

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

DIEGO RIBEIRO BELLEZA

ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: ESTUDO DE CASO

**Alegrete
2023**

DIEGO RIBEIRO BELLEZA

ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alisson Simonetti Milani

**Alegrete
2023**

DIEGO RIBEIRO BELLEZA

ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 17 de janeiro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. ALISSON SIMONETTI MILANI - UNIPAMPA - Orientador

Prof. Dr. JAELSON BUDNY - UNIPAMPA

Profa. Dra. MARILIA FERREIRA TAMIOSSO - UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **ALISSON SIMONETTI MILANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/02/2023, às 14:37, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JAELSON BUDNY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/02/2023, às 14:58, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARILIA FERREIRA TAMIOSSO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/02/2023, às 14:11, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1047728** e o código CRC **90460E87**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, sem a força do criador durante esses anos nada teria se tornado realidade.

A minha família, onde sempre tive o apoio necessário nos momentos de vitórias e dificuldades, me dando forças e estando sempre ao meu lado. Obrigado família pela educação e estrutura que me proporcionaram ter essa oportunidade de crescer e pela confiança depositada em mim. Serei eternamente grato.

Ao meu orientador, Prof. Alisson Milani, exímio profissional na qual tive o prazer de trabalhar.

A Urbano Construtora e Prefeitura Municipal de Alegrete que abriram as portas para desenvolver meus estágios e adquirir um conhecimento além da teoria.

Ao corpo docente da UNIPAMPA por toda educação concedida nesses anos de estudo.

Aos amigos e colegas que ao longo do caminho se tornaram essenciais nessa jornada.

RESUMO

O fogo está presente na vida do homem desde a era paleolítica. Sua descoberta trouxe inúmeros benefícios para as civilizações, principalmente ao garantir a sobrevivência da humanidade por meio de seu domínio. Atualmente, com os devidos conhecimentos desenvolvidos desde essa época, sabe-se que o uso inadequado do fogo também pode representar problemas e preocupações. Desse modo, as verificações em situação de incêndio são necessárias para avaliar se em caso de exposição a altas temperaturas a estrutura sofrerá danos irreversíveis. Caso ocorra comprometimento estrutural, saber se a estrutura possui requisitos que garantem um determinado tempo para a evacuação segura. Nesse contexto, o trabalho apresenta um estudo de caso para verificação das vigas e lajes de uma estrutura de concreto armado em situação de incêndio. Dessa maneira, o objetivo está em analisar a edificação da UNIPAMPA localizada no campus Alegrete e verificar se está de acordo com os requisitos mínimos estabelecidos pelo método tabular e método do tempo equivalente, disponibilizados nas NBR 15200 (2012) e NBR 14432 (2001). Foram escolhidos um conjunto de vigas e lajes com diferentes características para analisar se a estrutura está de acordo com as especificações das normas. Primeiramente é verificado o método tabular por não levar em consideração nenhum tipo de proteção contra incêndio, onde não foi possível obter todas as validações necessárias, acabando assim por utilizar o método do tempo equivalente para obter uma nova análise e novos resultados para os componentes estruturais. Sendo assim, destaca-se que a utilização das duas metodologias tornou possíveis as verificações necessárias do presente trabalho.

Palavras-chaves: Fogo, incêndio, verificação, método tabular, método do tempo equivalente

ABSTRACT

The fire is present in men's life since the Palaeolithic period. Uncountable benefits were brought to the civilizations through the domain of the fire, especially when the assurance of humanity's survival is concerned. Nowadays, with due knowledge developed since that time, it is known that the inadequate use of fire may also cause problems and worries. In view of this, the verifications in fire situations are necessary to evaluate whether the exposition to high temperatures would compromise the structure. In case there is structural compromise, knowing if the structure has the requirements which guarantee sufficient time for a safe evacuation. In this context, this work presents a case study to verify the beams and slabs from a structure of reinforced concrete in fire situations. Owing to this, the objective is to analyse the UNIPAMPA building located in the Alegrete Campus and verify whether it is in accordance with the minimum requirements established by the tabular method and the equivalent time method, available in NBR 15200 (2012) and NBR 14432 (2001). A set of beams and slabs with different characteristics were chosen to analyze whether the structure is in accordance with the standards specifications. The verification of the tabular method is done first as it does not take into consideration any kind of protection against fire, in those cases which it was not possible to obtain all the needed validations, the equivalent time method was used to obtain a new analysis and new results to the structural components. Therefore, the use of these two methodologies is emphasized as they enabled the necessary verifications for the present work.

Keywords: fire; verification; tabular method; equivalent time method

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de um incêndio real.....	12
Figura 2 – Fluxo de calor por radiação.....	14
Figura 3 – Fatores que caracterizam o cenário de incêndio que influenciam a severidade do incêndio.....	15
Figura 4 – Desempenho dos meios de proteção no comportamento do incêndio.....	16
Figura 5 – Curva temperatura-tempo de um incêndio.....	16
Figura 6 – Efeito de <i>spalling</i> em estrutura afetada por incêndio.....	17
Figura 7 – Efeito de colapsos localizados devido a um incêndio em um edifício.....	19
Figura 8 – Posição das armaduras em relação à face exposta ao calor.....	22
Figura 9 – Conceito do tempo equivalente.....	30
Figura 10 – Organograma de desenvolvimento.....	36
Figura 11 – Planta de locação dos laboratórios.....	37
Figura 12 – Planta baixa do segundo pavimento.....	38
Figura 13 – Corte longitudinal do laboratório da Engenharia Civil	39
Figura 14 – Detalhamento transversal e longitudinal V20.....	43
Figura 15 – Detalhamento transversal e longitudinal V24.....	45
Figura 16 – Detalhamento das lajes.....	47
Figura 17 – Detalhamento transversal da vigota.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) em minutos.....	22
Tabela 2 – Classificação das edificações quanto à sua ocupação.....	24
Tabela 3 – Dimensões mínimas para vigas bi apoiadas.....	28
Tabela 4 – Dimensões para vigas contínuas ou vigas de pórticos.....	28
Tabela 5 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas.....	29
Tabela 6 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma direção.....	29
Tabela 7 – Valores de cargas de incêndio específicas.....	32
Tabela 8 – Fatores da ponderação das medidas de segurança contra incêndio.....	33
Tabela 9 – Valores de γ_s em função do risco de ativação do incêndio.....	34
Tabela 10 – Disposição das vigas analisadas.....	41
Tabela 11 – Dimensões para vigas contínuas ou vigas de pórticos.....	44
Tabela 12 – Dimensões mínimas para vigas bi apoiadas.....	46
Tabela 13 – Dimensionamento das vigas.....	46
Tabela 14 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma direção.....	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.2 Objetivo geral.....	11
1.3 Objetivos específicos	11
1.4 Justificativa	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Incêndio.....	12
2.1.1 Comportamento do incêndio.....	13
2.2 Características do concreto armado em situação de incêndio.....	17
2.3 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)	20
2.3.1 Métodos Existente de cálculos para definição de TRRF.	20
2.3.2 Método tabular.....	21
2.3.3 Método do Tempo Equivalente	30
3 METODOLOGIA.....	36
3.1 Apresentação da edificação.....	37
4 ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DE RESULTADOS	40
4.1 Verificação do TRRF pelo Método Tabular da IT n° 08/2011 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo.....	40
4.2.1 Dimensionamento do TRF para análise das vigas.....	40
4.2.2 Aplicação do Método Tabular da NBR 15200 (2012) para obtenção do TRF das vigas.....	42
4.3.1 Dimensionamento do TRF para análise das lajes	47
4.3.2 Aplicação do Método Tabular da NBR 15200 (2012) para obtenção do TRF das lajes.....	50
4.4 Aplicação do Método do Tempo Equivalente da NBR 14432 (2001) para obtenção do TRF das lajes	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1. INTRODUÇÃO

A história mostra que há séculos, as pessoas buscam pesquisar soluções estruturais e técnicas que visem melhorar a eficiência da prevenção e supressão de incêndios. Os grandes acidentes da nossa história revelam a brutalidade do fogo sobre a vida e a propriedade.

Desde então, iniciou-se uma revolução na forma arquitetônica, com elementos metálicos em grande expansão, mas devido à sua resistência muito reduzida a altas temperaturas, iniciou-se a pesquisa de materiais para revestimento e proteção desses elementos. No século XIX, o concreto começou a ser utilizado para essa proteção e, com o avanço das pesquisas, o próprio concreto foi incorporado a uma função estrutural, resultando no concreto armado, onde dois materiais (concreto e aço) trabalham juntos para resistir às forças. (SILVA, 2012).

Os incêndios em edificações nos mostram a importância da resistência da estrutura em caso de incêndio, pois um conjunto com aberturas e ventilações adequadas facilita a fuga e resgate dos habitantes da área afetada, além de reduzir a taxa de propagação do fogo, facilitando assim o combate.

Em Porto Alegre, no ano de 2021, a Secretaria de Segurança Pública - RS foi alvo de um grande incêndio, a princípio causado por um curto circuito, que iniciou no terceiro pavimento e rapidamente as chamas foram se espalhando, levando o fogo para outros pavimentos. De acordo com os bombeiros, o Plano de Prevenção Contra Incêndio (PPCI) estava em dia, porém havia algumas falhas, como a falta de *splinkers* que poderiam ter auxiliado no combate imediato ao incêndio.

Recentemente em São Paulo, uma edificação de 10 pavimentos na região central foi alvo de um grande incêndio, controlado apenas após 33 horas de seu início e o fogo acabou se espalhando para edificações vizinhas, incluindo uma igreja. A causa do incêndio ainda segue indefinida.

Os exemplos acima mostram a importância da verificação da estrutura em situação de incêndio, pois uma exposição a altas temperaturas por horas pode causar algum dano estrutural? A estrutura sofrerá danos irreversíveis onde a solução seria implodir para evitar um desabamento? A estrutura suportará a incidência do fogo durante o tempo necessário para evacuação do prédio e isolamento da área?

Portanto é de suma importância entender melhor como funciona o comportamento do fogo e propor uma solução de tempo necessário de acordo com as características estruturais para evitar acidentes graves e perdas de vida.

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é um estudo de caso para verificar se os componentes estruturais de vigas e lajes de uma edificação possuem o TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo) dentro do limite especificado em norma, utilizando o método tabular e o método do tempo equivalente.

1.3 Objetivos específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Apresentar as características do incêndio e como o fogo se propaga na estrutura através de suas fases e dimensões;
- Aplicar o método tabular de acordo com a IT n°08/2011 do Corpo de bombeiros do Estado de São Paulo para encontrar o TRRF da edificação em estudo;
- Encontrar o TRF (Tempo de Resistência ao Fogo) pelo método tabular aplicando a NBR 15200 (2012) e comparar os resultados encontrados com o item anterior;
- Avaliar a possibilidade de redução de TRRF utilizando o método do tempo equivalente de acordo com o resultado obtido pelo método tabular;
- Avaliar a segurança contra incêndio das vigas e lajes da estrutura da edificação do estudo.

1.4 Justificativa

Considerando que as propriedades mecânicas dos elementos estruturais se degradam quando submetidos a altas temperaturas, o projeto estrutural deve levar em consideração a verificação da segurança estrutural em caso de incêndio, levando em conta os parâmetros previstos na NBR 15200 (2012). O estudo justifica-se pela importância de prever o TRRF adequado e, se em caso de incêndio, a estrutura é suficientemente resistente para continuar a ser ocupada sem grandes problemas e custos de manutenção.

Dado o tempo que os ocupantes levam para evacuar e os bombeiros realizarem os serviços de resgate e combate a incêndios, os edifícios devem resistir ao fogo pelo tempo mínimo exigido pela regulamentação antes de obterem um dano irreversível ou entrar em colapso.

O estudo foi motivado pela carência de abordagem do estudo na graduação e também para mostrar a importância do dimensionamento e avaliação correta do TRRF, pois normalmente projetistas ignoram essa verificação que é de extrema importância e pode salvar vidas.

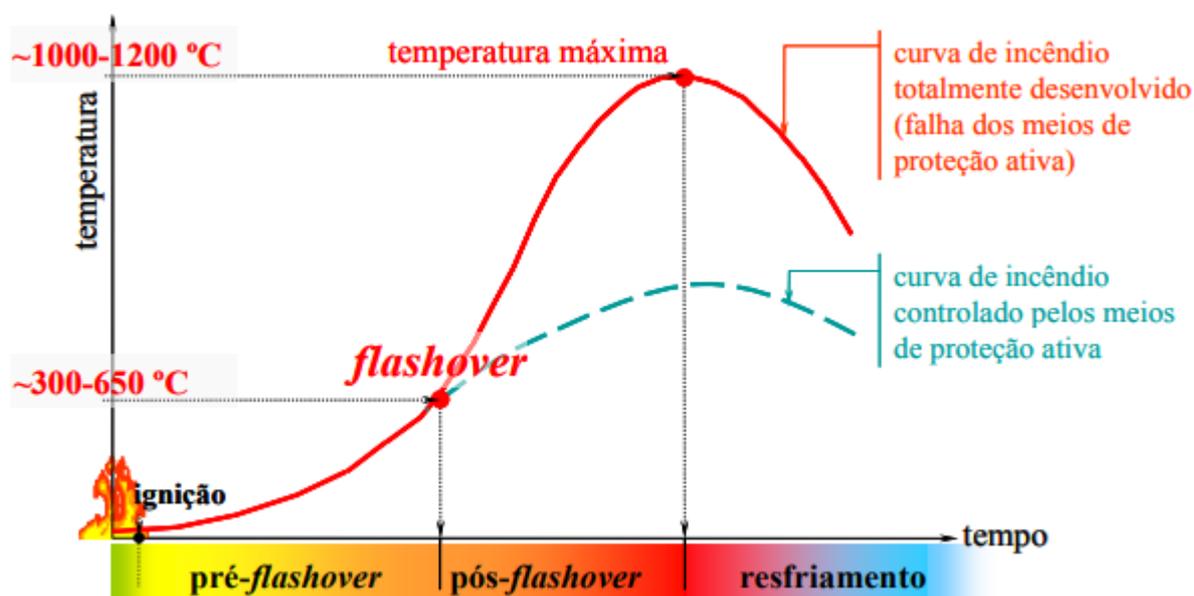
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Incêndio

A NBR13860 (1997) define fogo como “um processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz”. É considerado fogo quando não está sob controle humano. No ambiente, este se propaga devido ao fluxo de calor, que pode ser transportado por convecção ou radiação, e ocorre devido às diferenças de temperatura presentes no meio.

A radiação refere-se à propagação do calor na forma de ondas, cuja direção é sempre de um objeto de temperatura mais alta para um objeto de temperatura mais baixa, sem um meio material entre os objetos. A convecção é a transferência de calor através do movimento de sólidos e fluidos. Um incêndio real é dividido em três estágios: estágio de ignição, estágio de *flashover* e estágio de resfriamento. A Figura 1 mostra uma curva de combustão real que correlaciona a temperatura do gás com o tempo de combustão (COSTA, 2008).

Figura 1 - Etapas de um incêndio real.



Fonte: COSTA (2008).

A Figura 1 mostra duas curvas diferentes. A curva azul representa a temperatura do gás no incêndio, que pode ser controlada por proteção ativa, como extintores, hidrantes e outros equipamentos de combate a incêndio. A curva vermelha representa incêndios em que a proteção ativa não conseguiu apagar o fogo.

Existem duas fases na fase de ignição. A primeira ocorre quando há apenas uma pequena queima sem chama e emissões de gases nocivos. O segundo estágio é quando há muita chama, fumaça e aumento de temperatura. Nesta fase, não há risco de colapso estrutural ou de vida. No entanto, existem riscos devido à inalação de gases que podem ser liberados pela queima de materiais. A análise estrutural não será necessária quando a edificação tiver elementos de proteção contra incêndio e for utilizada para evitar o seu desenvolvimento durante esta fase de ignição (COSTA, 2008).

Alguns autores ainda acrescentam um estágio intermediário entre o estágio de ignição e o estágio de *flashover*: o *pré-flashover*, que ocorre quando a temperatura aumenta rapidamente. O fogo só expandirá sua área afetada se houver ventilação e combustível suficientes (COSTA, 2008).

2.1.1 Comportamento do incêndio

Um incêndio é um estado de fogo descontrolado, causado pela combustão, no qual o combustível oxidante (oxigênio) e uma fonte de calor estão presentes simultaneamente. Portanto, a prevenção e a supressão de incêndios devem ser atribuídas à separação ou eliminação desses fatores (CARVALHO, 2019).

Através do fenômeno de *flashover*, que ocorre quando a temperatura abaixo do teto atinge 500 a 600 °C, o gás se inflama instantaneamente e o fogo se espalha por todo o local e não está mais sob controle. O último estágio, *pós-flashover*, é de descida ou resfriamento, onde a temperatura cai gradualmente devido à falta de combustível, ou oxidante, ou intervenção de supressão de incêndio até que este seja extinto (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

Os incêndios atingem as estruturas dos edifícios por ação térmica, fluxo de calor, convecção e radiação facilitados por diferenças de temperatura entre gases quentes e elementos estruturais. Essa ação térmica aumenta a temperatura da estrutura, resultando em uma redução na resistência e no módulo de elasticidade, e em tensões adicionais limitando a deformação térmica (KIRCHHOF, 2004).

Em materiais estruturais, o calor é conduzido entre cada molécula devido à condução térmica, que determina a velocidade do fluxo de calor dentro do material. No concreto, a

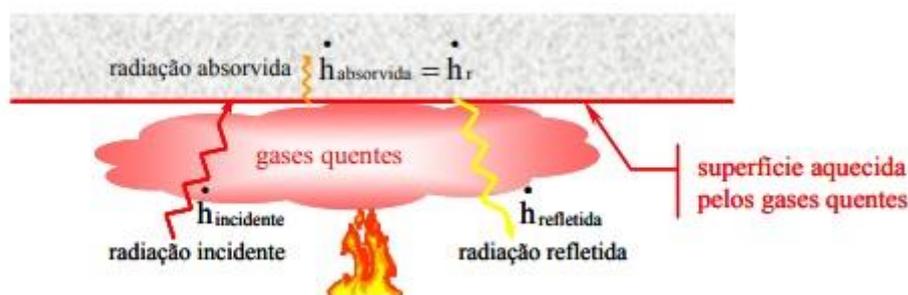
temperatura é aumentada gradativamente ao longo da seção, criando um elevado gradiente térmico, enquanto no aço, a ação do calor é mais rápida e a temperatura da seção do vergalhão tende a ser uniforme (COSTA, 2008).

A convecção é a transferência de calor através do movimento de gases aquecidos em um ambiente com temperatura irregular. Devido às diferenças de densidade e gravidade, os gases quentes tendem a subir e os gases frios tendem a cair. (COSTA, 2008).

A radiação é emitida pela difusão de chamas, onde o calor é transferido de um objeto para outro pela propagação de ondas eletromagnéticas, incidência não é completamente absorvida pela superfície e a reflexão parcial é devida às propriedades do material do elemento de aquecimento. (COSTA, 2008).

A figura 2 representa o fluxo de calor por radiação.

Figura 2 – Fluxo de calor por radiação.

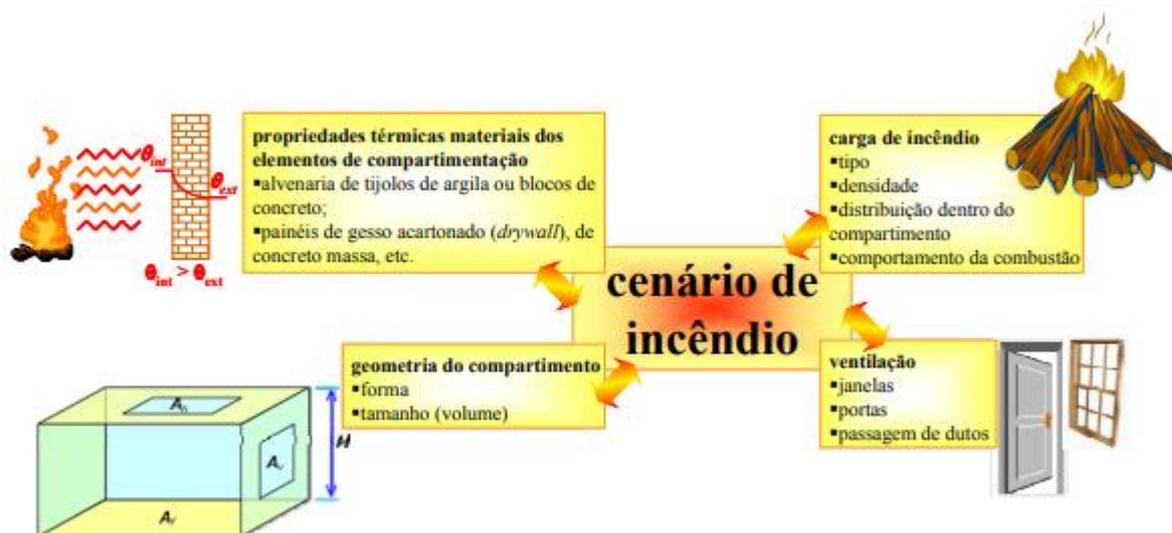


Fonte: COSTA (2008).

A condução do calor é distribuída pelas moléculas e no aço a tendência de propagação é mais veloz, onde há uma uniformização em relação a seção das barras das armaduras. Já no concreto a propagação é mais gradual ao longo da seção, onde se originam gradientes térmicos elevados. Por meio de modelos matemáticos é possível analisar diferentes representações dos efeitos do calor na estrutura. Os modelos reproduzem a severidade no cenário de incêndio. (COSTA, 2008 *apud* COSTA & SILVA, 2003).

A propagação do incêndio é diretamente ligada aos cenários de incêndio, onde o fogo encontrará facilidades ou dificuldades para se espalhar. A figura 3 mostra os cenários de incêndio que afetam a sua gravidade.

Figura 3 – Fatores que caracterizam o cenário de incêndio e influenciam sua severidade.



Fonte: COSTA (2008).

É necessário enfatizar a importância de medidas de proteção ativas durante o combate a incêndio, que podem controlar e suprimir o fogo antes do *flashover* e reduzir o efeito na estrutura (COSTA, 2008 *apud* SILVA, 2004).

As medidas de proteção passiva são fundamentais para o período posterior a um *flashover*, garantindo as operações de combate a incêndio e resgate pelo corpo de bombeiros por meio de resistência estrutural, fácil acesso aos locais afetados e redução da propagação do fogo para outros compartimentos. Conforme mostrado na Figura 4, as medidas de proteção ativa são usadas antes do *flashover* e as medidas de proteção passiva são usadas após o *flashover* (COSTA, 2008). A figura 4 representa o desempenho das medidas de proteção em função da temperatura x tempo.

Figura 4 – Desempenho dos meios de proteção no comportamento do incêndio.



Fonte: COSTA (2008).

No que diz respeito às estruturas, a principal característica de um incêndio é fornecer uma curva de temperatura do gás em função do tempo de incêndio (Figura 5), que representa as várias fases do incêndio e, assim, permite calcular a temperatura máxima atingida pela estrutura, elementos e sua resistência a altas temperaturas (COSTA, 2008).

Figura 5 – Curva temperatura-tempo de um incêndio.



Fonte: BRITTEZ *et al* (2020).

2.2 Características do concreto armado em situação de incêndio

As mudanças na forma arquitetônica começaram séculos atrás, durante a Revolução Industrial, quando a combinação de aquecimento de máquinas e peças, fibras têxteis, óleos e chamas desprotegidas combinadas com edifícios em madeira, levaram a incêndios impiedosos. (DATHEIN, 2003)

Nos anos seguintes, iniciou-se o desenvolvimento de novas formas construtivas, sabendo-se que as estruturas metálicas perderiam sua resistência em altas temperaturas. Surgiu, então, o concreto armado, uma espécie de protetor do ferro e aço na estrutura, que com o passar dos anos acabou adquirindo uma função estrutural. O concreto armado trabalha para evitar corrosões e aumentar a durabilidade do ferro e do aço. (BASTOS, 2006).

Atualmente, é bem conhecida a resistência do concreto em condições de incêndio e a redução da área de resistência devido ao *spalling*, que é a fragmentação da área superficial de uma estrutura de concreto quando exposta ao fogo. No concreto convencional exposto a alta temperatura ($f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$), a fragmentação ocorre devido a mudanças na composição do concreto e na pressão interna quando a água evapora. O concreto de alta resistência é criado pela pressão interna do vapor de água (COSTA & SILVA, 2002).

A Figura 6 mostra uma estrutura de concreto armado após ação do fogo, com camada de concreto descascando e degradando, deixando a armadura exposta, o que foi observado no estudo do comportamento patológico da estrutura de concreto em condições de incêndio.

Figura 6 – Efeito de *spalling* em estrutura afetada por incêndio.



Fonte: Site Elaborex (2022).

O concreto armado é um dos materiais mais utilizados na construção civil, devido à sua incombustibilidade, baixa condutividade térmica, não liberação de gases tóxicos em caso de incêndio e, por sua função estrutural, é considerado seguro em situações de incêndio devido a sua massividade, definida pela relação da área exposta ao incêndio e o volume do elemento analisado. (KIRCHHOF, 2010).

No entanto, a consequência da ação térmica causa importantes mudanças dos elementos estruturais, pois diminui a rigidez e a resistência, onde o concreto começa a se degradar, provocando fissuras e esfarelamento, causando o fenômeno de *spalling*. (COSTA, 2002).

Um aumento gradual da temperatura pode ter diferentes efeitos no concreto, como mudança de cor, redução da resistência mecânica, fissuração da superfície e desintegração da estrutura. Os fatores que afetam a ruptura de estruturas expostas a altas temperaturas são: temperatura máxima atingida, tempo de exposição, tipo de estrutura, elementos estruturais e taxa de resfriamento (REGOBELLO *et al.*, 2010).

Após a exposição ao fogo, o concreto normalmente sofre danos irreversíveis, dependendo do tempo e da temperatura a qual o elemento foi exposto a ele. Após análises laboratoriais, constatou-se que o concreto perde massa com o aquecimento, provocando patologias e fissurações nas superfícies do elemento. No pior caso, para a amostra de sete dias, a diminuição da resistência foi de quase 90% para a temperatura de 800°C exposta por trinta minutos.

Devido ao *spalling*, a área resistente do concreto em alta temperatura é reduzida, podendo-se concluir que os membros de concreto colapsam a uma temperatura média menor que os membros de aço, considerando que estão submetidos a cargas proporcionais à sua resistência.

No entanto, devido à diferença de tamanho e propriedades desses elementos, a seção transversal do concreto aquece mais lentamente do que a seção transversal do aço. (FIGUEIREDO, 2014).

Existem diferentes tipos de colapsos estruturais. O colapso local, quando um elemento estrutural isolado falha, não implica na estabilidade da edificação. O colapso total ou completo ocorre quando os elementos estruturais de um edifício falham gradualmente. (IWANKIW, 2006)

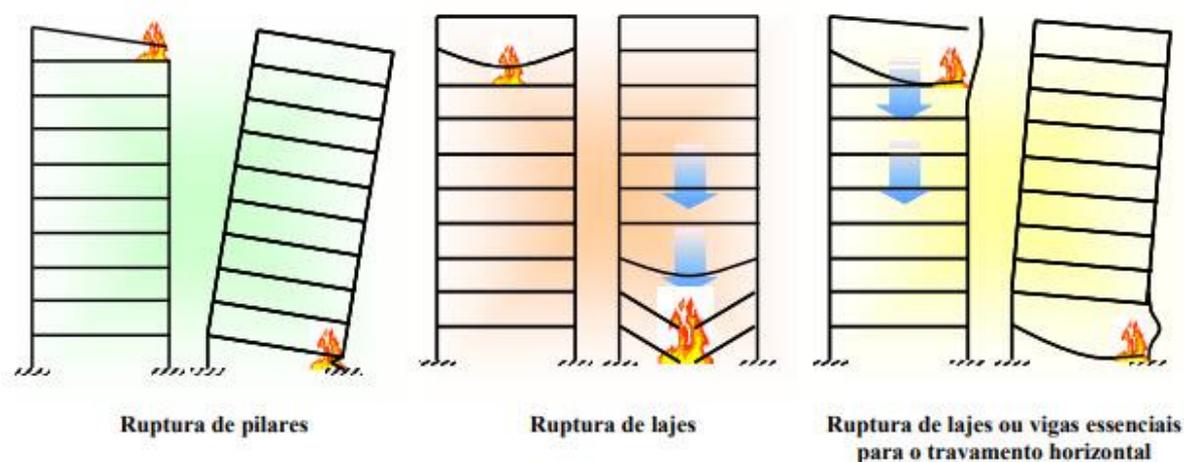
Há também rupturas localizadas, que indicam o risco de falha e colapso de elementos estruturais, dependendo do esforço solicitado exercido sobre a estrutura. Em estruturas de concreto armado, o colapso geralmente ocorre devido a tensões de flexão ou instabilidade (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

O grau de continuidade do pórtico tem um efeito significativo no comportamento da estrutura em condições de incêndio. Quando esta estrutura é aquecida acima de 100 °C, a resistência e o módulo de elasticidade do material diminuem, enquanto os elementos estruturais se expandem termicamente e tendem a aumentar. A estrutura fria limita esta expansão, aumentando assim a resistência ao fogo da estrutura aquecida (COSTA, 2008 *apud* BURGESS, 2002).

Por exemplo, o colapso de um pilar é muito perigoso, pois é o elemento mais carregado da estrutura e suporta as cargas de lajes e vigas. Considerando que o conjunto estrutural formado por pilares e vigas contínuas garante a estabilidade do edifício, o risco de colapso é reduzido devido à rigidez da ligação entre os elementos permitindo uma redistribuição de esforços (COSTA, 2008).

A localização de elementos estruturais que falham também afeta diretamente a probabilidade de colapso de uma estrutura projetada para suportar quase todo o edifício, ao contrário dos pilares do telhado. Os efeitos das falhas no edifício são mostrados na Figura 7.

Figura 7 – Efeito de colapsos localizados devido a um incêndio em um edifício.



Fonte: COSTA (2008).

2.3 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

Os requisitos de resistência ao fogo são determinados pelo tempo requerido de resistência ao fogo exigido (TRRF), onde é importante saber quais são as exigências de avaliação da resistência ao fogo para cada tipo de componente estrutural (vigas e lajes). (VARGAS & SILVA, 2003).

Em caso de incêndio, os elementos estruturais e divisórios que compõem a edificação estabelecem as condições para o atendimento do TRRF para evitar o colapso estrutural pelo tempo necessário, afim de garantir a saída dos ocupantes e o acesso ao corpo de bombeiros de forma segura. (KIRCHHOF, 2004)

Considerando que o TRRF estabelecido representa um parâmetro de projeto, não constitui a verdadeira duração do incêndio, o tempo de desocupação ou o tempo de resposta do corpo de bombeiros. (VARGAS & SILVA, 2003)

O TRRF depende da altura da edificação, ocupação, área dos pavimentos, existência de proteção ativa, aberturas, entre outros, onde a altura considerada é medida da base da edificação até o piso do último pavimento. (BRACKMANN, 2018).

O estado do Rio Grande do Sul utiliza para as verificações, a norma de Instrução Técnica nº 08/2011, do corpo de bombeiros do Estado de São Paulo, pois essa normativa contém mais especificações de ocupação, portanto é ligeiramente mais completa que a NBR 14432 (2001).

2.3.1 Métodos Existente de cálculos para definição de TRRF.

- *Método Simplificado de Cálculo*: Pode-se adotar 70% dos esforços no dimensionamento à temperatura ambiente para estruturas pequenas e que não possuem grandes deslocamentos onde é verificada apenas em seu estado de limite último (ELU) para a combinação excepcional. A verificação é feita através da temperatura ao longo da seção transversal a partir do fluxo de calor, onde são utilizados fatores de ponderação para a combinação.

Esse método não garante a função corta-fogo. Caso a função seja necessária em algum elemento, suas dimensões devem respeitar o mínimo estabelecido no método tabular ou o elemento deve ser verificado de acordo com o prescrito nos itens 3.4 ou 3.5 da NBR 15200 (2012).

- Método Avançado de Cálculo: O método é capaz de verificar os esforços solicitantes não lineares por meio de programas computacionais, onde é feita uma redistribuição dos esforços, em condições genéricas de carregamentos e vinculações, não sendo possível a adoção do valor da solicitação normal ($S_d = 0,7$) e seguindo rigorosamente a NBR 8681 (2003) para as combinações de ações. É o método que requer mais tempo de cálculo e recursos computacionais devido à complexidade da aplicação dos modelos que consideram a redistribuição dos esforços que ocorrem no momento do incêndio. Os softwares simuladores mais utilizados são: ABAQUS FEA, DIANA FEA E ANSYS
- Método Experimental: Para casos excepcionais os resultados são adotados considerando uma resistência superior à calculada com base na NBR 15200 (2012) e devem seguir uma especificação estrangeira onde se verifica os componentes construtivos com determinação de resistência ao fogo.

Os métodos citados acima possuem suas características e singularidades para obtenção do TRRF adequado, onde utilizam as normas vigentes e softwares, não sendo necessário o dimensionamento da estrutura de acordo com suas características específicas em relação ao incêndio.

Para o desenvolvimento do trabalho foram escolhidos dois métodos além dos citados acima, são eles os métodos tabular e do tempo equivalente, descritos nos itens (2.3.2 e 2.3.3). Geralmente o método tabular é o mais utilizado, pela praticidade de análise e normalmente a obtenção dos resultados são positivas, caso o método não corresponda as necessidades mínimas estabelecidas em norma, utiliza-se o método do tempo equivalente, na tentativa de verificação positiva da estrutura de acordo com a norma específica.

2.3.2 Método tabular

O método tabular foi ajustado para analisar o pior caso de incêndio, considerando que a estrutura não possua nenhum meio de proteção ativa e passiva para o controle do fogo. (COSTA, 2008).

A abordagem tabular fornece a relação ao TRRF desejado, definido pelas características estruturais dos elementos. A aplicação se dá por meio de uma tabela onde se encontram os tempos mínimos em função da estrutura para garantir a função corta-fogo. Os valores de

A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
B	Serviços de hospedagem	B-1 e 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 técnicos	D-1 a D-4	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	-	-	30	30	60	90	120	-
		F-9	90	60	30	30	60	90	120	-	-	-
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-6	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 a H-6	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	-	-	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	150	-	-	-	-	-	-
		M-2	120	90	60	60	60	90	120	-	-	-
		M-3 e M-8	120	90	90	90	90	120	120	120	-	-
		M-5 e M-10	120	90	90	60	60	90	120	120	-	-

Fonte: IT n° 08/2011, Corpo de bombeiros do estado de São Paulo.

Tabela 2 – Classificação das edificações quanto à sua ocupação.

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Casas térreas ou assombradas (isoladas e não isoladas) e condomínios horizontais.
		A-2	Habitação multifamiliar	Edifícios de apartamentos em geral.
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos.
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, 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 loja de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros.
		C-3	Shopping centers	Centro de compras em geral (shopping centers).
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, cabelereiros, 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 e 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, ginástica (artística, dança, musculação e outros), esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e assemelhados.

		E-4	Centro de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral.
		E-5	Pré-escola	Creches, escolas maternas, jardins de infância.
		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 funerárias e assemelhados.
		F-3	Centro esportivo e de exibição	Estádios, ginásios e piscinas com arquibancadas, rodeios, autódromos, sambódromos, arenas em geral, academias, pista de patinação e assemelhados.
		F-4	Estação e terminal de passageiro	Estações ferroviárias e marítimas, portos, 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	Clube social e diversão	Boates, clubes em geral, salões de baile, restaurantes dançantes, clubes sociais, bingo, bilhares, tiro ao alvo, boliche e assemelhados.
		F-7	Construção provisória	Circos e assemelhados.
		F-8	Local para refeição	Restaurantes, lanchonetes, bares, cafés, refeitórios, cantinas e assemelhados.
		F-9	Recreação pública	Jardim zoológico, parques recreativos e assemelhados. 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. Edificações permanentes.
G	Serviço automotivo e assemelhados	G-1	Garagem sem acesso de público e sem abastecimento	Garagens automáticas.
		G-2	Garagem com acesso de público e sem abastecimento	Garagens coletivas sem automação, em geral, sem abastecimentos (exceto veículos de carga e coletivos)
		G-3	Local dotado de abastecimento de combustível	Posto de abastecimento e serviço, garagens (exceto veículos de carga e coletivos).
		G-4	Serviço de conservação, manutenção e reparos	Oficinas de conserto de veículos, borracharia (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.
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	Repartição pública, edificações das forças armadas e policiais	Edificações do Executivo, Legislativo e Judiciário, tribunais, cartórios, quartéis, centrais de polícia, delegacias, postos policiais 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 em que carga de incêndio não chega a 300 MJ/m ²	Atividades que manipulam materiais com baixo risco de incêndio, tais como fábricas em geral, onde 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; joias; 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 1200 MJ/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 1200 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 armazenam tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e outros materiais incombustíveis. Todos sem embalagem.
		J-2	Todo tipo de depósito	Depósitos com carga de incêndio até 300 MJ/m ² .
		J-3	Todo tipo de depósito	Depósitos com carga de incêndio entre 300 e 1200 MJ/m ² .
		J-4	Todo tipo de depósito	Depósitos onde a carga de incêndio ultrapassa a 1200 MJ/m ² .
L	Explosivos	L-1	Comércio	Comércio em geral de fogos de artifício e assemelhado.
		L-2	Indústria	Indústria de material explosivo.
		L-3	Depósito	Depósito de material explosivo.
M	Especial	M-1	Túnel	Túnel rodoferroviário, destinado a transportes de passageiros e cargas diversas.
		M-2	Tanques ou parques de tanques	Edificação destinada à 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	Processamento de lixo	Propriedade destinada a processamento, reciclagem ou armazenamento de material recusado/descartado.
		M-6	Terra selvagem	Floresta, reserva ecológica, parque florestal e assemelhados.
		M-7	Pátio de containers	Área descoberta destinada a armazenamento de containers.

Fonte: NBR 14432 (2001).

- **Dimensionamento de Vigas**

Segundo a NBR 15200 (2012) para o método tabular é considerada apenas a armadura longitudinal, pois com a incidência do fogo na face inferior da viga o momento fletor positivo passa a se tornar o crítico e, normalmente, as peças acabam rompendo por flexão ou flexo-compressão. Os parâmetros de cálculo adotados são a menor dimensão da viga (b_{min}) e a

distância entre o CG da armadura longitudinal e a face exposta ao fogo ($c1$). Para a Tabela 3 é considerado o aquecimento da viga em três faces.

Tabela 3: Dimensões mínimas para vigas bi apoiadas.

TRRF min	Combinações $b_{min}/c1$ (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 (2012).

Tabela 4: Dimensões para vigas contínuas ou vigas de pórticos.

TRRF min	Combinações $b_{min}/c1$ (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 (2012).

- **Dimensionamento de Lajes**

As tabelas indicadas pelo método tabular fornecem para as lajes as espessuras mínimas necessárias e o valor de $c1$ das armaduras inferiores do elemento, ou seja, o dimensionamento é similar ao de vigas. São disponibilizadas as tabelas (5 e 6) de lajes de acordo com a sua composição, no caso do projeto, lajes nervuradas (treliçadas)

“Em situação de incêndio, alguns elementos estruturais como lajes, podem assumir a função de compartimentação; nesses casos, eles terão a tripla função de estabilidade, estanqueidade e isolamento”. COSTA, C. N. (2008, p.178).

Tabela 5: Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas.

TRRF Min	Nervuras Combinações de b_{min}/c_1 * (mm/mm)			Capa** h/c_1 (mm/mm)
	1	2	3	
30	80/15	-	-	60/10
60	100/35	120/25	190/15	80/10
90	120/45	160/40	250/30	100/15
120	160/60	190/55	300/40	120/20
180	220/75	260/70	410/60	150/30

Fonte: NBR 15200 (2012).

* b_{min} - Largura mínima da nervura no nível do centro geométrico das armaduras.

**h - Espessura mínima da laje para garantir a função corta fogo.

Tabela 6: Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma direção.

TRRF min	Nervuras Combinações de b_{min}/c_1 (mm/mm)	
	1	2
30	80/25	100/20
60	100/45	120/40
90	130/60	150/50
120	160/65	220/50
180	220/80	-

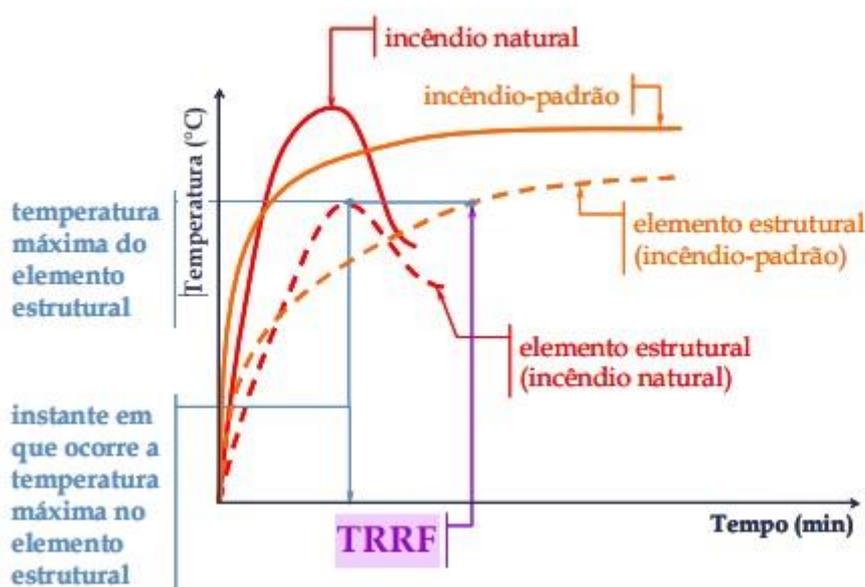
Fonte: NBR 15200 (2012).

Os pilares da edificação não fazem parte do objetivo do trabalho, portanto não foram analisados.

2.3.3 Método do Tempo Equivalente

O conceito de tempo equivalente foi idealizado para associar a severidade do aquecimento de um incêndio real. A temperatura máxima atingida do elemento estrutural em um incêndio real pode ser relacionada à temperatura do elemento aquecido de acordo com a curva-padrão para realização de uma análise estrutural. O método é mais preciso que o Método Tabular. (COSTA & SILVA, 2005)

Figura 9 – Conceito do tempo equivalente.



Fonte: COSTA & SILVA (2005).

O elemento estrutural é calculado a partir da curva padrão para um tempo fictício, de acordo com NBR 14432 (2001) que leva em consideração alguns fatores listados abaixo:

- Carga de incêndio específica;
- Sistema ativo de proteção;
- Características térmicas dos elementos de vedação;
- Altura e ventilação dos ambientes;

Constatados os fatores, foi proposta a equação (1) para o encontro do método do tempo equivalente:

$$teq = qfi \cdot \gamma n \cdot \gamma s \cdot K \cdot W \quad (1)$$

teq = tempo equivalente (min)

qfi = carga de incêndio específica

γn = coeficiente adimensional que leva em conta a proteção ativa da estrutura

γs = Coeficiente adimensional de segurança que leva em conta o perigo e propagação de incêndio, bem como as consequências do colapso da edificação;

K = coeficiente que leva em conta as características térmicas dos elementos de vedação (usualmente, K é tomado como 0,07 min m²/MJ);

W = fator relacionado à ventilação do ambiente e à altura de compartimentação;

- **Carga de incêndio específica**

A maioria dos valores para a carga específica de incêndio encontram-se na Tabela 7, para as edificações não abordadas nas tabelas é possível se estimar o valor por similaridade utilizando a equação (2).

$$qfi = \frac{\sum(Mi.Hi)}{Af} \quad (2)$$

qfi = Carga de incêndio específica

Mi = Massa total de cada componente i do material combustível (Kg);

Hi = Potencial calorífico específico de cada componente i do usualmente material combustível (MJ/kg);

Af = Área do piso do compartimento, usualmente expressa em m²

Tabela 7 – Valores de cargas de incêndio específica.

Ocupação/Usos	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (q_{fi}) [MJ/m ²]
Residencial	Alojamentos estudantis	A-1	300
	Apartamentos	A-2	300
	Casas térreas ou sobrados	A-1	300
	Pensionatos	A-3	300
Serviços de hospedagem	Hotéis	B-1	500
	Motéis	B-1	500
	Apart-hotéis	B-2	300 (500)
Comercial varejista	Açougues	C-1/C-2	40
	Antiguidades	C-1/C-2	700
	Aparelhos eletrodomésticos	C-1/C-2	500
	Artigos de bijuterias, metal ou vidro	C-1/C-2	300
	Artigos de couro, borracha, esportivos	C-1/C-2	800
	Automóveis	C-1/C-2	200
	Bebidas destiladas	C-1/C-2	700
	Brinquedos	C-1/C-2	500
	Cabeleireiro	C-1/C-2	300
	Calçados	C-1/C-2	500
	Drogarias (incluindo depósitos)	C-1/C-2	1000
	Ferragens	C-1/C-2	300
	Floricultura	C-1/C-2	80
	Galeria de quadros	C-1/C-2	200
Livrarias	C-1/C-2	1000	
Comercial varejista	Máquina de costura ou de escritório	C-1/C-2	300
	Materiais fotográficos	C-1/C-2	300
	Móveis	C-1/C-2	500
	Papelarias	C-1/C-2	700
	Perfumarias	C-1/C-2	400
	Produtos têxteis	C-1/C-2	600
	Relojoarias	C-1/C-2	300
	Supermercados (vendas)	C-2	400 (600)
	Tapetes	C-1/C-2	800
	Tintas	C-1/C-2	1000
	Verduras	C-1/C-2	200
	Vinhos	C-1/C-2	200
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Vulcanização	C-1/C-2	1000
	Agências bancárias	D-2	300
	Agência de correios	D-1	400
	Centrais telefônicas	D-1	100 (200)
	Consultórios médicos ou odontológicos	D-1	200 (300)
	Copiadora	D-3	400
	Encadernadoras	D-3	1000
Escritórios	D-1	700	

	Estúdios de rádio ou de televisão ou de fotografia	D-1	300
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Lavanderias	D-3	300
	Oficinas elétricas	D-3	600
	Oficinas hidráulicas ou mecânicas	D-3	200
	Pinturas	D-3	500
	Processamento de dados	D-1	400
Educativa e cultura física	Academias	E-3	300
	Creches	E-5	400
	Escolas	E-1/E-2/E-4	300
Locais de reunião pública	Bibliotecas	F-1	2000
	Cinemas ou teatros	F-5	600
	Igrejas	F-2	200
	Museus	F-1	300
	Restaurantes	F-8	300
Serviços automotivos	Estacionamentos	G-1/G-2	200
	Oficinas de conserto de veículos	G-4	300
Serviços de saúde institucionais	Asilos	H-2	350
	Hospitais	H-1	300

Fonte: NBR 14432 (2001).

- **Coefficiente γ_n**

Leva em consideração a proteção ativa da edificação, o γ_n é encontrado numa relação de três valores de coeficientes, como mostra a Tabela 8 e a equação (3) abaixo:

$$\gamma_n = \gamma_{n1} \cdot \gamma_{n2} \cdot \gamma_{n3} \quad (3)$$

Tabela 8: Fatores da ponderação das medidas de segurança contra incêndio.

Valores de γ_{ni}		
Chuveiros automáticos	Brigada contra incêndio	Detecção automática
$\gamma_{n1} = 0,60$	$\gamma_{n2} = 0,90$	$\gamma_{n3} = 0,90$

Fonte: NBR 14432 (2001).

Na ausência de algum dos componentes, deve-se adotar o valor de 1,00.

- **Coefficiente γ_s**

Leva em consideração o risco, propagação do fogo e eventual colapso da edificação, o γ_s pode ser encontrado na seguinte equação (4):

$$\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2} \quad (4)$$

γ_{s1} = coef. relacionado à área compartimentada e altura da edificação;

γ_{s2} = coef. relacionado ao risco de ativação do incêndio;

O coeficiente γ_{s1} pode ser determinado por:

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{Af \cdot (h+3)}{100.000} \quad (5)$$

Onde $1 < \gamma_{s1} \leq 3$:

Af = Área compartimentada (m²)

h = Altura da edificação (m)

O coeficiente γ_{s2} pode ser determinado na Tabela (9) abaixo:

Tabela 9: Valores de γ_{s2} em função do risco de ativação do incêndio.

γ_{s2}	Risco	Exemplos de ocupação
0,85	Pequeno	Escola, galeria de arte, parque aquático, igreja, museu.
1,0	Normal	Biblioteca, cinema, correio, consultório médico, escritório, farmácia, frigorífico, hotel, livraria, hospital, laboratório fotográfico, indústria de papel, oficina elétrica ou mecânica, residência, restaurante, supermercado, teatro, depósitos (produtos farmacêuticos, bebidas alcoólicas, venda de acessórios de automóveis) e depósitos em geral.
1,2	Médio	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica.
1,5	Alto	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis.

Fonte: NBR 14432 (2001).

- **Coeficiente W**

Leva em consideração a altura do comprimento de ventilação do ambiente, a representação está na equação (6) abaixo:

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \times \left(0,62 + 90 \times \left(0,4 - \frac{Av}{Af}\right)^4\right) \geq 0,50 \quad (6)$$

H = Altura do comprimento (m);

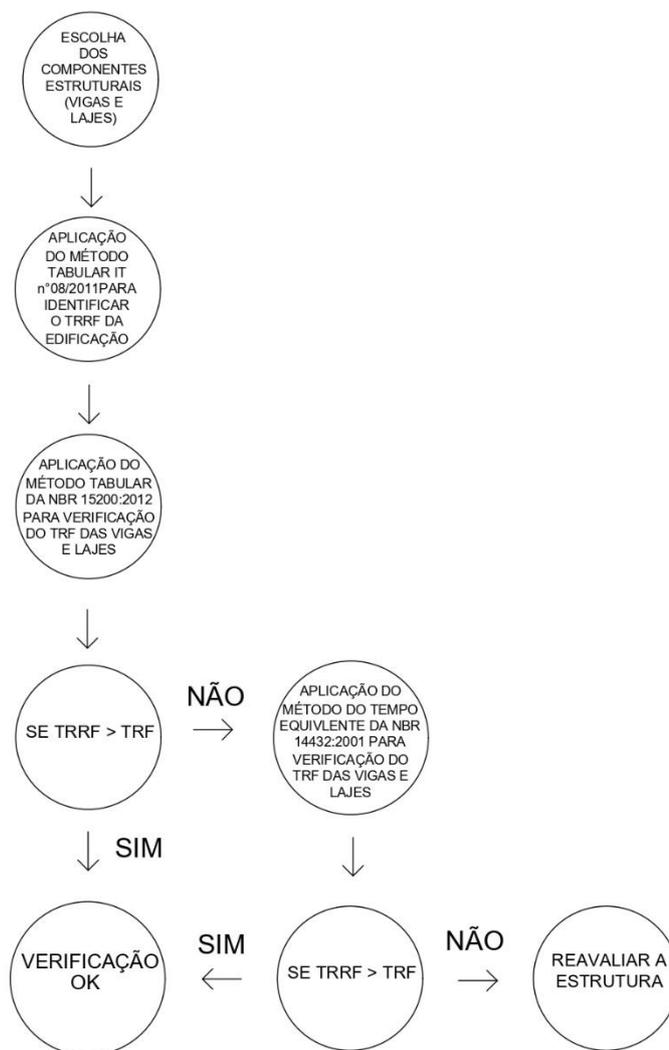
Av = Área de ventilação vertical (m²);

Af = Área compartimentada (m²);

3 METODOLOGIA

O capítulo em questão demonstra o roteiro e aplicação dos métodos de verificação estrutural ao incêndio, de acordo com a sua necessidade, onde foram definidos um conjunto de lajes e vigas de uma edificação para realização do estudo de caso. A Figura 10 demonstra o organograma de desenvolvimento do trabalho.

Figura 10: Organograma de desenvolvimento.

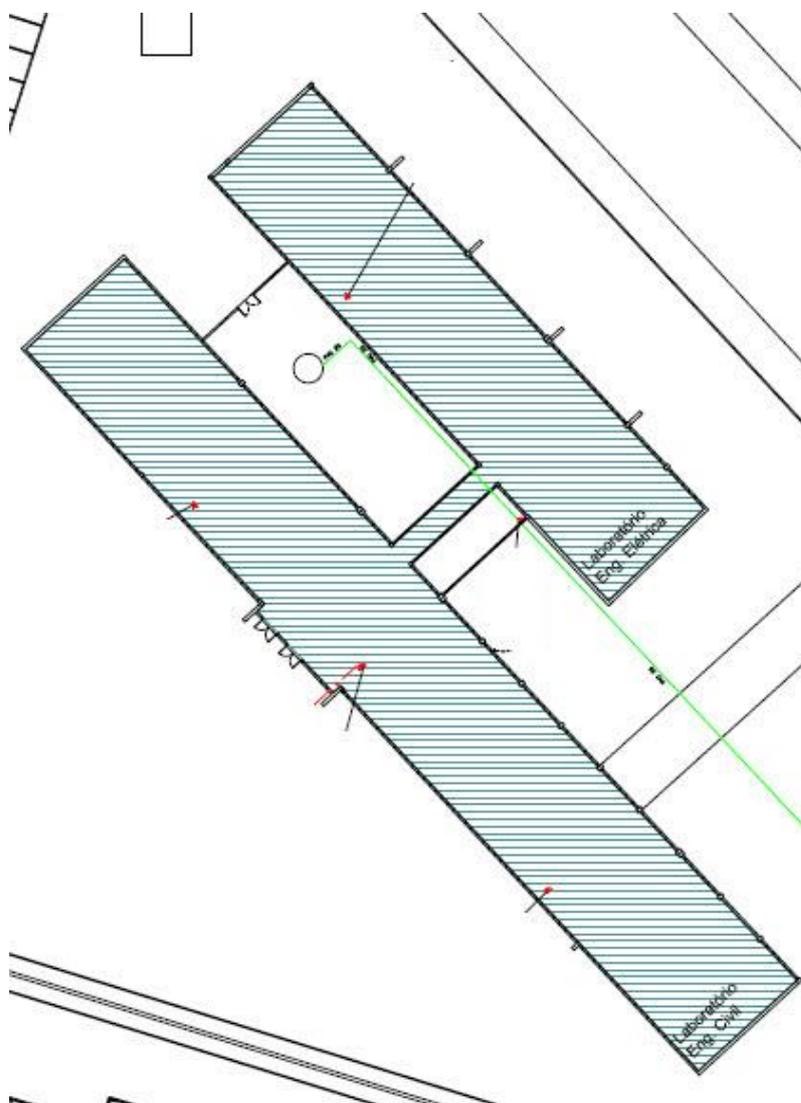


Fonte: Elaboração própria.

3.1 Apresentação da edificação

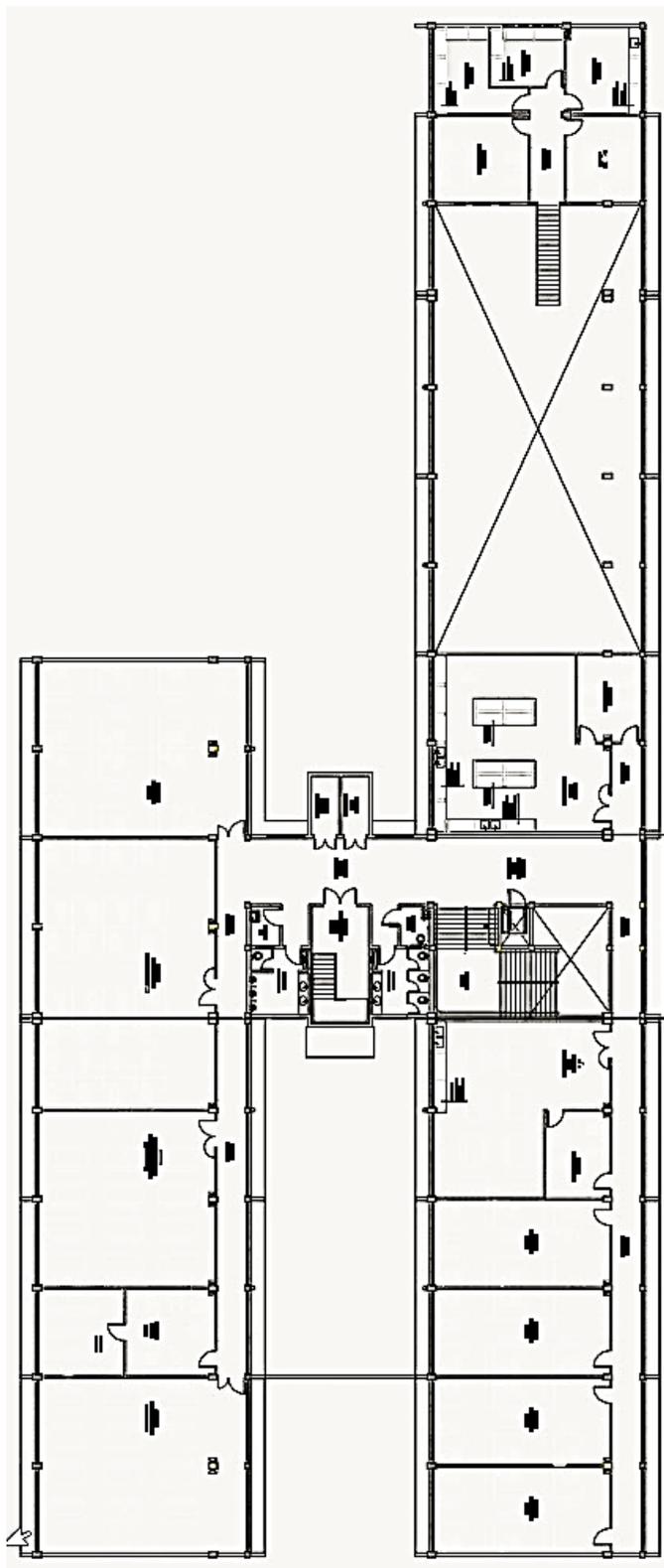
O estudo de caso proposto nesse trabalho pretende analisar os componentes estruturais (vigas e lajes) em situação de incêndio do Laboratório da Engenharia Civil e Elétrica localizado em Alegrete/RS, no campus da UNIPAMPA. A edificação conta com dois pavimentos, distribuídos em Térreo e pavimento superior. O pavimento analisado (segundo pavimento) totaliza uma área construída total de 1.621,5 m², sendo a área total construída de 3243 m². A estrutura foi executada em concreto armado ($f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$) com lajes treliçadas e vigotas, com enchimento em (EPS). As Figuras 11, 12 e 13 representam as plantas de locação, baixa e corte dos laboratórios.

Figura 11 – Planta de locação dos laboratórios.



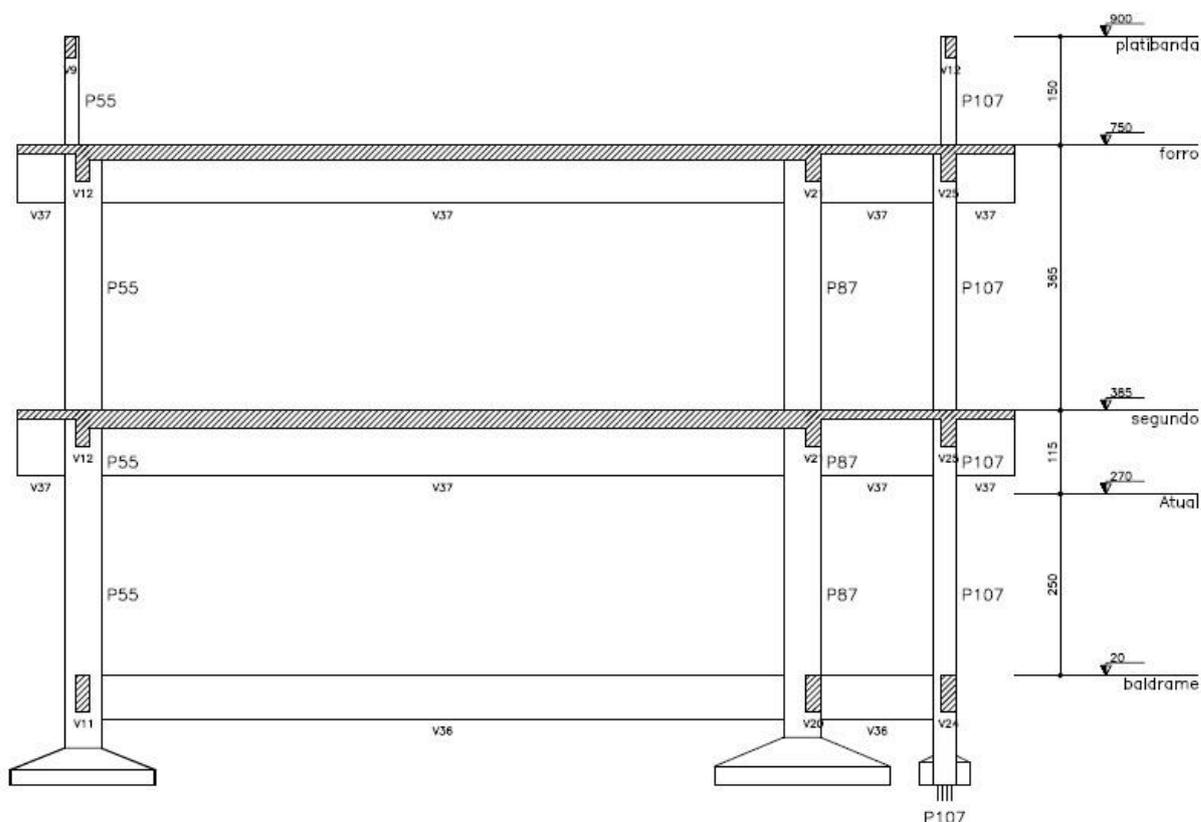
Fonte: Acervo UNIPAMPA.

Figura 12 – Planta baixa do segundo pavimento.



Fonte: Acervo UNIPAMPA.

Figura 13 – Corte longitudinal do laboratório da Engenharia Civil.



Fonte: Acervo UNIPAMPA.

Para a verificação da estrutura do laboratório da Engenharia Civil e Elétrica em situação de incêndio, optou-se por analisar o segundo pavimento da edificação. Nas primeiras definições do conjunto estrutural, foi analisado o TRRF em função da altura total da edificação (Tabela 1) e da ocupação (Tabela 2) pela IT n° 08/2011 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, obtendo assim um Tempo Requerido de Resistência ao Fogo.

Após encontrado o TRRF para as vigas, foi determinado um conjunto de elementos a serem analisados utilizando o método tabular. O conjunto foi verificado de acordo com a NBR 15200 (2012) encontrando-se um TRF (Tempo de Resistência ao Fogo). A partir dos valores de TRRF e TRF foi possível analisar e verificar a necessidade de utilizar ou não o método do tempo do equivalente.

Para o dimensionamento de lajes, o processo é idêntico ao utilizado nas vigas. Como as lajes são pré-moldadas em treliças, o valor de base utilizado na relação com o cobrimento é a espessura da alma da vigota. Os valores são verificados na tabela 5 do item 2.3.2 e foi possível analisar se o conjunto de lajes satisfazem os requisitos para o método tabular ou a necessidade de redução de tempo pelo método do tempo equivalente.

4 ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Verificação do TRRF pelo Método Tabular da IT n° 08/2011 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo

De acordo com a Tabela 1 do item 2.3.2 para definição da classificação, a edificação poderia ser classificada como grupo D ou E (uso misto), pois a tabela não mostra uma especificação precisa para o modelo de estudo. O grupo escolhido demonstra o pior caso, consequentemente o dimensionamento teve um nível de segurança maior, então a edificação foi classificada como grupo D (serviços profissionais, pessoais e técnicos D-1 a D-4).

A edificação possui altura de 7.50 metros até o piso do último pavimento. Entre pisos, o pé direito é de 3,65 metros para o térreo e 3.85 metros para o segundo pavimento, desconsiderando a área de reservatórios, barrilete e cobertura, de acordo com a Tabela 2 do item 2.3.2, a classe encontrada em função da altura é P1 ($hs \leq 6m$) porém essa altura acabaria resultando num TRRF de 30 minutos, no qual não seria possível verificar o tempo equivalente. Por ser uma edificação com um risco considerável pelos materiais que lá estão e sua ocupação por não possuir nenhuma restrição na norma, optou-se por adotar para o cálculo a altura do último piso não habitável do laboratório por questões de segurança, sendo assim considerada a classe P2 ($6m < hs < 12m$).

Com todos os dados necessários, o resultado encontrado para o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) do laboratório das Engenharias Civil e Elétrica foi de 60 minutos.

Destaca-se que o método tabular foi criado para cobrir a pior situação, desconsiderando qualquer elemento de prevenção a ação do fogo na estrutura (proteção ativa).

4.2.1 Dimensionamento do TRF para análise das vigas

As vigas foram executadas com concreto armado usinado, lançado mecanicamente. Ao total, o pavimento estudado possui 76 vigas.

Após análise do projeto estrutural do laboratório, foram selecionadas 13 vigas, com diferentes seções e apoios para ser feita a verificação. Dessa forma, cobrem-se todos os tipos possíveis de características dentro do projeto. Na Tabela 10 estão listadas as vigas selecionadas, com suas seções transversais e condições de vinculação consideradas.

Tabela 10: Disposição das vigas analisadas.

VIGA	SEÇÃO (mm)		TIPO DE VINCULAÇÃO
V2	200	500	Contínua
V8	150	400	Bi apoiada
V17	150	300	Bi apoiada
V20	150	500	Contínua
V23	250	600	Contínua
V24	200	500	Bi apoiada
V29	250	800	Contínua
V31	250	900	Contínua
V45	200	700	Contínua
V51	300	900	Bi apoiada
V71	200	700	Bi apoiada
V73	200	700	Contínua
V74	200	600	Contínua

Fonte: Elaboração própria.

Como a análise do método tabular é definida pelo cobrimento do elemento, é possível identificar que o pior caso será o elemento que tenha o menor valor de base, pois o CG da armadura estará mais próximo a face da viga. No item 3.3 será apresentada a exemplificação realizada para o caso da viga V20.

Para a verificação das seções nas vigas, o método tabular requer apenas três condições, listadas abaixo:

- Tipo de apoio.
- b_w da viga.
- Distância do centro da armadura (centroide) a face exposta da viga (c_1).

Para obtenção do valor de c_1 de cada viga foi utilizada a equação 7;

$$c_1 = c + \phi t + \frac{\phi}{2} \quad (7)$$

Onde:

c = Cobrimento de projeto (mm)

ϕt = Diâmetro do estribo (mm)

ϕ = Diâmetro das barras da armadura longitudinal (mm)

Segundo a NBR 15200 (2012) quando existe mais de uma camada de barras é necessário encontrar um c_1 médio na seção, obtido através da equação (8).

$$c_{1m} < \left| \begin{array}{l} \frac{\sum c_{1vi} A_{si}}{\sum A_{si}} \\ \frac{\sum c_{1hi} A_{si}}{\sum A_{si}} \end{array} \right. \quad (8)$$

Onde:

c_{1vi} – distância da barra i , de área A_{si} , ao fundo da viga;

c_{1hi} – distância da barra i , de área A_{si} , à face lateral da viga;

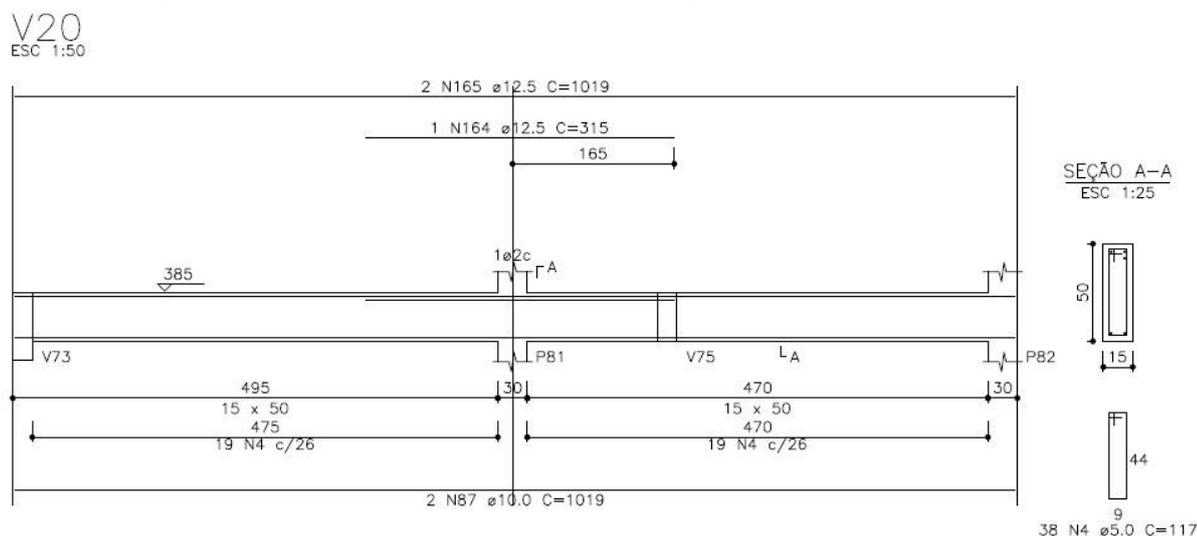
A_{si} – Área das barras da armadura.

4.2.2 Aplicação do Método Tabular da NBR 15200 (2012) para obtenção do TRF das vigas

Foram selecionadas duas vigas dentro do arranjo com diferentes tipos de apoio e largura de base (b_w). As vigas modelo escolhidas entre as treze estudadas no trabalho para demonstração da aplicação do método, foram a V20 (contínua) e V24 (bi apoiada),

exemplificando assim as duas tipologias disponíveis no projeto. A Figura 14 mostra o detalhamento da armadura da viga V20.

Figura 14 – Detalhamento transversal e longitudinal V20.



Fonte: Acervo UNIPAMPA.

A V20 possui seção de 150x500mm de tipologia de vinculação contínua, possuindo dois vãos livres de 495 mm e 470 mm respectivamente, com um apoio intermediário (P81). A V20 possui armaduras longitudinais com barras superiores e inferiores, sendo na parte superior (negativa) $3\phi 12,5$ mm dispostos em duas camadas e na parte inferior (positiva) $2\phi 10$ mm em apenas uma camada. Os estribos utilizados são de $\phi = 5$ mm e o cobrimento estipulado em projeto é de 3 cm .

Para a análise dessa viga foram utilizados apenas os dados da parte inferior, uma vez que a parte superior envolve duas camadas de barras, e terá um valor maior de c_1 sendo uma situação menos crítica para a análise de resistência ao fogo.

Para o encontro do c_1 , foi utilizada a equação (7):

$$c_1 = 30 + 5 + 10/2$$

$$c_1 = 40 \text{ mm}$$

A distância do centroide da armadura a face exposta da V20 é 40 mm.

De acordo com a Tabela 11, para um TRRF de 60 min e um $c_1 = 40$ mm é necessário ter uma b_{wmin} de 100 mm (a V20 possui 150 mm). A partir desses dados é verificada a relação de b_{min}/c_1 , onde a base mínima necessária seria de 120 mm para um $c_1 = 25$ mm.

Tabela 11: Dimensões para vigas contínuas ou vigas de pórticos.

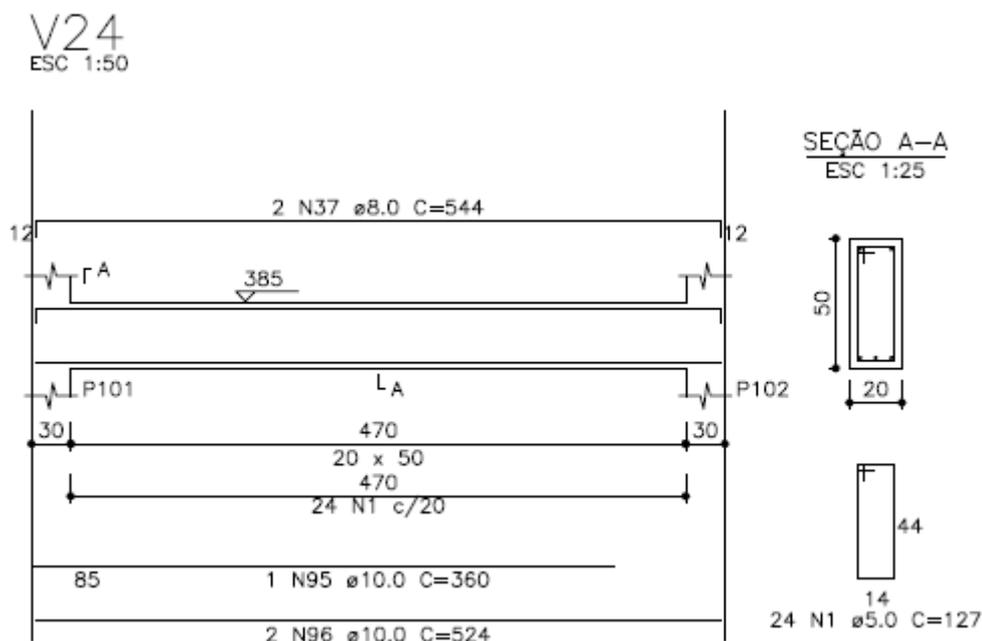
TRRF min	Combinações b_{min}/c_1 (mm/mm)				b_{wmin} (mm)
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12			80
60	120/25	190/12			100
90	140/37	250/25			100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

Fonte: NBR 15200 (2012).

Ou seja, após análise dos resultados verificou-se que a viga V20 atende com folga os requisitos mínimos para o método tabular.

Por sua vez, a V24 possui seção de 200x500mm de tipologia de vinculação bi apoiada, onde se tem um vão livre de 470 mm, apoiada nos pilares P101 e P102. A viga V24 também possui armaduras com barras superiores e inferiores, sendo na parte superior (negativa) $2\phi 8$ mm e na parte inferior (positiva) $3\phi 10$ mm. Os valores do diâmetro do estribo e cobrimento são os mesmos utilizados na viga V20, $\phi = 5$ mm e $c = 3$ cm, respectivamente. A Figura 15 mostra o detalhamento da armadura da viga V24.

Figura 15 – Detalhamento transversal e longitudinal V24.



Fonte: Acervo UNIPAMPA.

Para obter o valor de $c1$ para a viga V24, foram utilizadas as armaduras superiores, pois possuem um valor de diâmetro menor que as inferiores e conseqüentemente mais proximidade à face exposta do componente.

Para obtenção do valor de $c1$, foi utilizada a equação (7):

$$c1 = 30 + 5 + 8/2$$

$$c1 = 39 \text{ mm}$$

A distância do centroide da armadura a face exposta da V24 é 39mm.

De acordo com a tabela 12, para um TRRF de 60 min e um $c1$ de 39 mm é necessário ter um $b_{\text{wmín}}$ de 100 mm (a V24 possui 200 mm). A partir desses dados verifica-se que a relação de $b_{\text{mín}}/c1$ é atendida, onde a base mínima necessária seria de 160 mm.

Tabela 12: Dimensões mínimas para vigas bi apoiadas.

TRRF min	Combinações 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 (2012).

Os cálculos mostrados das vigas modelo foram replicados para todas as vigas restantes selecionadas no trabalho, sendo os resultados apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Dimensionamento das vigas.

VIGA	SEÇÃO (mm)		TIPO DE VINCULAÇÃO	ϕ armad sup (mm)	ϕ armad inf (mm)	ϕ estribo (mm)	c (mm)	c1 (mm)	bmin/c1	Situação
V2	200	500	Contínua	12,5	10	5	30	40	120/25	Atende
V8	150	400	Bi apoiada	8	8	5	30	39	160/35	Atende
V17	150	300	Bi apoiada	8	8	5	30	39	160/35	Atende
V20	150	500	Contínua	12,5	10	5	30	40	120/25	Atende
V23	250	600	Contínua	12,5	10	5	30	40	120/25	Atende
V24	200	500	Bi apoiada	8	10	5	30	39	160/35	Atende
V29	250	800	Contínua	16	12,5	5	30	41,25	120/25	Atende
V31	250	900	Contínua	16	16	5	30	43	120/25	Atende
V45	200	700	Contínua	10	10	5	30	40	120/25	Atende
V51	300	900	Bi apoiada	20	16	5	30	43	160/35	Atende
V71	200	700	Bi apoiada	10	10	5	30	40	160/35	Atende
V73	200	700	Contínua	10	10	5	30	40	120/25	Atende
V74	200	600	Contínua	10	10	5	30	40	120/25	Atende

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a Tabela 13, as treze vigas do segundo pavimento do laboratório, analisadas nesse estudo, atendem aos requisitos mínimos do método tabular para um TRRF de 60 minutos.

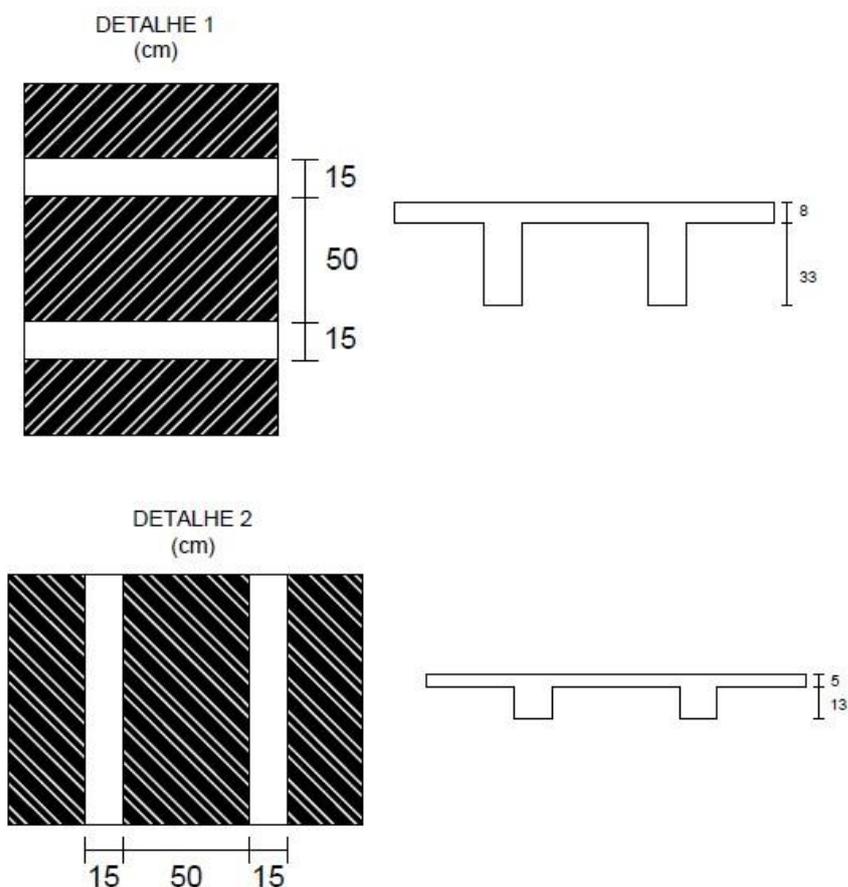
4.3.1 Dimensionamento do TRF para análise das lajes

Para o conjunto de lajes treliçadas com enchimento em EPS são utilizadas vigotas pré-moldadas, onde o conjunto é solidarizado por uma capa de concreto.

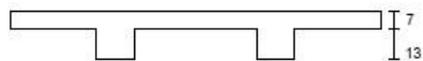
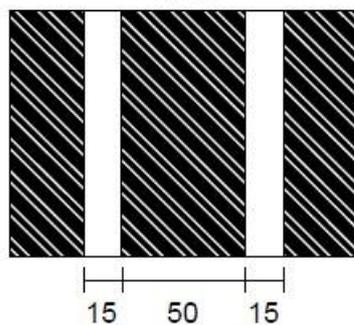
O projeto conta com 102 lajes, distribuídas em treliçadas e maciças (marquises), sendo as lajes treliçadas o objetivo de estudo desse trabalho.

O projeto estrutural possui seis tipos de detalhamentos onde, para cada seção, as características de montagem das vigotas variam na direção e espessura. A Figura 16 demonstra os detalhamentos.

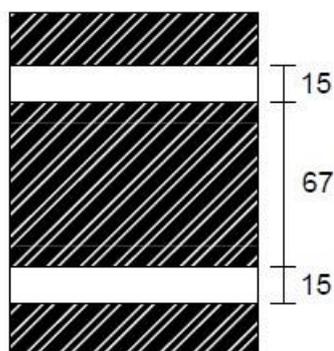
Figura 16 – Detalhamento das lajes.



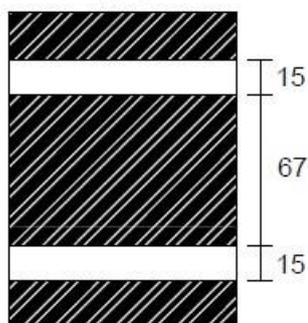
DETALHE 3
(cm)



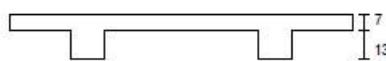
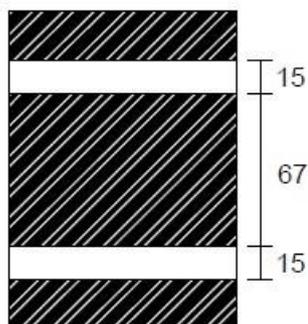
DETALHE 4
(cm)



DETALHE 5
(cm)



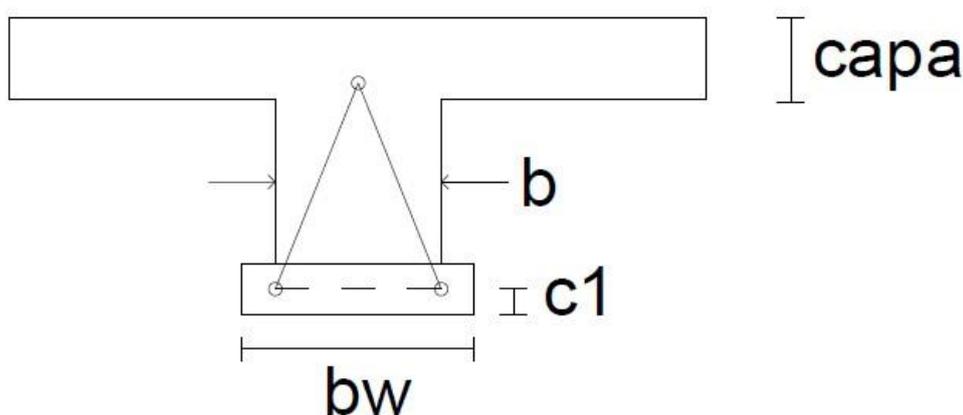
DETALHE 6
(cm)



Fonte: Elaboração própria.

Nos detalhamentos mostrados na Figura 16, podemos perceber que há uma variação na largura dos EPS, direção da colocação das vigotas e nas alturas da alma e da capa. Para a verificação da laje treliçada o valor utilizado para a base da sapata da vigota é de 15 cm e não se altera em nenhum detalhamento. A Figura 17 mostra o detalhamento da seção transversal da vigota.

Figura 17 – Detalhamento transversal da vigota.



Fonte: Elaboração própria.

Onde:

b – base da seção da alma ($b = 100 \text{ mm}$)

b_w – base da sapata da vigota ($b_w = 150 \text{ mm}$)

c_1 – Distância do centroide da armadura à face da vigota

Conforme comentado anteriormente, as vigotas do projeto são peças pré-moldadas com armaduras treliçadas e sapatas com altura entre 3 a 4 cm. Para o estudo foi utilizada uma altura de 3 cm, valor mais comum de se encontrar nesse tipo de laje.

Segundo a NBR 15200 (2012) é permitida a consideração do revestimento na determinação das dimensões mínimas da seção transversal, portanto para o cálculo de c_1 poderá ser adicionada a camada de revestimento utilizada em projeto, porém é necessário respeitar as prescrições referentes aos tipos de revestimentos utilizados.

- Revestimentos aderentes de argamassa de cal e areia (aderência à tração de acordo com a ABNT NBR 13528) têm 67% de eficiência relativa ao concreto.
- Revestimentos de argamassa de cimento e areia aderentes (aderência à tração de acordo com a ABNT NBR 13528) têm 100% de eficiência relativa ao concreto.

A composição do revestimento utilizado no projeto está listada abaixo:

- Chapisco – Traço 1:3 (cimento e areia grossa) – com espessura de 5 mm.
- Emboço – Argamassa industrializada isenta de cal, com espessura de 10 mm.
- Reboco (massa fina) – Traço 1:2:9 (cimento, cal e areia) – com espessura de 5 mm.

4.3.2 Aplicação do Método Tabular da NBR 15200 (2012) para obtenção do TRF das lajes

As lajes modelos utilizadas para a demonstração dos cálculos foram a L20 e L30, pois a única variação na equação é em função da diferença de posição do centroide da armadura. As barras utilizadas nessas lajes são de 5 mm e 8 mm, respectivamente.

Como comentado anteriormente, para as vigotas pré-moldadas foi adotada uma sapata com espessura de 30 mm (3 cm).

Para o revestimento foi adotado uma eficiência de 67% em relação ao concreto, pois a massa fina possui cal na sua composição.

Para o cálculo de $c1$ das lajes utilizou-se à equação (9).

$$c1 = \frac{h}{2} - \frac{\phi}{2} + rev * 0,67 \quad (9)$$

Onde:

h – Altura da vigota pré-moldada (mm)

ϕ – Diâmetro da armadura longitudinal (mm)

rev – Espessura de revestimento (mm)

A primeira laje analisada foi a L20, onde as características se resumem na altura da laje de ($h = 25$ cm) com as barras da armadura positiva definidas em $2\phi 8$ mm. Para o cálculo, como citado anteriormente, a altura usual é definida pela altura da vigota, onde estão dispostas as barras. A seguir é apresentado o cálculo efetuado com a aplicação da equação (9).

$$c1 = \frac{30}{2} - \frac{8}{2} + 20 * 0,67$$

$$c1 = 24,4 \text{ mm}$$

Já a L30 possui a altura de 12 cm, com as barras da armadura positiva dispostas em $2\phi 5\text{mm}$. O cálculo para encontro de $c1$ é praticamente idêntico a L20, mudando apenas o diâmetro da barra utilizada na laje (ϕ). A seguir é apresentado o cálculo de $c1$ para a laje L30 com a aplicação da equação 9.

$$c1 = \frac{30}{2} - \frac{5}{2} + 20 * 0,67$$

$$c1 = 25,9\text{mm}$$

Após obtidos os parâmetros de análise, compararam-se as relações $b/c1$ das lajes com as relações $b_{\min}/c1$ fornecidas pela Tabela 14, de forma a verificar se as lajes atendem à verificação para a situação de incêndio pelo método tabular.

Tabela 14: Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma direção.

TRRF min	Nervuras	
	Combinações de $b_{\min}/c1$	
	(mm/mm)	
	1	2
30	80/25	100/20
60	100/45	120/40
90	130/60	150/50
120	160/65	220/50
180	220/80	-

Fonte: NBR 15200 (2012).

Como apresentado no detalhamento da Figura 17, o valor “b” das duas lajes são iguais ($b = 100 \text{ mm}$) e de acordo com a Tabela 14, para um $b = 100 \text{ mm}$ e $\text{TRRF} = 60 \text{ min}$, é necessário um valor mínimo de $c1$ de 45 mm, portanto os valores encontrados para as lajes do projeto (24,4

mm e 25,9 mm) encontram-se abaixo do requisito mínimo. Dessa forma, para o caso das lajes foi necessário realizar uma nova análise utilizando o método do tempo equivalente, buscando se obter uma redução do TRF de projeto em questão.

4.4 Aplicação do Método do Tempo Equivalente da NBR 14432 (2001) para obtenção do TRF das lajes

Para o cálculo do tempo equivalente, que visa a redução do TRF são levados em consideração alguns fatores, como a presença de proteção ativa, área de compartimentação do pavimento, risco de ativação do incêndio, altura do compartimento e área de ventilação vertical.

Primeiramente foi utilizada a Tabela 7 para definição da carga de incêndio da edificação, que por não possuir uma definição exata na tabela, o laboratório definiu como D-3 (Oficina elétrica), escolhido por ter o maior valor de carga de incêndio (600 [MJ/m²]), A edificação possui em seu projeto extintores e hidrantes. O método do tempo equivalente foi apresentado na revisão bibliográfica no item 2.3.3, sendo aqui apresentados os resultados obtidos no estudo de caso das lajes em questão.

- Coeficiente γ_n (equação 3)

O coeficiente γ_n leva em consideração à existência de proteção ativa. O projeto do laboratório define que o sistema é composto por extintores e hidrantes, portanto os valores de γ_{n1} e γ_{n3} será 1,0 e o γ_{n2} será 0,9, de acordo com a Tabela 8.

$$\gamma_n = \gamma_{n1} \cdot \gamma_{n2} \cdot \gamma_{n3}$$

$$\gamma_n = 1,0 \times 0,9 \times 1,0$$

$$\gamma_n = 0,9$$

- Coeficiente γ_s (equação 4)

Esse coeficiente leva em consideração os riscos de ignição e propagação do incêndio e é obtido através da multiplicação de γ_{s1} (equação 5) e γ_{s2} (Tabela 9).

O cálculo do valor de γ_{s1} é em função da área de compartimentação do pavimento, como o projeto de PPCI não especifica portas cortas-fogo, ou seja, não define áreas compartimentadas em situação de incêndio, foi utilizada a área total do pavimento. A altura utilizada foi do solo até o piso do último pavimento. A seguir são apresentados os resultados obtidos.

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{1621,5 \cdot (7,5 + 3)}{100.000}$$

$$\gamma_{s1} = 1,170$$

O γ_{s2} está relacionado com o risco de ativação do incêndio. Como se trata de um laboratório onde se tem materiais químicos e de risco maior, utilizou-se para o cálculo o valor médio, encontrado na Tabela 9 de $\gamma_{s2} = 1,2$

Após obtido os valores de γ_{s1} e γ_{s2} , pôde-se obter o valor do γ_s :

$$\gamma_s = 1,170 \times 1,2$$

$$\gamma_s = 1,103$$

- Coeficiente W (equação 6)

O coeficiente W leva em consideração alguns fatores, como: altura do compartimento e a ventilação do ambiente. É obtido pela equação 6, onde a altura H é a altura do pé direito, A_v a área de ventilação vertical (aberturas externas em geral) e A_f a área compartimentada. A seguir é apresentada a aplicação da equação 6 e o resultado obtido. Verificou-se que o valor encontrado satisfaz o requisito para a verificação ($W \geq 0,50$).

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \times \left(0,62 + 90 \times \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)^4\right) \geq 0,50$$

$$W = \left(\frac{6}{3,65}\right)^{0,3} \times \left(0,62 + 90 \times \left(0,4 - \frac{886,41}{1621,5}\right)^4\right) \geq 0,50$$

$$W = 0,768$$

- Equação tempo equivalente (equação 1)

É obtido através da multiplicação de todos os fatores obtidos anteriormente, adicionando o coeficiente $K = 0,07 \text{ min m}^2/\text{MJ}$ conforme demonstrado na equação geral no item 2.3.3. A seguir é apresentada a aplicação da equação 1 para obtenção do tempo equivalente.

$$teq = qfi \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot K \cdot W$$

$$teq = 600 \times 0,9 \times 1,103 \times 0,07 \times 0,768$$

$$teq = 32,02 \text{ min}$$

Segundo o Anexo A da NBR 15200 (2012) o método do tempo equivalente possui duas limitações, listadas abaixo:

- Para edificações com altura limitada a 12 m, o tempo equivalente deve ser de no mínimo 15 min;
- Para edificações com altura maior que 12 m, o tempo equivalente pode ser reduzido no máximo em 30 min do TRRF estabelecido na NBR 14432 (2001).

A partir do cálculo utilizando as características arquitetônicas e de proteção contra incêndio do laboratório, possibilitou a redução do método tabular para o tempo equivalente de 60 minutos para 32,02 minutos, ou seja, aproximadamente 50% do tempo pode ser reduzido apenas levando em consideração as características da edificação. Como citado anteriormente o requisito mínimo para a edificação é de possuir um tempo equivalente maior ou igual a 15 minutos.

O tempo equivalente definido para os componentes estruturais analisados (vigas e lajes) foi aproximado para 30 minutos. Uma vez que as vigas, com o TRRF = 60 minutos já atendiam os requisitos mínimos de cálculo, analisou-se somente as lajes treliçadas que não atendiam às verificações através do método tabular.

Os valores de c_1 encontrados para as lajes L20 e L30 foram de 24,4 mm e 25,9 mm, respectivamente. Assim, analisou-se o pior caso entre elas, para um TRRF = 30 minutos. Segundo a Tabela 14, a relação de b_{min}/c_1 é 100/20. O valor de “b” (espessura da alma) de todas as vigotas do laboratório é de 100 mm, e o menor c_1 foi encontrado para a L20 sendo de 24,4 mm, assim tem-se uma relação 100/24,4. Dessa forma, conclui-se que a partir da redução obtida pelo método do tempo equivalente, as lajes de todo pavimento do laboratório atendem aos requisitos mínimos exigidos pela NBR 14432 (2001).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo buscou apresentar os principais pontos sobre a importância da verificação das estruturas de concreto em situação de incêndio, tomando como exemplo o laboratório da Engenharia Civil e Elétrica, onde foi possível analisar os componentes estruturais de vigas e lajes e verificar que a estrutura possui os requisitos mínimos para manter a segurança dos usuários em caso de ocorrência de incêndio.

Os objetivos estabelecidos no estudo foram alcançados, visto que foi possível fazer a análise das vigas e lajes de acordo com suas características pelos métodos propostos nesse trabalho. No caso das lajes, para atender aos requisitos da norma, foi necessária a aplicação do método do tempo equivalente, conseguindo assim atingir a relação de base pelo cobrimento necessário estipulados em norma.

Percebe-se que a utilização do método do tempo equivalente é uma excelente alternativa quando não se consegue atender o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) através do método tabular, uma vez que, apenas considerando os sistemas de prevenção de incêndio e suas características geométricas, conseguiu-se reduzir o TRRF de 60 para 30 minutos, e dessa forma atender aos requisitos de norma.

Para as vigas o resultado também foi satisfatório, pois as mesmas já atendiam os requisitos de norma com a utilização do método tabular, que não leva em consideração nenhum meio de proteção contra o incêndio existente na edificação.

Foi possível responder ao questionamento levantado no trabalho, pois como a estrutura possui a segurança necessária mínima para o usuário, em caso de incêndio, é possível realizar toda a evacuação do prédio e isolamento da área antes de um possível dano estrutural irreversível ou um colapso iminente que pode vir a acontecer, evitando assim a perda de vidas.

O trabalho em questão mostra a importância da verificação da estrutura em situação de incêndio, mesmo que possuam meios de proteção que consigam inibir a propagação em massa do fogo, é necessário saber se a estrutura atende os requisitos mínimos de norma a fim de manter sua integridade por um tempo mínimo considerado suficiente para a evacuação da edificação.

- Sugestões de trabalhos futuros:
 - Verificar a estrutura pelos outros métodos existentes (método experimental e avançado).
 - Analisar a partir da elaboração de um modelo estrutural o TRF dos pilares da edificação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, G. B. M. L.; SILVA, V. P. Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio por meio gráfico. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 6, p. 513-536, 2013.

ALBUQUERQUE, G. B. M. Lins et al. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8681: **Ações e segurança nas estruturas** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14323: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, 2013.

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

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

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado**. São Paulo, 2006.

BRACKMANN, Gabriela Dalfollo. **Dimensionamento de vigas mistas de aço-concreto em temperatura ambiente e em situação de incêndio**. Universidade Federal de Santa Maria, 2018.

BRITTEZ, C., Carvalho, M., Helene, P. (2020), "Ações e efeitos deletérios do fogo em estruturas de concreto. Uma breve revisão", Revista ALCONPAT, 10 (1), pp. 1 – 21

CARVALHO, P. R. O. **Análise numérica de pequenas paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto em situação de incêndio: ênfase no comportamento térmico e termoestrutural**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2019.

COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta. **O método do tempo equivalente para o projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. In: 47 CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO-IBRACON. 2005.

COSTA, Carla Neves; SILVA, V. Pignatta. **Dimensionamento de lajes nervuradas de concreto armado em situação de incêndio. Uma alternativa às tabelas da NBR 15200: 2004**. In: anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves. IBRACON. 2007.

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

COSTA, Carla Neves; FIGUEIREDO, AD de; SILVA, V. P. **O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio—uma revisão crítica**. In: Congresso Brasileiro de Concreto. 2002. p. 1-15.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. IBRACON Structural Journal. **Revista IBRACON de Estruturas**, v. 2, n. 1, 2006.

COUTINHO, Bianca Alvarenga; CORRÊA, Antônio Ramos. A Interpretação do Controle de Materiais de Acabamentos e de Revestimento no Processo de Segurança Contra Incêndio e Pânico. **E&S Engineering and Science**, v. 5, n. 2, p. 26-41, 2016.

CUOGHI, Ricardo de Scarabello. **Aspectos de análise de risco das estruturas de concreto em situação de incêndio**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DATHEIN, RICARDO. **Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX**. Publicações DECON Textos Didáticos 02/2003. DECON/UFRGS, Porto Alegre, Fevereiro 2003

FIGUEIREDO, Afonso Pinho. **Verificação de segurança de estruturas mistas aço-betão em situação de incêndio**. 2014.

GRACIEL, V. **Dimensionamento de estruturas em concreto armado com verificação de incêndio: Estudo comparativo do consumo de material em estruturas dimensionadas com e sem a verificação de incêndio**. 2016.

IWANKIW, N. **Segmentation of analysis/design levels for structural fire engineering**. In: SiF’06 INTERNATIONAL WORKSHOP STRUCTURES IN FIRE, 4., 2006, Aveiro. Proceedings... Aveiro: University of Aveiro/Theoria poesis praxis, 2006. v. 2, p. 709–720.

KIRCHHOF, L. D. **Uma contribuição ao estudo de vigas mistas aço-concreto simplesmente apoiadas em temperatura ambiente e em situação de incêndio**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

KIRCHHOF, L. D. **Estudo teórico-experimental da influência do teor de umidade no fenômeno de *spalling* explosivo em concretos expostos a elevadas temperaturas**. 237p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LIMA, R. C. A. et al. Efeito de altas temperaturas no concreto. **Seminário De Patologias Das Edificações**, v. 2, 2004.

NOGUEIRA, Marlos Henrique Pires et al. **Estudo de Caso em Três Obras da Região Metropolitana de Belém-PA, para Verificação do Atendimento aos Requisitos da Norma NBR 15200 (ABNT, 2012)–Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**. RCT-Revista de Ciência e Tecnologia, v. 6, 2020.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO – CORPO DE BOMBEIROS.

Instrução técnica Nº 08 – Resistência ao fogo dos elementos de construção. 12p. São Paulo, 2011

REGOBELLO, R. et al. Influência da vinculação em modelos numéricos de vigas mistas de aço e concreto em situação de incêndio. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v. 3, p. 357-373, 2010.

RODRIGUES, João Paulo Correia; DE OLIVEIRA, Rafael Luiz Galvão. **Dimensionamento de estruturas em situação de incêndio**. Oficina de Textos, 2021.

SILVA, T. J. R. **Redimensionamento de lajes e vigas de uma estrutura de concreto armado em situação de incêndio conforme NBR 15200:2012**, 2018.

SILVA, V. P. **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**. Editora Blucher, 2012.

Incêndio atinge prédio da secretaria de segurança pública do RS em Porto Alegre. **G1 globo**. 14 de jul. 2021. Disponível em:< <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2021/07/14/incendio-atinge-predio-da-secretaria-de-seguranca-publica-do-rs-em-porto-alegre.ghtml>>. Acesso em: 15 de jul. 2022

Após mais de 33 horas, incêndio ainda atinge prédio no Centro de SP. **G1 globo**. 12 de jul. 2022. Disponível em:< <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2022/07/12/apos-mais-de-30-horas-incendio-ainda-atinge-predio-no-centro-de-sp-chamas-seguem-no-ultimo-andar-e-terreno-de-loja.ghtml>>. Acesso em: 15 de jul. 2022

Não hesite em entrar em contato com os técnicos do departamento de Patologia da Elaborex para tirar suas dúvidas e solicitar um orçamento caso sua estrutura tenha sofrido danos devido à exposição a um incêndio. **Elaborex**. 30 de mar. 2022. Disponível em:< <https://www.elaborex.es/pt/estructuras-de-hormigon-afectadas-por-incendios/>>. Acesso em 12 de dez. 2022

Caderno de Encargos da obra (Acervo Unipampa)