

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Helena Maria de Queiroz Gonzaga

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(hmaria0608@gmail.com)*

Eduardo Martins Toledo

*Professor Mestre, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(eduardomtoledo@gmail.com)*

Agnaldo Antônio Moreira Teodoro da Silva

*Professor Mestre, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(profagnaldoantonio@hotmail.com)*

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.

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 virtude 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 vem 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, temos a redução da perda patrimonial. Desse modo a ABNT NBR 15200:2012 tem o objetivo de estabelecer critérios de projetos de estrutura de concreto em situação de incêndio.

2 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 acrescentados de seu peso próprio, as quais são transmitidos às vigas, que se descarregam seus esforços aos pilares e esses às fundações (SMIRIGLIO, 2004).

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/m² 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.

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. 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.

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. 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.

3 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).

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: “flashover” e temperatura máxima (COSTA & SILVA, 2003).

As três fases são conhecidas por:

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.

3.1 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.

A curva “H” foi desenvolvida, por dedução, 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).

3.2 PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO

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 encontramos dois tipos de proteção:

Segundo a NBR 14432, 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 (ABNT, 2000).

Segundo a ABNT NBR 14432, 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 à 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 (ABNT, 2000).

3.3 TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO

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, estaqueidade e isolamento, onde aplicável.

O TRRF são fornecidos pelas Instruções Técnicas dos Corpos de Bombeiros 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).

3.4 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 (ABNT, 2012).

4 PROPRIEDADE DOS MATERIAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

4.1 CONCRETO ARMADO

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 NBR 6118 (ABNT, 2014) 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 mesmos. Os coeficientes de dilatação aproximadamente iguais implicam em deslocamentos semelhantes provocados por variações de temperatura, desse modo não destrói a aderência, tornando possível o trabalho conjunto desses materiais” (ALMEIDA, 2002).

A composição do aço e as características da mistura e da dosagem dos componentes do concreto concedem inúmeras combinações possíveis e, conseqüentemente, uma variabilidade das propriedades.

Em geral, os modelos matemáticos que representam as propriedades materiais (térmicas e mecânicas) em função da temperatura elevada são estabelecidas através de equações e curvas médias resultantes.

4.2 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 ABNT NBR 15200:2012 apresenta que plastificações, 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.

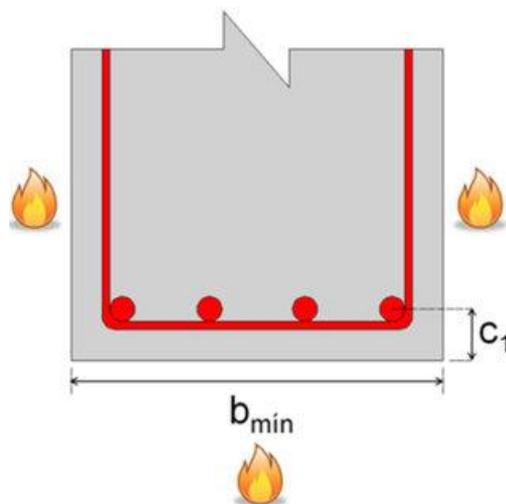
5 DIMENSIONAMENTO DE VIGAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO PELO MÉTODO TABULAR

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.

Essas informações apenas são válidas para estruturas de concreto com $f_{ck} \leq 50$ MPa e submetidas ao incêndio-padrão.

“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 1 - 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 & Silva2013.

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:

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

Onde o ΣC_{1vi} é a distância da barra i , de área A_{si} , ao fundo da viga e ΣC_{1hi} é a distância da barra i , de área A_{si} , à face lateral mais próxima.

5.1 VIGAS BIAPOIADAS

Para o dimensionamento de vigas biapoiadas basta atender as dimensões mínimas contidas na tabela a baixo em função ao TRRF:

Tabela 1 - Método tabular para dimensionamento de vigas biapoiadas de concreto armado em situação de incêndio

TRRF min	Combinação 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

Fonte: NBR 15200 (ABNT,2012).

5.2 VIGAS CONTÍNUAS

Para o dimensionamento de vigas contínuas basta atender as dimensões mínimas contidas na tabela a baixo em função ao TRRF. Mas os valores indicados na Tabela 2 somente podem ser utilizados se o coeficiente de redistribuição de momentos à temperatura ambiente respeitar os limites estabelecidos na NBR 6118 (ABNT, 2007), item 14.6.4.3. Caso contrário, deve ser empregada a Tabela 1 (vigas biapoiadas) ou deve ser elaborada análise mais precisa (ABNT NBR 15200:2012).

Tabela 2 - Método tabular para dimensionamento de vigas biapoiadas de concreto armado em situação de incêndio

TRRF min	Combinação de b_{min}/c_1 mm/mm				b_{wmin} 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

Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012).

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

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

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).

Os valores apresentados na Tabela 7 somente podem ser utilizados se o coeficiente de redistribuição de momentos à temperatura ambiente respeitar os limites determinados na ABNT NBR 6118:2007, 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)

5.3 REVESTIMENTO

Para o cálculo das dimensões mínimas das vigas conforme as tabelas para vigas biapoiadas e vigas contínuas, a NBR 15200 (ABNT, 2012) 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.

6 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 escolhidos fazem parte de um projeto arquitetônico de um edifício de 13 andares, cedido pelo Me. Agnaldo Antônio Moreira Teodoro da Silva.

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,2007), 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, 1980).

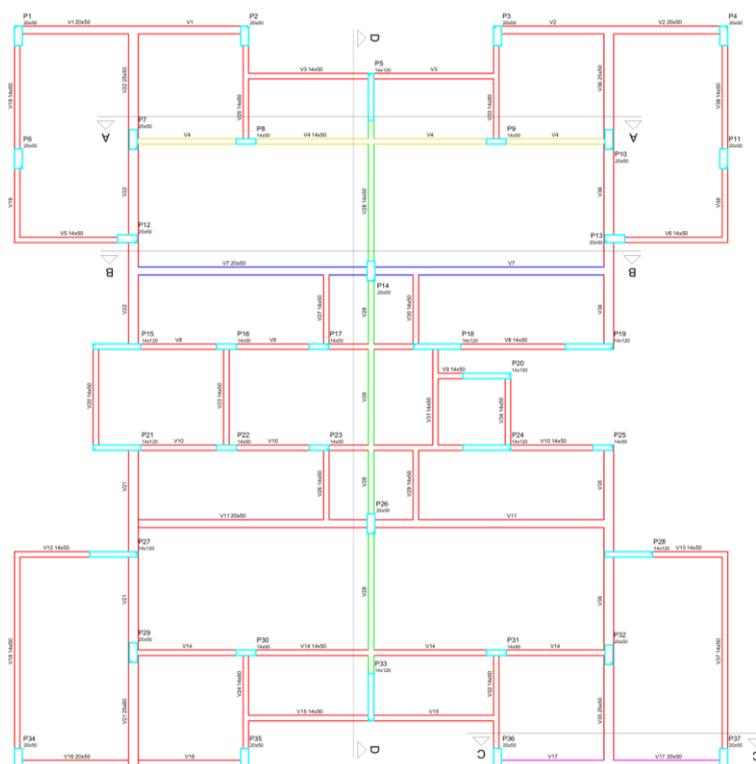
6.1 APRESENTAÇÃO DE EXEMPLO

O projeto analisado é de um edifício de 13 andares (Térreo e 12 pavimento tipo), contendo 4 apartamentos por andar. Foram escolhidas algumas vigas principais sendo elas vigas 04,07, 17 e 28.

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

Figura 2 – Planta de forma



Fonte: Autores.

Figura 3 – Especificações das vigas utilizadas

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

Fonte: Autores.

6.2 VERIFICAÇÃO DAS VIGAS PELO MÉTODO TABULAR

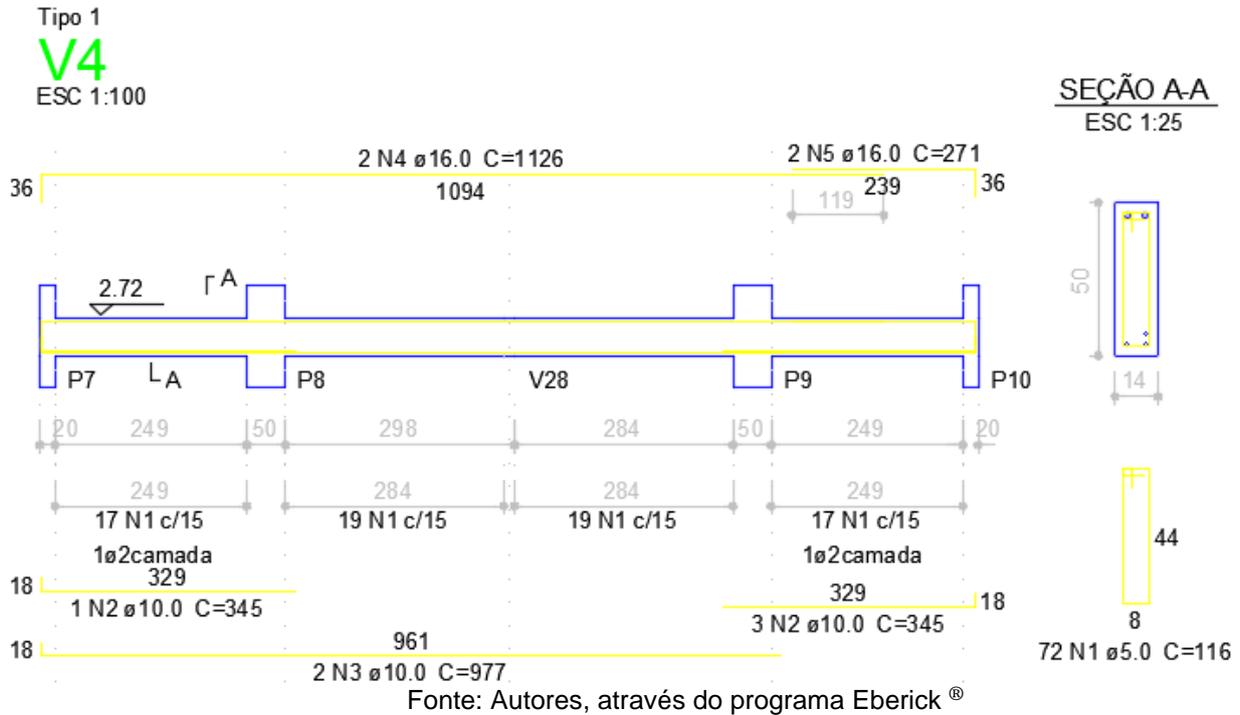
6.2.1 VIGA 04

Após o dimensionamento tivemos os seguintes resultados, ela é uma viga contínua, com largura de 14 cm, e altura de 50cm, possui um vão de 11,92 m e o seu vão efetivo é de 6,32m.

Usando cobertura de 3cm, temos o seguinte corte da seção da área de aço obtida através do programa Eberick®.

Através dessa área de aço e com esse detalhamento contido na seção podemos fazer a verificação por meio do método tabular fazendo o cálculo da distância do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga. A distância vertical foi de 40mm e a distância horizontal foi de 50mm, o valor considerado sempre é aquele onde possui a menor distância, sendo assim o valor do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga 4 foi 40mm.

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



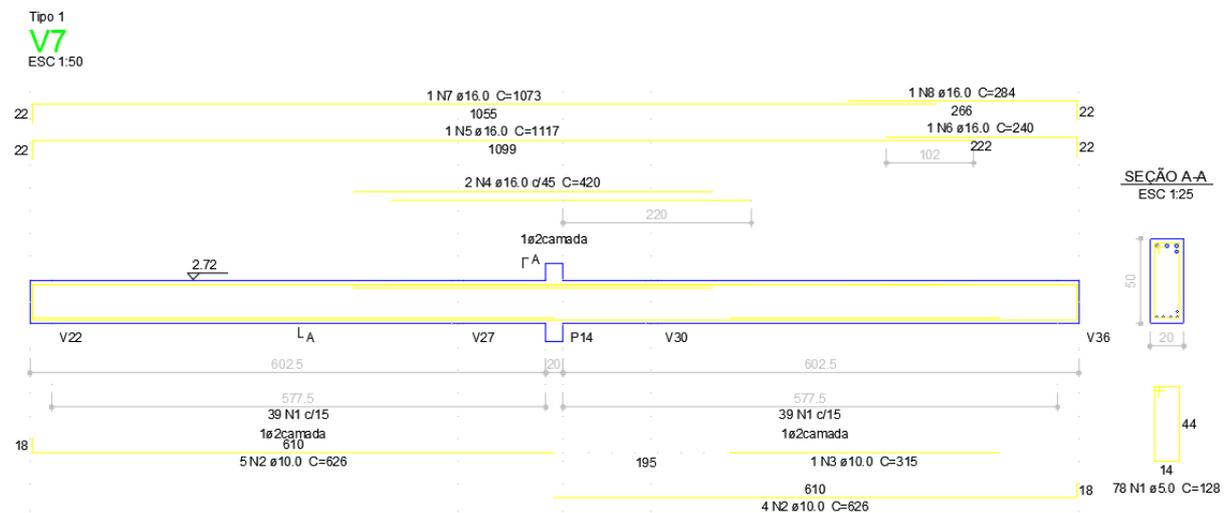
Para vigas com o TRRF maior que 90min, a área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio não pode ser menor que a mínima área de armaduras negativas na seção localizada na distância “x”. A área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio é de 4cm^2 e a mínima área de armaduras negativas é de $3,30\text{ cm}^2$.

6.2.2 VIGA 07

Após o dimensionamento tivemos os seguintes resultados, ela é uma viga contínua, com largura de 20 cm, e altura de 50cm, possui um vão de 11,92m e o seu vão efetivo é de 6,12m.

Usando cobertura de 3cm, temos o seguinte corte da seção da área de aço obtida através do programa Eberick®.

Figura 5 - Detalhamento da viga 7 e dimensões (em cm) em temperatura ambiente



Através dessa área de aço e com esse detalhamento contido na seção deve-se fazer a verificação por meio do método tabular fazendo o cálculo da distância do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga. A distância vertical foi de 46mm e a distância horizontal foi de 56mm, o valor considerado sempre é aquele onde possui a menor distância, sendo assim o valor do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga 7 foi 46mm.

Para vigas com o TRRF maior que 90min, a área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio não pode ser menor que a mínima área de armaduras negativas na seção localizada na distância “x”. A área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio é de $8,00\text{cm}^2$ e a mínima área de armaduras negativas é de $6,56\text{ cm}^2$.

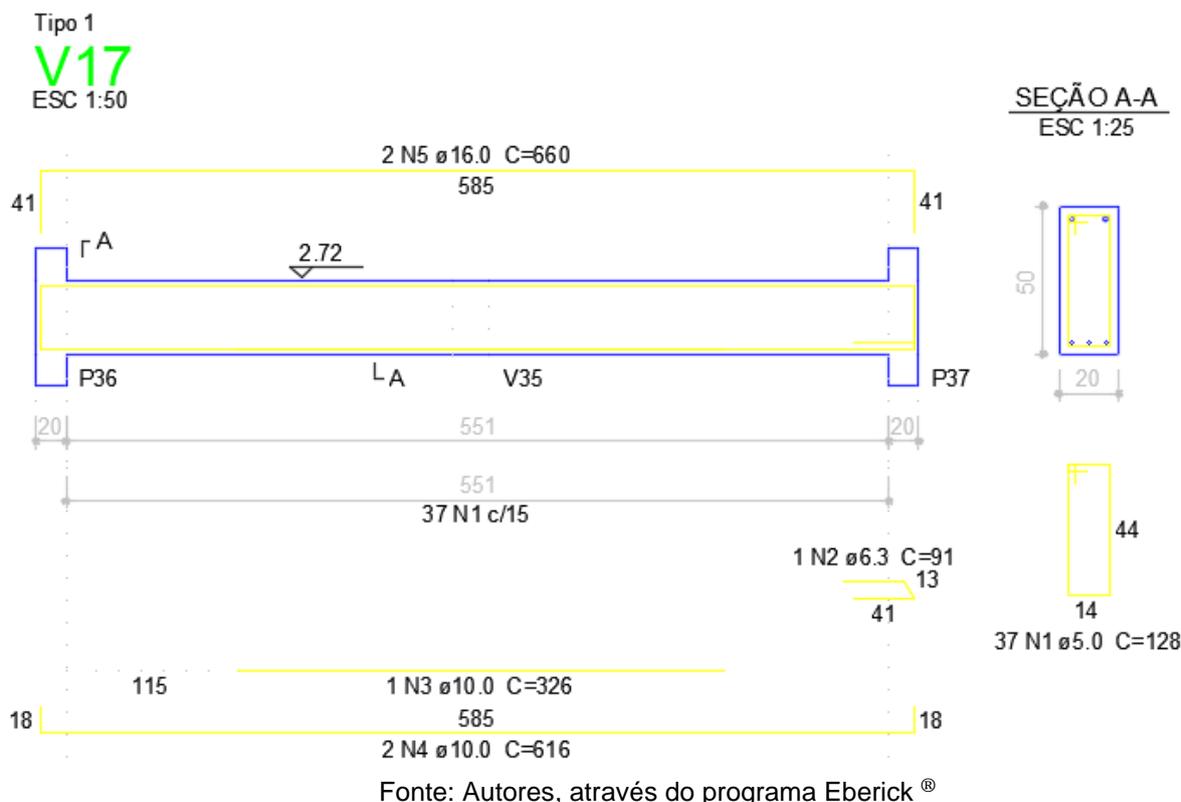
As dimensões mínimas aceitas pelo método tabular nesse caso é $b_{\text{min}}/c_1 = 190/45$, a viga 7 apresenta $b_{\text{min}}/c_1 = 200/46$, então pode-se afirmar através do método tabular que essa viga está segura em relação ao incêndio passando por todas as verificações desse método

6.2.3 VIGA 17

Após o dimensionamento tivemos os seguintes resultados, ela é uma viga biapoiada, com largura de 20 cm, e altura de 50cm, possui um vão de 5,71 m e o seu vão efetivo é de 5,71m.

Usando cobertura de 3cm, temos o seguinte corte da seção da área de aço obtida através do programa Eberick®.

Figura 6 - Detalhamento da viga 17 e dimensões(em cm) em temperatura ambiente



Através dessa área de aço e com esse detalhamento contido na seção deve-se fazer a verificação por meio do método tabular fazendo o cálculo da distância do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga. A distância vertical foi de 60mm e a

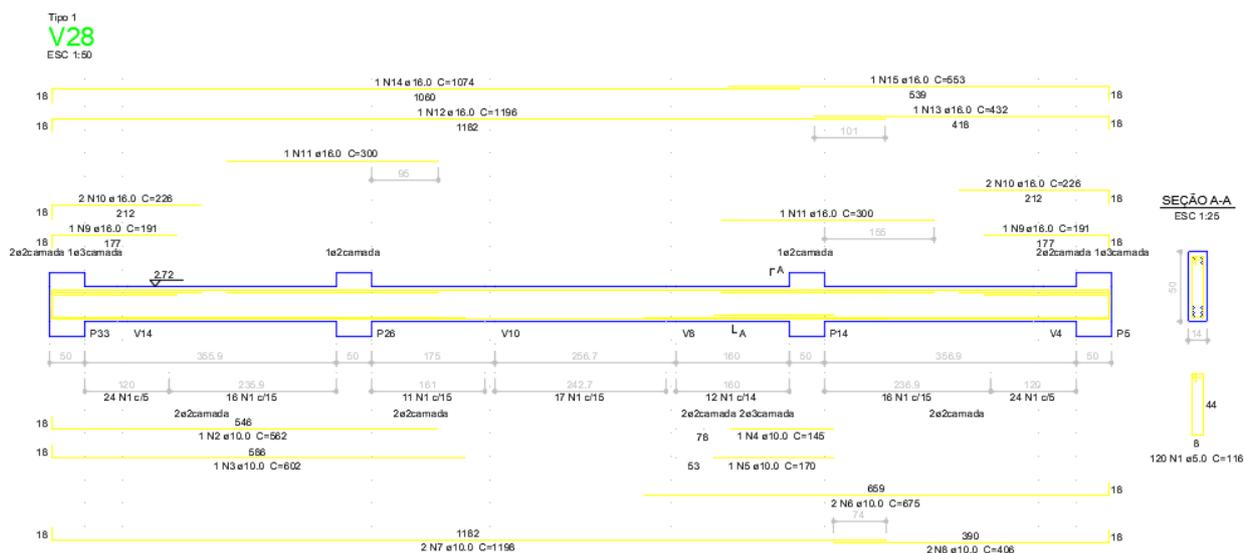
distância horizontal foi de 40mm, o valor considerado sempre é aquele onde possui a menor distância, sendo assim o valor do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga 17 foi 40mm.

6.2.4 VIGA 28

Após o dimensionamento tivemos os seguintes resultados, ela é uma viga contínua, com largura de 14 cm, e altura de 50cm, possui um vão de 15,64m e o seu vão efetivo é de 6,41m.

Usando cobrimento de 3cm, temos o seguinte corte da seção da área de aço obtida através do programa Eberick®.

Figura 7 - Detalhamento da viga 28 e dimensões (em cm) em temperatura ambiente



Fonte: Autores, através do programa Eberick®

Através dessa área de aço e com esse detalhamento contido na seção podemos fazer a verificação por meio do método tabular fazendo o cálculo da distância do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga. A distância vertical foi de 70mm e a distância horizontal foi de 40mm, o valor considerado sempre é aquele onde possui a menor distância, sendo assim o valor do centro de gravidade da armadura longitudinal às faces da viga 28 foi 40mm.

Para vigas com o TRRF maior que 90min, a área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio não pode ser menor que a mínima área de armaduras negativas na seção localizada na distância "x". A área de armaduras negativas entre a linha de centro do apoio é de 6cm^2 e a mínima área de armaduras negativas é de $4,97\text{cm}^2$.

6.3 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_{\min} 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_{\min} 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_{min} 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_{min} 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_{min} 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_{min} 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 demonstram a importância da verificação, pois mesmo utilizando softwares usuais para o dimensionamento seguindo a NBR 6118(ABNT, 2007) nem sempre atente as normas prescritas na NBR 15200(ABNT, 2012) de verificação.

7 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 perca 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**. Brussels: 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: Ziguarte, 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.