com concreto em situação em temperatura ambiente (f_{ck}). Temos os valores apresentados quando o é concreto preparado principalmente com agregados silicosos e de concreto composto por agregados à base de calcário (TABELA 2).

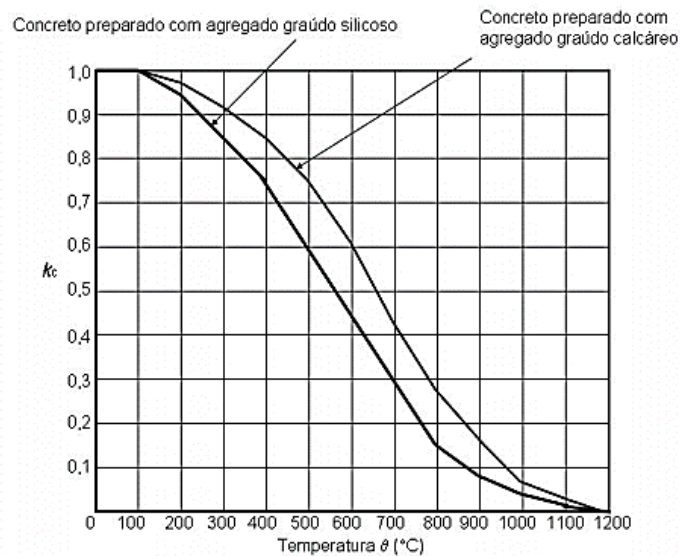
Tabela 2- Valores da relação $k_{c,\theta} = f_{c,\theta} / f_{ck}$ para concretos de massa específica normal (2 000 kg/m³ a 2 800 kg/m³) preparados com agregados predominantemente silicosos e calcários.

Temperatura do Concreto °C	Agregados Silicosos $k_{c,\theta} = f_{c,\theta} / f_{ck}$	Agregados Calcários $k_{c,\theta} = f_{c,\theta} / f_{ck}$
20	1	1
100	1	1
200	0,95	0,97
300	0,85	0,91
400	0,75	0,85
500	0,6	0,74
600	0,45	0,6
700	0,3	0,43
800	0,15	0,27
900	0,08	0,15
1000	0,04	0,06
1100	0,01	0,02
1200	0	0

Fonte: ABNT NBR 15200:2012 e Eurocode 2 (CEN,2004) (adaptada)

Sendo apresentado na Figura 9 de acordo com a ABNT NBR 15200:2004 o diferencial no fator da resistência dos concretos silicosos e calcários.

Figura 9 – Fator de redução da resistência dos concretos silicosos e calcário em função da temperatura



Fonte: ABNT NBR 15200:2004

3.1.2 Módulo de elasticidade do concreto em altas temperaturas

Segundo ABNR NBR 15200:2004 o módulo de elasticidade do concreto diminui quando á o aumento da temperatura, conforme mostrado na figura 10, pode-se ser obtido pela seguinte equação:

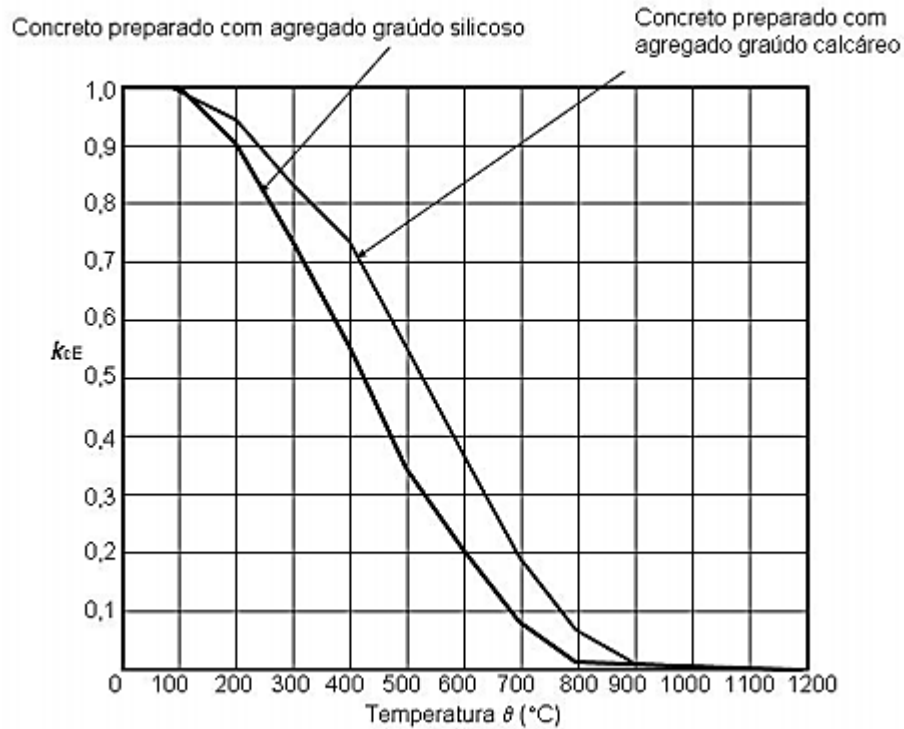
$$E_{ci,\theta} = k_{cE,\theta} E_{ci} \quad (7)$$

Onde:

E_{ci} É o módulo de elasticidade inicial do concreto em situação normal. Essa mesma expressão vale para o módulo secante E_{ci} ;

$k_{cE,\theta}$ é o fator de redução do módulo de elasticidade do concreto na temperatura θ .

Figura 10 – Fator de redução do modulo de elasticidade do concreto em função da temperatura dos materiais silicoso e calcáreo



Fonte: ABNT NBR 15200:2004

3.2 AÇO

3.2.1 Resistência ao escoamento do aço de armadura passiva

A ABNT NBR 15200:2012 a resistência ao escoamento do aço da armadura passiva diminui com o aumento da temperatura, conforme apresentado na Figura 11, podendo ser obtida pela seguinte equação:

$$f_{yk,\theta} = k_{s,\theta} f_{yk} \quad (8)$$

Onde:

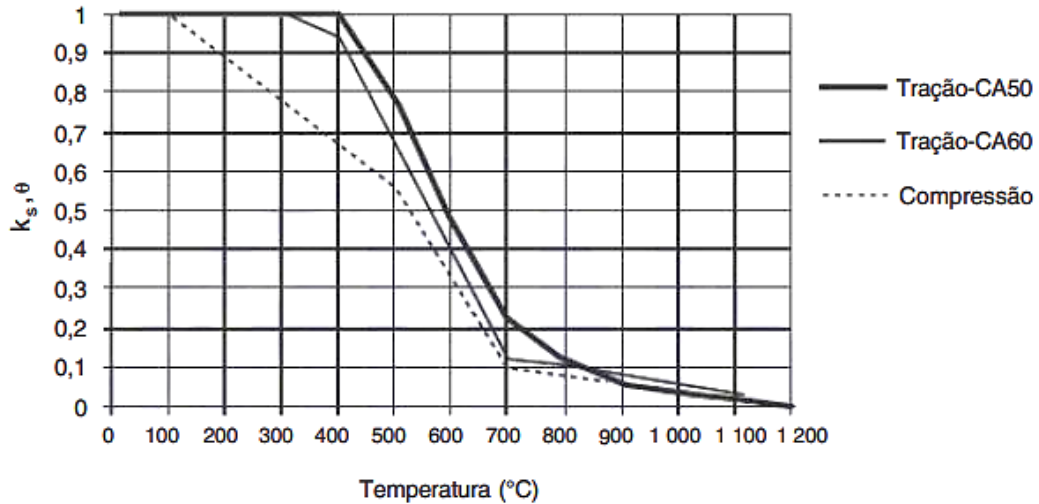
f_{yk} é a resistência característica do aço de armadura passiva em situação normal;

$k_{s,\theta}$ é o fator de redução da resistência do aço na temperatura θ , conforme a tabela 3

curva cheia: $k_{s,\theta}$ aplicável quando $\epsilon_{yi} \geq 2\%$, usualmente armaduras tracionadas de vigas, lajes ou tirantes;

curva tracejada: $k_{s,\theta}$ aplicável quando $\epsilon_{yi} < 2\%$, usualmente armaduras comprimidas de pilares, vigas ou lajes.

Figura 11 - Fator de redução da resistência do aço de armadura passiva de acordo com a temperatura



Fonte: ABNT NBR 15200:2012

3.2.2 Módulo de elasticidade do aço de armadura passiva

O módulo de elasticidade do aço da armadura passiva decresce com o aumento da temperatura, conforme mostrado na Figura 3, podendo ser obtido pela equação (ABNT NBR 15200:2012):

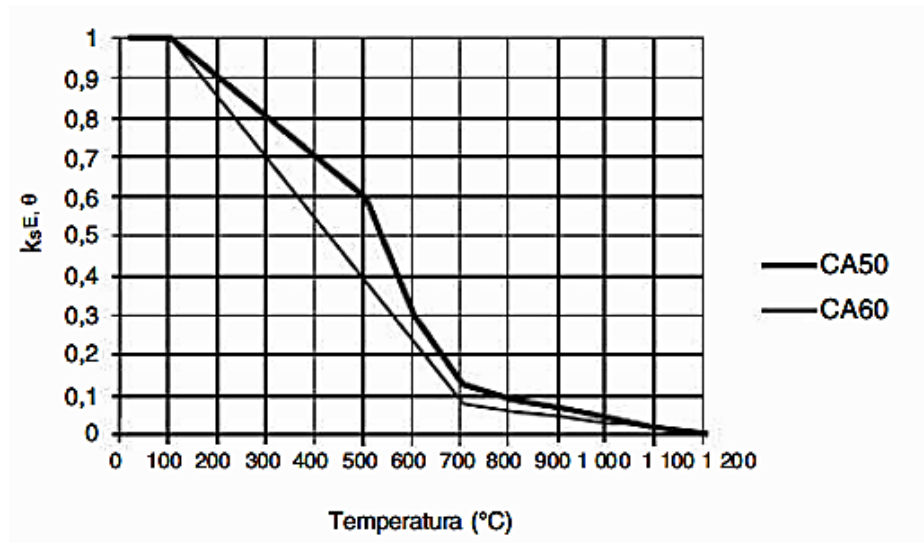
$$E_{S,\theta} = k_{sE,\theta} E_S \quad (9)$$

Onde o fator de redução do módulo de elasticidade do aço na temperatura θ , conforme tabela 03.:

$E_{S,\theta}$ é o módulo de elasticidade do aço de armadura passiva em situação normal;

$k_{sE,\theta}$ é coeficiente de redução do módulo de elasticidade do aço em função da temperatura θ .

Figura 12 – Fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura passiva de acordo com a temperatura



Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Tabela 3 fornece:

- relação entre a resistência ao escoamento do aço da armadura passiva submetido a diferentes temperaturas ($f_{yK,\theta}$) e a resistência característica ao escoamento à temperatura ambiente (f_{yk});
- a relação entre o módulo de elasticidade do aço submetido a diferentes temperaturas ($E_{s,\theta}$) e o módulo de elasticidade à temperatura ambiente (E_s).

Tabela 3-Valores das relações $k_{s,\theta} = f_{yk,\theta} / f_{yk}$ e $k_{Es,\theta} = E_{s,\theta} / E_s$ para aços de armadura passiva

Temperatura do aço °C	$k_{s,\theta} = f_{yk,\theta} / f_{yk}$			$k_{Es,\theta} = E_{s,\theta} / E_s$	
	Tração		Compressão CA-50 ou CA-60	CA-50	CA-60
	CA-50	CA-60			
1	2	3	4	5	6
20	1	1	1	1	1
100	1	1	1	1	1
200	1	1	0,89	0,9	0,87
300	1	1	0,78	0,8	0,72
400	1	0,94	0,67	0,7	0,56
500	0,78	0,67	0,56	0,6	0,4
600	0,47	0,4	0,33	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,1	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,08	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,06	0,07	0,05
1000	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03
1100	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
1200	0	0	0	0	0

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

3.2.3 Resistência ao escoamento do aço de armadura ativa

A resistência ao escoamento do aço da armadura ativa decresce com o aumento da temperatura, podendo ser obtida pela seguinte equação (ABNT NBR 15200:2012):

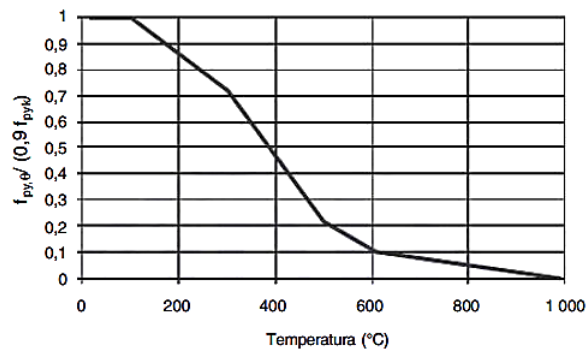
$$f_{pyk,\theta} = k_{p,\theta} f_{pyk} \quad (10)$$

Onde:

f_{pyk} é a resistência característica do aço de armadura ativa em situação normal;

$k_{p,\theta}$ é o fator de redução da resistência do aço de armadura ativa na temperatura θ .

Figura 13 – Fator de redução da resistência do aço da armadura ativa formada por fios ou cordoalhas de acordo com a temperatura



Fonte: ABNT NBR 15200:2012

3.2.4 Módulo de elasticidade de armadura ativa em altas temperaturas

O módulo de elasticidade do aço da armadura ativa decresce com o aumento da temperatura podendo ser obtido pela seguinte equação:

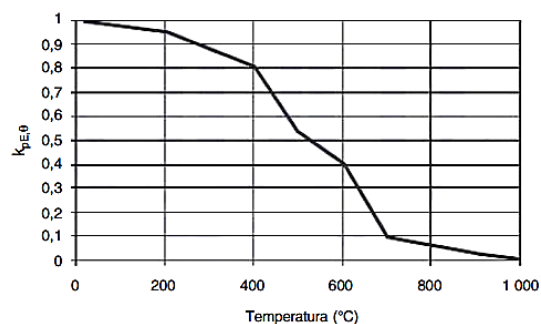
$$E_{p,\theta} = k_{Ep,\theta} E_p \quad (11)$$

Onde:

E_p é o módulo de elasticidade do aço de armadura ativa à temperatura ambiente;

$k_{Ep,\theta}$ é o fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura ativa na temperatura θ .

Figura 14 - Fator de redução do módulo de elasticidade do aço da armadura ativa em função da temperatura



Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Para o aço da armadura ativa formada por fios e cordoalhas a elevadas temperaturas, a Tabela 4 fornece:

- a relação entre a resistência ao escoamento do aço da armadura ativa submetido a diferentes temperaturas ($f_{pyk,\theta}$) e 90 % da resistência característica ao escoamento à temperatura ambiente (f_{pyk});
- a relação entre o módulo de elasticidade do aço submetido a diferentes temperaturas ($E_{p,\theta}$) e o módulo de elasticidade à temperatura ambiente (E_p).

Para valores intermediários de temperatura pode ser feita interpolação linear.

Tabela 4-Valores da relação $f_{pyk,\theta}/(f_{pyk,\theta}/0,9f_{pyk})$ e $E_{p,\theta}/E_p$ para fios e cordoalhas da armadura ativa

Temperatura do aço °C	$f_{pyk,\theta}/0,9f_{pyk}$	$E_{p,\theta}/E_p$
	Fios e cordoalhas	Fios e cordoalhas
0	0	0
20	1	1
100	0,99	0,98
200	0,87	0,95
300	0,72	0,88
400	0,46	0,81
500	0,22	0,54
600	0,1	0,41
700	0,08	0,1
800	0,05	0,07
900	0,03	0,03
1000	0	0
1100	0	0
1200	0	0

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

3.3 RESFRIAMENTO E PÓS INCÊNDIO

O concreto, ao ser resfriado, geralmente, não recupera a resistência inicial, podendo perder até 10% dessa resistência (GUO; SHI, 2011 apud SILVA, 2012).

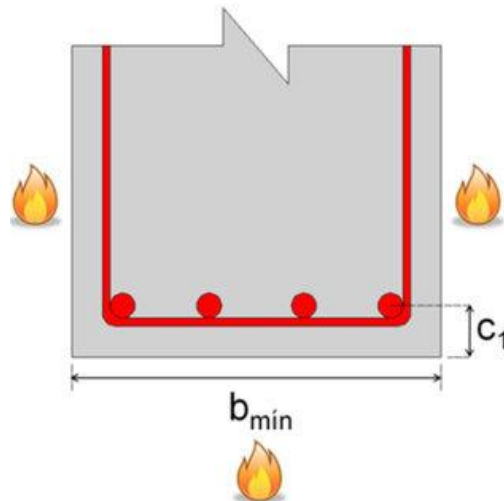
Dimensionar a estrutura considerando a situação de incêndio não impede apresentações de deformações e fissuras exageradas. A NBR 15200 (ABNT, 2012) apresenta que classificações, ruínas e até colapso locais são aceitos. Em função desse tipo de patologias, a estrutura só pode ser reutilizada após o incêndio se for vistoriada e sua recuperação for projetada e executada.

4 DIMENSIONAMENTO DE VIGAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012) deve-se considerar apenas a armadura longitudinal no método tabular, tendo em vista que ensaios apontam que as peças de concreto em situação de incêndio rompem normalmente por flexão ou flexo-compressão.

"A temperatura na seção transversal de uma barra, portanto, depende da distância do CG (centro geométrico) à face exposta ao fogo e das dimensões da viga. Como a temperatura do concreto varia com o tempo em função da curva de aquecimento, pode-se associar a temperatura de 500 °C ao TRRF extraído de normas ou códigos." (SILVA,2016)

Figura 15 - -- Dimensões mínimas de largura (b_{\min}) e distância entre o eixo da armadura longitudinal inferior e a face do concreto exposta ao fogo (c_1)



Fonte: Albuquerque&Silva, 2013.

4.1 VIGAS BIAPOIADAS

“A temperatura na seção transversal de uma barra, portanto, depende da distância do CG (centro geométrico) à face exposta ao fogo e das dimensões da viga. Como a temperatura do concreto varia com o tempo em função da curva de aquecimento, pode-se associar a temperatura de 500 °C ao TRRF extraído de normas ou códigos.” (SILVA,2016)

Esse é o método tabular encontrado na NBR 15200 (ABNT,2012) onde fornecem na Tabela 5 as dimensões mínimas b_{\min} e $b_{w\min}$ das vigas e o valor de c_1 das armaduras inferiores, em função dos TRRF.

Tabela 5-Dimensões mínimas para vigas biapoiadas

TRRF mín	Combinação de $b_{mín}/c_1$				$b_{wmín}$ mm
	mm/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

OBS.: Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

4.2 VIGAS CONTÍNUAS E REDISTRIBUIÇÃO DE MOMENTOS

Em incêndio, como o calor age na região inferior das vigas, o momento positivo se torna mais forte, enquanto, geralmente, há reserva de segurança para o negativo. Nesse caso, também pode ocorrer a redistribuição de momentos fletores operantes, no entanto, ao revés da situação normal, ou seja, do positivo para o negativo (SILVA, 2016).

Quando os elementos forem protendidos, os valores de c_1 para a armaduras ativas são determinadas acrescentando-se 10mm para barras e 15mm para fios e cordoalhas.

Tabela 6-Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos

TRRF mín	Combinação de $b_{mín}/c_1$				$b_{wmín}$ mm
	mm/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

Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Os valores indicados na Tabela 7 somente podem ser utilizados se o coeficiente de redistribuição de momentos à temperatura ambiente respeitar os limites estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014, 14.6.4.3. Caso contrário, deve ser empregada a Tabela 4 (vigas biapoiadas) ou deve ser elaborada análise mais precisa. (ABNT NBR 15200:2012)

Para vigas contínuas com TRRF ≥ 90 min, a área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio e $0,3 l_{ef}$ não pode ser menor do que:

$$A_{s,calc}(x) = A_{s,calc}(0) \times \left(1 - \frac{2,5x}{l_{ef}}\right) \quad (12)$$

Onde:

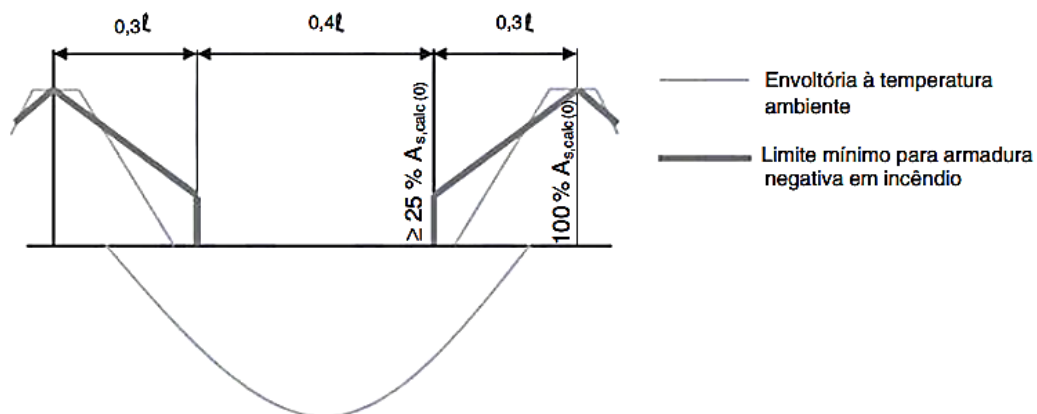
“ x ” é a distância entre a linha de centro do apoio e a seção considerada;

$A_{s,calc}(x)$ é a mínima área de armaduras negativas na seção localizada na distância “ x ”;

$A_{s,calc}(0)$ é a área de armaduras negativas calculada conforme NBR 6118 (ABNT,2014);

l_{ef} é o comprimento efetivo do vão da viga determinado conforme NBR 6118 (ABNT,2014).

Figura 16 – Envoltória de momentos fletores



Fonte: ABNT NBR 15200:2012

4.3 REDUÇÃO DE c_1

As dimensões de c_1 foram encontradas com base nas equações a seguir.

$$\frac{S_{d,fi}}{S_d} = 0,7 \quad (13)$$

$$\frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} = 1 \quad (14)$$

Onde:

$A_{s,cal}$ e $A_{s,ef}$ = área de armadura calculada, conforme a NBR 6118 (ABNT,2014), e área realmente instalada.

$S_{d,fi}$ e S_d é os valores de cálculo dos esforços solicitantes em situação de incêndio e à temperatura ambiente.

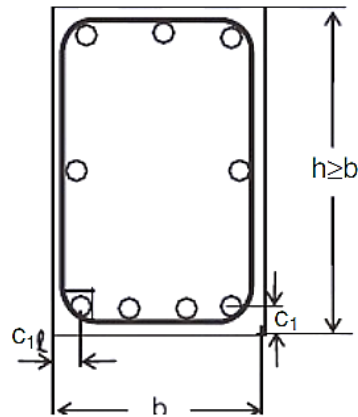
4.4 ARMADURAS DE CANTO

Existe uma concentração de temperatura juntos às bordas da face inferior das vigas. Por esse motivo quando houver apenas uma camada de armaduras e largura não superior ao b_{min} indicado nas tabelas 5 e 6, a ABNT NBR 15200:2012 sugere que a distância c_{1l} (Figura 17) no fundo das vigas deve ser de 10 mm maior do que o c_1 dado pelas tabelas apresentadas.

Com a intenção de evitar dois cobrimentos diferentes na mesma viga a ABNT NBR 15200:2012 permite-se o uso, como alternativa, caso se use $c_{1l} = c_1$, deve-se adotar:

- Para concreto armado, especificar barras de canto comum diâmetro imediatamente superior ao calculado, conforme a ABNT NBR 7480, ano calculado;
- Para o concreto protendido, considerar para efeito de dimensionamento uma força de protensão igual a 0,7 da indicada na obra.

Figura 17 – Distâncias c_1 e c_{1l}



Fonte: ABNT NBR 15200:2012

4.5 ARMADURAS EM VÁRIAS CAMADAS

Quando as barras da armadura forem colocados em camadas, a distância média à face do concreto (c_{1m}) deve respeitar o valor c_{1m} tabelado. O valor de c_{1m} deve sempre ser o menor entre os seguintes valores:

$$c_{1m} < \begin{cases} \frac{\sum c_{1vi} A_{si}}{\sum A_{si}} \\ \frac{\sum c_{1hi} A_{si}}{\sum A_{si}} \end{cases} \quad (13)$$

Onde:

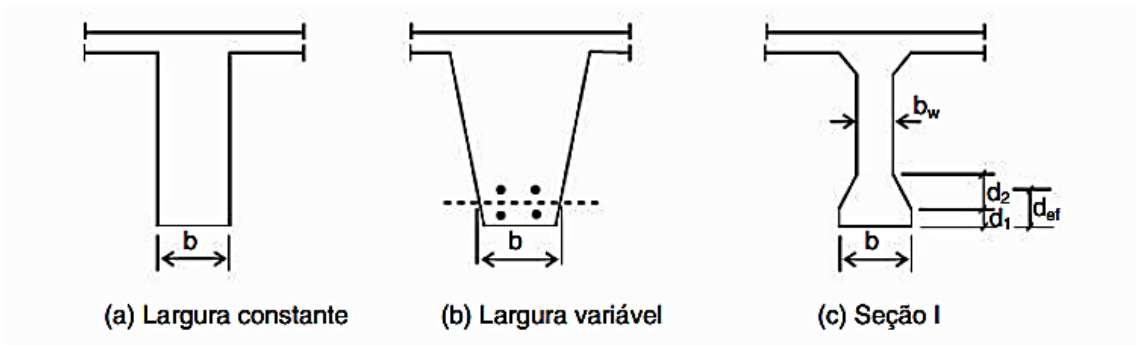
$\sum c_{1vi}$ é a distância da barra i , de área A_{si} , ao fundo da viga;

$\sum c_{1hi}$ é a distância da barra i , de área A_{si} , à face lateral mais próxima.

4.6 VIGAS COM LARGURAS VARIÁVEIS

“Para vigas de largura variável, b_{\min} refere-se ao mínimo valor de b medido ao nível do centro geométrico das armaduras, enquanto b_w é o menor valor de largura da alma, conforme Figura 18, deve-se atender aos valores mínimos das tabelas 5 e 6”.(ABNT NBR 15200:2012).

Figura 18 - Definição das dimensões para diferentes tipos de seção transversal de vigas



Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Na verificação das vigas com talão (Figura 18c), devem ser maiores do que b_{\min} tanto a largura b quanto a altura efetiva d_{ef} , está determinada da seguinte forma:

$$d_{ef} = d_1 + 0,5d_2 \quad (14)$$

No caso de $b \geq 1,4 b_w$ e $b \times d_{ef} < 2b_{\min}^2$, então c_1 deve ser acrescido de:

$$c_1 \left(1,85 - \frac{d_{ef}}{b_{\min}} \sqrt{\frac{b_w}{b}} \right) \geq c_1 \quad (15)$$

4.7 REVESTIMENTO

Para o cálculo das dimensões mínimas das vigas conforme as tabelas para vigas biapoiadas e vigas contínuas, a NBR 15200 permite a consideração do revestimento quando respeitadas as seguintes observações:

- Revestimentos aderentes de argamassa de cal e areia (aderência à tração de acordo com a NBR 13528 (ABNT,2010) maior ou igual a 0,2 MPa) têm 67% de eficiência referente ao concreto;
- Revestimentos de argamassa de cimento e areia aderentes (aderência à tração de acordo com a NBR 13528 maior ou igual a 0,2 MPa) têm 100% de eficiência referente ao concreto.

- Revestimentos protetores à base de gesso, vermiculita ou fibras com desempenho equivalente, podem ser empregados, desde que sua eficiência e aderência na situação de incêndio sejam demonstradas experimentalmente.

5 ESTUDO DE CASO

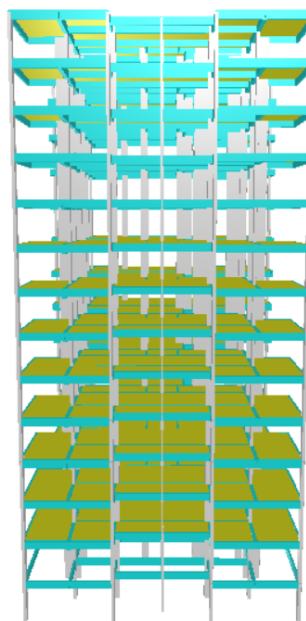
Nesse item será apresentado o método de dimensionamento de vigas de concreto em situação de incêndio. O objetivo é apresentar o comparativo das estruturas em situação normal e em situação de incêndio utilizando a NBR 12500 (ABNT,2012). Os elementos escolhido faz parte de um projeto arquitetônico de um edifício de 13 andares, cedido pelo Me. Agnaldo Antônio Moreira Teodoro da Silva.

5.1 APRESENTAÇÃO DO EXEMPLO

O projeto analisado é de um edifício de 13 andares (Térreo e 12 pavimentos tipo), contendo 4 apartamentos por andar. Foram escolhidas as vigas 04,07, 17 e 28. Nas figuras 19 a 25 são mostrados, respectivamente, uma vista 3D do projeto utilizado neste trabalho elaborada no programa Eberick[®] e os cortes das vigas utilizadas.

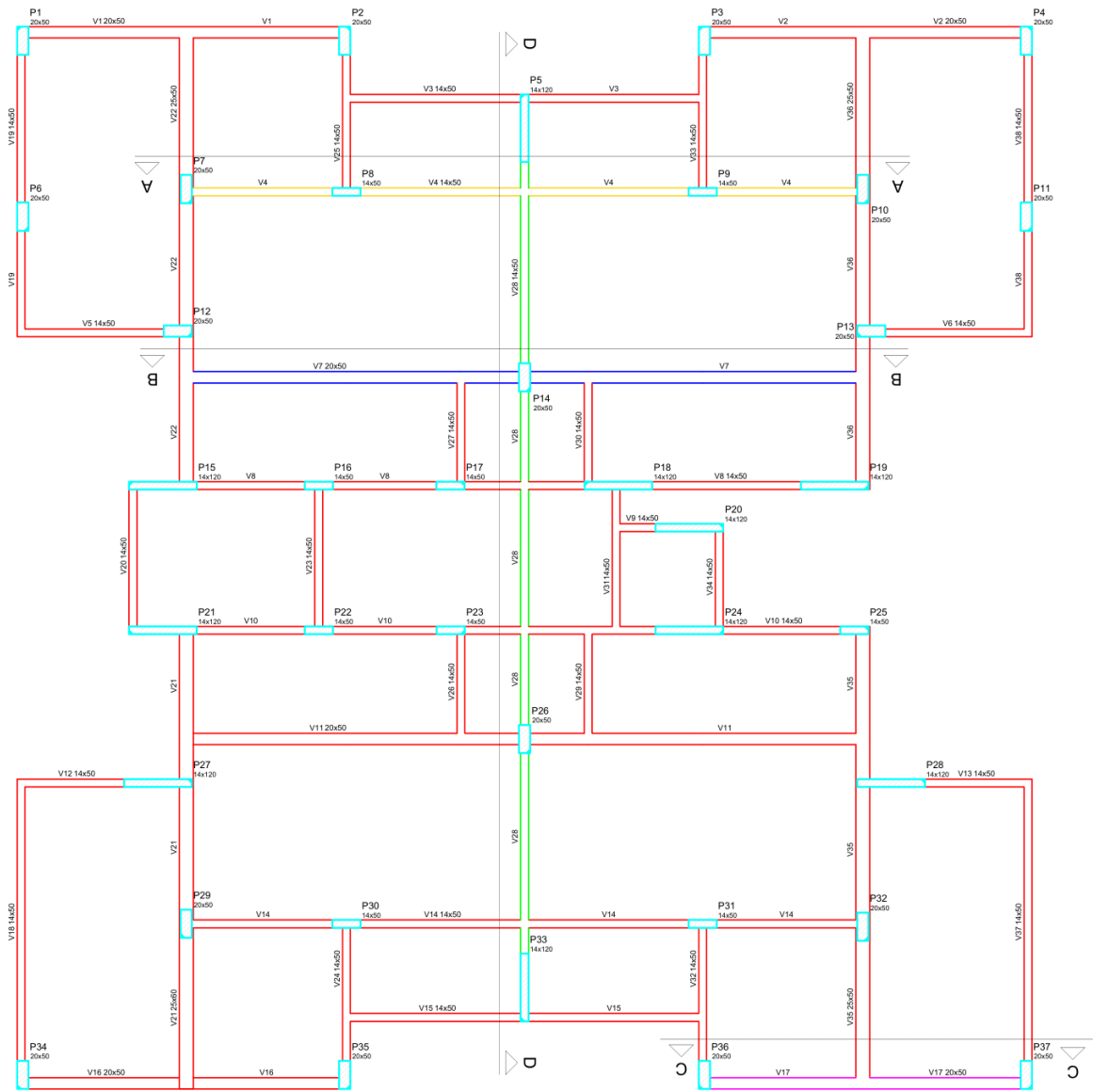
O dimensionamento foi feito com base na matéria de projeto de estruturas, sendo feito todo o pré-dimensionamento seguindo os passos contidos na NBR 6118 (ABNT, 2014), seguindo seu índice de agressividade e outros parâmetros. Após seguir esses passos, foi feito o lançamento no programa Eberick[®], e colocando todas as cargas que estão atuando sobre o edifício, sendo carga acidentais e carga permanente, prescritas na NBR 6120 (ABNT, 2000).

Figura 19 – Vista 3D no programa Eberick[®] do projeto estrutural



Fonte: Próprio autor obtido através do programa Eberick[®], 2019





Figura 20 – Planta de forma do pavimento Tipo 1



Forma do pavimento Tipo 1

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2019.

Figura 21 – Especificações das vigas utilizadas

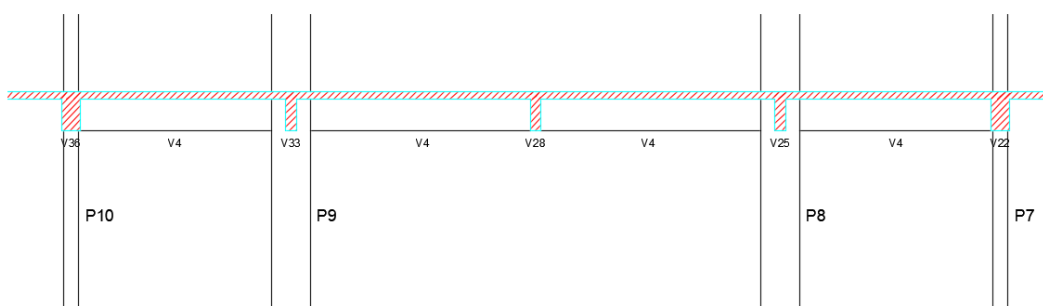
Vigas Utilizadas	
	Viga 4 - 14x50
	Viga 7 - 20x50
	Viga 17 - 20x50
	Viga 28 - 14x50

Fonte: Próprio autor, 2019.

De acordo com as tabelas de classificação das estruturas e áreas de risco quando a sua ocupação contida na NT 01 (GÓIAS, 2014) tabela fornecida pelo Corpo de Bombeiros Militar de Goiás(CBMGO), classifica a estrutura como A-2, pois é um edifício é uma habitação multifamiliar.

Conforme a tabela de TRRF contido na NT- 08 (GOIÁS, 2014), por se tratar de um edifício multifamiliar com 32,64 metros de altura o TRRF é 120 minutos.

Na figura 22 é demonstrado o corte A-A da viga 4 e na figura 23 mostra o detalhamento e dimensões obtidos através do programa Eberick® em temperatura ambiente.

Figura 22 – Corte A-A da viga V4

Corte A-A (Tipo 1)

Fonte: próprio autor obtido através do programa Eberick®, 2019

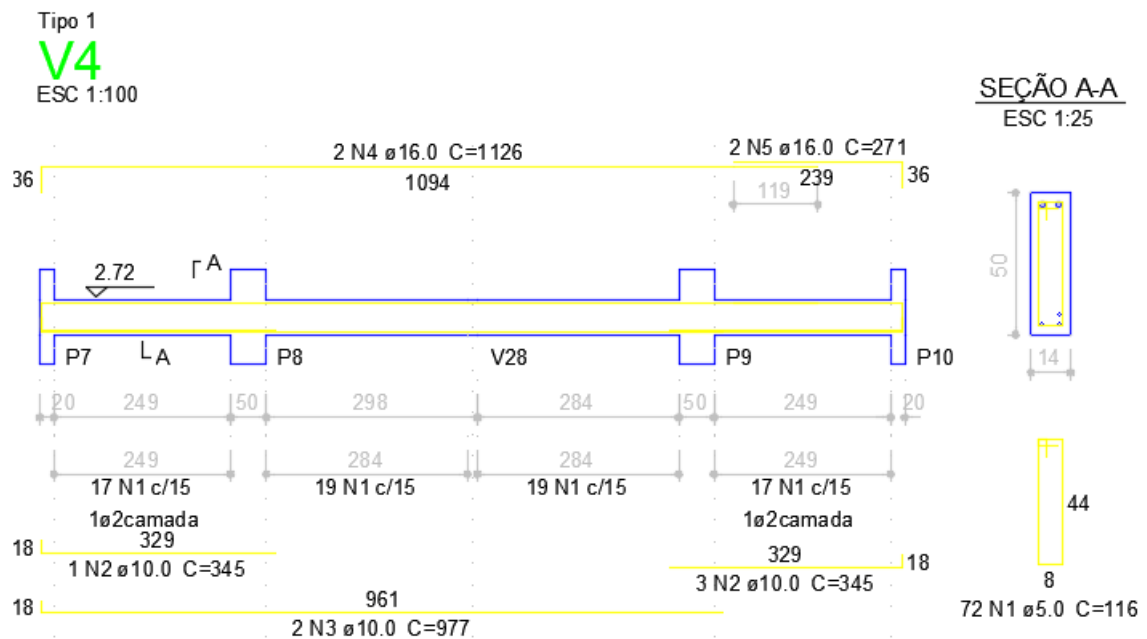
Na tabela 7 é apresentado os dados da viga 4 para o cálculo e verificação da viga em situação de incêndio usando o Método Tabular.

Tabela 7 – Dados da viga 4 para verificação de situação de incêndio

Viga 04	
Altura (h)	50 cm
Largura (b)	14 cm
Cobrimento (c)	3 cm
Vão	11,92 m
Vão efetivo (l_{ef})	6,32 m

Fonte: Próprio autor, 2019

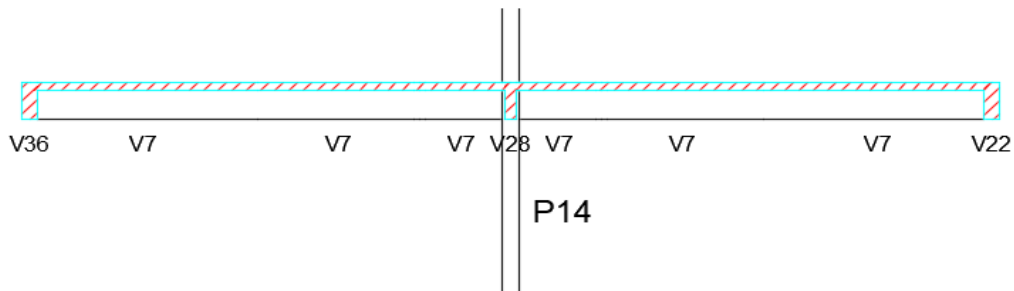
Figura 23 – Detalhamento da viga 4 e dimensões (em cm) em temperatura ambiente



Fonte: Próprio autor obtido através do programa eberick®, 2019

Na figura 24 é demonstrado o corte B-B da viga 7 e na figura 25 mostra o detalhamento e dimensões obtidos através do programa Eberick® em temperatura ambiente.

Figura 24 - Corte B-B da viga V7



Corte B-B (Tipo 1)

Fonte: Próprio autor obtido através do programa Eberick®, 2019

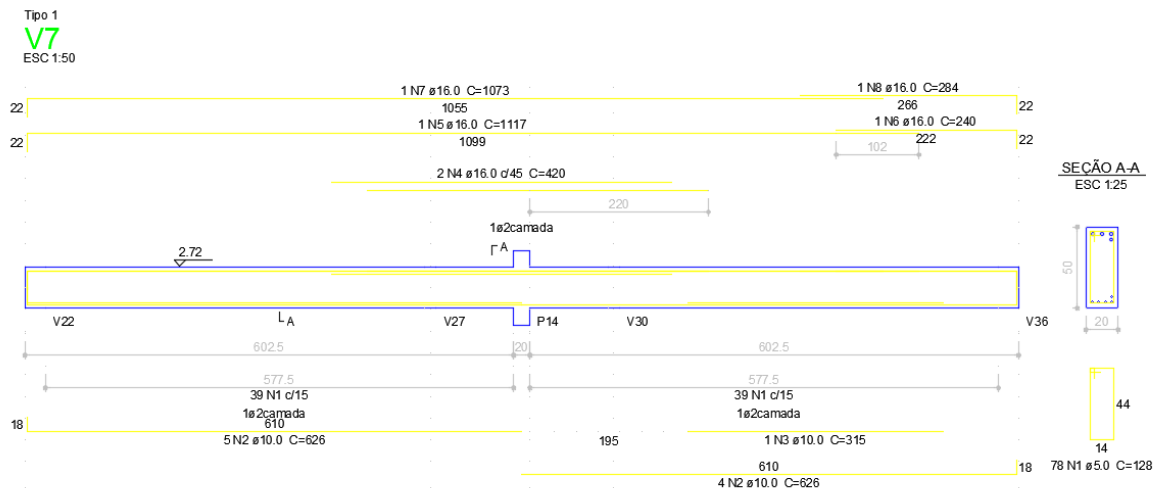
Na tabela 8 é apresentado os dados da viga 7 para o cálculo e verificação da viga em situação de incêndio usando o Método Tabular.

Tabela 8 – Dados da viga 07 para verificação de situação de incêndio

Viga 07	
Altura (h)	50 cm
Largura (b)	20 cm
Cobrimento (c)	3 cm
Vão	11,92 m
Vão efetivo (l_{ef})	6,12 m

Fonte: Próprio autor obtido através do programa Eberick®, 2019

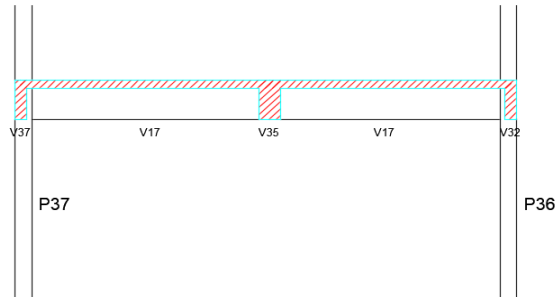
Figura 25 - Detalhamento da viga 7 e dimensões (em cm) em temperatura ambiente



Fonte: Próprio autor obtido através do programa Eberick®, 2019.

Na figura 26 é demonstrado o corte C-C da viga 17 e na figura 27 mostra o detalhamento e dimensões obtidos através do programa Eberick em temperatura ambiente.

Figura 26 - Corte C-C da viga V17



Corte C-C (Tipo 1)

Fonte: Próprio autor obtido através do programa eberick, 2019

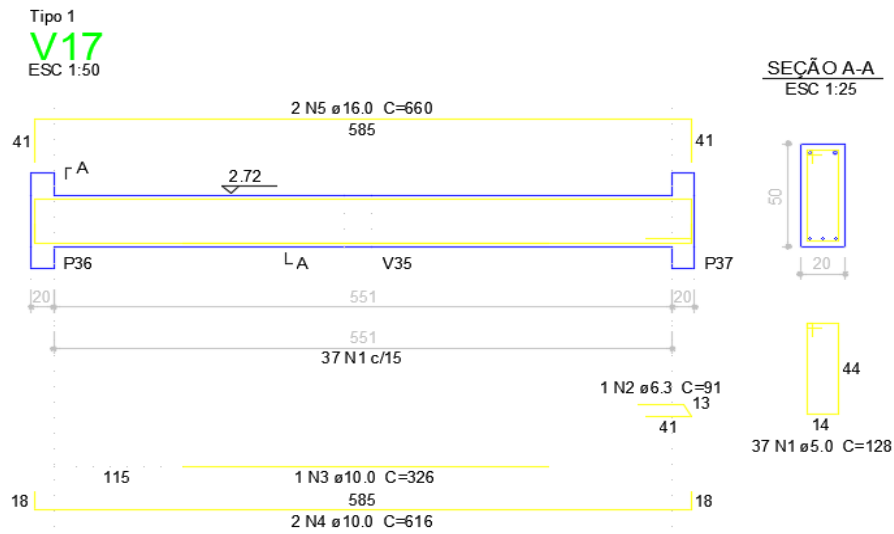
Na tabela 9 é apresentado os dados da viga 17 para o cálculo e verificação da viga em situação de incêndio usando o Método Tabular.

Tabela 9 - Dados da viga 17 para verificação de situação de incêndio

Viga 17	
Altura (h)	50 cm
Largura (b)	20 cm
Cobrimento (c)	3 cm
Vão	5,71 m
Vão efetivo (l_{ef})	5,71 m

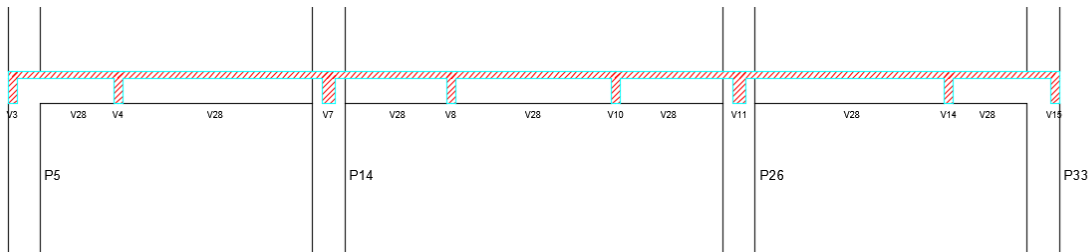
Fonte: Próprio autor, 2019.

Figura 27 - Detalhamento da viga 17 e dimensões (em cm) em temperatura ambiente



Na figura 28 é demonstrado o corte D-D da viga 28 e na figura 29 mostra o detalhamento e dimensões obtidos através do programa Eberick em temperatura ambiente.

Figura 28 – Corte D-D da viga 28



Corte D-D (Tipo 1)

Fonte: Próprio autor obtido através do programa Eberick, 2019.

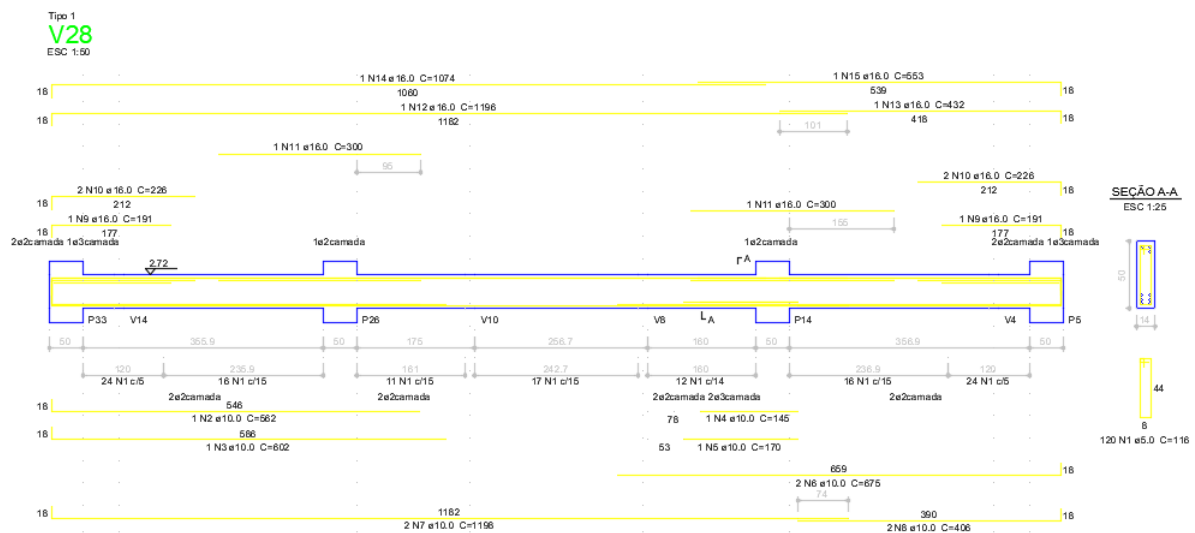
Na tabela 10 é apresentado os dados da viga 28 para o cálculo e verificação da viga em situação de incêndio usando o Método Tabular.

Tabela 10 – Dados da viga 28 para verificação em situação de incêndio

Viga 28	
Altura (h)	50 cm
Largura (b)	14 cm
Cobrimento (c)	3 cm
Vão	15,64 m
Vão efetivo (l_{ef})	6,41 m

Fonte: Próprio autor através do programa Eberick, 2019

Figura 29 - Detalhamento da viga 28 e dimensões (em cm) em temperatura ambiente



Fonte: Próprio autor através do programa Eberick, 2019

5.2 VERIFICAÇÃO PELA NBR 15200(ABNT,2012)

5.2.1 Método Tabular

O Método Tabular de verificação foi descrito no item acima 3.5

- Viga 04

Os dados fundamentais para a verificação da viga 04 estão na Tabela 7, inicialmente são essenciais o cálculo da distância do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga.

Para a distância vertical tem-se:

$$c_{1v} = \frac{2 \cdot (0,04) + 0,04}{3} = 0,04 \text{ m} = 40 \text{ mm} \quad (16)$$

Para distância horizontal tem-se:

$$c_{1h} = \frac{2 \cdot (0,04) + 0,07}{3} = 0,05 \text{ m} = 50 \text{ mm} \quad (17)$$

Então, o valor de c_1 é o menor valor entre c_v e c_h , logo $c_1=40\text{mm}$

Pela verificação pelo método tabular com base na Tabela 6 para vigas contínuas com o TRRF de 120 minutos tem-se:

$$\frac{b_{\min}}{c_1} = \frac{190}{45}$$

Para vigas contínuas com TRRF ≥ 90 min, a área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio e $0,3 l_{ef}$ não pode ser menor do que:

$$A_{s,calc}(x) = 4,00 \cdot \left(1 - \frac{2,5 \cdot 44}{632}\right) = 3,30 \text{ cm}^2 \quad (18)$$

Sendo assim o valor resultante da área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio foi igual a $4,00 \text{ cm}^2$.

Como a distância do centro da armadura à face exposta ao fogo da viga 4 são menores do que os fornecidos pela Tabela 6, pode-se concluir que pelo método tabular essa viga não está segura em relação à situação de incêndio, pois, o seu $b_{\min}/c_1 = 140/40$.

- Viga 07

Os dados fundamentais para a verificação da viga 07 estão na Tabela 8, inicialmente são essenciais o cálculo da distância do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga.

Para a distância vertical tem-se:

$$c_{1v} = \frac{4 \cdot (0,04) + 0,07}{5} = 0,046 \text{ m} = 46 \text{ mm} \quad (19)$$

Para a distância horizontal tem-se:

$$c_{1h} = \frac{3 \cdot (0,04) + 2 \cdot (0,08)}{5} = 0,056 \text{ m} = 56 \text{ mm} \quad (20)$$

Então, o valor de c_1 é o menor valor entre c_v e c_h , logo $c_1=46\text{mm}$

Pela verificação pelo método tabular com base na Tabela 6 para vigas contínuas com o TRRF de 120 minutos tem-se:

$$\frac{b_{\text{mín}}}{c_1} = \frac{190}{45} \quad (21)$$

Para vigas contínuas com TRRF ≥ 90 min, a área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio não pode ser menor do que:

$$A_{s,calc}(x) = 8,00 \cdot \left(1 - \frac{2,5 \cdot 44}{612,5}\right) = 6,56 \text{ cm}^2 \quad (22)$$

Sendo assim o valor resultante da área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio foi igual a $8,00 \text{ cm}^2$.

Como a distância do centro da armadura à face exposta ao fogo da viga 4 são maiores do que os fornecidos pela Tabela 6, pode-se concluir que pelo método tabular essa viga está segura em relação à situação de incêndio, pois, o seu $b_{\text{mín}}/c_1 = 200/46$.

- Viga 17

Os dados fundamentais para a verificação da viga 17 estão na Tabela 9, inicialmente são essenciais o cálculo da distância do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga.

Para a distância vertical tem-se:

$$c_{1v} = \frac{2 \cdot (0,04) + 0,1}{3} = 0,06 \text{ m} = 60 \text{ mm} \quad (23)$$

Para a distância horizontal tem-se:

$$c_{1h} = \frac{3 \cdot (0,04)}{3} = 0,04 \text{ m} = 40 \text{ mm} \quad (24)$$

Então, o valor de c_1 é o menor valor entre c_v e c_h , logo $c_1=40\text{mm}$

Pela verificação pelo método tabular com base na Tabela 5 para vigas biapoiadas com o TRRF de 120 minutos tem-se:

$$\frac{b_{min}}{c_1} = \frac{190}{68} \quad (25)$$

Como a distância do centro da armadura à face exposta ao fogo da viga 17 são menores do que os fornecidos pela Tabela 5, podem-se concluir que pelo método tabular essa viga não está segura em relação à situação de incêndio, pois, o seu $b_{min}/c_1 = 200/40$.

- Viga 28

Os dados fundamentais para a verificação da viga 28 estão na Tabela 10, inicialmente são essenciais o cálculo da distância do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga.

Para a distância vertical tem-se:

$$c_{1v} = \frac{2 \cdot (0,04) + 2 \cdot (0,07) + 2 \cdot (0,1)}{6} = 0,07 \text{ m} = 70\text{mm} \quad (24)$$

Para a distância horizontal tem-se:

$$c_{1h} = \frac{6 \cdot (0,04)}{6} = 0,04 \text{ m} = 40\text{mm} \quad (25)$$

Então, o valor de c_1 é o menor valor entre c_v e c_h , logo $c_1=40\text{mm}$

Pela verificação pelo método tabular com base na Tabela 6 para vigas contínuas com o TRRF de 120 minutos tem-se:

$$\frac{b_{min}}{c_1} = \frac{190}{45} \quad (26)$$

Para vigas contínuas com $\text{TRRF} \geq 90 \text{ min}$, a área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio não pode ser menor do que:

$$A_{s,calc}(x) = 6,00 \left(1 - \frac{2,5 \cdot 44}{641} \right) = 4,97 \text{ cm}^2 \quad (27)$$

Sendo assim o valor resultante da área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio foi igual a $6,00 \text{ cm}^2$.

Como a distância do centro da armadura à face exposta ao fogo da viga 28 são menores do que os fornecidos pela Tabela 6, pode-se concluir que pelo método tabular essa viga não está segura em relação à situação de incêndio, pois, o seu $b_{min}/c_1 = 140/40$.

5.3 RESULTADOS

Diante da análise e os cálculos obtidos pode-se observar que alguns resultados não foram satisfatórios de acordo com o método tabular.

A viga 04 teve um resultado onde não atendeu todas as observações prescritas não estando segura em relação ao incêndio, pois o seu $b_{mín}$ e a distância do centro da armadura à face exposta ao fogo são menores do que os fornecidos pela Tabela 6. Para a viga estar segura ele deverá passar por algumas modificações, sendo elas o aumento do seu $b_{mín}$ para 19 cm e o aumento do seu cobrimento para 40 mm

A viga 07 teve um resultado onde atendeu todas as observações prescritas estando segura em relação ao incêndio, pois o seu $b_{mín}$ e a distância do centro da armadura à face exposta ao fogo são maiores do que os fornecidos pela Tabela 6.

A viga 17 teve um resultado onde não atendeu todas as observações prescritas não estando segura em relação ao incêndio, pois o seu $b_{mín}$ e a distância do centro da armadura à face exposta ao fogo da viga 17 são menores do que os fornecidos pela Tabela 5, Para a viga estar segura ele deverá passar por uma modificação, sendo ela o aumento do seu cobrimento para 60 mm

A viga 28 teve um resultado onde não atendeu todas as observações prescritas não estando segura em relação ao incêndio, pois o seu $b_{mín}$ e a distância do centro da armadura à face exposta ao fogo são menores do que os fornecidos pela Tabela 6, Para a viga estar segura ele deverá passar por algumas modificações, sendo ela o aumento do seu $b_{mín}$ para 19 mm e o seu cobrimento para 40 mm.

Com a análise dessas vigas pode-se perceber que as vigas biapoiadas tiveram uma solicitação maior do que as vigas contínuas em relação ao cobrimento.

Os resultados obtidos demonstra a importância da verificação, pois mesmo utilizando softwares usuais para o dimensionamento seguindo a NBR 6118 (ABNT, 2014) nem sempre atente as normas prescritas na NBR 15200 (ABNT, 2012) de verificação.

Tabela 11 - Modificações necessárias para atender os requisitos

	Dimensões sem considerar o incêndio no dimensionamento		Modificações necessárias para a estrutura estar segura em relação ao incêndio	
	Largura ($b_{mín}$)	Cobrimento	Largura ($b_{mín}$)	Cobrimento
Viga 4	140 mm	30 mm	190 mm	40 mm
Viga 17	200 mm	30 mm	200 mm	60 mm
Viga 28	140 mm	30 mm	190 mm	40 mm

Fonte: Próprio autor, 2019.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil após tragédias de grande impacto ocorridas por situações de incêndio deu-se início ao processo de reformulação de medidas de segurança contra incêndios, tendo em vista o objetivo de amenizar o risco a vida e redução de perda patrimonial.

Desde então a regulamentação vem sempre se modernizando. A partir dessas tragédias os decretos e as normas regidas pela ABNT vem se avançando gradualmente. A NBR 15200(ABNT, 2012) detalha apenas o método tabular para o dimensionamento de vigas, onde apenas é necessário que as larguras de b_{min} e a distância do centro da armadura à face exposta ao fogo atendam às dimensões mínimas prescritas nas tabelas. Essas dimensões são todas em função do Tempo Requerido de Resistência ao fogo(TRRF) que é obtido através do tipo de edificação, ocupação e altura do edifício. Ele é fornecido pelas Instruções Técnicas dos Corpos de Bombeiro de cada estado ou, se não estiver no estado requerido, ele é fornecido pela NBR 14432 (ABNT, 2000).

Para essa verificação deu-se início ao processo de dimensionamento de um edifício de 13 andares seguindo todas as recomendações da NBR 6118(ABNT, 2007) utilizando o software Eberick[®]. Após o dimensionamento algumas vigas atenderam a verificação de incêndio no que diz respeito ao TRRF. Diante da análise dos resultados obtidos observou-se que alguns dimensionamentos não foram satisfatórios de acordo com o método tabular. Portanto houve a necessidade de mudanças, tanto nas larguras, quanto no cobrimento das vigas, mudanças que apresentam impactos nos projetos, portanto, devido ao aumento do cobrimento e da largura das vigas, a estrutura usará mais concreto, onde terá impacto no peso próprio e no custo se comparada a uma estrutura onde não foi considerada o incêndio nas vigas projetadas.

Portanto, após as análises descritas, constatou-se a importância dos engenheiros seguirem as normas sobre a situação de incêndio nas estruturas, pois os parâmetros de segurança estrutural em situação de incêndio já avançaram significativamente em relação às décadas passadas, porém ainda precisam de aprimoramento, entretanto percebe-se que com a utilização de métodos simples de cálculos existentes é possível obter um grande avanço nas questões relacionadas a prevenção de mortes e percas patrimoniais.

REFERÊNCIAS

ALBULQUERQUE&SILVA. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio por meio gráfico**. Revista IBRACON de estruturas e materiais. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações**. NBR 14432. Rio de Janeiro, 2000.

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 6118: **Projeto de estruturas de concreto: procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6120 **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

ALMEIDA, L. C. **Fundamentos do concreto armado** – Unicamp / Departamento de estruturas. 2002.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado** / José Milton de Araújo. - Rio Grande: Dunas, 2014. v.3, 4.ed.

BASTOS, PAULO S. DOS S. **Fundamentos do concreto armado**, 2006.

BORGES, A. N. **Curso prático de cálculo em concreto armado**. Rio de Janeiro, 2010, 252p.

CALDAS, R. B. **Análise numérica de estruturas de aço, concreto e mistas em situação de incêndio**. – UFMG/ Escola de engenharia, 2008.

COELHO, A. L. **Incêndios em edifícios**. Editora Orion, primeira edição – outubro de 2010.

KREITH, F.; BOHN, M. S.; **Princípios de Transferência de Calor**. 1977, Editora Edgard Blucher, São Paulo.

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

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio. Métodos tabulares apresentados em normas internacionais**. V Simpósio Epusp sobre estruturas de concreto. 2003.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio**, 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1992-1-2: **Eurocode 2: design of concrete structures – part 1.2: general rules – structural fire design**. Brusels: CEN, 2004.

FILHO, A. C. **Projetos de pilares de concreto armado – UFRGS/ Escola de engenharia** , 2014.

GIONGO, J. S. **Projeto estrutural de edifícios – São Paulo: USP/ Escola de engenharia São Carlos**, 2007.

GOIÁS. Secretaria de Segurança Pública. Copo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Instrução Técnica n.º 8: **Resistência ao fogo dos elementos de construção**. Goiás, 2014.

GOIÁS. Lei Estadual n.º 15802, de 11 de setembro de 2006. **Institui o Código Estadual de Segurança contra Incêndio e Pânico e da outras providências**. Diário Oficial do Estado de Goiás, Goiás, 2006.

SILVA, Valdir Pignatta e. **Estruturas de aço em situação de incêndio**. São Paulo: Zigurate, 2001.

SILVA, V. P. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**: conforme ABNT NBR 15200:2012. Ed. Blucher, 2016.

SMIRIGLIO, G da S. **Análise comparativa de projeto de um pavimento, feito em lajes maciças convencionais e em lajes lisas**– Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2014.

NADAL, C A, **Aula de tipos de vigas** – UFPR, 2015.