

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS III

ÁREA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

CURSO BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL



TIAGO SERPA BATISTA

**COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELO MÉTODO TABULAR E  
PELO MÉTODO SIMPLIFICADO PROPOSTO POR MARCELO MESQUITA DO  
AMARAL, NO DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM  
SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.**

Goiânia

2025

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO  
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |                                                                      |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese                                        | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação                                 | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação                  | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |                                                         |

Nome Completo do Autor: Tiago Serpa Batista

Matrícula: 20191011050240

Título do Trabalho: Comparação dos resultados obtidos pelo método tabular e pelo método simplificado proposto por Marcelo Mesquita do Amaral, no dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio.

**Autorização - Marque uma das opções**

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.  
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.  
☐ Outra justificativa: \_\_\_\_\_

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Local  
Goiânia, 26/08/2025.  
Data

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



TIAGO SERPA BATISTA

**COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELO MÉTODO TABULAR E  
PELO MÉTODO SIMPLIFICADO PROPOSTO POR MARCELO MESQUITA DO  
AMARAL, NO DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM  
SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Elias Calixto Carrijo

Coorientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Araújo da Silva Mendes

Goiânia

2025

B333c

Batista, Tiago Serpa.

Comparação dos resultados obtidos pelo método tabular e pelo método simplificado proposto por Marcelo Mesquita do Amaral, no dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio / Tiago Serpa Batista. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2025.  
85 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Elias Calixto Carrijo.

Coorientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Araújo da Silva Mendes.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Bacharelado em Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

1. Dimensionamento de estruturas. 2. Incêndio em estruturas. 3. Método Simplificado Proposto (MSP). I. Carrijo, Elias Calixto (orientador). II. Mendes, Vinícius Araújo da Silva (coorientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. IV. Título.

CDD 624.177 2

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Alisson de Sousa Belthodo Santos CRB1/ 2.266  
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELO MÉTODO TABULAR E PELO MÉTODO SIMPLIFICADO PROPOSTO POR MARCELO MESQUITA DO AMARAL, NO DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**, sob orientação de Elias Calixto Carrijo e coorientação de Marcus Vinicius Araujo da Silva Mendes, apresentada pelo aluno **Tiago Serpa Batista (20191011050240)** do Curso **Bacharelado em Engenharia Civil (Câmpus Goiânia)**. Os trabalhos foram iniciados às **16:00** do dia **11/08/2025** pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Marcus Vinicius Araujo da Silva Mendes** (Coorientador e Presidente)
- **Paulo Francinete Silva Junior** (Examinador Interno)
- **Erica de Almeida Bastos Zanon** (Examinadora Interna)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

☒ Aprovado

☐ Reprovado

Nota : 8,0

**Observação / Apreciações:**

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Marcus Vinicius Araujo da Silva Mendes** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Paulo Francinete Silva Junior** (557.810.711-72), em **26/08/2025 00:58:56** com chave **fcd6b86a823011f0b79e005056a537a4**.
- **Marcus Vinicius Araujo da Silva Mendes** (975.007.631-15), em **25/08/2025 23:22:16** com chave **7bf9e3f0822311f0a6c6005056a537a4**.
- **Erica de Almeida Bastos Zanon** (685.839.822-87), em **26/08/2025 06:49:34** com chave **f8d25bda826111f0b1cb005056a537a4**.

Este documento foi emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse [https://suap.ifg.edu.br/comum/autenticar\\_documento/](https://suap.ifg.edu.br/comum/autenticar_documento/) e informe os dados a seguir.

**Tipo de Documento:** Ata de Projeto Final

**Data da Emissão:** 26/08/2025

**Código de Autenticação:** be3d1f



## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse TCC à minha mãe, meu pai, minha irmã e para meus amigos, que diretamente me ajudaram na elaboração desse trabalho. E que Deus abençoe a todos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus por tudo que aconteceu durante a elaboração desse projeto. Em segundo lugar, quero agradecer minha família por me incentivar e ajudar na elaboração desse trabalho e a terminar a faculdade.

Além disso, quero agradecer aos meus amigos, que me ajudaram direta e indiretamente no término da faculdade e também na elaboração desse TCC.

Agradeço também ao meu orientador Elias que me ajudou diretamente em esclarecimentos de dúvidas e no incentivo ao estudo dessa bela área da engenharia civil, a área das estruturas.

Agradeço também aos leitores desse trabalho, que cederão um tempo de suas vidas para leitura de minhas contribuições ao incentivo ao estudo de estruturas em situações de incêndio.

## **EPÍGRAFE**

“Apressa-te a viver bem e pense que cada dia é, por si só, uma vida.”

(Lúcio Aneu Séneca)

## RESUMO

A segurança é um fator essencial no dimensionamento de estruturas no geral, desse modo, é cargo do engenheiro estrutural prever os diversos cenários aos quais uma estrutura poderá ser submetida. Dentre esses, se destacam as situações excepcionais como batidas de veículos, abalos sísmicos, incêndios, entre outros. Um correto cálculo estrutural visa antecipar situações específicas as quais a estrutura tem grande probabilidade de enfrentar e, no caso, a maioria das estruturas estão sujeitas a enfrentarem um incêndio ao longo de sua vida útil. Portanto, o dimensionamento nessa situação específica se torna de extrema importância na carreira de qualquer calculista estrutural, desse modo, essa pesquisa se destina a explicar dois métodos de verificação de estruturas em situação de incêndio e se propõe também a conceder uma visão geral desse tema. O primeiro método escolhido foi o tabular, por ser um dos mais utilizados no Brasil, sendo um método simples e seguro para a verificação de estruturas submetidas à altas temperaturas. No entanto, esse método é extremamente simplificado e a favor da segurança em algumas situações, ou seja, para estruturas mais arrojadas e que necessitam de um rígido controle econômico, pode ser necessário o uso de métodos mais específicos de análise. Entretanto, esses métodos específicos podem ser extremamente complexos e de difícil compreensão, por conta disso, Marcelo Mesquita de Amaral, graduado em engenharia civil pela Universidade Federal do Rio Grande e mestre em engenharia oceânica pela Universidade Federal do Rio Grande, localizadas no Rio Grande do Sul, propôs o Método Simplificado Proposto (MSP). Esse método foi escolhido para esse trabalho por ser uma opção mais simples de análise quando comparado com os métodos propostos pela ABNT NBR 15200, sendo assim, este trabalho irá comparar os dois métodos, para verificar a real viabilidade do método MSP na análise e verificação de estruturas em altas temperaturas.

**PALAVRAS CHAVE:** Incêndio, Método Tabular, MSP, segurança

## **ABSTRACT**

Safety is an essential factor in the design of structures in general. Thus, it is the responsibility of the structural engineer to anticipate the various scenarios to which a structure may be subjected. Among these, exceptional situations such as vehicle collisions, earthquakes, and fires stand out. A proper structural design aims to anticipate specific conditions that a structure is highly likely to face; in this regard, most structures are subject to the possibility of fire throughout their service life. Therefore, design considerations under this specific condition become of utmost importance in the career of any structural engineer. In this context, the present research seeks to examine two methods of assessing structures under fire conditions, while also providing an overview of the subject. The first method selected was the tabular method, one of the most widely used in Brazil, due to its simplicity and reliability in verifying structures exposed to high temperatures. However, this method is highly simplified and conservative in certain situations. Consequently, for more sophisticated structures requiring strict economic control, the use of more specific analytical methods may be necessary. Nonetheless, such advanced methods can be extremely complex and difficult to interpret. For this reason, Marcelo Mesquita de Amaral, who holds a degree in Civil Engineering and a Master's in Ocean Engineering from the Federal University of Rio Grande, Brazil, proposed the Simplified Proposed Method (SPM). This method was chosen for this study as it provides a simpler alternative to the procedures established in ABNT NBR 15200. Accordingly, this work aims to compare both methods in order to evaluate the actual feasibility of applying the SPM in the analysis and verification of structures under high-temperature conditions.

**KEY WORDS:** Fire, Tabular Method, MSP, Safety,

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figura 1 - Curva de incêndio natural.....</b>                                | <b>24</b> |
| <b>Figura 2 - Curva de Incêndio-padrão a 20°.....</b>                           | <b>25</b> |
| <b>Figura 3 - Seções das vigas de concreto armado .....</b>                     | <b>36</b> |
| <b>Figura 4 - Dimensão c1 e c1ℓ.....</b>                                        | <b>36</b> |
| <b>Figura 5 - Envoltória de momentos fletores .....</b>                         | <b>39</b> |
| <b>Figura 6 - Tabela com resultados extraídos do programa Eberik.....</b>       | <b>50</b> |
| <b>Figura 7 - Memorial de cálculo MSP - Viga VS1_1 .....</b>                    | <b>53</b> |
| <b>Figura 8 - Memorial para o cálculo do ks,m - Viga VS1_1.....</b>             | <b>53</b> |
| <b>Figura 9 - Vista Lateral direita.....</b>                                    | <b>55</b> |
| <b>Figura 10 - Vista Lateral esquerda.....</b>                                  | <b>55</b> |
| <b>Figura 11 - Vista frontal.....</b>                                           | <b>56</b> |
| <b>Figura 12 - Vista Traseira .....</b>                                         | <b>56</b> |
| <b>Figura 13 – Forma do pavimento Superior.....</b>                             | <b>57</b> |
| <b>Figura 14 - Corte A-A .....</b>                                              | <b>58</b> |
| <b>Figura 15 - Corte B-B .....</b>                                              | <b>58</b> |
| <b>Figura 16 - Comparação entre as áreas de concreto entre os métodos .....</b> | <b>68</b> |
| <b>Figura 17 - Comparação entre áreas de aço (VS1_1) .....</b>                  | <b>68</b> |
| <b>Figura 18 - Comparação entre áreas de aço (VS1_2) .....</b>                  | <b>69</b> |
| <b>Figura 19 - Comparação entre áreas de aço (VS2_1) .....</b>                  | <b>69</b> |
| <b>Figura 20 - Comparação entre áreas de aço (VS2_2) .....</b>                  | <b>70</b> |

|                                                                                                          |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figura 21 - Comparação entre áreas de aço (VS3) .....</b>                                             | <b>70</b> |
| <b>Figura 22 - Comparação entre Cobrimentos nominais (VS1) .....</b>                                     | <b>71</b> |
| <b>Figura 23 - Comparação entre Cobrimentos nominais (VS2) .....</b>                                     | <b>71</b> |
| <b>Figura 24 - Comparação entre Cobrimentos nominais (VS3) .....</b>                                     | <b>71</b> |
| <b>Figura 25 - Comparação entre detalhes pelo método MSP - viga VS1.....</b>                             | <b>72</b> |
| <b>Figura 26 - Comparação entre detalhes pelo método MSP - viga VS2.....</b>                             | <b>73</b> |
| <b>Figura 27 - Comparação entre detalhes pelo método MSP - viga VS3.....</b>                             | <b>73</b> |
| <b>Figura 28 - Relação entre Altura útil e Momento Resistente em situação de incêndio....</b>            | <b>74</b> |
| <b>Figura 29 - Comparação de detalhes da viga VS1 para o método tabular e vinculação contínua .....</b>  | <b>75</b> |
| <b>Figura 30 - Comparação de detalhes da viga VS1 para o método tabular e vinculação biapoiada .....</b> | <b>75</b> |
| <b>Figura 31 - Comparação de detalhes da viga VS2 para o método tabular e vinculação contínua .....</b>  | <b>76</b> |
| <b>Figura 32 - Comparação de detalhes da viga VS2 para o método tabular e vinculação biapoiada .....</b> | <b>76</b> |
| <b>Figura 33 -Comparação de detalhes da viga VS3 para o método tabular e vinculação contínua .....</b>   | <b>77</b> |
| <b>Figura 34 - Comparação de detalhes da viga VS3 para o método tabular e vinculação biapoiada .....</b> | <b>77</b> |
| <b>Figura 35 - Detalhamentos da viga VS1 pelo método tabular .....</b>                                   | <b>79</b> |
| <b>Figura 36 - Detalhamentos da viga VS2 pelo método tabular .....</b>                                   | <b>80</b> |
| <b>Figura 37 - Detalhamentos da viga VS3 pelo método tabular .....</b>                                   | <b>80</b> |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Temperatura para cada TRRF .....                                                       | 26 |
| Tabela 2 - Grupos das edificações.....                                                            | 27 |
| Tabela 3 - Valores de $K_c\theta$ em função da temperatura .....                                  | 30 |
| Tabela 4 - Valores de $k_s\theta$ .....                                                           | 31 |
| Tabela 5 - Eficiência dos revestimentos contra o fogo .....                                       | 35 |
| Tabela 6 - $b_{mín}$ (cm) para vigas com uma camada de armadura longitudinal .....                | 37 |
| Tabela 7 - $b_{wmín}$ (cm) para vigas com largura variável (Figura 3).....                        | 37 |
| Tabela 8 - Dimensões mínimas para vigas biapoiadas .....                                          | 40 |
| Tabela 9 - Dimensões mínimas para vigas contínuas .....                                           | 40 |
| Tabela 10 - Tabela de resultados pelo método MSP .....                                            | 60 |
| Tabela 11 - Tabela de resultados pelo método MSP - Continuação .....                              | 61 |
| Tabela 12 - Tabela de resultados pelo Método Tabular pelo programa Eberik .....                   | 62 |
| Tabela 13 - Tabela de resultados pelo Método Tabular pelo programa Eberik continuação .....       | 63 |
| Tabela 14 - Vinculações adotadas pelo programa Eberik.....                                        | 64 |
| Tabela 15 - Resultados das vigas pelo método tabular pela planilha para vinculação contínua ..... | 65 |
| Tabela 16 - Resultado das vigas pelo método tabular pela planilha para vinculação biapoiada ..... | 66 |
| Tabela 17 - Tabela com resultados do Programa Eberik - Para TRRF 60 min.....                      | 67 |
| Tabela 18 - Tabela com resultados do Programa Eberik - Para TRRF 60 min - 2° Vão .                | 67 |

|                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabela 19 - Tabela com resultados da altura útil e momento resistente das vigas .....</b> | <b>74</b> |
| <b>Tabela 20 - Análise dos dois métodos (MSP e Método tabular, pelo programa) .....</b>      | <b>78</b> |
| <b>Tabela 21 - Análise dos dois métodos continuação .....</b>                                | <b>79</b> |

## **LISTA DE QUADROS**

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Quadro 1 - Coeficientes de ponderação para cargas ELU .....</b> | <b>33</b> |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |                                               |
|--------|-----------------------------------------------|
| ABNT - | Associação Brasileira de Normas Técnicas      |
| NBR -  | Norma Brasileira                              |
| NT -   | Norma Técnica                                 |
| CBMGO- | Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás |
| ISO -  | Organização Internacional de Normalização     |
| IT -   | Instrução Técnica                             |
| PPCI - | Projeto de Prevenção Contra Incêndio          |
| ELU -  | Estado Limite Último                          |
| MJ -   | Mega Joule                                    |
| m -    | Metro                                         |
| kg -   | Quilograma                                    |
| TRF -  | Tempo de Resistência ao Fogo                  |
| MSP -  | Método Simplificado Proposto                  |
| kN -   | Quilo Newton                                  |
| MTE -  | Método do Tempo Equivalente                   |
| kgf -  | Quilograma Força                              |
| tf -   | Tonelada Força                                |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                           |                                                                             |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| $t$ -                     | Tempo                                                                       |
| $\theta$ -                | Temperatura                                                                 |
| $q$ -                     | Carga                                                                       |
| $M_i$ -                   | Massa do Material Combustível                                               |
| $H_i$ -                   | Potencial Calorífico do Material                                            |
| $A$ -                     | Área                                                                        |
| $f_{c,\theta}$ -          | Resistência Característica do Concreto à Temperatura $\theta$               |
| $f_{y,\theta}$ -          | Resistência Característica do Aço à Temperatura $\theta$                    |
| $f_{cd,\theta}$ -         | Resistência de Cálculo do Concreto em Situação de Incêndio                  |
| $f_{yd,\theta}$ -         | Resistência de Cálculo do Aço em Situação de Incêndio                       |
| $k_{c,\theta}$ -          | Fator de Redução da Resistência do Concreto conforme à Temperatura $\theta$ |
| $k_{s,\theta}$ -          | Fator de Redução da Resistência do Aço conforme à Temperatura $\theta$      |
| $F$ -                     | Força Solicitante ou Resistência                                            |
| $\gamma_g$ e $\gamma_q$ - | Coefficientes de Ponderação das Cargas Permanentes e Variáveis              |
| $F_{1qexec}$ -            | Carga Excepcional de Incêndio                                               |
| $\gamma_{\in g}$ -        | Coefficiente de Ponderação das Cargas Permanentes de Retração               |
| $\gamma_{\in q}$ -        | Coefficiente de Ponderação das Cargas Variáveis de Temperatura              |
| $\Psi_0$ -                | Coefficiente de Ponderação das Combinações Últimas                          |
| $\Psi_2$ -                | Coefficiente de Ponderação das Combinações de Serviço                       |

|                       |                                                                                      |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| $S_{d,fi}$ -          | Solicitação de Cálculo em Situação de Incêndio                                       |
| $R_{d,fi}$ -          | Resistência de Cálculo em Situação de Incêndio                                       |
| $b_{min}$ -           | Dimensão Mínima de Acordo com Método Tabular                                         |
| $c_1$ -               | Distância da Face do Concreto até o Eixo da Barra                                    |
| $c1_\ell$ -           | Distância $c1$ na Vertical para Vigas com Apenas uma Camada de Armadura Longitudinal |
| $\gamma_z$ -          | Coeficiente Gama Z                                                                   |
| $M$ -                 | Momento                                                                              |
| $A_s$ -               | Área de Aço                                                                          |
| $A_c$ -               | Área da Seção Transversal de Concreto                                                |
| $S_d$ -               | Solicitações à Temperatura Ambiente                                                  |
| $I$ -                 | Momento de Inércia                                                                   |
| $\varphi$ -           | Fluxo de Calor                                                                       |
| $\alpha_c$ -          | Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção                                  |
| $\alpha_i$ -          | Coeficiente de Minoração de $f_{cd,\theta}$ para Situação de Incêndio                |
| $\varepsilon_{res}$ - | Emissividade Resultante                                                              |
| $k_{s,m}$ -           | Fator de Redução Médio do Aço em Situação de Incêndio                                |
| $d$ -                 | Altura Útil                                                                          |
| $t_e$ -               | Tempo Requerido de Resistência (MTE)                                                 |
| $H$ -                 | Altura do Compartimento                                                              |
| $h$ -                 | Altura                                                                               |

## SUMÁRIO

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                 | 20 |
| 1.1 Justificativa.....                                                             | 21 |
| 1.2 Objetivo Geral .....                                                           | 21 |
| 1.3 Objetivos Específicos.....                                                     | 21 |
| 1.4 Estrutura do Trabalho .....                                                    | 22 |
| 2. CONTEXTUALIZAÇÃO .....                                                          | 22 |
| 2.1 Incêndio Natural .....                                                         | 23 |
| 2.2 Incêndio-Padrão .....                                                          | 24 |
| 2.3 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) .....                            | 25 |
| 2.4 Classificação das edificações .....                                            | 26 |
| 2.5 Propriedades dos materiais em altas temperaturas .....                         | 28 |
| 2.5.1 Concreto .....                                                               | 29 |
| 2.5.2 Aço.....                                                                     | 30 |
| 2.6 Solicitação de incêndio .....                                                  | 31 |
| 2.7 Métodos de verificação de estruturas de concreto em situação de incêndio ..... | 32 |
| 2.7.1 MÉTODO TABULAR .....                                                         | 34 |
| 2.7.1.1 VIGAS.....                                                                 | 35 |
| 2.7.2 MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO.....                                          | 40 |
| 2.7.3 MÉTODOS AVANÇADOS DE CÁLCULO.....                                            | 43 |
| 2.7.4 MÉTODO EXPERIMENTAL.....                                                     | 43 |

|       |                                           |    |
|-------|-------------------------------------------|----|
| 2.7.5 | MÉTODO SIMPLIFICADO PROPOSTO (MSP) .....  | 44 |
| 2.7.6 | MÓDULO DE ANÁLISE DE INCÊNDIO EBERIK..... | 47 |
| 2.8   | FÓRMULAS ADIMENSIONAIS KMD .....          | 47 |
| 3.    | METODOLOGIA .....                         | 49 |
| 3.1   | Estrutura analisada .....                 | 54 |
| 4.    | RESULTADO e discussões .....              | 59 |
| 5.    | CONCLUSÃO.....                            | 80 |
| 6.    | RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....  | 81 |
| 7.    | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....           | 81 |

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das primeiras marcas da evolução da humanidade foi a descoberta do fogo e, como transportá-lo. Segundo pesquisas arqueológicas, há provas de materiais queimados há cerca de 1,5 milhões de anos atrás, segundo o artigo da “Philosophical Transactions of the Royal Society”. Essa descoberta marcou a perpetuação da humanidade, pois a partir disso foi possível cozinhar alimentos, obter iluminação e produzir alguns tipos de materiais como a cerâmica (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2023).

Desde então se aprimorou a habilidade em manusear o fogo, com cada vez mais eficiência, chegando ao ponto de se ter acesso a essa ferramenta de forma portátil. Porém, notou-se também que esse recurso pode se tornar incontrollável, criando assim incêndios, que resultam em grandes catástrofes, com prejuízos materiais e biológicos.

Um dos primeiros grandes incêndios que se tem registrado na história é o Grande Incêndio de Roma ocorrido nos dias 18 e 19 de julho de 64 d.C. e é considerado uma das maiores catástrofes da antiguidade devido a ineficiência no combate ao fogo naquela época (FERNANDES, 2023). Dessa forma, esse evento evidenciou a importância do investimento em métodos de combate ao incêndio, consequentemente a elaboração de diferentes técnicas para combater e prevenir o fogo, as quais vem sendo evoluídas até os dias de hoje.

Dentre essas técnicas destaca-se a segurança estrutural em situação de incêndio, que se resume em fornecer tempo suficiente de resistência da edificação, para possibilitar a fuga de todas as pessoas presentes na edificação. Esta se torna crucial em todos os tipos de edificação, pois um dos efeitos mais perigosos, quando se trata de segurança para pessoas, é o desabamento da estrutura, por conta de todo o trabalho de resgate e combate se tornar mais complexo.

Por conta disso, o objetivo desse trabalho é avaliar vigas em situação de incêndio a partir da metodologia proposta pela NBR 15200, “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio”, denominada método tabular; e pela metodologia proposta pelo Mestre Marcelo Mesquita do Amaral, em sua dissertação de mestrado: “Dimensionamento de vigas de concreto armado de estruturas portuárias em situação de incêndio”, denominada Método Simplificado Proposto (MSP).

Essa avaliação permitiu a extração de dados importantes para a viabilização econômica do atendimento as exigências encontradas na norma 15200, bem como a compreensão de conceitos necessários para a correta verificação de vigas de concreto submetidas a altas temperaturas.

### **1.1 Justificativa**

O fenômeno do incêndio nem sempre foi objeto de estudos específicos no Brasil. A primeira norma contra incêndios foi estabelecida em 1975 após a ocorrência do incêndio no edifício Joelma que ceifou a vida de 181 pessoas e deixou cerca de 300 feridas (Escola Politécnica da USP, 2023), desde então, as normas têm sido aprimoradas. Entretanto, nos dias atuais este ainda não é um tema regularmente estudado em cursos de engenharia civil e há comparativamente poucos profissionais na área da engenharia que dominam o assunto. Sendo assim, é necessário incentivar o estudo dessa área do conhecimento para que se tenha cada vez mais soluções técnicas contra esse fenômeno.

As consequências de um incêndio são imensuráveis, havendo tanto prejuízo material quanto biológico. Desse modo, para amenizar os danos causados, há também a necessidade de formas de análises cada vez mais precisas de avaliação do comportamento de estruturas em situação de incêndio. Esse tópico se torna importante pelo fato da garantia da resistência da estrutura ao fogo por período suficiente para a fuga em segurança das pessoas da edificação.

### **1.2 Objetivo Geral**

O objetivo dessa pesquisa é analisar e compreender as variações de dimensionamento de vigas através dos métodos tabular e o MSP proposto por Marcelo Mesquita do Amaral (2018).

### **1.3 Objetivos Específicos**

Destaca-se os seguintes objetivos específicos:

- Compreender os principais impactos no dimensionamento de vigas, utilizando os dois métodos citados sob diferentes TRRF's (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo) (vide 2.3);
- Instigar a elaboração de mais pesquisas sobre o tema;

- Desenvolver uma planilha utilizando o aplicativo excel para calcular o método MSP e o método Tabular;
- Realizar uma análise do método de cálculo adotado pelo software Eberik em seu módulo de verificação de incêndio.

#### **1.4 Estrutura do Trabalho**

Esse trabalho foi estruturado visando fornecer uma visão geral sob o tema do dimensionamento de estruturas em situação de incêndio, para isso, foi contextualizado o incêndio natural e incêndio-padrão, para assim conseguir as padronizações necessárias para determinação dos TRRF's (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo).

Além disso, foram explicitadas as propriedades dos materiais componentes do concreto armado submetidos a altas temperaturas, com a finalidade de se determinar as resistências do aço e do concreto nessa situação, conforme prescrições da norma 15200.

Por conseguinte, foi apresentado a forma de se considerar as solicitações provenientes do incêndio, para assim, ser introduzido os métodos de verificação em situação de incêndio. Sendo o foco nos métodos tabular e simplificado de cálculo. Após isso foi dado o embasamento teórico do Método Simplificado Proposto (MSP) de Marcelo Mesquita, explicitando também a forma de análise da distribuição de temperatura no concreto e aço.

## **2. CONTEXTUALIZAÇÃO**

Diante do exposto, deve-se estabelecer os parâmetros do incêndio-padrão para interpretar o incêndio natural e assim calcular as resistências e solicitações do concreto em situação de incêndio.

Para isso, é necessário ter uma visão geral sobre os PPCI (Projetos de Proteção Contra Incêndio), pois a análise de estruturas em situação de incêndio nada mais é que uma medida de prevenção contra incêndio passiva, que irá verificar a segurança da estrutura, para garantir a fuga das pessoas. Além dessa medida, existem diversas outras, como extintores de incêndio, alarme de incêndio, sistema de detecção contra incêndio, saídas de emergência, iluminação de emergência, entre outros.

É importante ressaltar que as referências que serão utilizadas são específicas para o estado de Goiás, disponibilizadas pelo excelente trabalho do Corpo de Bombeiros Militares do Estado de Goiás (CBMGO). Todas as NT's (Normas Técnicas) são baseadas nas IT's (Instruções Técnicas) de São Paulo, dessa forma, não comprometendo a adoção dos conceitos em outras partes do país.

## **2.1 Incêndio Natural**

O incêndio natural nada mais é que o incêndio propriamente dito, o qual pode ser definido como a variação de temperatura em função do tempo que simula o incêndio real (ABNT NBR 14432, 2001). Sendo assim, o incêndio se define como qualquer fogo indesejado, independentemente de sua natureza e dimensão (NT-02, CBMGO, 2022).

Para se conseguir o fenômeno do incêndio, é necessário que 4 parâmetros coexistam simultaneamente: Combustível, Comburente (Oxigênio), Calor e Reação em cadeia.

O combustível pode ser definido como “qualquer substância capaz de produzir calor por meio da reação química (NT-02, CBMGO, 2022)”.

Comburente “é a substância que alimenta a reação química para produzir calor (NT-02, CBMGO, 2022)”.

Calor pode ser definido como uma forma de energia que se transfere de um sistema para outro em virtude da diferença de temperatura (NT-02, CBMGO, 2022).

Reação em cadeia é o ponto em que o calor começa a se dissipar de forma contínua e espalhar-se no ambiente.

O incêndio natural pode ser dividido em 3 etapas, como se pode observar na Figura 1. Sendo a primeira a fase inicial, a qual é caracterizada pela grande variação de temperatura após a ignição (NT-02, CBMGO, 2022).

Após essa fase, inicia a fase de aquecimento, a qual é caracterizada pela alta temperatura do ambiente, e onde ocorre a inflamação generalizada denominada “Flashover”.

A última fase do incêndio, denominada fase de resfriamento e extinção, é caracterizada pela extinção do fogo e o resfriamento do ambiente (NT-02, CBMGO, 2022).

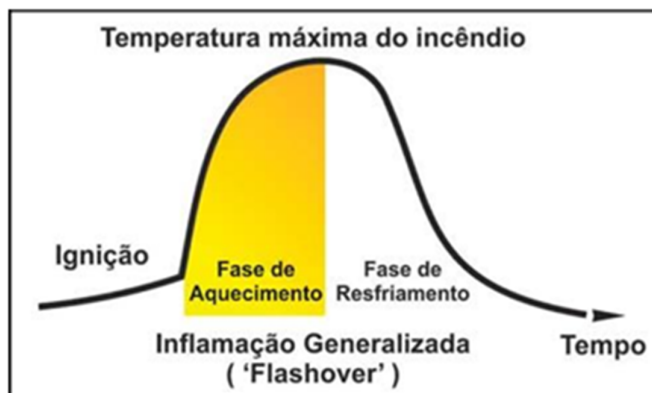
Além disso, é necessário determinar as formas de propagação do incêndio para conseguir combatê-las com êxito, e são essas: (NT-02, CBMGO, 2022; SILVA, Brasil Escola, 2023):

A) Por condução: ocorre quando dois corpos com temperaturas diferentes são colocados em contato. No geral, um corpo em combustão e outro com uma temperatura inferior;

B) Por convecção: ocorre devido a movimentação do líquido ou gás em combustão;

C) Por radiação: ocorre por meio de ondas eletromagnéticas emitidas pelos corpos em combustão.

**Figura 1 - Curva de incêndio natural**



Fonte: NT-02, CBMGO, 2022

## 2.2 Incêndio-Padrão

Pode-se perceber que a curva do incêndio natural é semelhante a uma curva exponencial. Porém, definir os parâmetros exatos da temperatura de um incêndio natural é extremamente complexo, visto que estes dependem de diversos fatores como os objetos combustíveis, as aberturas do ambiente, entre outros. Por conta disso, foi feito um esforço conjunto para que se interpretasse a curva de incêndio natural em curvas padronizadas. Neste trabalho utilizou-se como referência a curva ISO 834, definida pela equação 1 e representada na Figura 2, pois as normas brasileiras, bem como as normas técnicas, se baseiam nela para as suas prescrições. (ABNT NBR 15200, 2012).

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1) \quad (1)$$

Onde:

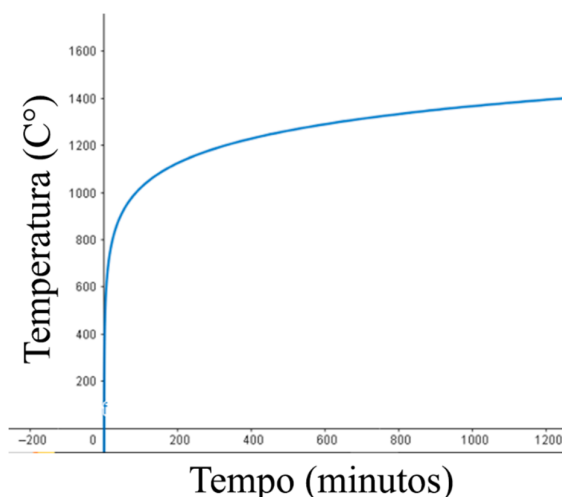
$t$  = Tempo em minutos

$\theta_0$  = Temperatura do ambiente antes do início do aquecimento, em graus Celcius

$\theta_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , geralmente tomado como valor geral

$\theta_g$  = Temperatura dos gases, em graus Celcius

**Figura 2 - Curva de Incêndio-padrão a 20°.**



Fonte: Próprio autor

### 2.3 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

Em virtude da equação de incêndio-padrão, foi possível estabelecer períodos de tempo fixos, com temperaturas definidas, para a análise do incêndio, fazendo com que as normas pudessem estabelecer, de acordo com a funcionalidade da edificação, critérios práticos de resistência a serem seguidos.

Foram então estabelecidos períodos de tempo, em minutos, que a estrutura precisa resistir ao colapso, para permitir a evasão das pessoas com segurança da edificação, esses períodos são denominados TRRF's (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo) (ABNT NBR 14432, 2001; NT-08, CBMGO, 2022).

De acordo com a Tabela A do Anexo A da NT-08 - Resistência ao Fogo dos Elementos de Construção, pode-se determinar os principais TRRF's utilizados atualmente, os quais são de:

30, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos, entretanto, o TRRF de 150 minutos não é referenciado na norma NBR 15200, portanto não será considerado na Tabela 1 (ABNT NBR 15200, 2012).

Sendo assim, pela equação 1 pode-se determinar as principais temperaturas as quais estão submetidos os elementos estruturais em cada TRRF e disponíveis na Tabela 1.

**Tabela 1 - Temperatura para cada TRRF**

| <b>Θ<sub>g</sub><br/>(C°)</b> | <b>TRRF's<br/>(Min)</b> |
|-------------------------------|-------------------------|
| <b>20,00</b>                  | <b>0</b>                |
| <b>841,80</b>                 | <b>30</b>               |
| <b>945,34</b>                 | <b>60</b>               |
| <b>1005,99</b>                | <b>90</b>               |
| <b>1049,04</b>                | <b>120</b>              |
| <b>1109,74</b>                | <b>180</b>              |

Fonte: Próprio Autor

## **2.4 Classificação das edificações**

Após se estabelecer os TRRF's para garantir a segurança das edificações, se faz necessário estabelecer quais tipos de edificações precisam de determinado TRRF, para isso deve-se consultar o anexo A - Exigências de Medidas de Segurança Contra Incêndio e Pânico da NT-01 – Procedimentos Administrativos. Essa NT determina os procedimentos ativos e passivos para o PPCI (Projeto de Prevenção de Combate ao Incêndio), sendo a segurança estrutural a medida em foco e considerada uma medida passiva de segurança contra incêndio (NT-01 – Anexo A CBMGO, 2022).

Dentre desses procedimentos se destacam três exigências que podem ser requeridas em situação de incêndio, sendo essas (ABNT NBR 15200, 2012):

- A) Compartimentação: consiste em partes da edificação ou seu todo, que serão projetadas para evitar ou minimizar a propagação do incêndio, através de paredes corta-fogo, portas corta-fogo, vedadores corta-fogo, selos corta-fogo, afastamento horizontal entre aberturas, entre outros;
- B) Estanqueidade: capacidade do elemento estrutural de resistir a solicitação de incêndio sem sofrer rachaduras ou outras aberturas que possam propiciar a passagem de chamas ou gases, no geral exigidas para elementos de compartimentação;

C) Função corta-fogo: capacidade da estrutura ou elemento de impedir a passagem de fogo ou calor para o lado oposto ao do incêndio inicial.

As edificações se dividem em 13 grupos de acordo com a ocupação, os quais estão ditos na Tabela 2. Existem ainda as subdivisões, que servem para especificar melhor o uso e TRRF da estrutura.

**Tabela 2 - Grupos das edificações**

| <b>Grupo</b> | <b>Uso/Ocupação</b>                      |
|--------------|------------------------------------------|
| <b>A</b>     | <b>Residencial</b>                       |
| <b>B</b>     | <b>Serviço de Hospedagem</b>             |
| <b>C</b>     | <b>Comercial</b>                         |
| <b>D</b>     | <b>Serviço profissional</b>              |
| <b>E</b>     | <b>Educacional e cultura física</b>      |
| <b>F</b>     | <b>Local de Reunião de Público</b>       |
| <b>G</b>     | <b>Serviço automotivo e assemelhados</b> |
| <b>H</b>     | <b>Serviço de saúde e institucional</b>  |
| <b>I</b>     | <b>Indústria</b>                         |
| <b>J</b>     | <b>Depósito</b>                          |
| <b>L</b>     | <b>Explosivos</b>                        |
| <b>M</b>     | <b>Especial</b>                          |
| <b>N</b>     | <b>Setor Primário</b>                    |

Fonte: Anexo A, NT – 01, 2020.

Outro ponto que deve ser levado em consideração ao classificar uma edificação é a carga de incêndio, que se traduz no potencial de emissão de energia calorífica após a combustão dos materiais considerados combustíveis (NT-14, CBMGO, 2022).

Essa carga pode ser determinada por dois métodos:

- Probabilístico: que consiste na estimativa da carga por meio de estudos estatísticos.
- Determinístico: que é realizado quando se tem o conhecimento dos materiais presentes na edificação e se estima a carga por meio da equação 2 (NT-14, CBMGO, 2022):

$$q_{fi} = \frac{\sum M_i H_i}{A_f} \quad (2)$$

Onde:

$q_{fi}$  = Carga de incêndio (MJ/m<sup>2</sup>)

$M_i$  = Massa do material combustível (kg)

$H_i$  = Potencial calorífico específico do material (MJ/kg)

$A_f$  = Área do piso do compartimento (m<sup>2</sup>)

## 2.5 Propriedades dos materiais em altas temperaturas

O concreto armado é composto de dois materiais, o aço e o concreto, os quais trabalham de forma conjunta para propiciar ductilidade e resistência às estruturas, porém, em altas temperaturas, a heterogeneidade do concreto armado é realçada (COSTA; SILVA, 2003).

O principal problema das estruturas nessa situação é a exposição do aço a ação do fogo, o qual possui uma alta condutividade térmica, e por isso, sua temperatura se uniformiza rapidamente causando assim sua dilatação diferencial em relação ao concreto, provocando perdas de aderência, flambagem e efeitos de fluência. Por esse motivo, o concreto é o principal responsável pela manutenção da temperatura do aço, devido a sua baixa condutividade térmica (SOUZA et al., 2012; COSTA; SILVA, 2002).

Dessa forma, os cobrimentos nominais realizam a tarefa de proteção passiva contra o incêndio, porém o concreto é submetido a solicitações extras quando exposto ao incêndio. Sendo assim, é necessário garantir o desempenho satisfatório desses materiais quando submetidos a altas temperaturas (SOUZA et al., 2012; COSTA; SILVA, 2002).

Segundo a norma ABN NBR 15200 temos que as resistências de cálculo são ( $Y_m = 1$ ):

$$f_{cd,\theta} = \frac{f_{c,\theta}}{Y_m}$$

$$f_{yd,\theta} = \frac{f_{y,\theta}}{Y_m}$$

Onde:

$f_{c,\theta}$  = Resistência característica do concreto à compressão à temperatura  $\theta$ .

$f_{y,\theta}$  = Resistência característica do aço ao escoamento à temperatura  $\theta$ .

$Y_m$  = Coeficiente ponderador das resistências.

### 2.5.1 Concreto

O concreto, quando superaquecido, começa o processo de degeneração progressiva, e os carregamentos presentes aceleram a sua desagregação por meio de fissuras, pulverização e lascamentos, sendo os lascamentos e pulverização denominados “spalling” (COSTA; SILVA; FIGUEIREDO, 2002).

Esse fenômeno é um processo natural das estruturas em altas temperaturas. Dentro do concreto desenvolvem-se tensões de origem térmica devido ao gradiente térmico, e este é influenciado por diversos fatores. Dentre eles, destaca-se o tipo de agregado utilizado, que sofrem dilatações diferenciais conforme suas características mineralógicas, sendo necessário prever essas tensões e compará-las com a resistência do concreto sob essa ação (COSTA; SILVA; FIGUEIREDO, 2002; ROCHA, 2018). Segundo a NBR 15200 em seu item 6.1.1 a resistência à compressão do concreto em altas temperaturas é dada pela equação 3.

$$f_{c,\theta} = k_{c,\theta} \cdot f_{ck} \quad (3)$$

Onde:

$f_{ck}$  = Resistência característica do concreto à compressão à temperatura ambiente.

$k_{c,\theta}$  = Fator de redução da resistência do concreto conforme uma temperatura  $\theta$ .

O fator  $k_{c,\theta}$  é dado pela Tabela 3, para os concretos com massa específica normal (2000 kgf/m<sup>3</sup> a 2800 kgf/m<sup>3</sup>) com agregados predominantemente silicosos, onde destaca-se o granito e quartzo, amplamente utilizados nas construções no Brasil, para outras temperaturas, pode ser feita interpolação linear (ABNT NBR 15200, 2012).

Tabela 3 - Valores de  $K_{c\theta}$  em função da temperatura

| Temperatura (C°) | $k_{c,\theta}$ |
|------------------|----------------|
| 20               | 1,00           |
| 100              | 1,00           |
| 200              | 0,95           |
| 300              | 0,85           |
| 400              | 0,75           |
| 500              | 0,60           |
| 600              | 0,45           |
| 700              | 0,30           |
| 800              | 0,15           |
| 900              | 0,08           |
| 1000             | 0,04           |
| 1100             | 0,01           |
| 1200             | 0,00           |

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012

Para concretos com outros agregados, deve ser consultado o Eurocode 2, Part 1-2 (ABNT NBR 15200, 2012).

### 2.5.2 Aço

O aço sob altas temperaturas sofre o efeito de fluência, que pode ser definido como um fenômeno de deformação gradual quando algum material é submetido a cargas constantes ao longo do tempo, especialmente em altas temperaturas. Além deste, sofre também dilatações excessivas, ambos, de uma forma praticamente uniforme, sob todo o elemento estrutural, sendo a armadura o principal elemento que conduz ao colapso estrutural (SOUZA et al., 2012; COSTA; SILVA, 2002).

A resistência ao escoamento do aço submetido a elevadas temperaturas pode ser interpretada conforme a equação 4 (ABNT NBR 15200, 2012).

$$f_{y,\theta} = k_{s,\theta} \cdot f_{yk} \quad (4)$$

Onde:

$f_{yk}$  = Resistência característica do aço à temperatura ambiente.

$k_{s,\theta}$  = Fator de redução da resistência do aço conforme uma temperatura  $\theta$ .

Entretanto, a resistência do aço muda conforme o tipo de solicitação da peça e o tipo do aço. Sendo assim são obtidos valores diferentes para armaduras submetidas a tração (Vigas e Lajes) e a compressão (Pilares), e de forma análoga para o aço CA-50 e CA-60, como se pode observar na Tabela 4. Para valores intermediários, pode-se realizar uma interpolação linear.

Tabela 4 - Valores de  $k_s \theta$

| Temperatura (C°) | Tração |       | Compressão     |
|------------------|--------|-------|----------------|
|                  | CA-50  | CA-60 | CA-50 ou CA-60 |
| 20               | 1,00   | 1,00  | 1,00           |
| 100              | 1,00   | 1,00  | 1,00           |
| 200              | 1,00   | 1,00  | 0,89           |
| 300              | 1,00   | 1,00  | 0,78           |
| 400              | 1,00   | 0,94  | 0,67           |
| 500              | 0,78   | 0,67  | 0,56           |
| 600              | 0,47   | 0,4   | 0,33           |
| 700              | 0,23   | 0,12  | 0,10           |
| 800              | 0,11   | 0,11  | 0,08           |
| 900              | 0,06   | 0,08  | 0,06           |
| 1000             | 0,04   | 0,05  | 0,04           |
| 1100             | 0,02   | 0,03  | 0,02           |
| 1200             | 0,00   | 0,00  | 0,00           |

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012

## 2.6 Solicitação de incêndio

Para se determinar as solicitações de incêndio é necessário estabelecer o tempo que o elemento estrutural deverá resistir a ação do incêndio-padrão (ABNT NBR 14432, 2001; ABNT NBR 15200, 2012).

Esse tempo ao qual a estrutura ou o elemento deve resistir é o TRRF definido anteriormente. Com esse tempo se determina a temperatura e então, em função de sua forma geométrica e exposição ao fogo, determina-se sua distribuição de temperatura (ABNT NBR 15200, 2012).

Essa distribuição de temperatura irá gerar esforços devido a dilatação do aço ou de gradientes térmicos, esses esforços devem ser comparados com as resistências minoradas ditas em 2.5 (ABNT NBR 15200, 2012).

Há ainda esforços específicos gerados pelo aquecimento, os quais causam um aumento na adaptação plástica do elemento e diminui bastante a resistência deste, porém, no geral esses esforços podem ser desprezados. Apenas em alguns casos específicos eles devem ser levados em consideração, pois no geral as verificações consistem apenas na redução da resistência dos elementos estruturais e não em novos esforços gerados pelo aquecimento (ABNT NBR 15200, 2012).

## 2.7 Métodos de verificação de estruturas de concreto em situação de incêndio

Nas estruturas usuais, na maioria das vezes não é necessário realizar a verificação dos elementos para temperaturas elevadas, sendo estes necessários mediante a ocupação e características da edificação (vide capítulo 2.4).

Caso essa análise seja necessária, esta deve ser feita apenas no Estado Limite último (ELU), para a combinação excepcional recomendada na NBR 6118, a qual é representada pela equação 5 (ABNT NBR 15200, 2012; ABNT NBR 6118, 2023).

$$F_{d,fi} = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_{\epsilon g} \cdot F_{\epsilon gk} + F_{q1exec} + \gamma_q \cdot \sum \Psi_{0j} \cdot F_{qjk} + \gamma_{\epsilon q} \cdot \Psi_{0\epsilon} \cdot F_{\epsilon qk} \quad (5)$$

Onde:

$\gamma_g$  e  $\gamma_q$  = Coeficientes de ponderação das cargas permanentes e variáveis;

$F_{gk}$  = Cargas Permanentes Características;

$F_{qk}$  = Cargas variáveis, sendo a  $F_{1qk}$  a principal;

$F_{1qexec}$  = Carga Excepcional (Incêndio);

$F_{\epsilon gk}$  = Cargas indiretas permanentes (Retração);

$F_{\epsilon qk}$  = Cargas variáveis indiretas (Temperatura);

$\gamma_{\epsilon g}$  e  $\gamma_{\epsilon q}$  = Coeficientes de ponderação das cargas indiretas;

$\Psi_{0j}$  e  $\Psi_{0\epsilon}$  = Coeficientes de ponderação (minoração) para as combinações últimas.

$j$  = Numeração das ações variáveis ( $j \in N$ ).

Entretanto, para as combinações últimas excepcionais, quando “ $F_{q1exec}$ ” ou “ $F_{q1k}$ ” atuarem em tempo muito pequeno ou probabilidade de ocorrência muito baixa, os coeficientes de ponderação “ $\Psi_{0j}$ ” e “ $\Psi_{0\epsilon}$ ” podem ser substituídos para “ $\Psi_{2j}$ ” e “ $\Psi_{2\epsilon}$ ” (ABNT NBR 6118, 2023). Desse modo, o caso de solicitações de incêndio se enquadra nesse ponto.

Além disso, no caso da verificação contra incêndio, são desprezados os esforços decorrentes de deformações impostas (Cargas indiretas), devido as grandes deformações plásticas que ocorrem nessa situação excepcional (ABNT NBR 15200, 2012). Portanto, as solicitações de incêndio se traduzem na equação 5.1.

$$F_{d,fi} = \gamma_g \cdot F_{gk} + F_{q1exec} + \gamma_q \cdot \sum \Psi_{2j} \cdot F_{qjk} \quad (5.1)$$

Vale ressaltar que o incêndio é considerado uma carga excepcional, dessa forma seguindo o Quadro 1:

**Quadro 1 - Coeficientes de ponderação para cargas ELU**

| Combinações de ações                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Ações            |     |               |     |               |     |                               |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|-------------------------------|---|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Permanentes (g)  |     | Variáveis (q) |     | Protensão (p) |     | Recalques de apoio e retração |   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | D                | F   | G             | T   | D             | F   | D                             | F |
| <b>Normais</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1,4 <sup>a</sup> | 1,0 | 1,4           | 1,2 | 1,2           | 0,9 | 1,2                           | 0 |
| <b>Especiais ou de construção</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1,3              | 1,0 | 1,2           | 1,0 | 1,2           | 0,9 | 1,2                           | 0 |
| <b>Excepcionais</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1,2              | 1,0 | 1,0           | 0   | 1,2           | 0,9 | 0                             | 0 |
| onde<br>D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.<br><sup>a</sup> Para as ações permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3. Neste caso, as demais ações permanentes devem ser ponderadas conforme a ABNT NBR 8681:2003 Versão Corrigida:2004, Tabela 1. |                  |     |               |     |               |     |                               |   |

Fonte: ABNT NBR 6118,2023

Há ainda uma redução dita na NBR 8681 para o coeficiente de ponderação “ $\Psi_{2j}$ ”, o qual pode ser multiplicado por 0,7 na situação onde a principal ação é o fogo (ABNT NBR 6118, 2023; ABNT NBR 15200, 2012; ABNT NBR 8681, 2004).

Por conseguinte, para as estruturas usuais, pode-se considerar “ $F_{q1exec}$ ” como uma ação variável comum ponderada pelos coeficientes já ditos, desse modo, a combinação usual para solicitações de incêndio pode ser traduzida na equação 5.2 (ABNT NBR 15200, 2012).

$$F_{d,fi} = y_g \cdot F_{gk} + y_q \cdot \sum 0,7 \cdot \psi_{2j} \cdot F_{qjk} \quad (5.2)$$

No entanto, reforça-se que a combinação 5.2 só é válida quando a ação principal for o fogo, nas demais combinações isso não é válido (ABNT NBR 15200, 2012; ABNT NBR 8681, 2004).

Dessa forma, para se realizar a verificação da estrutura em situação de incêndio, basta satisfazer a condição da inequação 6, na qual as solicitações ( $S_{d,fi}$ ) devem ser menores ou iguais que as resistências ( $R_{d,fi}$ ) (ABNT NBR 15200, 2012).

$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi} \quad (6)$$

Onde:

$$S_{d,fi} = F_{d,fi};$$

$$R_{d,fi} = \text{Resistências cálculo para altas temperaturas } [f_{cd,\theta}, f_{yd,\theta}].$$

Como uma alternativa para os casos em que não se conhece “ $S_{d,fi}$ ”, estes podem ser calculados como 70% das solicitações normais, tomando apenas as combinações que não incluem o vento, como diz a equação 6.1 (ABNT NBR 15200, 2012).

$$S_{d,fi} = 0,7 \cdot S_d \quad (6.1)$$

Logo, existem diversos métodos para se realizar essas verificações, no entanto a norma NBR 15200 aceita apenas os métodos ditos a seguir:

$$\text{Métodos de verificação a incêndio (NBR15200)} \left\{ \begin{array}{l} 1) \text{ Método tabular} \\ 2) \text{ Método análitico para pilares} \\ 3) \text{ Método simplificado de cálculo} \\ 4) \text{ Métodos avançados de cálculo} \\ 5) \text{ Método experimental} \end{array} \right.$$

### 2.7.1 MÉTODO TABULAR

O método tabular consiste apenas em atender dimensões mínimas preconizadas nas tabelas específicas encontradas na NBR 15200 para cada elemento estrutural, as quais fornecem opções para se atender um determinado TRRF. Logo, caso o elemento estrutural esteja dentro das

limitações indicadas, ele está atendendo ao seu respectivo tempo de resistência ao fogo e pode ser considerado verificado para situação de incêndio (ABNT NBR 15200, 2012).

Existem tabelas para os principais elementos estruturais definidos no item 14.4.1 da NBR 6118, sendo eles: Vigas, lajes, pilares e tirantes. Sendo assim, é necessário estabelecer as dimensões mínimas a serem verificadas de cada elemento nas tabelas, sendo essas: largura da alma das vigas ( $b_w$ ), espessura das lajes ( $h(laje)$ ), dimensões da seção transversal de pilares e tirantes ( $b$ ) e a distância entre o eixo da barra da armadura longitudinal e a face exposta ao fogo do elemento estrutural ( $c_1$  ou  $c_{1\ell}$ ). E para valores intermediários, pode-se realizar interpolação linear (ABNT NBR 15200, 2012).

É importante ressaltar que as armaduras transversais não são consideradas nesse método, devido aos ensaios mostrarem que peças de concreto em situação de incêndio rompem por flexão e flexo-compressão e não por cisalhamento (ABNT NBR 15200, 2012).

É permitido também a consideração do revestimento para atender a dimensão “ $c_1$ ”, sendo sua contribuição expressa em forma de porcentagem e dita na Tabela 5, e todas as aderências à tração de acordo com a NBR 13528:

**Tabela 5 - Eficiência dos revestimentos contra o fogo**

| <b>Tipo de revestimento</b>                                            | <b>Eficiência (%)</b>                |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Aderentes de argamassa de cal e areia (CAL + AREIA)</b>             | <b>67</b>                            |
| <b>Argamassa de cimento e areia aderentes (CIMENTO + AREIA)</b>        | <b>100</b>                           |
| <b>Revestimentos protetores à base de gesso, vermiculita ou fibras</b> | <b>Demonstrada experimentalmente</b> |

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012.

Entretanto, não é permitida a consideração do revestimento nas dimensões mínimas transversais de pilares (ABNT NBR 15200, 2012).

### 2.7.1.1 VIGAS

As tabelas de dimensões mínimas para vigas foram elaboradas considerando aquecimento de 3 faces, porém elas podem ser utilizadas para vigas com 4 faces expostas ao fogo, desde que as condições das inequações 7 sejam satisfeitas (vide Figura 3) (ABNT NBR 15200, 2012).

$$\begin{cases} A \geq 2 \cdot b_{\min} \\ h(viga) \geq b_{\min} \end{cases} \quad (7)$$

Onde:

$A$  = Área transversal da viga;

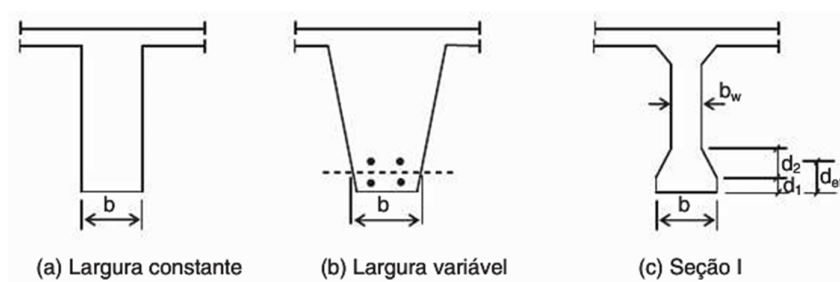
$b_{min}$  = Dimensão mínima da menor dimensão da base,

vigas retangulares  $b = b_w$ , para outros tipos, veja a figura 3;

$h(viga)$  = Altura da viga;

$b_w$  = Largura da alma da viga.

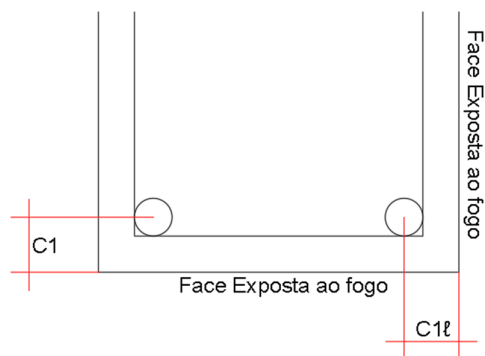
**Figura 3 - Seções das vigas de concreto armado**



Fonte: ABNT NBR 15200, 2012

A dimensão de “c1”, para vigas, consiste na distância da face exposta ao fogo, ou seja, a face a qual está sendo analisada, até o centro de gravidade da barra, como se pode observar na Figura 4.

**Figura 4 - Dimensão c1 e c1ℓ**



Fonte: Próprio autor

No caso de vigas com apenas uma camada de armadura longitudinal e largura não superior ao “ $b_{min}$ ” indicados na Tabela 6 e “ $b_{w_{min}}$ ” na Tabela 17, deve-se adotar a distância “ $c1_\ell$ ”, em centímetros, no fundo das vigas como sendo:

$$c1_{\rho} = c1 + 1 \quad (8)$$

Porém, para se manter os cobrimentos iguais deve-se especificar para as barras de canto um diâmetro imediatamente superior ao calculado pela NBR 6118 e NBR 7480 (ABNT NBR 15200, 2012).

**Tabela 6 -  $b_{mín}$  (cm) para vigas com uma camada de armadura longitudinal**

| TRRF (min) | Vigas Biapoiadas | Vigas contínuas |
|------------|------------------|-----------------|
| 30         | 16               | 16              |
| 60         | 19               | 19              |
| 90         | 30               | 25              |
| 120        | 30               | 30              |
| 180        | 40               | 40              |

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012

**Tabela 7 -  $b_{wmín}$  (cm) para vigas com largura variável (Figura 3)**

| TRRF (min) | $b_{wmín}$ |
|------------|------------|
| 30         | 8          |
| 60         | 10         |
| 90         | 10         |
| 120        | 12         |
| 180        | 14         |

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012

Deve-se ainda classificar a viga como sendo biapoiada ou contínua, sendo que, caso seja adotado um coeficiente de redistribuição de momentos fora dos limites estabelecidos pelo item 14.6.4.3 da NBR 6118:2023 deve-se classificar a viga como biapoiada para efeito de análise (ABNT NBR 15200, 2012).

Quando for efetuada uma redistribuição, reduzindo-se um momento fletor  $M$  para  $\delta M$ , em uma determinada seção transversal, a profundidade da linha neutra nessa seção  $x/d$ , para o momento reduzido  $\delta M$ , deve ser limitada por:

- a)  $x/d \leq (\delta - 0,44)/1,25$ , para concretos com  $f_{ck} \leq 50$  MPa
- b)  $x/d \leq (\delta - 0,56)/1,25$ , para concretos com  $50 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 90$  MPa.

O coeficiente de redistribuição deve, ainda, obedecer aos seguintes limites:

- a)  $\delta \geq 0,90$ , para estruturas de nós móveis;
- b)  $\delta \geq 0,75$ , para qualquer outro caso.

(item 14.6.4.3, ABNT NBR 6118, 2023)

Desse modo, para se utilizar esse critério, é necessário classificar a estrutura como nós móveis ou qualquer outro caso. Existem vários métodos para se realizar essa classificação, uma delas está no item 15.5.3 da NBR 6118:2023, o qual discorre sobre o coeficiente “ $\gamma_z$ ”, e classifica as estruturas de nós fixos conforme a inequação 9 (ABNT NBR 6118, 2023):

$$\gamma_z \leq 1,1 \quad (9)$$

Onde:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (9.1)$$

$\Delta M_{tot,d}$  = Soma dos produtos das forças verticais na análise de 1ª ordem;

$M_{1,tot,d}$  = Momento de tombamento, soma dos momentos das forças verticais.

E nos casos em que a viga for classificada como contínua e tiver TRRF  $\geq 90$  min, a área de armaduras negativas entre a linha e o centro do apoio e  $0,3 \cdot \ell_{ef}$ , deve obedecer a equação 10 e 10.1 (vide Figura 5) (ABNT NBR 15200, 2012):

$$A_{s,efetiva} \geq A_{s,calc}(x) \quad (10)$$

$$A_{s,calc}(x) = A_{s,calc}(0) \cdot (1 - 2,5 \cdot x / \ell_{ef}) \quad (10.1)$$

Onde:

$A_{s,efetiva}$  = Área de aço efetiva na seção considerada;

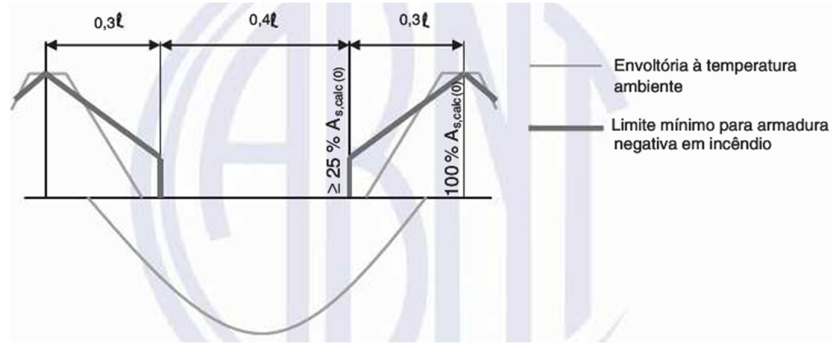
$A_{s,calc}(x)$  = Área mínima de armaduras negativas localizada na distância  $x$ ;

$A_{s,calc}(0)$  = Área de armaduras negativas calculada à temperatura ambiente;

$x$  = Distância entre a linha de centro do apoio e a seção considerada;

$\ell_{ef}$  = Comprimento efetivo do vão da viga determinado pela NBR 6118.

**Figura 5 - Envoltória de momentos fletores**



Fonte: ABNT NBR 15200, 2012

De acordo com o item 14.6.2.4 da NBR 6118, o vão efetivo das vigas deve obedecer:

$$\ell_{ef} = \ell_0 + a_1 + a_2 \quad (11)$$

$$a_1 \text{ e } a_2 \leq \begin{cases} 0,5 \cdot t_1 \text{ ou } 0,5 \cdot t_2 \\ 0,3 \cdot h(\text{viga}) \end{cases} \quad (11.1)$$

Onde:

$\ell_0$  = Largura de face a face de apoio;

$t_1$  e  $t_2$  = Largura do apoio na direção considerada;

$h(\text{viga})$  = Altura da viga.

Há também a situação de se existir mais de uma camada de barras, sendo assim, é necessário estabelecer uma distância média da face do concreto, respeitando a equação 11.2, e para verificação “c1 min” equivale ao “c1” dado nas tabelas 8 e 9 (ABNT NBR 15200, 2012):

$$c_{1m} < \begin{cases} \frac{\sum c_{1vi} \cdot A_{si}}{\sum A_{si}} \\ \frac{\sum c_{1hi} \cdot A_{si}}{\sum A_{si}} \end{cases} \quad (11.2)$$

$$c_{1m} \geq c_{1min} \quad (11.2.1)$$

Onde:

$c_{1vi}$  = Distância da barra i ao fundo da viga;

$c_{1hi}$  = Distância da barra  $i$  à lateral mais próxima;

$A_{si}$  = Área de aço da barra  $i$ ;

$c_{1m}$  = Distância média da face do concreto;

$c_{1min}$  = Valor de  $c1$  tabelado.

Tabela 8 - Dimensões mínimas para vigas biapoiadas

| TRRF<br>(min) | Combinação 1 |            | Combinação 2 |            | Combinação 3 |            | Combinação 4 |            |
|---------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
|               | bmín<br>(cm) | c1<br>(cm) | bmín<br>(cm) | c1<br>(cm) | bmín<br>(cm) | c1<br>(cm) | bmín<br>(cm) | c1<br>(cm) |
| 30            | 8            | 2,5        | 12           | 2,0        | 16           | 1,5        | 19           | 1,5        |
| 60            | 12           | 4,0        | 16           | 3,5        | 19           | 3,0        | 30           | 2,5        |
| 90            | 14           | 6,0        | 19           | 4,5        | 30           | 4,0        | 40           | 3,5        |
| 120           | 19           | 6,8        | 24           | 6,0        | 30           | 5,5        | 50           | 5,0        |
| 180           | 24           | 8,0        | 30           | 7,0        | 40           | 6,5        | 60           | 6,0        |

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012

Tabela 9 - Dimensões mínimas para vigas contínuas

| TRRF<br>(min) | Combinação 1 |            | Combinação 2 |            | Combinação 3 |            | Combinação 4 |            |
|---------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
|               | bmín<br>(cm) | c1<br>(cm) | bmín<br>(cm) | c1<br>(cm) | bmín<br>(cm) | c1<br>(cm) | bmín<br>(cm) | c1<br>(cm) |
| 30            | 8            | 1,5        | 16           | 1,2        | -            | -          | -            | -          |
| 60            | 12           | 2,5        | 19           | 1,2        | -            | -          | -            | -          |
| 90            | 14           | 3,7        | 25           | 2,5        | -            | -          | -            | -          |
| 120           | 19           | 4,5        | 30           | 3,5        | 45           | 3,5        | 50           | 3,0        |
| 180           | 24           | 6,0        | 40           | 5,0        | 55           | 5,0        | 60           | 4,0        |

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012

## 2.7.2 MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO

Segundo a NBR 15200, o método simplificado é baseado nas seguintes hipóteses:

- As solicitações de cálculo em situação de incêndio devem ser calculadas conforme 2.7.
- O esforço resistente do elemento estrutural pode ser calculado com base em sua distribuição de temperatura na seção transversal, considerando a exposição ao fogo conforme o TRRF (vide 2.3). A distribuição de temperatura pode ser obtida por meio de literatura técnica ou calculada em programas específicos de computador, a partir do fluxo de calor determinado conforme o Anexo F da NBR 15200:2012.

c) O esforço resistente do elemento estrutural pode ser calculado pelos critérios da NBR 6118 à temperatura ambiente, adotando para o aço e concreto a resistência média em situação de incêndio (vide 2.5). Essa média é obtida distribuindo uniformemente a perda total de resistência por aquecimento do concreto ou das armaduras, na parte comprimida e na armadura total, respectivamente. Como uma alternativa, podem ser adotados métodos que considerem a seção de concreto reduzida em situação de incêndio, conforme literatura técnica. Em situação de incêndio o valor de “ $f_{cd,\theta}$ ” não precisa ser afetado pelo coeficiente  $\alpha = 0,85$  (efeito Rüschi) como é no caso da temperatura ambiente, ou seja,  $\alpha_{fi} = 1$ .

É importante ressaltar que esse método não garante a função corta-fogo (vide 2.7.1.2), caso essa função seja necessária, deve-se utilizar as dimensões mínimas do método tabular (vide 2.7.1) ou ser verificado conforme os métodos avançados de cálculo ou o método experimental. Logo, esse método se torna vantajoso apenas quando a função corta-fogo não for necessária, pois as dimensões dos elementos não necessitam seguir as dimensões mínimas do método tabular (ABNT NBR 15200, 2012).

Para se determinar o fluxo de calor por unidade de área, pode ser utilizado as seguintes formulações (ABNT NBR 15200, 2012):

$$\varphi = \varphi_c + \varphi_r \quad (18)$$

$$\varphi_c = \alpha_c (\theta_g - \theta_a) \quad (18.1)$$

$$\varphi_r = 5,67 \cdot (10^{-8}) \cdot \varepsilon_{res} \cdot [(\theta_g + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4] \quad (18.2)$$

Onde:

$\varphi_c$  = Fluxo de calor devido a convecção, em watts por metro quadrado ( $W/m^2$ );

$\varphi_r$  = Fluxo de calor devido à radiação, em watts por metro quadrado ( $W/m^2$ );

$\alpha_c$  = Coeficiente de transferência de calor por convecção ( $W/m^2^\circ C$ ).

Caso seja considerado o incêndio-padrão, pode ser tomado como:  $\alpha_c = 25 W/m^2^\circ C$ .

$\theta_g$  = Temperatura dos gases, expresso em graus celcius ( $^\circ C$ );

$\theta_a$  = Temperatura na superfície do aço, expresso em graus celcius ( $^\circ C$ );

$\varepsilon_{res}$  = Emissividade resultante, podendo ser tomada igual a 0,7.

Para se obter a temperatura do aço ( $\theta_a$ ) existem vários métodos possíveis, dentre eles destaca-se o método de Wickström (AMARAL, 2018):

$$\theta_w = n_w \cdot \theta_g \quad (19)$$

$$n_w = 1 - 0,0616 \cdot t^{-0,88} \quad (19.1)$$

$\theta_w$  = Temperatura na superfície do concreto ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\theta_g$  = Temperatura dos gases do incêndio – padrão (vide 2.2) ( $^{\circ}\text{C}$ );

$n_w$  = Fator de ponderação da temperatura dos gases;

$t$  = Tempo (h).

Entretanto, ainda é necessário saber a temperatura no interior dos elementos, para isso serão utilizadas 2 formas de transferência: Unidimensional (lajes) e bidimensional (vigas, pilares e tirantes). Para a forma unidimensional e bidimensional respectivamente tem-se (AMARAL, 2018):

$$\theta_{c,x} = n_x \cdot n_w \cdot \theta_g \quad (20)$$

$$n_x = 0,18 \cdot \ln\left(\frac{t}{x^2}\right) - 0,81 \quad (20.1)$$

$\theta_{c,x}$  = Temperatura no interior do concreto para fluxo unidimensional ( $^{\circ}\text{C}$ );

$x$  = Profundidade no sentido horizontal (m);

$n_x$  = Coeficiente de ponderação que considera a profundidade  $x$ .

$$\theta_{c,xy} = [n_w \cdot (n_x + n_y - 2 \cdot n_x \cdot n_y) + n_x \cdot n_y] \cdot \theta_g \quad (21)$$

$$n_y = 0,18 \cdot \ln\left(\frac{t}{y^2}\right) - 0,81 \quad (21.1)$$

$\theta_{c,xy}$  = Temperatura no interior do concreto para fluxo bidimensional ( $^{\circ}\text{C}$ );

$y$  = Profundidade no sentido vertical (m);

$n_x$  = Coeficiente de ponderação que considera a profundidade  $y$ .

Porém, foi sugerido por Marcelo Mesquita do Amaral uma forma mais simplificada de se realizar essa verificação a situação de incêndio denominada “Método Simplificado Proposto” (MSP) que será explicada nos capítulos posteriores (vide 2.7.6) (AMARAL, 2018).

### 2.7.3 MÉTODOS AVANÇADOS DE CÁLCULO

Os métodos avançados de cálculo são utilizados em programas para esse fim, e esses devem ser validados, ser de uso consagrado ou serem balizados por ensaios experimentais (ABNT NBR 15200, 2012).

Quando exigida a estanqueidade do elemento, essa deve ser comprovada por meio de ensaios experimentais em escala reduzida, que deve apresentar a função corta-fogo conforme a NBR 5628 (ABNT NBR 15200, 2012).

Os métodos utilizados pelos programas devem considerar pelo menos:

- a) Combinação de ações em situação de incêndio composta rigorosamente com base na NBR 8681
- b) “esforços solicitantes de cálculo, acrescidos dos efeitos das deformações térmicas restringidas, desde que calculados por modelos não lineares, capazes de considerar as desde que calculados por modelos não lineares capazes de considerar as profundas redistribuições de esforços que ocorrerem” (ABNT NBR 15200, 2012)
- c) Os esforços devem ser calculados considerando a distribuição de temperatura conforme o TRRF
- d) As distribuições de temperatura e de resistência devem ser rigorosamente calculadas, considerando as não linearidades envolvidas.
- e) A verificação da capacidade resistente deve respeitar a NBR 6118

### 2.7.4 MÉTODO EXPERIMENTAL

De acordo com a NBR 15200, existem alguns casos especiais onde pode-se considerar a resistência ao fogo maior que a calculada conforme a própria norma, desde que essa resistência

seja devidamente justificada por meio de ensaios, de acordo com a NBR 5628 (ABNT NBR 15200, 2012).

O dimensionamento por meio de resultados de ensaios pode ser realizado em laboratórios nacionais ou estrangeiros, de acordo com normas específicas brasileiras ou estrangeiras, respeitando as similaridades de cada caso (ABNT NBR 15200, 2012).

### 2.7.5 MÉTODO SIMPLIFICADO PROPOSTO (MSP)

Como dito em capítulos anteriores (vide 2.7.3) o Mestre Marcelo Mesquita do Amaral propôs uma maneira mais simples de se realizar o cálculo simplificado para vigas de concreto armado, esse método se torna vantajoso pelo fato de, no geral, os elementos que necessitam ter a função corta-fogo representarem a minoria nas edificações, refletindo assim em economia para a estrutura (AMARAL, 2018).

Os esforços resistentes em situação de incêndio devem ser determinados conforme a NBR 6118 (à temperatura ambiente), adotando, porém, a resistência média a incêndio do concreto e do aço (vide 2.5) (AMARAL, 2018):

$$\sum F_{d,fi} = 0 \quad (22)$$

$$F_{cd,fi} - F_{sd,fi} = 0 \quad (22.1)$$

$$F_{cd,fi} = F_{sd,fi} \quad (22.1.1)$$

$$\alpha_{fi} \cdot \frac{f_{ck}}{Y_{c,fi}} \cdot k_{c,m} \cdot A_{c,fi} = \frac{f_{yk}}{Y_{s,fi}} \cdot k_{s,m} \cdot A_s \quad (22.1.2)$$

$$\alpha_{fi} \cdot \frac{f_{ck}}{Y_{c,fi}} \cdot k_{c,m} \cdot b_w \cdot y_{fi} = \frac{f_{yk}}{Y_{s,fi}} \cdot k_{s,m} \cdot A_s \quad (22.1.3)$$

$$y_{fi} = \frac{\frac{f_{yk}}{Y_{s,fi}} \cdot k_{s,m} \cdot A_s}{\alpha_{fi} \cdot \frac{f_{ck}}{Y_{c,fi}} \cdot k_{c,m} \cdot b_w} \quad (22.1.4)$$

Para  $Y_{s,fi} = Y_{c,fi} = 1$  (vide 2.5):

$$y_{fi} = \left( \frac{f_{yk} \cdot A_s}{\alpha_{fi} \cdot f_{ck} \cdot b_w} \right) \cdot \left( \frac{k_{s,m}}{k_{c,m}} \right) \quad (22.1.5)$$

Adotando  $\alpha_{fi} = 1$  (vide 2.7.3):

$$y_{fi} = \left( \frac{f_{yk} \cdot A_s}{f_{ck} \cdot b_w} \right) \cdot \left( \frac{k_{s,m}}{k_{c,m}} \right) \quad (22.1.6)$$

Visto que uma viga em situação de incêndio se rompe devido ao aço e não ao concreto (vide 2.5; 2.7.1.1) (AMARAL, 2018):

$$M_{Rd,fi} = F_{sd,fi} \cdot z_{fi} \quad (22.2)$$

$$M_{Rd,fi} = f_{yk} \cdot k_{s,m} \cdot A_s \cdot \left[ d - \frac{\beta}{2} \cdot \left( \frac{k_{s,m}}{k_{c,m}} \right) \right] \quad (22.2.1)$$

$$\beta = \frac{f_{yk} \cdot A_s}{f_{ck} \cdot b_w} \quad (22.1.1.1)$$

Ao se considerar que em elevadas temperaturas a resistência a tração do aço diminui mais rapidamente que a do concreto (vide 2.5) (AMARAL, 2018):

$$\frac{k_{s,m}}{k_{c,m}} < 1$$

Desse modo, visto a dificuldade e incertezas de se determinar corretamente  $k_{s,m}$ , adota-se, a favor da segurança:

$$\frac{k_{s,m}}{k_{c,m}} = 1$$

$$M_{Rd,fi} = f_{yk} \cdot k_{s,m} \cdot A_s \cdot \left[ d - \frac{\beta}{2} \right] \quad (22.2.2)$$

Dessa forma, pode-se utilizar a forma direta conforme a equação 22.3 (AMARAL, 2018):

$$M_{Rd,fi} = f_{yk} \cdot k_{s,m} \cdot A_s \cdot \left[ d - \frac{f_{yk} \cdot A_s}{2 \cdot f_{ck} \cdot b_w} \right] \quad (22.3)$$

Onde:

$\Sigma F_{d,fi}$  = Somatório das forças resultantes em situação de incêndio (kN);

$k_{c,m}$  = Fator médio de redução da resistência do concreto (vide 2.5);

$k_{s,m}$  = Fator médio de redução da resistência do aço (vide 2.5);

$F_{cd,fi}$  e  $F_{sd,fi}$  = Resistências do concreto e aço em situação de incêndio;

$\alpha_{fi}$  = Coeficiente de redução da resistência de cálculo do concreto = 1;

$Y_{c,fi}$  e  $Y_{s,fi}$  = Coeficientes de ponderação do aço e concreto em situação de incêndio;

$A_{c,fi}$  = Área de concreto comprimida em situação de incêndio (cm<sup>2</sup>);

$A_s$  = Área de aço (cm<sup>2</sup>);

$b_w$  = Largura da seção transversal do concreto (cm);

$y_{fi}$  = Altura da parte comprimida do concreto (cm);

$d$  = Altura útil da viga (cm);

$M_{Rd,fi}$  = Momento resistente em situação de incêndio (kN.cm).

Para se determinar “ $k_{s,m}$ ”, o autor sugere utilizar o método de Wickström para se determinar a temperatura de cada barra, e então se realizar uma média com os valores encontrados e determinar “ $k_{s,m}$ ”(AMARAL, 2018).

$$k_{s,m} = \frac{\sum k_{s,\theta i} \cdot A_{s,i}}{\sum A_{s,i}} \quad (22.4)$$

$A_{s,i}$  = Área de aço da barra  $i$ ;

$k_{s,\theta i}$  = Coeficiente de ponderação da barra  $i$  (vide 2.5.2).

Após isso, deve-se determinar o momento solicitante de incêndio, conforme a equação 5.2, portanto:

$$M_{sd,fi} = 1,2 \cdot M_{gk} + \sum 0,7 \cdot \psi_{2j} \cdot M_{qjk} \quad (22.5)$$

Dessa forma, a verificação consiste em mostrar:

$$M_{Rd,fi} \geq M_{sd,fi}$$

## 2.7.6 MÓDULO DE ANÁLISE DE INCÊNDIO EBERIK

O Eberik é um programa de cálculo estrutural por meio do método das grelhas e pórtico plano, desenvolvido pela AltoQi.

Esse programa possui um módulo de análise de incêndio por meio do método tabular para lajes, vigas, paredes, escadas e vigas pré-moldadas; e analítico para pilares (Suporte Eberik AltoQi, 2023).

Para o cálculo do momento solicitante de cálculo em situação de incêndio ( $M_{sd,fi}$ ) o programa utiliza as principais combinações em situação de incêndio conforme o item 8.1 da NBR 15200:2012 (vide 2.7) (Suporte Eberik AltoQi, 2023).

A versão do programa utilizada no trabalho foi a 2020, com a atualização: 2022-03 [v.13.294], aplicação *basic*.

## 2.8 FÓRMULAS ADIMENSIONAIS KMD

As fórmulas adimensionais do método KMD são amplamente conhecidas no contexto do cálculo estrutural de vigas de concreto armado, pelo fato de relacionarem de forma indireta conceitos necessários para análise das vigas (Carvalho R.C, Figueiredo J.R, 2014).

As principais fórmulas do método KMD, segundo o livro “Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado” de Roberto Chust e Jasson Rodrigues de Figueiredo são:

$$KMD = \frac{Md}{bw.d^2.fcd} \quad (22.6)$$

$$KX = (x/d) \quad (22.7)$$

$$KZ = (z/d) \quad (22.8)$$

$$KZ = 1 - 0,5. \lambda. KX \quad (22.9)$$

$$As = \frac{Md}{fyd.KZ.d} \quad (23)$$

$$KX = \frac{1 - \sqrt{1 - 2 \left( \frac{KMD}{\beta} \right)}}{\lambda} \quad (23.1)$$

$KMD, KX, KZ =$  Parâmetros adimensionais

$x =$  Altura da linha neutra

$z =$  Distância entre o binário de forças

$Md =$  Momento utilizado para dimensionamento

$b_w =$  Largura da alma da viga

$f_{cd} =$  Resistência de cálculo à compressão do concreto

$d =$  Altura útil da viga

$A_s =$  Área de aço necessária ou resultante

Os demais parâmetros devem ser extraídos da norma NBR 6118:2023 no item 17.2.2 que define as hipóteses básicas para o dimensionamento de elementos lineares sujeitos a solicitações normais no estado limite último (Carvalho R.C, Figueiredo J.R, 2014)(ABNT NBR 6118, 2023).

$$\beta = \begin{cases} \alpha_c, & \text{Para seções comprimidas constantes} \\ 0,9 \cdot \alpha_c, & \text{Para seções comprimidas decrescentes} \end{cases} \quad (23.2)$$

$$\begin{cases} \lambda = 0,8, & \text{para } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \\ \lambda = 0,8 - \frac{(f_{ck}-50)}{400}, & \text{para } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \end{cases} \quad (23.3)$$

$$\begin{cases} \alpha_c = 0,85, & \text{para } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \\ \alpha_c = 0,85 \cdot \left[1 - \frac{(f_{ck}-50)}{200}\right], & \text{para } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \end{cases} \quad (23.4)$$

A norma também define um parâmetro “ $\eta_c$ ” que serve para determinar a tensão atuante até a altura da linha neutra após ser multiplicada pelo fator “ $\lambda$ ”, entretanto, como para  $f_{ck}$  até 40 MPa esse fator é igual a 1 ele não será considerado (ABNT NBR 6118, 2023).

$$\begin{cases} \eta_c = 1, & \text{para } f_{ck} \leq 40 \text{ MPa} \\ \eta_c = \left(\frac{40}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{3}}, & \text{para } f_{ck} > 40 \text{ MPa} \end{cases} \quad (23.5)$$

### 3. METODOLOGIA

Visando cumprir os objetivos previamente estabelecidos, a metodologia utilizada foi o cálculo da estrutura constante em 3.1 em 7 situações, todas referentes a sua temperatura:

- 1) Temperatura Ambiente;
- 2) Temperatura equivalente ao TRRF de 30 minutos;
- 3) Temperatura equivalente ao TRRF de 60 minutos;
- 4) Temperatura equivalente ao TRRF de 90 minutos;
- 5) Temperatura equivalente ao TRRF de 120 minutos;
- 6) Temperatura equivalente ao TRRF de 150 minutos;
- 7) Temperatura equivalente ao TRRF de 180 minutos.

O cálculo foi feito por 3 métodos diferentes:

1º método: Método de verificação à temperatura ambiente, com a análise linear, sendo realizada pelo método das grelhas separadas do pórtico plano, e com as prescrições da NBR 6118, e o correto atendimento ao Estado Limite Último e Estado Limite de Serviço para aceitabilidade sensorial;

2º método: Método de verificação à altas temperaturas pelo método tabular (vide 2.7.1), sendo considerado apenas o cálculo para vigas (vide 2.7.1.1);

3º método: Método de verificação à altas temperaturas pelo Método Simplificado Proposto (MSP) (vide 2.7.5), sendo feita a determinação das temperaturas do concreto e aço pelo método de Wickström (vide 2.7.2), e o momento solicitante em situação de incêndio será extraído do programa Eberik (vide 2.7.6).

Os resultados foram extraídos e analisados das vigas do pavimento Superior, visto que são as mais solicitadas, com maior variabilidade de detalhamentos e representam mais fielmente as solicitações em uma estrutura real.

É importante ressaltar que as solicitações em situação de incêndio (vide 2.6 e 2.7) foram calculadas conforme envoltória pelo programa Eberik (vide 2.7.6).

O primeiro método foi calculado por meio do programa Eberik e a estrutura passou em todas as verificações necessárias. Os resultados do dimensionamento se encontram na Figura 6.

**Figura 6 - Tabela com resultados extraídos do programa Eberik**

| Viga | Vãos          |          |     | Nós           |          |     |
|------|---------------|----------|-----|---------------|----------|-----|
|      | Md<br>(kgf.m) | As       | Als | Md<br>(kgf.m) | As       | Als |
| VS1  | 3961.36       | 4 ø 8.0  |     | -4345.82      | 3 ø 10.0 |     |
|      | 1233.38       | 2 ø 8.0  |     | -4373.57      | 3 ø 10.0 |     |
|      |               |          |     | -2317.92      | 3 ø 8.0  |     |
| VS2  | 5586.18       | 4 ø 10.0 |     | -6677.35      | 3 ø 12.5 |     |
|      | 2020.73       | 2 ø 10.0 |     | -8104.31      | 4 ø 12.5 |     |
|      |               |          |     | -1314.50      | 2 ø 12.5 |     |
| VS3  | 4272.46       | 5 ø 8.0  |     | -5234.94      | 4 ø 10.0 |     |
|      |               |          |     | -5548.08      | 4 ø 10.0 |     |
|      |               |          |     | -1974.06      | 2 ø 8.0  |     |
| VS4  | 4192.83       | 3 ø 10.0 |     | -3985.95      | 3 ø 10.0 |     |
|      | 887.17        | 2 ø 10.0 |     | -1114.50      | 2 ø 8.0  |     |
|      |               |          |     | -2026.81      | 2 ø 8.0  |     |
| VS5  | 4145.27       | 3 ø 10.0 |     | -3781.96      | 4 ø 8.0  |     |
|      | 1280.30       | 2 ø 10.0 |     | -2472.25      | 3 ø 8.0  |     |
|      |               |          |     | -1754.22      | 2 ø 8.0  |     |
| VS6  | 1296.08       | 2 ø 8.0  |     | -802.89       | 2 ø 8.0  |     |
|      |               |          |     |               |          |     |

Fonte: Programa AltoQi Eberik, versão 2020

Por conseguinte, foi então verificada a estrutura em situação de incêndio para o método Tabular. Foram então verificadas algumas vigas específicas por meio de uma tabela no Excel para verificação do método tabular por meio dos cálculos da norma NBR 15200:2012, com o objetivo de realizar uma análise justa dos métodos.

A planilha recebe os seguintes dados de entrada: As dimensões da viga, cobrimento nominal, largura da alma da viga, TRRF, altura útil e o tipo de vinculação. Além disso, é extraído também os diâmetros das barras e suas dimensões de “c1vi” e “c1hi” (vide 2.7.1.1), que representam a distância das barras até o fundo da viga e sua extremidade lateral, respectivamente.

Os passos de cálculo são:

1º passo: É realizada uma análise das tabelas ditas em 2.7.1.1, e retorna os dados de “c1 mín”, que é também chamado de “c1 nec”, ou seja, o “c1” necessário de acordo com as tabelas de dimensões mínimas;

2º passo: É realizado o cálculo de “ $c_{1m}$ ” conforme a norma NBR 15200. Dessa forma, podem ser extraídos os valores de “ $c_1$ ” e “ $c_{1L}$ ” da viga;

3º passo: Análise dos valores de dimensão mínima da viga;

4º passo: Cálculo por meio de KMD a área de aço necessária (vide 2.8).

Posteriormente, as vigas foram calculadas pelo método MSP, por meio de uma planilha do Excel. A planilha recebe os principais dados de dimensão e materiais da viga: altura, largura da alma da viga, altura útil, cobrimento nominal, resistência característica a compressão do concreto e tipo de aço da armadura longitudinal inferior.

Além disso, recebe também dados específicos do dimensionamento: Altura da linha neutra, Gama-Z da estrutura e momento solicitante de cálculo da viga à temperatura ambiente.

Por conseguinte, recebe os dados específicos do posicionamento das armaduras longitudinais inferiores da viga, sua cota “x” e “y” em relação a face inferior da viga e a face lateral exposta ao fogo, juntamente com o diâmetro das barras. Esse diâmetro será considerado para todas as barras, visto que detalhamentos com barras de diâmetros diferentes são extremamente complexas em campo e sujeitas a erros. A planilha recebe também dados da armadura longitudinal superior da viga: diâmetro da armadura e quantidade, não sendo necessário colocar sua cota, por conta de não fazer parte diretamente da verificação.

E por último, a planilha recebe os dados específicos para o cálculo em situação de incêndio: TRRF (vide 2.3), momento solicitante em situação de incêndio e a temperatura inicial do ambiente.

Os passos de cálculo da planilha com os dados de entrada são:

1º passo: Cálculo da temperatura dos gases do ambiente pelo incêndio-padrão (vide 2.2);

2º passo: Cálculo da temperatura na superfície do concreto pelo método de Wickström (vide 2.7.2);

3º passo: Cálculo da temperatura no interior do concreto, representando a temperatura em cada barra, também pelo método de Wickström e feito para cada barra viga (vide 2.7.2);

4º passo: Cálculo por interpolação linear do coeficiente minorador de resistência do concreto por meio da tabela dos coeficientes da NBR 15200:2012 (vide Tabela 3 em 2.5.1);

5º passo: Cálculo por interpolação linear do coeficiente minorador de resistência do aço para cada barra da viga e extraída a média dos coeficientes (vide Tabela 4 em 2.5.2);

6º passo: Cálculo do momento resistente em situação de incêndio (vide 2.7.5);

7º passo: Análise da profundidade da linha neutra pelo item 14.6.4.3 da NBR 6118:2023 (vide 2.7.1.1), para os cálculos dessa verificação foi adotado a altura da linha neutra fornecida pelo programa em todas as verificações, pois como a profundidade da linha neutra é uma divisão, ao se adicionar mais barras a altura útil diminui, consequentemente deixando esse valor a favor da segurança;

8º passo: Análise do momento solicitante em situação de incêndio e comparado com o momento resistente em situação de incêndio (vide 2.7.5);

9º passo: Cálculo e verificação por meio do método KMD, a área de aço necessária para viga e comparada com a área atual.

É importante ressaltar que, caso as vigas tenham a função de corta-fogo, é necessário seguir as dimensões mínimas do método tabular, neste trabalho não foi considerado esse item (vide 2.7.2). Um exemplo da planilha do método MSP se encontra nas figuras 7 e 8.

Figura 7 - Memorial de cálculo MSP - Viga VS1\_1

| Memorial de cálculo MSP (VS1_1)                                                                                       |      |      |                                                                        |           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------------------------------------------------------------------|-----------|-----|
| Dados da viga                                                                                                         |      |      | Dados dos materiais                                                    |           |     |
| h =                                                                                                                   | 50   | cm   | fck =                                                                  | 25        | MPa |
| bw =                                                                                                                  | 14   | cm   | fyk =                                                                  | 500       | MPa |
| d =                                                                                                                   | 46,4 | cm   | Tipo de aço:                                                           | CA-50     |     |
| CN =                                                                                                                  | 2,0  | cm   |                                                                        |           |     |
| Dados específicos de incêndio                                                                                         |      |      | Cálculo do Incêndio-Padrão                                             |           |     |
| TRRF =                                                                                                                | 30   | min  | $\theta_g = \theta_i + 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1)$                  |           |     |
| $\theta_i =$                                                                                                          | 20   | °C   | $\theta_g =$ 841,80 °C                                                 |           |     |
| Msd,fi =                                                                                                              | 3,06 | tf.m |                                                                        |           |     |
| t =                                                                                                                   | 0,5  | h    |                                                                        |           |     |
| Cálculo Temperatura nas barras                                                                                        |      |      | Cálculo Temperatura Superfície do concreto                             |           |     |
| $n_x = 0,18 \cdot \ln\left(\frac{t}{x^2}\right) - 0,81$                                                               |      |      | $\theta_w = n_w \cdot \theta_g \quad n_w = 1 - 0,0616 \cdot t^{-0,88}$ |           |     |
| $n_y = 0,18 \cdot \ln\left(\frac{t}{y^2}\right) - 0,81$                                                               |      |      | nw =                                                                   | 0,89      |     |
| $\theta_{xy} = [n_w \cdot (n_x + n_y - 2 \cdot n_x \cdot n_y) + n_x \cdot n_y] \cdot \theta_g$                        |      |      | $\theta_w =$                                                           | 746,36 °C |     |
| $M_{Rd,fi} = f_{yk} \cdot k_{s,m} \cdot A_s \cdot \left[d - \frac{f_{yk} \cdot A_s}{2 \cdot f_{ck} \cdot b_w}\right]$ |      |      | kc =                                                                   | 0,23      |     |
| A(φ) = 2,01 cm²                                                                                                       |      |      | Análise da resistência e solicitação                                   |           |     |
| Mrd,fi = 4,44 tf.m                                                                                                    |      |      | Msd,fi =                                                               | 3,06 tf.m |     |
| ks,m = 0,98                                                                                                           |      |      | Mrd,fi =                                                               | 4,44 tf.m |     |
|                                                                                                                       |      |      | OK!                                                                    |           |     |

Fonte: Próprio Autor

Figura 8 - Memorial para o cálculo do ks,m - Viga VS1\_1

|                           |        |        |          |        |          |        |      |  |
|---------------------------|--------|--------|----------|--------|----------|--------|------|--|
| nº =                      |        |        | 4 Barras |        | ϕ =      |        | 8 mm |  |
| TABELA DE CÁLCULO DO "ks" |        |        |          |        |          |        |      |  |
| Barra                     | x (cm) | y (cm) | nx       | ny     | θxy (Cº) | ks     |      |  |
| 1                         | 2,90   | 2,90   | 0,3398   | 0,3398 | 432,0685 | 0,9294 |      |  |
| 2                         | 11,10  | 2,90   | -0,1434  | 0,3398 | 178,3003 | 1,0000 |      |  |
| 3                         | 7,00   | 2,90   | 0,0226   | 0,3398 | 265,4654 | 1,0000 |      |  |
| 4                         | 2,90   | 5,70   | 0,3398   | 0,0965 | 304,3075 | 1,0000 |      |  |
| 5                         |        |        |          |        |          |        |      |  |
| 6                         |        |        |          |        |          |        |      |  |
| 7                         |        |        |          |        |          |        |      |  |
| 8                         |        |        |          |        |          |        |      |  |
| 9                         |        |        |          |        |          |        |      |  |
| 10                        |        |        |          |        |          |        |      |  |
| 11                        |        |        |          |        |          |        |      |  |
| 12                        |        |        |          |        |          |        |      |  |
| 13                        |        |        |          |        |          |        |      |  |
| 14                        |        |        |          |        |          |        |      |  |
| 15                        |        |        |          |        |          |        |      |  |
|                           |        |        |          |        | ks,m =   | 0,9824 |      |  |

Autor: Tiago Serpa Batista  
 Instituição: IFG - Instituto Federal de Goiás  
 Viga: VS1\_1

Fonte: Próprio Autor

### 3.1 Estrutura analisada

A estrutura estudada tem 3 pavimentos: Térreo, pavimento Superior e Cobertura. A altura destes pavimentos (pé direito estrutural) é de 280 cm. Entretanto, serão analisadas apenas as vigas do pavimento Superior, visto que serão as vigas mais solicitadas.

As cargas de parede do Térreo e Pavimento Superior foram obtidas com altura de  $280 - 40 = 240$  cm, sendo adotado 10 centímetros a favor da segurança e com o objetivo de majorar as solicitações das vigas para se ter uma análise a favor da segurança. A espessura da parede foi de 14 cm e o peso específico de  $1300 \text{ kgf/m}^3$ , resultando assim em uma carga de  $0,44 \text{ tf/m}$  calculada pelo programa. As cargas de parede da Cobertura foram calculadas com altura de 120 cm de parede.

Como pré-dimensionamento da estrutura foi adotado:

No pavimento Térreo, vigas de  $14 \times 30$ .

No pavimento Superior, vigas de  $14 \times 50$  e lajes maciças de 14 centímetros com carga accidental de  $150 \text{ kgf/m}^2$  e carga permanente de  $180 \text{ kgf/m}^2$ .

No pavimento Cobertura, vigas de  $14 \times 50$  e lajes maciças de 12 centímetros com carga accidental de  $100 \text{ kgf/m}^2$  e carga permanente de  $100 \text{ kgf/m}^2$ .

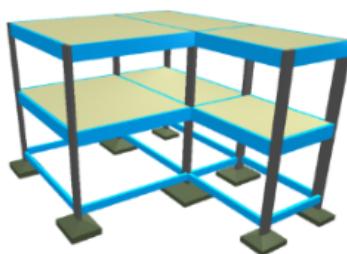
Os pilares da edificação serão de  $14 \times 40$ , e será também adotado redistribuição de 20% dos momentos em todas as ligações viga-pilar (vide 2.7.1.1), a fim de se ter uma análise mais próxima da realidade.

Os detalhes gerais do dimensionamento são:

- Classe de agressividade I;
- Resistência característica a compressão:  $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$  (C25);
- Cobrimento nominal inicial de 2 cm;
- Aço CA-50 e CA-60;
- As combinações de ações foram geradas automaticamente pelo programa.

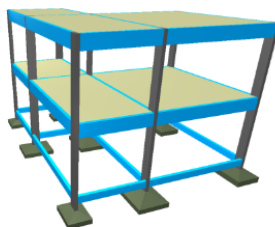
O cobrimento nominal foi escolhido visando a cobertura mínima teórica para uma viga, pela exceção constante no item 7.4.7.6 da NBR 6118:2023, o qual diz que para elementos estruturais que forem dimensionados com uma classe de concreto superior a classe mínima, que se encontra na Tabela 7.1 da mesma norma, pode-se reduzir em 5 mm os cobrimentos nominais mínimos que se encontram na Tabela 7.2, e por essa tabela é constatado que o cobrimento nominal mínimo é de 25 mm, e a classe de concreto mínima é de C20, portanto, no caso específico desse trabalho a classe de concreto adotada foi de C25, consequentemente o cobrimento nominal mínimo é de 20 mm. As principais representações da estruturas ditam nas figuras 9 à 15.

**Figura 9 - Vista Lateral direita**



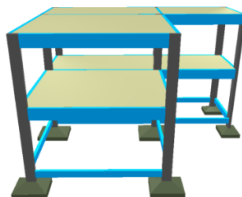
Fonte: Próprio Autor

**Figura 10 - Vista Lateral esquerda**



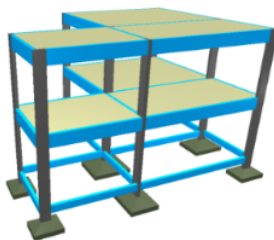
Fonte: Próprio Autor

**Figura 11 - Vista frontal**



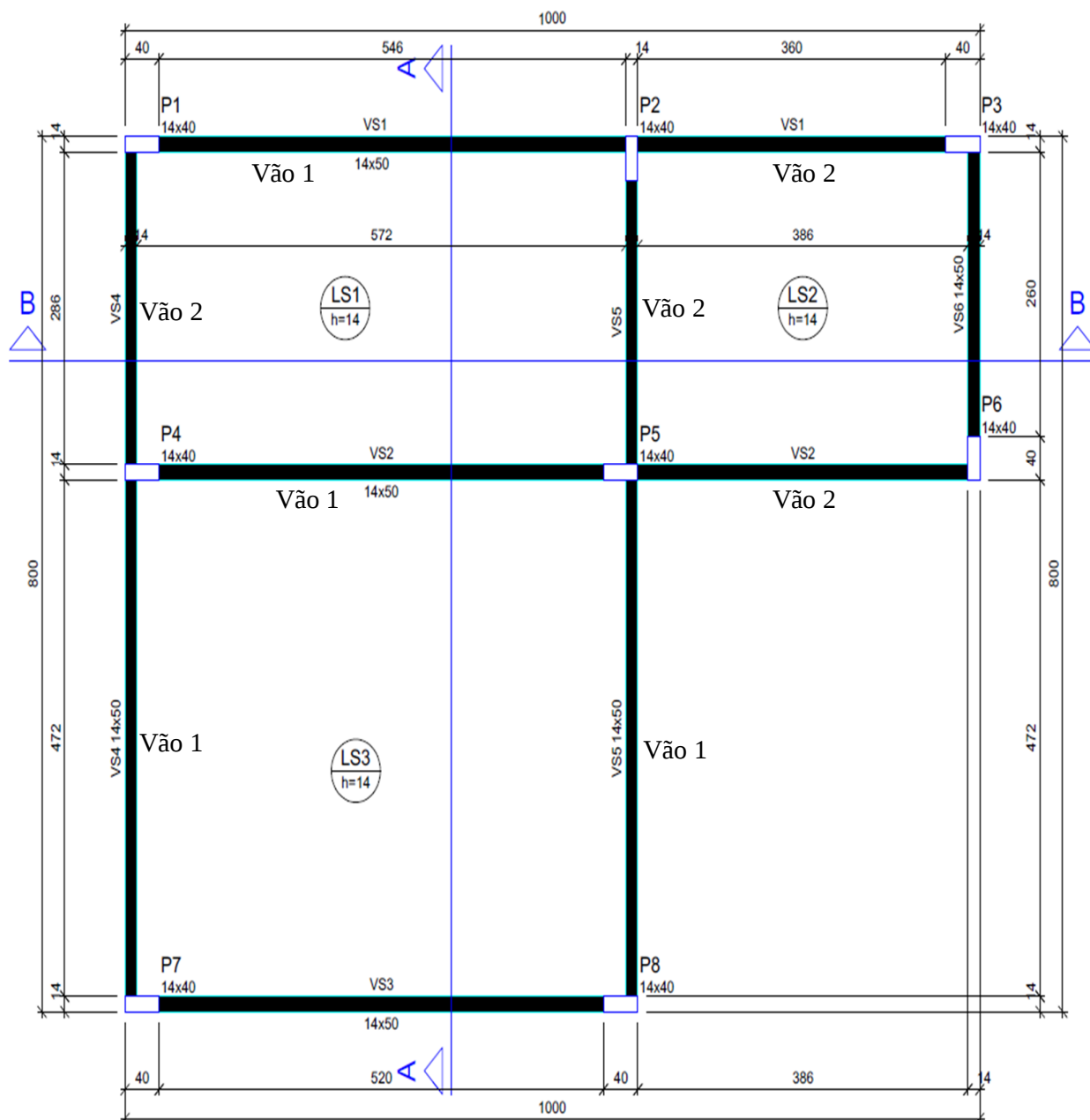
Fonte: Próprio Autor

**Figura 12 - Vista Traseira**



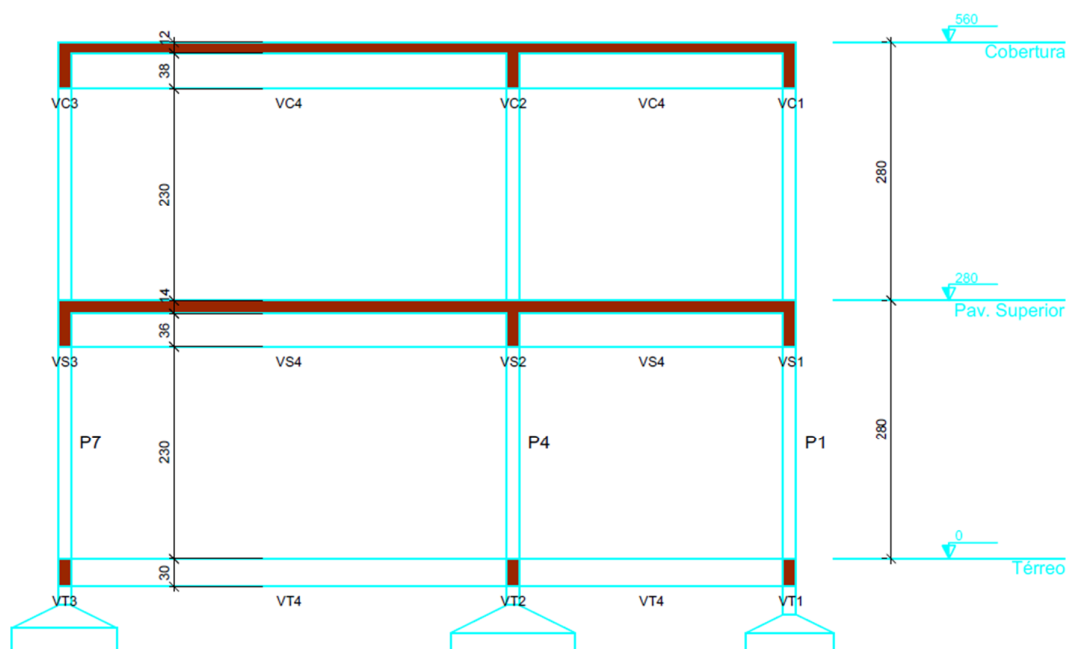
Fonte: Próprio Autor

Figura 13 – Forma do pavimento Superior



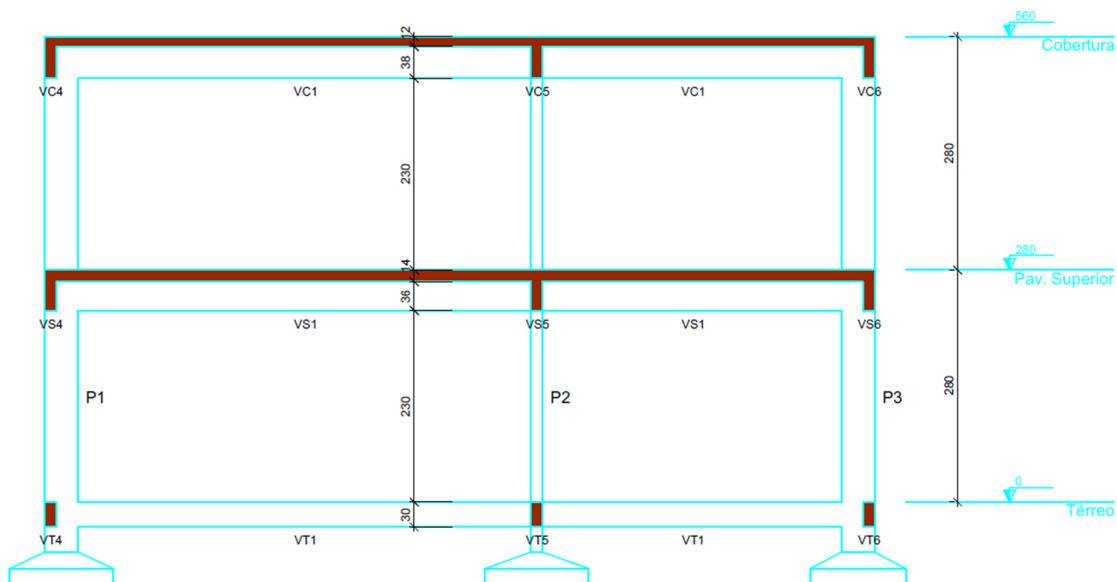
Fonte: Programa AltoQi Eberik, versão 2020

**Figura 14 - Corte A-A**



Fonte: Programa AltoQi Eberik, versão 2020

**Figura 15 - Corte B-B**



Fonte: Programa AltoQi Eberik, versão 2020

#### 4. RESULTADO E DISCUSSÕES

Após a realização dos cálculos pôde-se perceber uma clara vantagem em utilizar o Método MSP, pelo fato das dimensões das vigas não serem alteradas, pois não há restrições de dimensões mínimas, como se pode ver nas tabelas 10 e 11. Já no método tabular há a necessidade de atender as dimensões mínimas das tabelas de 2.7.1.1, logo, nota-se essa clara desvantagem, estando os resultados desse método calculado pelo programa Eberik nas tabelas 12 e 13, com as vinculações adotadas na tabela 14, sendo essas automáticas pelo programa.

Todavia, o programa Eberik não permite alterações diretas no detalhamento da viga, o que torna o método tabular extremamente ineficaz, enviesando a análise. Por conta disso, foram então escolhidas 3 vigas representativas de todo o pavimento para serem calculadas por meio da planilha do método tabular, a qual permite alterações diretas no detalhamento. As vigas escolhidas foram: VS1, VS2 e VS3 e os resultados desse dimensionamento se encontram nas tabelas 15 e 16.

Após as análises, foi notado a diferença entre “c1” obtido por meio da interpolação das tabelas e o “c1 nec” calculado pelo programa. Ao questionar o Suporte da AltoQi a respeito dessa divergência, foi obtida a resposta que para esse cálculo foi utilizado o item 8.2 da norma 15200:

$$\Delta c1 = 24,5 - 35x \frac{S_{d,fi}}{S_d} x \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \quad (23.6)$$

Com os intervalos dos valores sendo:

$$0,7 \leq \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \leq 1,0$$

$$0,4 \leq \frac{S_{d,fi}}{S_d} \leq 0,7$$

Na norma esse item aparece referenciado às tabelas de lajes, sendo dito que os valores de “c1” foram obtidos para  $\frac{S_{d,fi}}{S_d} = 0,7$  e  $\frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} = 1$  e caso esses valores sejam menores pode-se usar a equação 23.6. A interpretação da norma nesse ponto fica ambígua, sendo possível adotar essa definição também para as vigas e é a forma que o programa interpreta.

Tabela 10 - Tabela de resultados pelo método MSP

| TABELA DE RESULTADOS DO MÉTODO MSP |            |        |               |               |                                   |        |      |        |
|------------------------------------|------------|--------|---------------|---------------|-----------------------------------|--------|------|--------|
| Nome                               | (bwxh)(cm) | TRRF   | MRd,fi (tf.m) | MSd,fi (tf.m) | A( $\phi$ )tot (cm <sup>2</sup> ) | $\phi$ | N° B | CN     |
| VS1_1                              | (14x50)    | 30 min | 4,44          | 3,06          | 2,01                              | 8 mm   | 4    | 2 cm   |
| VS1_2                              | (14x50)    | 30 min | 2,25          | 0,92          | 1,01                              | 8 mm   | 2    | 2 cm   |
| VS2_1                              | (14x50)    | 30 min | 6,84          | 4,22          | 3,14                              | 10 mm  | 4    | 2 cm   |
| VS2_2                              | (14x50)    | 30 min | 3,53          | 1,59          | 1,57                              | 10 mm  | 2    | 2 cm   |
| VS3                                | (14x50)    | 30 min | 5,47          | 3,28          | 2,51                              | 8 mm   | 5    | 2 cm   |
| VS4_1                              | (14x50)    | 30 min | 5,26          | 3,20          | 2,36                              | 10 mm  | 3    | 2 cm   |
| VS4_2                              | (14x50)    | 30 min | 3,53          | 0,63          | 1,57                              | 10 mm  | 2    | 2 cm   |
| VS5_1                              | (14x50)    | 30 min | 5,26          | 3,16          | 2,36                              | 10 mm  | 3    | 2 cm   |
| VS5_2                              | (14x50)    | 30 min | 3,53          | 0,77          | 1,57                              | 10 mm  | 2    | 2 cm   |
| VS6                                | (14x50)    | 30 min | 2,25          | 0,91          | 1,01                              | 8 mm   | 2    | 2 cm   |
| VS1_1                              | (14x50)    | 60 min | 3,25          | 3,06          | 2,01                              | 8 mm   | 4    | 2 cm   |
| VS1_2                              | (14x50)    | 60 min | 1,58          | 0,92          | 1,01                              | 8 mm   | 2    | 2 cm   |
| VS2_1                              | (14x50)    | 60 min | 5,16          | 4,22          | 3,14                              | 10 mm  | 4    | 2 cm   |
| VS2_2                              | (14x50)    | 60 min | 2,51          | 1,59          | 1,57                              | 10 mm  | 2    | 2 cm   |
| VS3                                | (14x50)    | 60 min | 4,30          | 3,28          | 2,51                              | 8 mm   | 5    | 2 cm   |
| VS4_1                              | (14x50)    | 60 min | 3,95          | 3,20          | 2,36                              | 10 mm  | 3    | 2 cm   |
| VS4_2                              | (14x50)    | 60 min | 2,51          | 0,63          | 1,57                              | 10 mm  | 2    | 2 cm   |
| VS5_1                              | (14x50)    | 60 min | 3,95          | 3,16          | 2,36                              | 10 mm  | 3    | 2 cm   |
| VS5_2                              | (14x50)    | 60 min | 2,51          | 0,77          | 1,57                              | 10 mm  | 2    | 2 cm   |
| VS6                                | (14x50)    | 60 min | 1,58          | 0,91          | 1,01                              | 8 mm   | 2    | 2 cm   |
| VS1_1                              | (14x50)    | 90 min | 3,38          | 3,06          | 2,01                              | 8 mm   | 4    | 3,5 cm |
| VS1_2                              | (14x50)    | 90 min | 2,33          | 0,92          | 1,51                              | 8 mm   | 3    | 3,5 cm |
| VS2_1                              | (14x50)    | 90 min | 4,82          | 4,22          | 3,14                              | 10 mm  | 4    | 3 cm   |
| VS2_2                              | (14x50)    | 90 min | 2,16          | 1,59          | 1,57                              | 10 mm  | 2    | 3 cm   |
| VS3                                | (14x50)    | 90 min | 3,30          | 3,28          | 2,51                              | 8 mm   | 5    | 2,5 cm |
| VS4_1                              | (14x50)    | 90 min | 3,20          | 3,20          | 2,36                              | 10 mm  | 3    | 3 cm   |
| VS4_2                              | (14x50)    | 90 min | 2,16          | 0,63          | 1,57                              | 10 mm  | 2    | 3 cm   |
| VS5_1                              | (14x50)    | 90 min | 3,20          | 3,16          | 2,36                              | 10 mm  | 3    | 3 cm   |
| VS5_2                              | (14x50)    | 90 min | 2,16          | 0,77          | 1,57                              | 10 mm  | 2    | 3 cm   |
| VS6                                | (14x50)    | 90 min | 1,15          | 0,91          | 1,01                              | 8 mm   | 2    | 2,5 cm |

Fonte: Próprio Autor

Tabela 11 - Tabela de resultados pelo método MSP - Continuação

| TABELA DE RESULTADOS DO MÉTODO MSP - CONTINUAÇÃO |            |         |               |               |                                   |        |    |        |
|--------------------------------------------------|------------|---------|---------------|---------------|-----------------------------------|--------|----|--------|
| Nome                                             | (bwxh)(cm) | TRRF    | MRd,fi (tf.m) | MSd,fi (tf.m) | A( $\phi$ )tot (cm <sup>2</sup> ) | $\phi$ | Nº | CN     |
| VS1_1                                            | (14x50)    | 120 min | 3,15          | 3,06          | 2,51                              | 8 mm   | 5  | 3,5 cm |
| VS1_2                                            | (14x50)    | 120 min | 2,54          | 0,92          | 2,01                              | 8 mm   | 4  | 3,5 cm |
| VS2_1                                            | (14x50)    | 120 min | 4,97          | 4,22          | 3,93                              | 10 mm  | 5  | 3,5 cm |
| VS2_2                                            | (14x50)    | 120 min | 1,61          | 1,59          | 1,57                              | 10 mm  | 2  | 3,5 cm |
| VS3                                              | (14x50)    | 120 min | 4,14          | 3,28          | 3,02                              | 8 mm   | 6  | 3,5 cm |
| VS4_1                                            | (14x50)    | 120 min | 4,01          | 3,20          | 3,14                              | 10 mm  | 4  | 3,5 cm |
| VS4_2                                            | (14x50)    | 120 min | 1,61          | 0,63          | 1,57                              | 10 mm  | 2  | 3,5 cm |
| VS5_1                                            | (14x50)    | 120 min | 4,01          | 3,16          | 3,14                              | 10 mm  | 4  | 3,5 cm |
| VS5_2                                            | (14x50)    | 120 min | 1,61          | 0,77          | 1,57                              | 10 mm  | 2  | 3,5 cm |
| VS6                                              | (14x50)    | 120 min | 1,48          | 0,91          | 1,51                              | 8 mm   | 3  | 3,5 cm |
| VS1_1                                            | (14x50)    | 180 min | 3,75          | 3,06          | 4,02                              | 8 mm   | 8  | 3,5 cm |
| VS1_2                                            | (14x50)    | 180 min | 2,52          | 0,92          | 3,02                              | 8 mm   | 6  | 3,5 cm |
| VS2_1                                            | (14x50)    | 180 min | 4,43          | 4,22          | 5,50                              | 10 mm  | 7  | 3,5 cm |
| VS2_2                                            | (14x50)    | 180 min | 2,13          | 1,59          | 3,14                              | 10 mm  | 4  | 3,5 cm |
| VS3                                              | (14x50)    | 180 min | 3,75          | 3,28          | 4,02                              | 8 mm   | 8  | 3,5 cm |
| VS4_1                                            | (14x50)    | 180 min | 3,99          | 3,20          | 4,71                              | 10 mm  | 6  | 3,5 cm |
| VS4_2                                            | (14x50)    | 180 min | 2,13          | 0,63          | 3,14                              | 10 mm  | 4  | 3,5 cm |
| VS5_1                                            | (14x50)    | 180 min | 3,98          | 3,16          | 4,71                              | 10 mm  | 6  | 3,5 cm |
| VS5_2                                            | (14x50)    | 180 min | 2,13          | 0,77          | 3,14                              | 10 mm  | 4  | 3,5 cm |
| VS6                                              | (14x50)    | 180 min | 1,33          | 0,91          | 2,01                              | 8 mm   | 4  | 3,5 cm |

Fonte: Próprio Autor

Tabela 12 - Tabela de resultados pelo Método Tabular pelo programa Eberik

| TABELA DE RESULTADOS DO MÉTODO TABULAR |            |        |            |             |                                      |        |      |        |
|----------------------------------------|------------|--------|------------|-------------|--------------------------------------|--------|------|--------|
| Nome                                   | (bwxh)(cm) | TRRF   | c1<br>(mm) | c1 mín (mm) | A( $\phi$ )tot<br>(cm <sup>2</sup> ) | $\phi$ | Nº B | CN     |
| VS1_1                                  | (14x50)    | 30 min | 36,00      | 12,75       | 2,01                                 | 8 mm   | 4    | 2 cm   |
| VS1_2                                  | (14x50)    | 30 min | 29,00      | 12,75       | 1,01                                 | 8 mm   | 2    | 2 cm   |
| VS2_1                                  | (14x50)    | 30 min | 37,50      | 11,44       | 3,14                                 | 10 mm  | 4    | 2 cm   |
| VS2_2                                  | (14x50)    | 30 min | 30,00      | 5,40        | 1,57                                 | 10 mm  | 2    | 2 cm   |
| VS3                                    | (14x50)    | 30 min | 40,20      | 10,18       | 2,51                                 | 8 mm   | 5    | 2 cm   |
| VS4_1                                  | (14x50)    | 30 min | 30,00      | 10,63       | 2,36                                 | 10 mm  | 3    | 2 cm   |
| VS4_2                                  | (14x50)    | 30 min | 30,00      | 5,40        | 1,57                                 | 10 mm  | 2    | 2 cm   |
| VS5_1                                  | (14x50)    | 30 min | 30,00      | 10,37       | 2,36                                 | 10 mm  | 3    | 2 cm   |
| VS5_2                                  | (14x50)    | 30 min | 30,00      | 3,00        | 1,57                                 | 10 mm  | 2    | 2 cm   |
| VS6                                    | (14x50)    | 30 min | 29,00      | 12,75       | 1,01                                 | 8 mm   | 2    | 2 cm   |
| VS1_1                                  | (14x50)    | 60 min | 41,00      | 21,29       | 2,01                                 | 8 mm   | 4    | 2,5 cm |
| VS1_2                                  | (14x50)    | 60 min | 34,00      | 21,29       | 1,01                                 | 8 mm   | 2    | 2,5 cm |
| VS2_1                                  | (14x50)    | 60 min | 42,50      | 20,27       | 3,14                                 | 10 mm  | 4    | 2,5 cm |
| VS2_2                                  | (14x50)    | 60 min | 35,00      | 13,94       | 1,57                                 | 10 mm  | 2    | 2,5 cm |
| VS3                                    | (14x50)    | 60 min | 45,20      | 18,99       | 2,51                                 | 8 mm   | 5    | 2,5 cm |
| VS4_1                                  | (14x50)    | 60 min | 35,00      | 19,44       | 2,36                                 | 10 mm  | 3    | 2,5 cm |
| VS4_2                                  | (14x50)    | 60 min | 35,00      | 13,94       | 1,57                                 | 10 mm  | 2    | 2,5 cm |
| VS5_1                                  | (14x50)    | 60 min | 35,00      | 19,17       | 2,36                                 | 10 mm  | 3    | 2,5 cm |
| VS5_2                                  | (14x50)    | 60 min | 35,00      | 11,53       | 1,57                                 | 10 mm  | 2    | 2,5 cm |
| VS6                                    | (14x50)    | 60 min | 34,00      | 21,29       | 1,01                                 | 8 mm   | 2    | 2,5 cm |
| VS1_1                                  | (16x50)    | 90 min | 60,20      | 50,85       | 2,51                                 | 8 mm   | 5    | 4 cm   |
| VS1_2                                  | (16x50)    | 90 min | 49,00      | 29,81       | 1,51                                 | 8 mm   | 3    | 4 cm   |
| VS2_1                                  | (16x50)    | 90 min | 73,00      | 52,89       | 3,52                                 | 8 mm   | 7    | 4 cm   |
| VS2_2                                  | (16x50)    | 90 min | 49,00      | 49,00       | 1,51                                 | 8 mm   | 3    | 4 cm   |
| VS3                                    | (16x50)    | 90 min | 60,00      | 54,00       | 2,36                                 | 10 mm  | 3    | 4 cm   |
| VS4_1                                  | (16x50)    | 90 min | 60,00      | 53,36       | 2,36                                 | 10 mm  | 3    | 4 cm   |
| VS4_2                                  | (16x50)    | 90 min | 50,00      | 29,03       | 1,57                                 | 10 mm  | 2    | 4 cm   |
| VS5_1                                  | (16x50)    | 90 min | 60,00      | 53,05       | 2,36                                 | 10 mm  | 3    | 4 cm   |
| VS5_2                                  | (16x50)    | 90 min | 50,00      | 27,53       | 1,57                                 | 10 mm  | 2    | 4 cm   |
| VS6                                    | (16x50)    | 90 min | 49,00      | 29,81       | 1,51                                 | 8 mm   | 3    | 4 cm   |

Fonte: Programa AltoQi Eberik, versão 2020

Tabela 13 - Tabela de resultados pelo Método Tabular pelo programa Eberik continuação

| TABELA DE RESULTADOS DO MÉTODO TABULAR - CONTINUAÇÃO |            |         |            |             |                                      |        |      |        |
|------------------------------------------------------|------------|---------|------------|-------------|--------------------------------------|--------|------|--------|
| Nome                                                 | (bwxh)(cm) | TRRF    | c1<br>(mm) | c1 mín (mm) | A( $\phi$ )tot<br>(cm <sup>2</sup> ) | $\phi$ | Nº B | CN     |
| VS1_1                                                | (19x50)    | 120 min | 70,20      | 65,50       | 2,51                                 | 8 mm   | 5    | 5 cm   |
| VS1_2                                                | (19x50)    | 120 min | 59,00      | 43,65       | 1,51                                 | 8 mm   | 3    | 5 cm   |
| VS2_1                                                | (19x50)    | 120 min | 83,00      | 68,00       | 3,52                                 | 8 mm   | 7    | 5 cm   |
| VS2_2                                                | (19x50)    | 120 min | 68,33      | 66,65       | 1,51                                 | 8 mm   | 3    | 5 cm   |
| VS3                                                  | (19x50)    | 120 min | 67,50      | 63,35       | 3,14                                 | 10 mm  | 4    | 5 cm   |
| VS4_1                                                | (19x50)    | 120 min | 70,20      | 66,12       | 2,51                                 | 8 mm   | 5    | 5 cm   |
| VS4_2                                                | (19x50)    | 120 min | 59,00      | 43,65       | 1,51                                 | 8 mm   | 3    | 5 cm   |
| VS5_1                                                | (19x50)    | 120 min | 70,20      | 65,84       | 2,51                                 | 8 mm   | 5    | 5 cm   |
| VS5_2                                                | (19x50)    | 120 min | 59,00      | 42,37       | 1,51                                 | 8 mm   | 3    | 5 cm   |
| VS6                                                  | (19x50)    | 120 min | 59,00      | 43,65       | 1,51                                 | 8 mm   | 3    | 5 cm   |
| VS1_1                                                | (24x50)    | 180 min | 85,20      | 78,57       | 2,51                                 | 8 mm   | 5    | 6,5 cm |
| VS1_2                                                | (24x50)    | 180 min | 81,00      | 77,43       | 2,01                                 | 8 mm   | 4    | 6,5 cm |
| VS2_1                                                | (24x50)    | 180 min | 87,00      | 79,05       | 3,93                                 | 10 mm  | 5    | 6,5 cm |
| VS2_2                                                | (24x50)    | 180 min | 75,00      | 54,22       | 2,36                                 | 10 mm  | 3    | 6,5 cm |
| VS3                                                  | (24x50)    | 180 min | 82,50      | 77,03       | 3,14                                 | 10 mm  | 4    | 6,5 cm |
| VS4_1                                                | (24x50)    | 180 min | 85,20      | 78,60       | 2,51                                 | 8 mm   | 5    | 6,5 cm |
| VS4_2                                                | (24x50)    | 180 min | 81,00      | 57,43       | 2,01                                 | 8 mm   | 4    | 6,5 cm |
| VS5_1                                                | (24x50)    | 180 min | 85,20      | 78,35       | 2,51                                 | 8 mm   | 5    | 6,5 cm |
| VS5_2                                                | (24x50)    | 180 min | 81,00      | 57,43       | 2,01                                 | 8 mm   | 4    | 6,5 cm |
| VS6                                                  | (24x50)    | 180 min | 81,00      | 57,43       | 2,01                                 | 8 mm   | 4    | 6,5 cm |

Fonte: Programa AltoQi Eberik, versão 2020

Tabela 14 - Vinculações adotadas pelo programa Eberik

| Nome | TRRF    | Vinculação |           |
|------|---------|------------|-----------|
|      |         | Vão 1      | Vão 2     |
| VS1  | 30 min  | Contínua   | Contínua  |
| VS2  | 30 min  | Contínua   | Contínua  |
| VS3  | 30 min  | Contínua   | -         |
| VS4  | 30 min  | Contínua   | Contínua  |
| VS5  | 30 min  | Contínua   | Contínua  |
| VS6  | 30 min  | Contínua   | -         |
| VS1  | 60 min  | Contínua   | Contínua  |
| VS2  | 60 min  | Contínua   | Contínua  |
| VS3  | 60 min  | Contínua   | -         |
| VS4  | 60 min  | Contínua   | Contínua  |
| VS5  | 60 min  | Contínua   | Contínua  |
| VS6  | 60 min  | Contínua   | -         |
| VS1  | 90 min  | Biapoiada  | Contínua  |
| VS2  | 90 min  | Biapoiada  | Biapoiada |
| VS3  | 90 min  | Biapoiada  | -         |
| VS4  | 90 min  | Biapoiada  | Contínua  |
| VS5  | 90 min  | Biapoiada  | Contínua  |
| VS6  | 90 min  | Contínua   | -         |
| VS1  | 120 min | Biapoiada  | Contínua  |
| VS2  | 120 min | Biapoiada  | Biapoiada |
| VS3  | 120 min | Biapoiada  | -         |
| VS4  | 120 min | Biapoiada  | Contínua  |
| VS5  | 120 min | Biapoiada  | Contínua  |
| VS6  | 120 min | Contínua   | -         |
| VS1  | 180 min | Biapoiada  | Biapoiada |
| VS2  | 180 min | Biapoiada  | Contínua  |
| VS3  | 180 min | Biapoiada  | -         |
| VS4  | 180 min | Biapoiada  | Contínua  |
| VS5  | 180 min | Biapoiada  | Contínua  |
| VS6  | 180 min | Contínua   | -         |

Fonte: Programa AltoQi Eberik, versão 2020

Tabela 15 - Resultados das vigas pelo método tabular pela planilha para vinculação contínua

| Nome  | Dimensões | TRRF       | c1(mm) | c1<br>nec.(mm) | As<br>(cm²) | Φ        | Qtd | CN        | d(cm) | Msd<br>(tf.m) | As<br>nec.(cm²) |
|-------|-----------|------------|--------|----------------|-------------|----------|-----|-----------|-------|---------------|-----------------|
| VS1_1 | (14x50)   | 30 min     | 36,00  | 12,75          | 2,01        | 8 mm     | 4   | 2 cm      | 46,40 | 3,96          | 2,06            |
| VS1_2 | (14x50)   | 30 min     | 29,00  | 12,75          | 1,01        | 8 mm     | 2   | 2 cm      | 47,10 | 1,56          | 0,77            |
| VS2_1 | (14x50)   | 30 min     | 37,50  | 12,75          | 3,14        | 10<br>mm | 4   | 2 cm      | 46,25 | 5,59          | 2,97            |
| VS2_2 | (14x50)   | 30 min     | 30,00  | 12,75          | 1,57        | 10<br>mm | 2   | 2 cm      | 47,00 | 2,02          | 1,01            |
| VS3   | (14x50)   | 30 min     | 40,20  | 12,75          | 2,51        | 8 mm     | 5   | 2 cm      | 45,98 | 4,27          | 2,25            |
| VS1_1 | (14x50)   | 60 min     | 41,00  | 21,29          | 2,01        | 8 mm     | 4   | 2,5<br>cm | 45,20 | 3,96          | 2,12            |
| VS1_2 | (14x50)   | 60 min     | 34,00  | 21,29          | 1,01        | 8 mm     | 2   | 2,5<br>cm | 46,60 | 1,56          | 0,78            |
| VS2_1 | (14x50)   | 60 min     | 42,50  | 21,29          | 3,14        | 10<br>mm | 4   | 2,5<br>cm | 45,00 | 5,59          | 3,07            |
| VS2_2 | (14x50)   | 60 min     | 35,00  | 21,29          | 1,57        | 10<br>mm | 2   | 2,5<br>cm | 46,50 | 2,02          | 1,02            |
| VS3   | (14x50)   | 60 min     | 40,20  | 21,29          | 2,51        | 8 mm     | 5   | 2 cm      | 45,98 | 4,27          | 2,25            |
| VS1_1 | (14x50)   | 90 min     | 41,00  | 37,00          | 2,01        | 8 mm     | 4   | 2,5<br>cm | 45,20 | 3,96          | 2,12            |
| VS1_2 | (14x50)   | 90 min     | 43,33  | 37,00          | 1,51        | 8 mm     | 3   | 2,5<br>cm | 45,20 | 1,56          | 0,81            |
| VS2_1 | (14x50)   | 90 min     | 42,50  | 37,00          | 3,14        | 10<br>mm | 4   | 2,5<br>cm | 45,00 | 5,59          | 3,07            |
| VS2_2 | (14x50)   | 90 min     | 45,00  | 37,00          | 2,36        | 10<br>mm | 3   | 2,5<br>cm | 45,00 | 2,02          | 1,06            |
| VS3   | (14x50)   | 90 min     | 40,20  | 37,00          | 2,51        | 8 mm     | 5   | 2 cm      | 45,98 | 4,27          | 2,25            |
| VS1_1 | (19x50)   | 120<br>min | 50,20  | 45,00          | 2,51        | 8 mm     | 5   | 3 cm      | 44,70 | 4,05          | 2,16            |
| VS1_2 | (19x50)   | 120<br>min | 48,33  | 45,00          | 1,51        | 8 mm     | 3   | 3 cm      | 44,70 | 1,48          | 0,77            |
| VS2_1 | (19x50)   | 120<br>min | 52,00  | 45,00          | 3,93        | 10<br>mm | 5   | 3 cm      | 44,50 | 6,07          | 3,32            |
| VS2_2 | (19x50)   | 120<br>min | 50,00  | 45,00          | 2,36        | 10<br>mm | 3   | 3 cm      | 44,50 | 1,95          | 1,03            |
| VS3   | (19x50)   | 120<br>min | 45,20  | 45,00          | 2,51        | 8 mm     | 5   | 2,5<br>cm | 45,20 | 4,58          | 2,43            |
| VS1_1 | (24x50)   | 180<br>min | 60,20  | 60,00          | 2,51        | 8 mm     | 5   | 4 cm      | 43,70 | 4,13          | 2,24            |
| VS1_2 | (24x50)   | 180<br>min | 60,20  | 60,00          | 2,51        | 8 mm     | 5   | 4 cm      | 43,70 | 1,68          | 0,90            |
| VS2_1 | (24x50)   | 180<br>min | 62,00  | 60,00          | 3,93        | 10<br>mm | 5   | 4 cm      | 43,50 | 6,42          | 3,57            |
| VS2_2 | (24x50)   | 180<br>min | 60,00  | 60,00          | 2,36        | 10<br>mm | 3   | 4 cm      | 43,50 | 1,95          | 1,05            |
| VS3   | (24x50)   | 180<br>min | 67,67  | 60,00          | 3,02        | 8 mm     | 6   | 4 cm      | 42,30 | 4,83          | 2,73            |

Fonte: Próprio Autor

Tabela 16 - Resultado das vigas pelo método tabular pela planilha para vinculação biapoiada

| Nome  | Dimensões | TRRF    | c1<br>(mm) | c1<br>nec.<br>(mm) | As<br>(cm²) | Φ     | Qtd | CN     | d<br>(cm) | Msd<br>(tf.m) | As<br>nec.<br>(cm²) |
|-------|-----------|---------|------------|--------------------|-------------|-------|-----|--------|-----------|---------------|---------------------|
| VS1_1 | (14x50)   | 30 min  | 36,00      | 17,50              | 2,01        | 8 mm  | 4   | 2 cm   | 46,40     | 3,96          | 2,06                |
| VS1_2 | (14x50)   | 30 min  | 29,00      | 17,50              | 1,01        | 8 mm  | 2   | 2 cm   | 47,10     | 1,56          | 0,77                |
| VS2_1 | (14x50)   | 30 min  | 37,50      | 17,50              | 3,14        | 10 mm | 4   | 2 cm   | 46,25     | 5,59          | 2,97                |
| VS2_2 | (14x50)   | 30 min  | 30,00      | 17,50              | 1,57        | 10 mm | 2   | 2 cm   | 47,00     | 2,02          | 1,01                |
| VS3   | (14x50)   | 30 min  | 40,20      | 17,50              | 2,51        | 8 mm  | 5   | 2 cm   | 45,98     | 4,27          | 2,25                |
| VS1_1 | (14x50)   | 60 min  | 41,00      | 37,50              | 2,01        | 8 mm  | 4   | 2,5 cm | 45,20     | 3,96          | 2,12                |
| VS1_2 | (14x50)   | 60 min  | 43,33      | 37,50              | 1,51        | 8 mm  | 3   | 2,5 cm | 46,60     | 1,56          | 0,78                |
| VS2_1 | (14x50)   | 60 min  | 37,50      | 37,50              | 3,14        | 10 mm | 4   | 2 cm   | 46,25     | 5,59          | 2,97                |
| VS2_2 | (14x50)   | 60 min  | 40,00      | 37,50              | 2,36        | 10 mm | 3   | 2 cm   | 45,50     | 2,02          | 1,05                |
| VS3   | (14x50)   | 60 min  | 40,20      | 37,50              | 2,51        | 8 mm  | 5   | 2 cm   | 45,98     | 4,27          | 2,25                |
| VS1_1 | (14x50)   | 90 min  | 71,40      | 60,00              | 2,51        | 8 mm  | 5   | 4 cm   | 42,30     | 3,96          | 2,28                |
| VS1_2 | (14x50)   | 90 min  | 63,00      | 60,00              | 2,01        | 8 mm  | 4   | 4 cm   | 43,70     | 1,56          | 0,84                |
| VS2_1 | (14x50)   | 90 min  | 65,00      | 60,00              | 3,14        | 10 mm | 4   | 4 cm   | 43,50     | 5,59          | 3,19                |
| VS2_2 | (14x50)   | 90 min  | 60,00      | 60,00              | 2,36        | 10 mm | 3   | 4 cm   | 43,50     | 2,02          | 1,10                |
| VS3   | (14x50)   | 90 min  | 71,40      | 60,00              | 2,51        | 8 mm  | 5   | 4 cm   | 42,30     | 4,27          | 2,47                |
| VS1_1 | (19x50)   | 120 min | 76,40      | 68,00              | 2,51        | 8 mm  | 5   | 4,5 cm | 43,20     | 4,05          | 2,24                |
| VS1_2 | (19x50)   | 120 min | 68,00      | 68,00              | 2,01        | 8 mm  | 4   | 4,5 cm | 43,20     | 1,48          | 0,80                |
| VS2_1 | (19x50)   | 120 min | 79,00      | 68,00              | 3,93        | 10 mm | 5   | 4,5 cm | 41,50     | 6,07          | 3,60                |
| VS2_2 | (19x50)   | 120 min | 70,00      | 68,00              | 3,14        | 10 mm | 4   | 4,5 cm | 43,00     | 1,95          | 1,06                |
| VS3   | (19x50)   | 120 min | 77,00      | 68,00              | 3,02        | 8 mm  | 6   | 4 cm   | 41,80     | 4,58          | 2,65                |
| VS1_1 | (24x50)   | 180 min | 91,40      | 80,00              | 2,51        | 8 mm  | 5   | 6 cm   | 40,30     | 4,13          | 2,44                |
| VS1_2 | (24x50)   | 180 min | 83,00      | 80,00              | 2,01        | 8 mm  | 4   | 6 cm   | 41,70     | 1,68          | 0,94                |
| VS2_1 | (24x50)   | 180 min | 89,00      | 80,00              | 3,93        | 10 mm | 5   | 5,5 cm | 40,50     | 6,42          | 3,87                |
| VS2_2 | (24x50)   | 180 min | 80,00      | 80,00              | 3,14        | 10 mm | 4   | 5,5 cm | 42,00     | 1,95          | 1,09                |
| VS3   | (24x50)   | 180 min | 82,00      | 80,00              | 3,02        | 8 mm  | 6   | 4,5 cm | 41,80     | 4,83          | 2,77                |

Fonte: Próprio Autor

Após as análises, percebe-se que na tabela 12 e 13 só foi possível preservar as dimensões das vigas apenas até o TRRF de 60 min, já nas tabelas 15 e 16, foram preservadas até o TRRF de 90 min. Isso ocorreu por conta da viga VS6 e VS1 no 2º vão terem apenas uma camada de barras, portanto, não passando no “c1L” e “c1L nec”, e como no Eberik não é possível adicionar

uma barra no detalhamento, foi necessário alterar toda estrutura. Provando assim, que a análise pela planilha ao se alterar o detalhamento é mais eficiente que o Eberik, como se pode observar nas tabelas 17 e 18

Portanto, as análises serão feitas com base nos resultados da planilha, para torna-la justa.

**Tabela 17 - Tabela com resultados do Programa Eberik - Para TRRF 60 min**

| Nome | bw | h  | TRRF (min) | CN     | c1 (mm) | c1L (mm) | c1 nec.(mm) | c1L nec.(mm) | Vinculação |
|------|----|----|------------|--------|---------|----------|-------------|--------------|------------|
| VS1  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | 36,00   | 36,00    | 21,29       | 31,29        | Contínua   |
| VS2  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | 37,50   | 37,50    | 19,98       | 29,98        | Contínua   |
| VS3  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | 40,20   | 40,20    | 18,72       | 28,72        | Contínua   |
| VS4  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | 30,00   | 30,00    | 19,17       | 29,17        | Contínua   |
| VS5  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | 30,00   | 30,00    | 18,90       | 28,90        | Contínua   |
| VS6  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | 29,00   | 29,00    | 21,29       | 31,29        | Contínua   |
| VS1  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | 41,00   | 41,00    | 21,29       | 31,29        | Contínua   |
| VS2  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | 42,50   | 42,50    | 20,27       | 30,27        | Contínua   |
| VS3  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | 45,20   | 45,20    | 18,99       | 28,99        | Contínua   |
| VS4  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | 35,00   | 35,00    | 19,44       | 29,44        | Contínua   |
| VS5  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | 35,00   | 35,00    | 19,17       | 29,17        | Contínua   |
| VS6  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | 34,00   | 34,00    | 21,29       | 31,29        | Contínua   |

Fonte: Programa AltoQi Eberik, versão 2020

**Tabela 18 - Tabela com resultados do Programa Eberik - Para TRRF 60 min - 2º Vão**

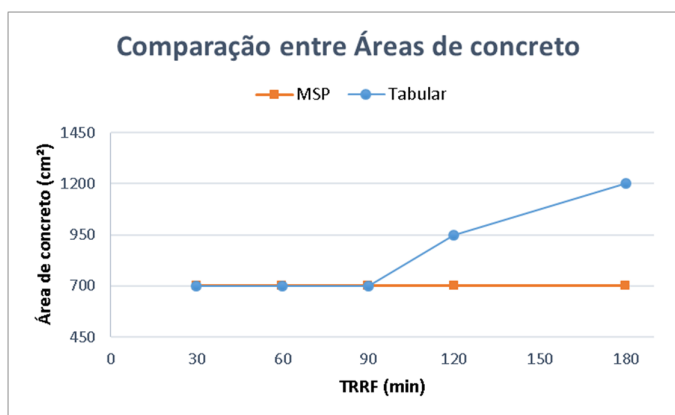
| Nome | bw | h  | TRRF (min) | CN     | c1 (mm) | c1L (mm) | c1 nec.(mm) | c1L nec.(mm) | Vinculação |
|------|----|----|------------|--------|---------|----------|-------------|--------------|------------|
| VS1  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | 29      | 29       | 21,29       | 31,29        | Contínua   |
| VS2  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | 30      | 30       | 13,94       | 23,94        | Contínua   |
| VS3  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | -       | -        | -           | -            | -          |
| VS4  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | 30      | 30       | 13,94       | 23,94        | Contínua   |
| VS5  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | 30      | 30       | 11,53       | 21,53        | Contínua   |
| VS6  | 14 | 50 | 60 min     | 2 cm   | -       | -        | -           | -            | -          |
| VS1  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | 34      | 34       | 21,29       | 31,29        | Contínua   |
| VS2  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | 35      | 35       | 13,94       | 23,94        | Contínua   |
| VS3  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | -       | -        | -           | -            | -          |
| VS4  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | 35      | 35       | 13,94       | 23,94        | Contínua   |
| VS5  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | 35      | 35       | 11,53       | 21,53        | Contínua   |
| VS6  | 14 | 50 | 60 min     | 2,5 cm | -       | -        | -           | -            | -          |

Fonte: Programa AltoQi Eberik, versão 2020

Percebe-se também que o método tabular exige dimensões mínimas ao dimensionar para os TRRF's de 120 e 180 minutos, desse modo, se tornando ineficaz na preservação das dimensões das vigas e consequentemente da estrutura em si, como se pode ver na Figura 16. Pelo método MSP todos os TRRF's puderam ser atendidos pelas mesmas dimensões da viga,

apenas sendo necessário aumentar a área de aço, e como ao se alterar as dimensões da viga é necessário a adaptação de toda estrutura, o método MSP essa é uma clara vantagem econômica.

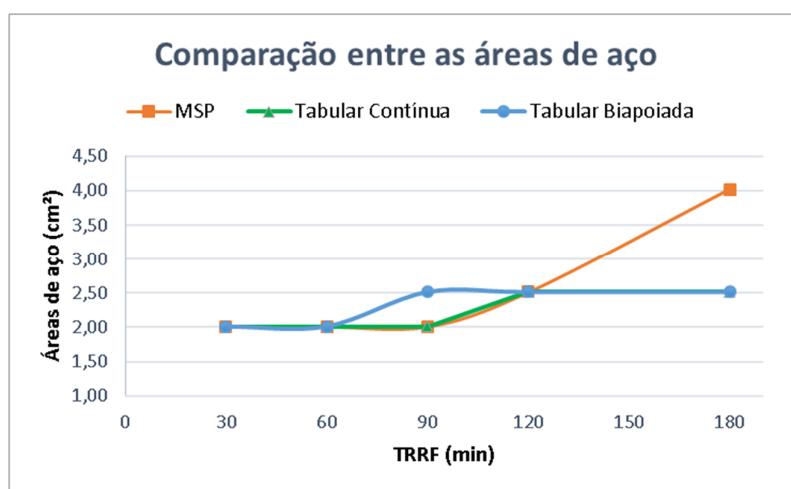
**Figura 16 - Comparação entre as áreas de concreto entre os métodos**



Fonte: Próprio Autor

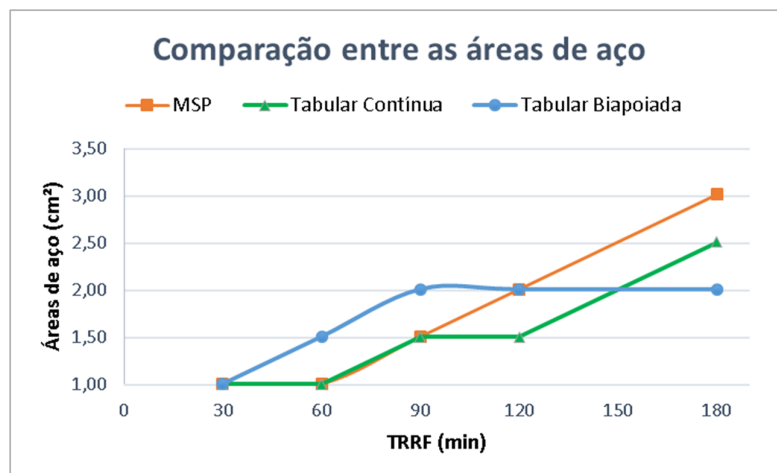
Desse modo, ao se verificar as áreas de aço das vigas analisadas percebe-se que as diferenças mais expressivas acontecem apenas no TRRF de 180 minutos, visto que ao se alterar as dimensões da viga, também é necessário realizar outra análise à temperatura ambiente, a qual até o TRRF 120 minutos não apresenta diferenças significativas, como se pode ver nas figuras 17 à 21.

**Figura 17 - Comparação entre áreas de aço (VS1\_1)**



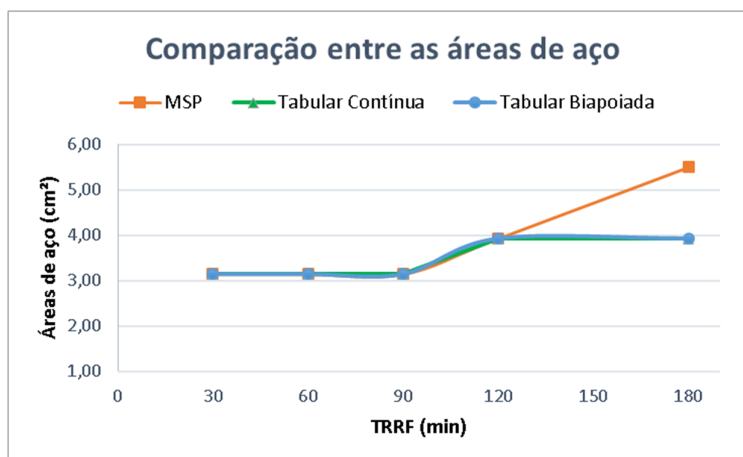
Fonte: Próprio Autor

Figura 18 - Comparação entre áreas de aço (VS1\_2)



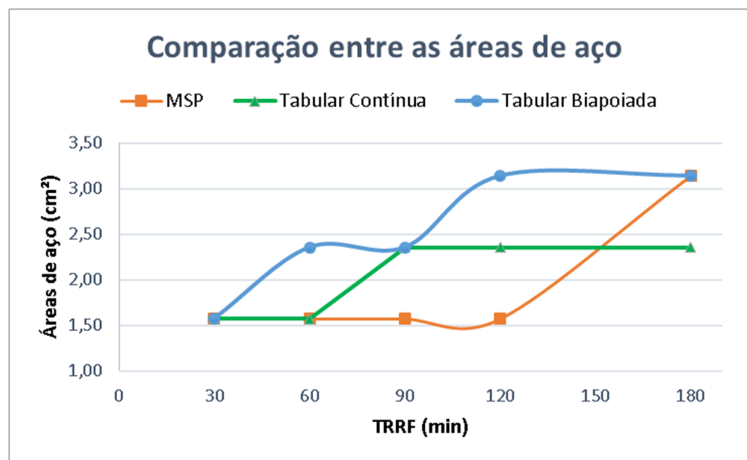
Fonte: Próprio Autor

Figura 19 - Comparação entre áreas de aço (VS2\_1)



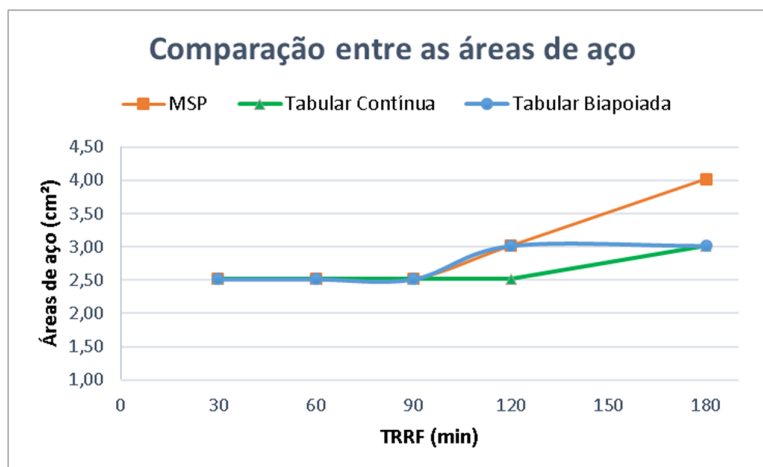
Fonte: Próprio Autor

**Figura 20 - Comparação entre áreas de aço (VS2\_2)**



Fonte: Próprio Autor

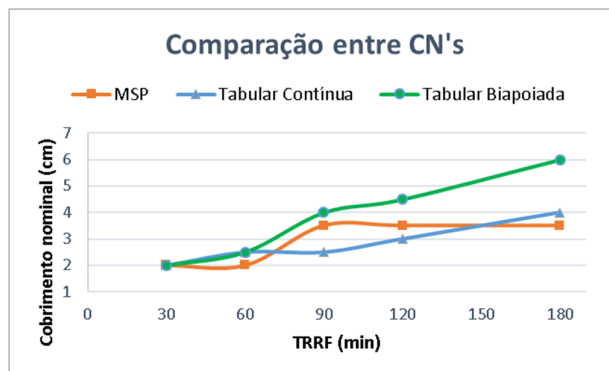
**Figura 21 - Comparação entre áreas de aço (VS3)**



Fonte: Próprio Autor

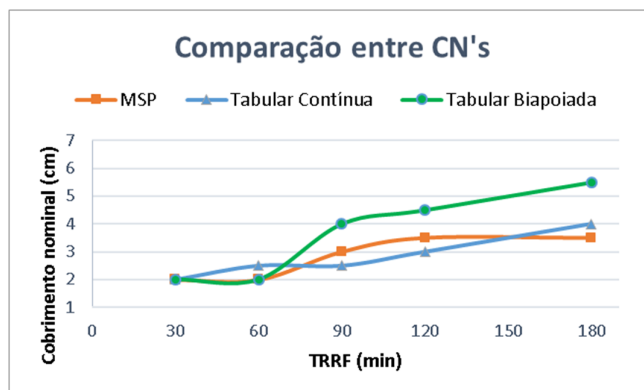
Além disso, é também importante realizar a análise da variação dos cobrimentos nominais (CN) das vigas, a medida que o TRRF aumenta. Desse modo, percebe-se que o método tabular para viga biapoiada possui liderança inquestionável no aumento nominal do cobrimento, chegando ao valor de 6 cm. Dessa forma, o método MSP conseguiu preservar de forma mais eficaz o cobrimento nominal médio, como se pode ver nas figuras 22 à 24.

**Figura 22 - Comparação entre Cobrimentos nominais (VS1)**



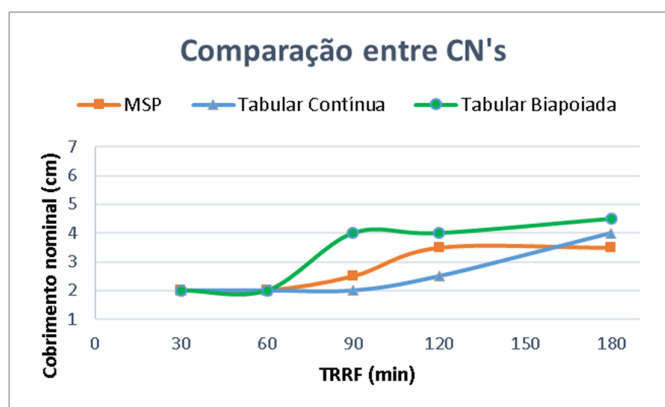
Fonte: Próprio Autor

**Figura 23 - Comparação entre Cobrimentos nominais (VS2)**



Fonte: Próprio Autor

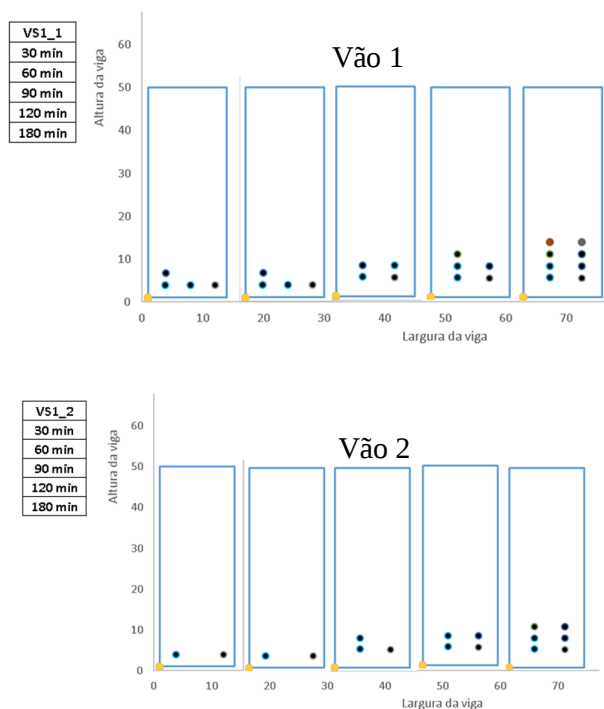
**Figura 24 - Comparação entre Cobrimentos nominais (VS3)**



Fonte: Próprio Autor

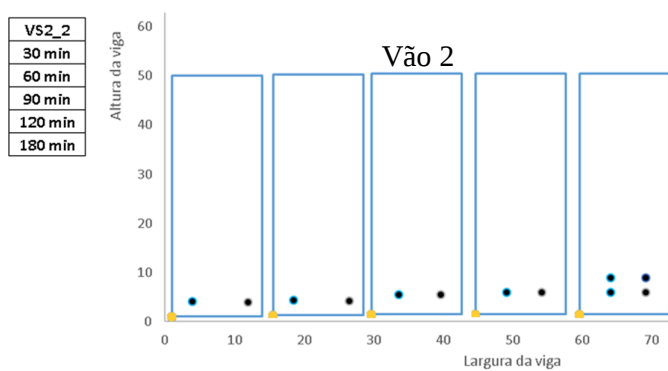
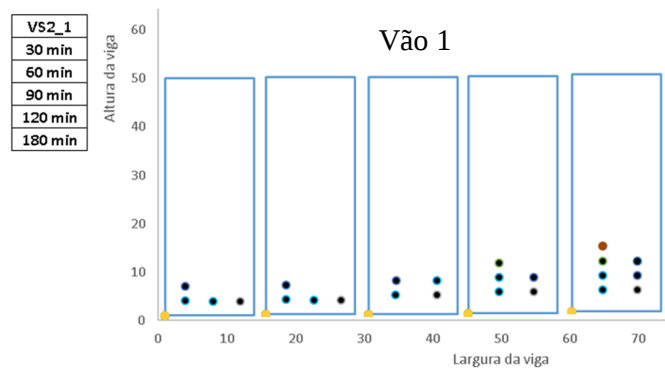
Por conseguinte, é necessário analisar os detalhamentos de forma visual, para entender o impacto do posicionamento das barras na viga, que pode ser feito pelas figuras 25 à 27. Percebe-se que a partir do TRRF de 60 minutos a maioria das vigas elimina a barra do meio do detalhamento, o qual é cedido por padrão pelo Eberik. Isso acontece por dois motivos principais: Ao se aumentar o cobrimento nominal, é necessário analisar o espaçamento horizontal mínimo entre as barras; e essa barra central diminui o momento resistente da viga.

**Figura 25 - Comparação entre detalhes pelo método MSP - viga VS1**



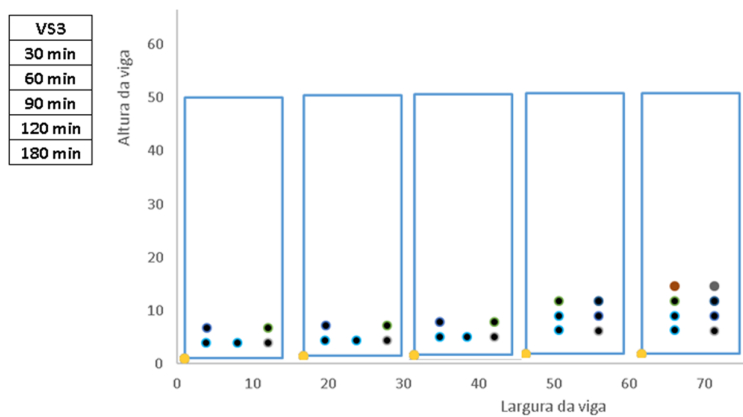
Fonte: Próprio Autor

**Figura 26 - Comparação entre detalhes pelo método MSP - viga VS2**



Fonte: Próprio Autor

**Figura 27 - Comparação entre detalhes pelo método MSP - viga VS3**



Fonte: Próprio Autor

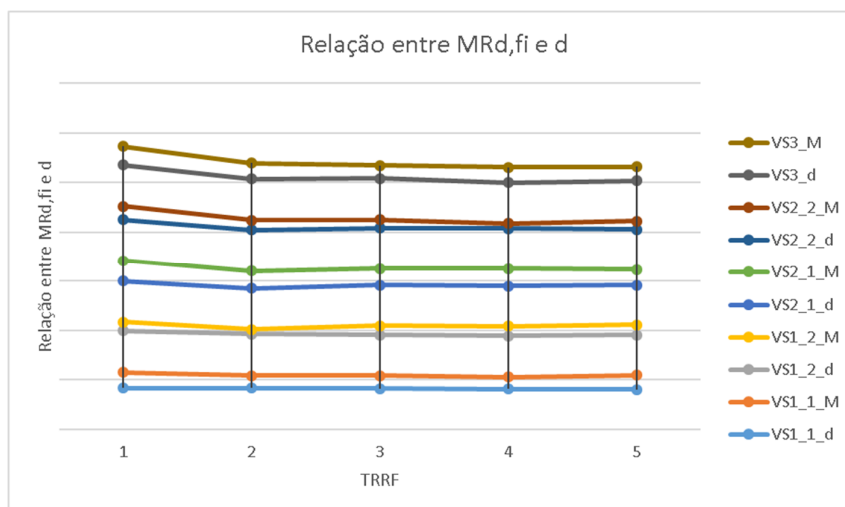
Seguindo a premissa de, quanto mais alto na viga a barra for colocada mais seguro termicamente, pode-se afirmar que, à medida que a altura útil da viga diminui por conta do número de barras, o momento resistente aumenta, como se pode ver na tabela 19.

**Tabela 19 - Tabela com resultados da altura útil e momento resistente das vigas**

| Nome:   | VS1_1  |               | VS1_2  |               | VS2_1  |               | VS2_2  |               | VS3    |               |
|---------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|
| TRRF    | d (cm) | Mrd,fi (tf.m) | d (cm) | Mrd,fi (tf.m) | d (cm) | Mrd,fi (tf.m) | d (cm) | Mrd,fi (tf.m) | d (cm) | Mrd,fi (tf.m) |
| 30 min  | 46,40  | 4,44          | 47,10  | 2,25          | 46,25  | 6,84          | 47,00  | 3,53          | 45,98  | 5,47          |
| 60 min  | 46,40  | 3,25          | 47,10  | 1,58          | 46,25  | 5,16          | 47,00  | 2,51          | 45,98  | 4,30          |
| 90 min  | 44,20  | 3,38          | 44,20  | 2,33          | 44,50  | 4,82          | 46,00  | 2,16          | 45,40  | 3,30          |
| 120 min | 42,80  | 3,15          | 44,20  | 2,54          | 42,50  | 4,97          | 45,50  | 1,61          | 42,80  | 4,14          |
| 180 min | 41,40  | 3,75          | 42,80  | 2,52          | 41,00  | 4,43          | 44,00  | 2,13          | 41,40  | 3,75          |

Fonte: Próprio Autor

**Figura 28 - Relação entre Altura útil e Momento Resistente em situação de incêndio**

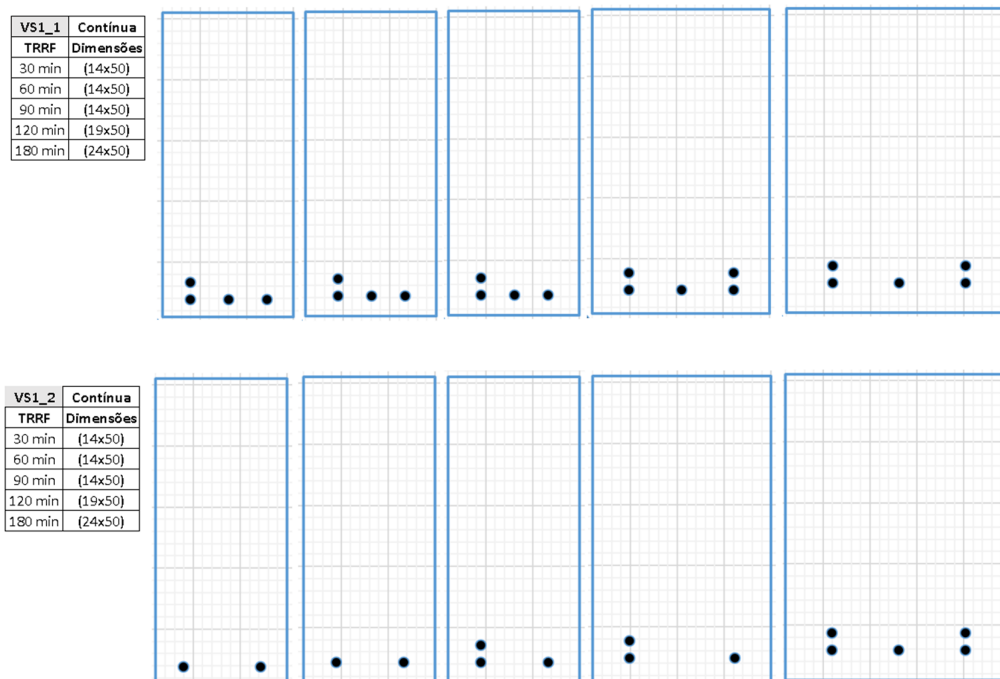


Fonte: Próprio Autor

No entanto, pela Figura 28, percebe-se que a relação entre a altura útil e o momento resistente em situação de incêndio não é tão direta assim. Isso ocorre por conta de simplificações a favor da segurança das alturas úteis. É importante mencionar que o TRRF segue de forma sequencial nessa figura, ou seja, 1 equivale a 30 minutos, 2 a 60 minutos, etc.

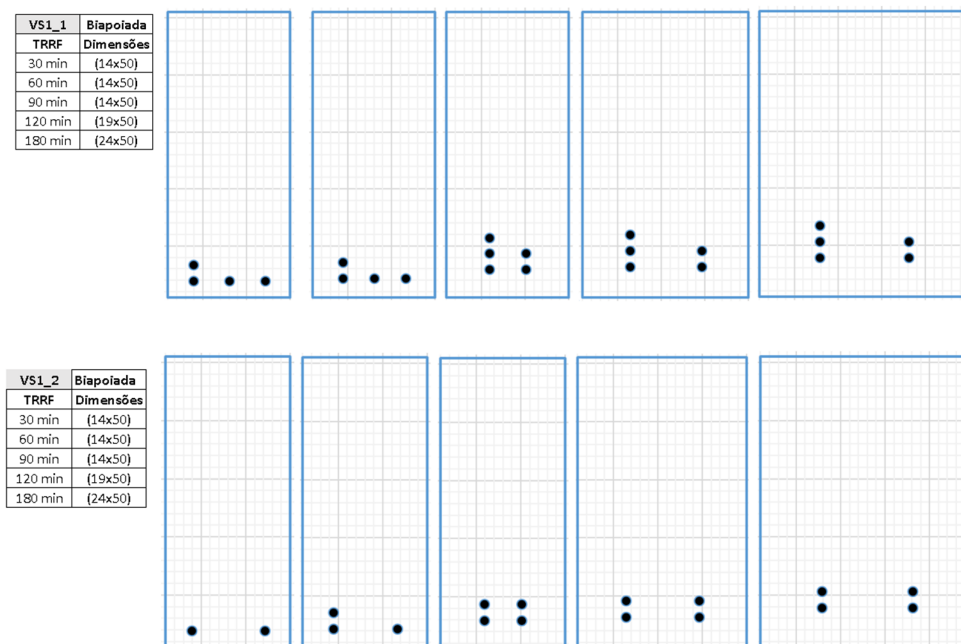
Visando a comparação direta entre os detalhamentos, foi disponibilizado o detalhamento das vigas calculadas pela planilha do método tabular, estando nas figuras 29 a 34.

**Figura 29 - Comparação de detalhes da viga VS1 para o método tabular e vinculação contínua**



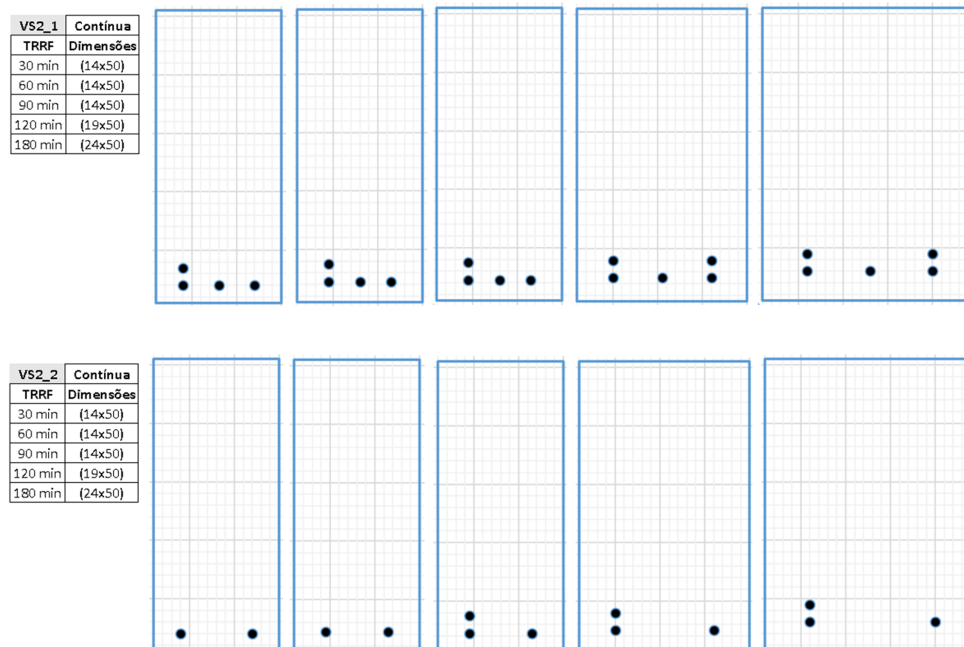
Fonte: Próprio Autor

**Figura 30 - Comparação de detalhes da viga VS1 para o método tabular e vinculação biapoçada**



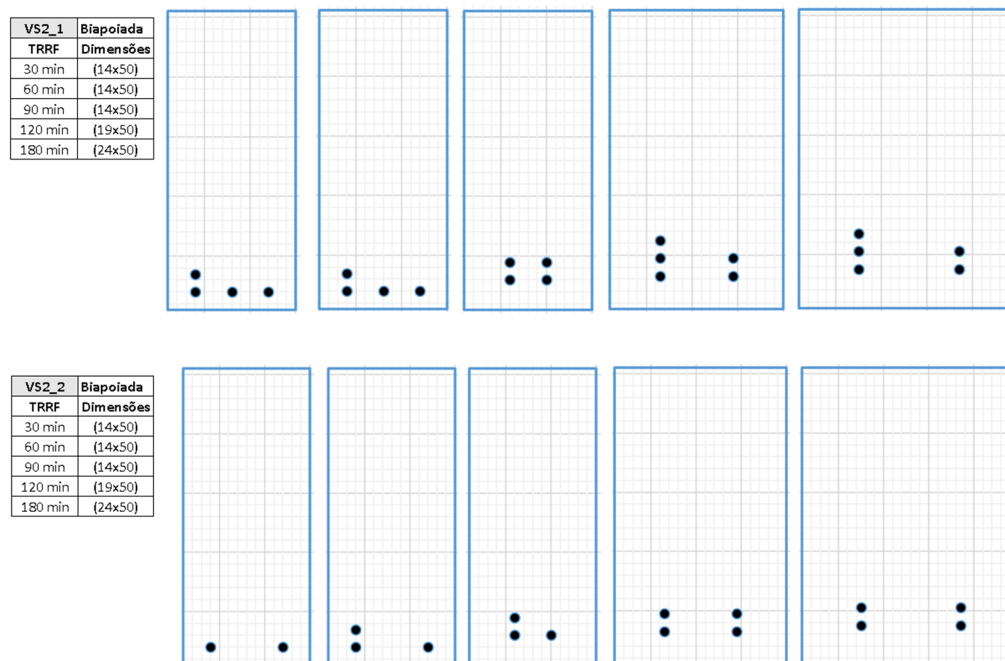
Fonte: Próprio Autor

**Figura 31 - Comparação de detalhes da viga VS2 para o método tabular e vinculação contínua**



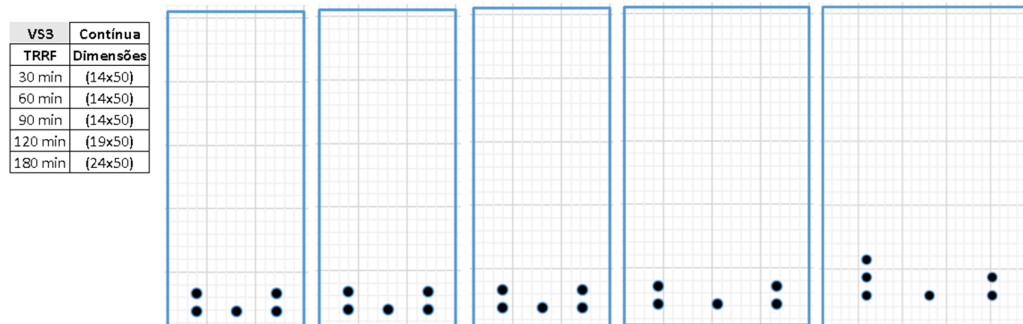
Fonte: Próprio Autor

**Figura 32 - Comparação de detalhes da viga VS2 para o método tabular e vinculação biapoiaada**



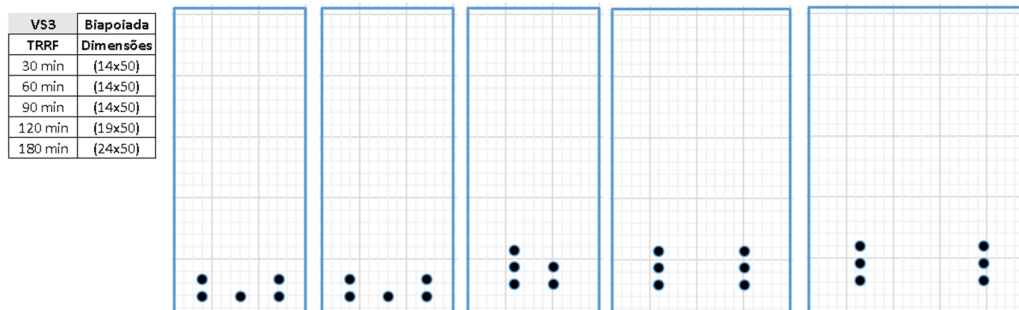
Fonte: Próprio Autor

**Figura 33 - Comparação de detalhes da viga VS3 para o método tabular e vinculação contínua**



Fonte: Próprio Autor

**Figura 34 - Comparação de detalhes da viga VS3 para o método tabular e vinculação biapoada**



Fonte: Próprio Autor

Portanto, em comparação com o detalhamento pelo método MSP, o método tabular conseguiu uma mais limpa disposição de barras, e também uma maior resistência das vigas devido a alteração das dimensões. Todavia, como a execução de vigas de concreto armado já é uma prática bastante conhecida, a vantagem descrita se torna ineficaz, pois as vigas detalhadas pelo método MSP são exequíveis.

Dessa forma, para se considerar também os resultados do programa, visto o objetivo descrito anteriormente, as tabelas 20 e 21, demonstram uma comparação direta entre as tabelas 10 e 11; e as tabelas 12 e 13.

Tabela 20 - Análise dos dois métodos (MSP e Método tabular, pelo programa)

| Análise das vigas pelos dois métodos |        |                           |                           |                           |
|--------------------------------------|--------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Nome                                 | TRRF   | Área de concreto          | Área de aço               | Cobrimento nominal        |
| VS1_1                                | 30 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | CN iguais                 |
| VS1_2                                | 30 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | CN iguais                 |
| VS2_1                                | 30 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | CN iguais                 |
| VS2_2                                | 30 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | CN iguais                 |
| VS3                                  | 30 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | CN iguais                 |
| VS4_1                                | 30 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | CN iguais                 |
| VS4_2                                | 30 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | CN iguais                 |
| VS5_1                                | 30 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | CN iguais                 |
| VS5_2                                | 30 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | CN iguais                 |
| VS6                                  | 30 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | CN iguais                 |
| VS1_1                                | 60 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS1_2                                | 60 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS2_1                                | 60 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS2_2                                | 60 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS3                                  | 60 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS4_1                                | 60 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS4_2                                | 60 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS5_1                                | 60 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS5_2                                | 60 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS6                                  | 60 min | Dimensões iguais          | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS1_1                                | 90 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método Tabular |
| VS1_2                                | 90 min | Maior pelo Método Tabular | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS2_1                                | 90 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método Tabular |
| VS2_2                                | 90 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS3                                  | 90 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS4_1                                | 90 min | Maior pelo Método Tabular | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS4_2                                | 90 min | Maior pelo Método Tabular | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS5_1                                | 90 min | Maior pelo Método Tabular | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS5_2                                | 90 min | Maior pelo Método Tabular | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS6                                  | 90 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método Tabular |

Fonte: Próprio Autor

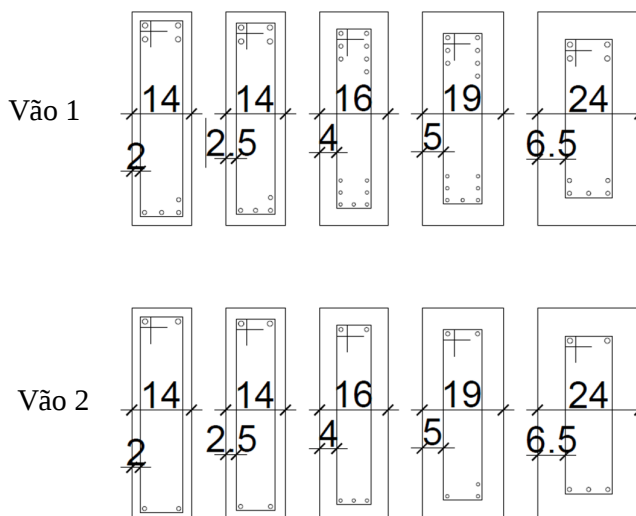
Tabela 21 - Análise dos dois métodos continuação

| Análise das vigas pelos dois métodos |         |                           |                           |                           |
|--------------------------------------|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Nome                                 | TRRF    | Área de concreto          | Área de aço               | Cobrimento nominal        |
| VS1_1                                | 120 min | Maior pelo Método Tabular | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS1_2                                | 120 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS2_1                                | 120 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS2_2                                | 120 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS3                                  | 120 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método Tabular |
| VS4_1                                | 120 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS4_2                                | 120 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS5_1                                | 120 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS5_2                                | 120 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS6                                  | 120 min | Maior pelo Método Tabular | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |
| VS1_1                                | 180 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS1_2                                | 180 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS2_1                                | 180 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS2_2                                | 180 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS3                                  | 180 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS4_1                                | 180 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS4_2                                | 180 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS5_1                                | 180 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS5_2                                | 180 min | Maior pelo Método Tabular | Maior pelo Método MSP     | Maior pelo Método Tabular |
| VS6                                  | 180 min | Maior pelo Método Tabular | Áreas aço iguais          | Maior pelo Método Tabular |

Fonte: Próprio Autor

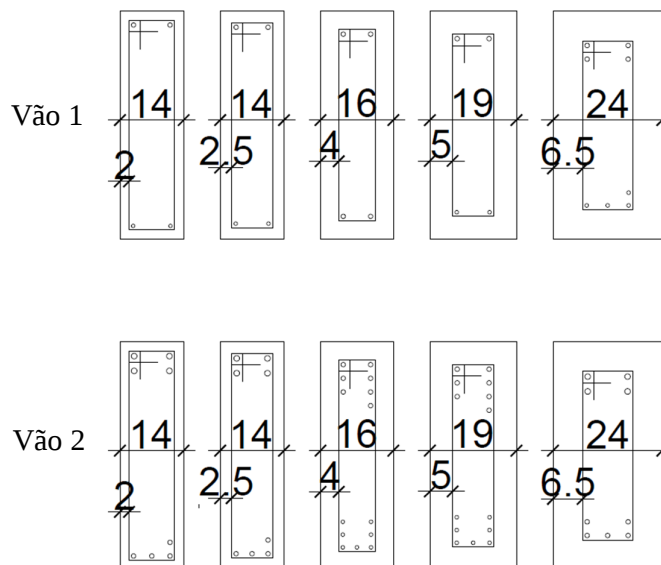
Sendo assim, os detalhamentos provenientes do programa refletem diretamente a desvantagem de detalhamento, e se encontram nas figuras 35 a 37.

Figura 35 - Detalhamentos da viga VS1 pelo método tabular



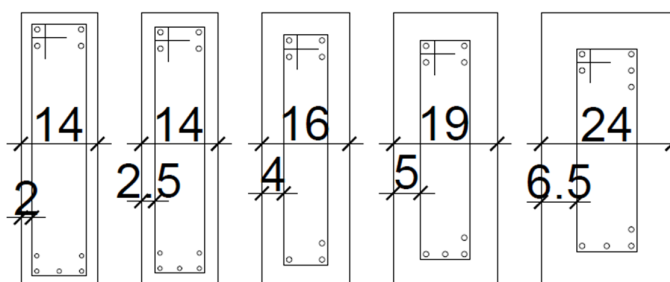
Fonte: Próprio Autor

**Figura 36 - Detalhamentos da viga VS2 pelo método tabular**



Fonte: Próprio Autor

**Figura 37 - Detalhamentos da viga VS3 pelo método tabular**



Fonte: Próprio Autor

## 5. CONCLUSÃO

Após todas as análises, foi possível concluir uma clara vantagem em se utilizar o método MSP em comparação com o método tabular, pois o método tabular possui exigências claras de dimensões mínimas em suas tabelas de verificação, dessa forma, toda a estrutura deve ser pensada para atender essas dimensões, ou seja, ao se aumentar as vigas é necessário também aumentar as dimensões dos pilares, já no método MSP, essa exigência só se faz necessária caso os elementos exijam a função corta-fogo, pela necessidade de uma compartimentação, por exemplo. Isso faz com que as vigas possam ser verificadas apenas alterando seu detalhamento interno, por meio de barras e cobrimento nominal.

Entretanto, foi percebido também, que o método tabular também possui essa abertura quanto a alterações no detalhamento, porém o programa Eberik não incorporou essa opção na versão utilizada, o que prejudicou a análise do método tabular, pois as únicas formas de aumentar o “c1” da viga eram redimensionando e aumentando o cobrimento nominal. Por conta disso, o foi necessário o cálculo por meio da planilha, no entanto, ainda assim o método MSP possui maior vantagem, por conta da análise apenas do momento.

Desse modo, conclui-se que o método MSP como uma derivação do método simplificado é uma análise eficiente e mais próxima à realidade, em comparação ao método tabular, pelo fato de não exigir dimensões mínimas e se focar apenas na distribuição de calor pela peça, deixando assim peças menos robustas.

## 6. RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendação para trabalhos futuros, sugiro análises in loco da resistência dessas vigas ou outras para verificar os resultados obtidos pelo método MSP. E a análise mais profunda e detalhada do item 8.2, da norma 15200, adotado pelo Eberik.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14432 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento.** Comitê Brasileiro de Segurança contra Incêndio (ABNT/CB-24); Comissão de Estudo de Segurança de Estruturas em Situação de Incêndio (CE-24:301.06), Rio de Janeiro, 2001, 14p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15200 - Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.** Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002); Comissão de Estudo de Estruturas de Concreto - Procedimento e Execução (CE-002:124.015), Rio de Janeiro, 2012, 48p.

CBMGO – Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. **NT-02 - CONCEITOS BÁSICOS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO.** Atualizada pela Portaria nº 05, de 05 de janeiro de 2023, 2022, 44p.

CBMGO – Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. **NT-08 - RESISTÊNCIA AO FOGO DOS ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO.** Atualizada pela Portaria nº 379/2022 - CG, 2022, 13p.

CBMGO – Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. **NT-01 - Anexo A - EXIGÊNCIAS DE MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO.** Atualizada pela Portaria n. 102/2022 – CBM. Publicada no BGE n. 43/2022 de 21/03/2022, 2020, 38p.

COSTA, C. N; SILVA, V. P. **Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio. Métodos tabulares apresentados em normas internacionais.** ResearchGate, 2003. 19 p. Tese de Doutorado. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/340682861> > Acesso em: 20 de setembro de 2023.

COSTA, C. N; SILVA, V. P.; FIGUEIREDO, A. D. **O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica.** ResearchGate, 2003, 16 p. Tese de Mestrado. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/340681367> > Acesso em: 18 de setembro de 2023.

SOUZA, L. A. A.; FILHO, L. C. P. S.; SILVA, W. G.; PEREIRA, F. F. A. **RESISTÊNCIA E SPALLING DO CONCRETO SOB CONDIÇÕES DE ALTAS TEMPERATURAS.** ResearchGate, 2012. 16 p. Tese de Doutorado. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/283795882> > Acesso em: 24 de setembro de 2023.

ROCHA, R. A; **EFEITO DA ALTA TEMPERATURA EM CONCRETOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA.** EFFECT OF HIGH TEMPERATURE IN CONCRETES: A REVIEW OF LITERATURE, INTERSCIENTIA, 2018, Vol. 6, Nº1. 227 p.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.2: General Rules - Structural Fire design.** prEN 1992-1-2. Brussels, 2004, 97 p.

COSTA, C. N; SILVA, V. P. **ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.** ResearchGate, 2002. 20 p. Tese de Mestrado. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/229002452> > Acesso em: 20 de setembro de 2023.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto.** Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002); Comissão de Estudo de Estruturas de Concreto - Procedimento e Execução (CE-002:124.015), Rio de Janeiro, 2023, 242p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento.** Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002); Comissão de Estudo de Estruturas de Concreto - Procedimento e Execução (CE-002:124.015), Rio de Janeiro, 2004, 18p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13528 – Revestimento de pares de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (ABNT/CB-18); Comissão de Estudo de Argamassa de Assentamento e Revestimento (CE-18:400.04), Rio de Janeiro, 2010, 11p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7480 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação.** Comitê Brasileiro de Siderurgia (ABNT/CB28); Comissão de Estudo de Produtos Longos (CE-28:000.04), Rio de Janeiro, 2007, 13p.

CBMGO – Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. **NT-14 - CARGA DE INCÊNDIO NAS EDIFICAÇÕES E ÁREAS DE RISCO.** Atualizada pela Portaria nº 408/2022, 2022, 46p.

SILVA, D. C. M. da. **"Processos de propagação de Calor"**. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/fisica/processo-propagacao-calor.htm>>. Acesso em: 28 de setembro de 2023.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5628 - Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo.** Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002); Comissão de Estudo de Estruturas Resistentes ao Fogo (CE-02:003.13), Rio de Janeiro, 2001, 12p.

AMARAL, M. M. **DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE ESTRUTURAS PORTUÁRIAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.** Dissertação de mestrado, 2018, 152p.

AltoQi – Suporte Eberik. **MÓDULO VERIFICAÇÃO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.** Disponível em: <[http://help.altoqi.com.br/Eberick/default.aspx#pageid=verificacao\\_estrutura\\_situacao\\_incendio](http://help.altoqi.com.br/Eberick/default.aspx#pageid=verificacao_estrutura_situacao_incendio)>. Acesso em: 01 de outubro de 2023.

Equipe Dimensão Incêndio. " **História do fogo: saiba como surgiu este elemento**". Dimensão Incêndio. Disponível em: <<https://dimensaoincendio.com.br/historia-do-fogo/#:~:text=Segundo%20pesquisas%20arqueol%C3%B3gicas%2C%20os%20povos,utens%C3%ADlios%20foram%20criados%20para%20ajudar.>>. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

MENDES, W. Jr. " **A história real de como se originalizou o bombeiro**". LinkedIn. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/hist%C3%B3ria-real-de-como-se-originalizou-o-bombeiro-wildison-mendes#:~:text=A%20hist%C3%B3ria%20do%20bombeiro%20come%C3%A7ou,que%20Roma%20n%C3%A3o%20tinha%20bombeiros.>>. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

DOMINGUES, J.E. " **Grande incêndio de Roma e Nero culpa os cristãos**". Ensinar História. Disponível em: <<https://ensinarhistoria.com.br/linha-do-tempo/incendio-de-roma-nero-culpa-os-cristaos/#:~:text=Em%2018%20de%20julho%20de,dias%2C%20consumiu%20quase%20toda%20cidade.>>. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

Escola Politécnica da USP. " **Legislação brasileira surgiu após incêndios de grandes proporções em SP**". USP. Disponível em: <<https://www.poli.usp.br/noticias/426-legislacao-brasileira-surgiu-apos-incendios-de-grandes-proporcoes-em-sp.html#:~:text=A%20primeira%20regulamenta%C3%A7%C3%A3o%20sobre%20seguran%C3%A7a,e%20Andraus%2C%20em%20S%C3%A3o%20Paulo.>>. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

HS Serviços & Regularizações. " **HISTÓRIA DO CORPO DE BOMBEIROS**". HS Serviços & Regularizações. Disponível em: <<https://www.hsserv.com.br/historia-corpo-bombeiros/#:~:text=Uma%20das%20normas%20mais%20antigas,ocorrendo%20naquele%20momento%20mais%20tarde.>>. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

AMARAL, M. M. " **Marcelo Mesquita do Amaral**". Escavador. Disponível em: <<https://www.escavador.com/sobre/2290687/marcelo-mesquita-do-amaral>>. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

REDAÇÃO NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. " **Quando e como foi descoberto o fogo: a verdade sobre essa história**". NATIONAL GEOGRAPHIC. Disponível em: <

<https://www.nationalgeographicbrasil.com/historia/2023/03/quando-e-como-foi-descoberto-o-fogo-a-verdade-sobre-essa-historia>>. Acesso em: 29 de outubro de 2023.

FERNANDES, C. "**Grande incêndio de Roma**". Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/historiag/grande-incendio-roma.htm>>. Acesso em: 29 de outubro de 2023.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO, J.R.; **CÁLCULO E DETALHAMENTO DE ESTRUTURAS USUAIS DE CONCRETO ARMADO SEGUNDO A NBR 6118:2014**. 4 Ed. São Carlos: Edufscar, 2014.