



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



ANÁLISE NUMÉRICA DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

NATHAN RUAS ALVES

Uberlândia - Minas Gerais
2023

NATHAN RUAS ALVES

**ANÁLISE NUMÉRICA DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO EM
SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Civil da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Gustavo
Delalibera.

Uberlândia - Minas Gerais

NATHAN RUAS ALVES

**ANÁLISE NUMÉRICA DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO EM
SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Civil da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Prof. Dr. Rodrigo Gustavo Delalibera
(Orientador)

Prof. Dr. Arquimedes Diógenes Ciloni
(Examinador Interno)

Prof. Dr. Gregório Sandro Vieira
(Examinador Interno)

Uberlândia - Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

Não sei explicar a emoção que me controla todos os pensamentos. É como se voltasse todo o quadro de meses antes à memória. Tudo me sensibiliza em excesso, tudo me faz recuar para rever o que devo contemplar em mim próprio com serenidade. Obrigado Deus, por todas as dádivas que você me concede desde o momento que eu iniciei minha jornada nessa Universidade conceituada.

Eu tinha um sonho: me formar em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Uberlândia. Por este sonho, em 2018 com 17 anos me aventurei nesse universo complexo que é a graduação. Fui feliz nesses anos? Sim. Conheci pessoas incríveis que me sustentaram emocionalmente nas minhas quedas, me levantavam quando eu caía. Por toda a gratidão que sinto nessa conclusão desta fase tão marcante da minha vida, venho deixar aqui gravado todo o amor que sinto pelas minhas amigas Luísa Mendonça, Larissa Andrade, Lays Helena, Giselle Pereira, Maria Eduarda Guedes, Thamara Salviano, Luana Cristina, Louise Borges, Isabella Soares, Bruna Alves, Luísa Lopes, Alice Duarte, Gabriely Medeiros, Vanessa Miranda, Manuela Mundim e Giovana Veloso; pelos momentos de alegria que me fizeram viver nesses anos de graduação. Cada uma de vocês foram primordiais para a minha vida acadêmica. Meu obrigado por tudo!

Agradeço também à Leila Aparecida de Castro Motta por ter sido dentro do PET, a pessoa que me fez me encontrar dentro do grupo e me ver que o PET sempre foi meu lugar. Leila, você é um exemplo de profissional para mim. Sou muito grato por você ter cruzado meu caminho. Agradeço também ao nosso tutor do PET, André Luiz de Oliveira, por dedicar todo seu tempo com nosso grupo de trabalho que aprendemos a chamar de família! Agradeço ao PET Civil UFU que é o meu lugar de trabalho, o qual aprendi a tratar como se fossem da minha família, carreguei vocês no meu peito até o último minuto da minha defesa.

Querida família, agradeço a todos vocês que vibraram por mim nesses últimos anos. Dou ênfase à minha mãe que é um ser humano que me deu o dom da vida e que por muito tempo, sacrificou de si para nos criar com todo carinho e amabilidade. Agradeço aos meus tios Corinto e Ângela, aos meus Padrinhos Patrícia e Corinto e ao meu afilhado Issan; por me acompanharem nessa trajetória desde quando tudo se iniciou.

Por fim, agradeço ao meu orientador Rodrigo Delalibera pelo apoio prestado nesse trabalho, é um profissional que admiro muito e fico honrado de ter sido seu orientando. Obrigado, Rodrigo!

RESUMO

ALVES, N. R. **Análise Numérica de Edifícios de Concreto Armado em Situação de Incêndio**. 2023. 158 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

As diversas catástrofes provocadas por incêndios ao longo dos anos em prédios de múltiplos andares em concreto armado, aumentaram a necessidade de entender e pesquisar o comportamento dos elementos estruturais quando expostos ao fogo. Atualmente, as recomendações e procedimentos simplificados para o dimensionamento e verificação da segurança estrutural destes elementos estruturais de concreto armado ao fogo são determinados pelas normas vigentes que englobam esta área de estudo, tal como a NBR 15200:2012. Desta forma, o presente trabalho tem como principal objetivo realizar uma modelagem computacional de um edifício de múltiplos andares em concreto armado com o auxílio do programa CAD/TQS, corretamente dimensionado para a ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto, para realizar a verificação da segurança estrutural dos pilares, vigas e lajes de concreto armado em situação de incêndio, conforme delimita a norma brasileira ABNT NBR 15200:2012. Por meio dos resultados de todos os elementos estruturais de concreto armado frente à verificação de incêndio presente no programa computacional, observou-se que nas 5 hipóteses de incêndio localizado nos pavimentos, os mesmos pilares – P1, P3, P4, P6, P7, P12, P13, P15, P16 e P18 - não passaram nas verificações de segurança estrutural para o pavimento Cobertura nas duas envoltórias utilizadas. Como também, a envoltória ‘ELU1’ detectou que nos pavimentos tipo, os pilares P15 e P16, não obtiveram um resultado satisfatório nas verificações. Os relatórios descritivos colhidos das envoltórias ‘Fogo’ e ‘ELU1’ trouxeram resultados positivos, partindo do princípio de que ambos tiveram resultados bem próximos nas verificações. Observa-se também que nenhuma das vigas ou lajes para nenhuma das verificações realizadas das 5 hipóteses de situações de incêndio, obtiveram resultado de estarem não dimensionadas.

Palavras-chave: Incêndio. Análise Térmica. Concreto Armado. Temperatura. Segurança Estrutural. Dimensionamento. Verificação. Pilares. Vigas. Lajes. Tempo Requerido de Resistência ao Fogo.

ABSTRACT

ALVES, N. R. Numerical Analysis of Reinforced Concrete Buildings in Fire Situations. 2023. 158 p. Thesis (Graduation in Civil Engineering) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2023.

The various catastrophes caused by fires over the years in multistorey reinforced concrete buildings have increased the need to understand and research the behavior of structural elements when exposed to fire. Currently, the recommendations and simplified procedures for the design and verification of the structural safety of these fire-reinforced concrete structural elements are determined by the current standards that cover this area of study, such as NBR 15200:2012. In this way, the main objective of this work is to carry out a computational modeling of a multi-storey building in reinforced concrete with the aid of the CAD/TQS program, correctly dimensioned for ABNT NBR 6118: 2014 - Design of concrete structures, to carry out verification of the structural safety of reinforced concrete pillars, beams and slabs in a fire situation, as defined by the Brazilian standard ABNT NBR 15200:2012. Through the results of all structural elements of reinforced concrete against the verification of fire present in the computer program, it was observed that in the 5 hypotheses of fire located on the floors, the same pillars - P1, P3, P4, P6, P7, P12, P13, P15, P16 and P18 - did not pass the structural safety checks for the flooring Coverage in the two envelopes used. As well, the 'ELU1' envelope detected that in the typical floors, the pillars P15 and P16, did not obtain a satisfactory result in the verifications. The descriptive reports collected from the 'Fogo' and 'ELU1' envelopes brought positive results, assuming that both had very similar results in the verifications. It is also observed that none of the beams or slabs for any of the checks carried out for the 5 hypotheses of fire situations, obtained the result of being not dimensioned.

Keywords: Fire. Thermal analysis. Reinforced Concrete. Temperature. Structural Security. Sizing. Verification. Pillars. Beams. Slabs. Fire Resistance Required Time.

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
SUMÁRIO	7
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	5
1.2. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	6
2. CONCEITOS INICIAIS	7
2.1. O INCÊNDIO	7
2.2. INCÊNDIO-PADRÃO	10
3. COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS ESTRUTURAIS	11
3.1. CONCRETO	12
3.1.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO A ALTAS TEMPERATURAS.....	12
3.1.2. ALONGAMENTO	13
3.1.3. CALOR ESPECÍFICO	14
3.1.4. CONDUTIVIDADE TÉRMICA	15
3.1.5. DENSIDADE.....	16
3.2. AÇO	17
3.2.1. RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO DO AÇO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DE ARMADURA PASSIVA A ALTAS TEMPERATURAS.....	17
3.2.2. RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO DO AÇO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DE ARMADURA ATIVA A ALTAS TEMPERATURAS.....	19
3.2.3. DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DOS AÇOS	21
4. SPALLING OU LASCAMENTO DO CONCRETO.....	22
5. SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	25
6. TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO	26
6.1. MÉTODO TABULAR	27
6.2. MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE (REDUTOR DE TRRF)	36
7. DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	38
7.1. DIMENSIONAMENTO DE LAJES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	38
7.1.1. MÉTODO TABULAR DA NBR 15200: 2012	38
8. DIMENSIONAMENTO DE VIGAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	43
8.1. MÉTODO TABULAR DA NBR 15200: 2012	43
9. DIMENSIONAMENTO DE PILARES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	47
9.1. MÉTODO ANALÍTICO PARA A DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES SEGUNDO A NBR 15200: 2012	47
9.1.1. MÉTODO “A” - EUROCODE 2.....	49
9.2. MÉTODO TABULAR PARA A DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES SEGUNDO A NBR 15200: 2012	54
10. ESTUDO DE CASO.....	66
10.1. VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS – PILARES, LAJES E VIGAS - EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO PELO TQS® - MÉTODOS TABULAR E ANALÍTICO	68

10.2. RESULTADOS OBTIDOS DAS VERIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS – PILARES, LAJES E VIGAS - EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO PELO TQS® NAS 5 HIPÓTESES DE SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	74
10.2.1. 1ª hipótese de situação de incêndio no pavimento térreo na cota +3,06	75
10.2.2. 2ª hipótese de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +6,12	87
10.2.3. 3ª hipótese de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +9,18	99
10.2.4. 4ª hipótese de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +12,24	110
10.2.5. 5ª hipótese de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +15,3	122
11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
13. ANEXO A.....	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Incêndio em Lake View Elementary School localizado em Cleveland, Ohio	1
Figura 2: Incêndio em Opera Rhoads localizado em Boyertown, Pensilvânia	2
Figura 3: Incêndio no Teatro Iroquois em Chicago	2
Figura 4: Incêndio no Triangle Shirtwaist Company em Nova York	3
Figura 5: Incêndio no Gran Circo Norte-Americano.....	3
Figura 6: Incêndio no edifício Andraus	4
Figura 7: Incêndio no edifício Joelma	4
Figura 8: Fluxo de calor radiante	8
Figura 9: Fluxo de calor convectivo	8
Figura 10: Curva de incêndio real.....	9
Figura 11: Elevação padronizada de temperatura.....	9
Figura 12: Curva-padrão temperatura-tempo (material celulósico)	11
Figura 13: Fator de redução da resistência dos concretos silicoso e calcário em função da temperatura	12
Figura 14: Aspecto do diagrama tensão-deformação do concreto	12
Figura 15: Alongamento específico do concreto com agregado silicoso e calcário.	14
Figura 16: Calor específico do concreto.	15
Figura 17: Condutividade térmica do concreto.	16
Figura 18: Densidade do concreto.	16
Figura 19: Fator de redução da resistência do aço de armadura passiva em função da temperatura. .	18
Figura 20: Redução da resistência do aço de armadura ativa em função da temperatura.	19
Figura 21: Fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura ativa em função da temperatura.....	20
Figura 22: Aspecto do diagrama tensão-deformação dos aços a altas temperaturas.	22
Figura 23: Diagramas tensão relativa-deformação para os aços CA25-50.	22
Figura 24: Transformações físico-químicas do concreto endurecido em altas temperaturas.	23
Figura 25: Lascamento de canto (sloughing) à esquerda; lascamento explosivo (explosive spalling) à direita.	24
Figura 26: Curvas temperatura-tempo de incêndios	26
Figura 27- Ilustração das isotermas em um elemento de concreto	43
Figura 28 – Dimensões mínimas da viga	44
Figura 29– Dimensões mínimas para dispensar a verificação de c_1 das armaduras superiores.	45
Figura 30– Definição das dimensões para diferentes tipos de seção transversal de vigas.....	46
Figura 31 – lef de pilares em estruturas com $\gamma_z \leq 1,1$	49
Figura 32– Corte esquemático da edificação em estudo, utilizando o TQS®.	66
Figura 33– Planta de formas gerada utilizando o TQS®.	67
Figura 34 – Modelo espacial da estrutura da edificação fornecida pelo TQS®	67
Figura 35 – Fluxograma de verificação da estrutura em situação de incêndio pelo TQS®.	69
Figura 36– Determinação do TRRF utilizando o TQS®	69
Figura 37 – Cálculo do tempo equivalente utilizando o TQS®.	71
Figura 38– Critérios da verificação dos elementos estruturas em situação de incêndio pelo TQS®....	72
Figura 39– Critérios de revestimentos de pilares, pelo TQS®	73
Figura 40 – Critérios para cálculo do comprimento equivalente de pilares em situação de incêndio ($l_{e,fi}$), pelo TQS®.	73
Figura 41- Critérios de revestimentos de lajes, pelo TQS®	73

Figura 42– Critérios de revestimento de vigas, pelo TQS®	74
Figura 43- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação	76
Figura 44- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo	77
Figura 45 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	77
Figura 46 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	78
Figura 47- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	78
Figura 48 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	79
Figura 49 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	79
Figura 50 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	80
Figura 51 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	80
Figura 52 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	81
Figura 53- Verificação das vigas em situação de incêndio – Fundação	81
Figura 54- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo	82
Figura 55 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	82
Figura 56 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	83
Figura 57- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	83
Figura 58 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	84
Figura 59 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	84
Figura 60 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	85
Figura 61 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	85
Figura 62 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	86
Figura 63– Determinação do TRRF utilizando o TQS®	87
Figura 64 – Cálculo do tempo equivalente utilizando o TQS®	88
Figura 65- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação	89
Figura 66- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo	89
Figura 67 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	89
Figura 68 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	90
Figura 69- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	91
Figura 70 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	91
Figura 71 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	91
Figura 72 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	92
Figura 73 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	92
Figura 74 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	93
Figura 75- Verificação das vigas em situação de incêndio – Fundação	93
Figura 76- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo	94
Figura 77 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	95
Figura 78 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	95
Figura 79- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	96
Figura 80 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	96
Figura 81 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	96
Figura 82 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	97
Figura 83 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	98
Figura 84 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	98
Figura 85– Determinação do TRRF utilizando o TQS®	99
Figura 86 – Cálculo do tempo equivalente utilizando o TQS®	99
Figura 87- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação	100
Figura 88- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo	100

Figura 89 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	101
Figura 90 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	101
Figura 91- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	102
Figura 92 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	103
Figura 93 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	103
Figura 94 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	104
Figura 95 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	104
Figura 96 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	105
Figura 97- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação	105
Figura 98- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo	106
Figura 99 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	106
Figura 100 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	106
Figura 101- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	107
Figura 102 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	108
Figura 103 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	108
Figura 104 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	109
Figura 105 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura	109
Figura 106 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	109
Figura 107– Determinação do TRRF utilizando o TQS®	110
Figura 108 – Cálculo do tempo equivalente utilizando o TQS®.	111
Figura 109- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação	112
Figura 110- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo.....	112
Figura 111 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo	112
Figura 112 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	113
Figura 113- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	113
Figura 114 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	114
Figura 115 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	114
Figura 116 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	115
Figura 117 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	116
Figura 118 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	116
Figura 119- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação	116
Figura 120- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo.....	117
Figura 121 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo	118
Figura 122 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	118
Figura 123- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	118
Figura 124 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	119
Figura 125 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	119
Figura 126 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	120
Figura 127 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	121
Figura 128 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura.....	121
Figura 129– Determinação do TRRF utilizando o TQS®	122
Figura 130 – Cálculo do tempo equivalente utilizando o TQS®.	122
Figura 131- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação	123
Figura 132- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo.....	124
Figura 133 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo	124
Figura 134 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo.....	125
Figura 135- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo.....	125

Figura 136 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo	126
Figura 137 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo	126
Figura 138 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura	127
Figura 139 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura	127
Figura 140 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura	127
Figura 141- Verificação das vigas em situação de incêndio – Fundação.....	128
Figura 142- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo	129
Figura 143 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo	129
Figura 144 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo	130
Figura 145- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo	130
Figura 146 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo	131
Figura 147 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo	131
Figura 148 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura	132
Figura 149 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura	132
Figura 150 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Temperaturas conforme modelo do incêndio-padrão	10
Tabela 2– Fator de redução da resistência do concreto (k_c, θ) para concretos preparados com agregados predominantemente silicosos e calcários, respectivamente.	13
Tabela 3: Valores de k_s, θ para aços de armadura passiva.....	17
Tabela 4– Valores dos fatores de redução do módulo de elasticidade (k_{Es}, θ) e do limite de proporcionalidade (k_p, θ).....	18
Tabela 5– Valores da relação $f_{pyk, \theta}/(0,9 f_{pyk})$ e $E_{p, \theta}/E_p$ para fios e cordoalhas e para barras da armadura ativa.....	20
Tabela 6– Classificação das Edificações e Áreas de Risco quanto à Ocupação (continua na página seguinte).....	27
Tabela 7– Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRF), em minutos (continua na página seguinte).....	34
Tabela 8– Fatores das medidas de segurança contra incêndio.	37
Tabela 9– Característica da edificação (γ_{s1}).	37
Tabela 10– Risco de ativação (γ_{s2}).	37
Tabela 11- Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas (ABNT 15200:2012)	40
Tabela 12- Dimensões mínimas para lajes contínuas (ABNT 15200:2012).....	40
Tabela 13- Dimensões mínimas para lajes lisas ou cogumelo (ABNT 15200:2012)	41
Tabela 14- Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas (ABNT 15200:2012)..	41
Tabela 15- Dimensões mínimas para lajes contínuas em pelo menos uma das bordas (ABNT 15200:2012).....	42
Tabela 16- Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma só direção (ABNT 15200:2012)	43
Tabela 17– Dimensões mínimas para vigas biapoiadas em situação de incêndio	45
Tabela 18– Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos em situação de incêndio ..	46
Tabela 19– Laboratórios responsáveis pelos ensaios dos pilares empregados na calibração do método “A” da Eurocode 2: parte 1-2 (2004)	50
Tabela 20– Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta ao fogo.	56
Tabela 21- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,1$ e $e_{máx} = 10$ mm (para $b \leq 400$ mm) e $e_{máx} = 0,025 \times b$ mm (para $b > 400$ mm).	57
Tabela 22- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,1$ e $e_{máx} = 0,25 \times b$ (para $b \leq 400$ mm) e $e_{máx} = 100$ mm.....	58
Tabela 23- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,1$ e $e_{máx} = 0,5 \times b$ (para $b \leq 400$ mm) e $e_{máx} = 200$ mm.....	59
Tabela 24– Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,5$ e $e_{máx} = 10$ mm (para $b \leq 400$ mm) e $e_{máx} = 0,025 \times b$ mm (para $b > 400$ mm).	60
Tabela 25- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,5$ e $e_{máx} = 0,25 \times b$ (para $b \leq 400$ mm) e $e_{máx} = 100$ mm.....	61
Tabela 26- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,5$ e $e_{máx} = 0,5 \times b$ (para $b \leq 400$ mm) e $e_{máx} = 200$ mm.....	62
Tabela 27- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 1,0$ e $e_{máx} = 10$ mm (para $b \leq 400$ mm) e $e_{máx} = 0,025 \times b$ mm (para $b > 400$ mm).	63

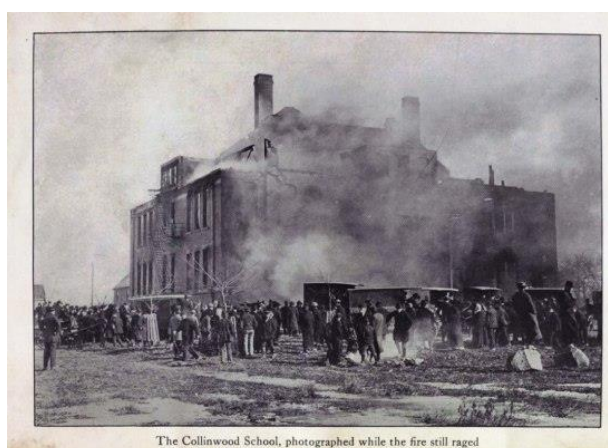
Tabela 28- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 1,0$ e $e_{m\acute{a}x} = 0,25 \times b$ mm (para $b \leq 400$ mm) e $e_{m\acute{a}x} = 100$ mm (para $b > 400$ mm).	64
Tabela 29- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 1,0$ e $e_{m\acute{a}x} = 0,5 \times b$ mm (para $b \leq 400$ mm) e $e_{m\acute{a}x} = 200$ mm (para $b > 400$ mm).	65
Tabela 30– Parâmetro de estabilidade (GamaZ) para os carregamentos simples de vento.....	68
Tabela 31– Pilares que não passaram na condição de excentricidade pelo Método Analítico.....	87

1. INTRODUÇÃO

Na história da Humanidade, diversas tragédias envolvendo incêndios resultaram em mortes coletivas e tiveram proporções de dimensões urbanas, repensando a necessidade de se implantar um sistema de combate e prevenção de incêndios eficiente em relação às edificações. De acordo com Silva (2016), a Segurança contra Incêndio dos Estados Unidos era focada primeiramente na proteção ao patrimônio. Everett U. Crosby publicou em 1896, o primeiro Handbook que não chegou a ser editado pela National Fire Protection Association (NFPA), predecessor do atual Fire Protection Handbook, o qual buscou facilitar o trabalho dos inspetores das companhias de seguros. Neste manual de 183 páginas, metade dele se concentrava em chuveiros automáticos e no suprimento de água. No início do século XX, aconteceu o considerável marco histórico que dividiu a Segurança contra Incêndio, após ocorrerem quatro grandes incêndios com vítimas. São os seguintes eventos causados por situações de incêndio:

- Teatro Iroquois em Chicago: considerado como seguro contra situações de incêndio, em 30 de dezembro de 1903, aproximadamente um mês após a abertura do Teatro o fogo vitimou 600 das 1600 pessoas na plateia. Como diversos incêndios já haviam ocorrido em teatros, tanto na Europa quanto nos Estados Unidos, sem a mesma proporção, mas as medidas cabíveis eram conhecidas e por fim, não foram tomadas pelos proprietários do Teatro;
- Opera Rhoads em Boyertown, Pensilvânia: aconteceu em 13 de janeiro de 1908, a causa foi a queda de uma lâmpada de querosene. Situava-se em um segundo pavimento e as saídas, fora de padrão ou obstruídas, não foram suficientes; 170 pessoas pereceram.
- Lake View Elementary School em Cleveland, Ohio: ocorreu em 4 de março de 1908, resultando em 172 crianças e dois professores mortos. Esse incêndio reforçou a consciência americana sobre a necessidade de melhoria dos códigos, das normas e dos exercícios de escape e de combate ao fogo.
- Triangle Shirtwaist Company, Nova York: aconteceu em 25 de março de 1911, em que 146 jovens trabalhadores morreram no fogo ou se suicidaram do edifício em chamas.

Figura 1: Incêndio em Lake View Elementary School localizado em Cleveland, Ohio



Fonte: National Museum of American History¹, 1908

¹ Disponível em: < <https://americanhistory.si.edu/blog/collinwood-disaster-fire-safety>>. Acesso em 15 out. 2022.

Figura 2: Incêndio em Opera Rhoads localizado em Boyertown, Pensilvânia



Fonte: Disasterous History², 1908

Figura 3: Incêndio no Teatro Iroquois em Chicago



Fonte: Yahoo Notícias³, 1903

² Disponível em: < <https://disasteroushistory.blogspot.com/2019/08/rhoads-opera-house-fire-january-13-1908.html> >. Acesso em 15 out. 2022.

³ Disponível em: https://es.noticias.yahoo.com/tragico-incendio-iroquois-theatre-chicago-1903-que-mato-mas-600-personas-110310465.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAADL42oBiFpMW7ZGYy8pgLlyrTb7iF7A7WhFdGUbcR1sokQUay-83ty2jtvFqXfRaK_AAmFE24WpAqKJ3w0UJKB-BTsePMqQoNNmV_tBrd5opzZ4AG1BR6d4QjORJPgST1PCKS54kx7C0h431hauO8ddHLmlPncc8dlaVH9w3bAYb >. Acesso em 15 out. 2022.

Figura 4: Incêndio no Triangle Shirtwaist Company em Nova York



Fonte: Wikipedia⁴, 1903

O início dos anos 70 do século passado, foi decisivo na mudança de postura em relação à Segurança contra Incêndio no Brasil, pois diversas tragédias aconteceram: em ordem cronológica, Gran Circo Norte-Americano, Niterói, RJ; Incêndio no edifício Andraus, Av. São João, São Paulo; Incêndio no edifício Joelma, Praça da Bandeira, São Paulo.

Figura 5: Incêndio no Gran Circo Norte-Americano



Fonte: Aventuras na História⁵, 1961

⁴ Disponível em: < https://en.wikipedia.org/wiki/Triangle_Shirtwaist_Factory_fire >. Acesso em 15 out. 2022.

⁵ Disponível em: < <https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/reportagem/historia-brasil-incendio-tragedia-gran-circo-vitimas.phtml> >. Acesso em 15 out. 2022.

Figura 6: Incêndio no edifício Andraus



Fonte: São Paulo Antiga⁶, 1972

Figura 7: Incêndio no edifício Joelma



Fonte: Wikipedia⁷, 1974

A regulamentação relacionada ao tema era muito esparsa, estando informada nos códigos de obras dos municípios, sem quaisquer incorporações do aprendizado dos incêndios trágicos ocorridos no exterior, salvo quanto ao dimensionamento da largura das saídas de escadas e da incombustibilidade de escadas e estruturas de prédios elevados. O Corpo de Bombeiros tinha a sua regulamentação acerca do combate e prevenção ao incêndio advinha da área de seguros, indicando geralmente a obrigatoriedade de medidas de combate a incêndio, como a provisão de hidrantes e extintores, além da sinalização desses equipamentos. As normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tratavam de assuntos ligados à produção de extintores de incêndio, sendo assim bem rasas. A situação do País se assemelhava à dos Estados Unidos em 1911, pois o Brasil não aprendeu com os prejuízos e mortes dos incêndios que

⁶ Disponível em: < <https://saopauloantiga.com.br/o-incendio-do-andraus-como-nunca-visto-antes/> >. Acesso em 15 out. 2022.

⁷ Disponível em: < <https://saopauloantiga.com.br/o-incendio-do-andraus-como-nunca-visto-antes/> >. Acesso em 15 out. 2022.

assolaram os Estados Unidos e em outros países (Silva, 2017).

Segundo Silva (2016), o processo de reformulação das medidas de combate e seguranças contra incêndios no Brasil, somando-se os impactos sociais dos desastres que ocorreram nos edifícios Andraus e Joelma. A primeira manifestação técnica ocorreu entre 18 e 21 de março de 1974, quando o Clube de Engenharia do Rio de Janeiro realizou o Simpósio de Segurança Contra Incêndio, buscando o desenvolvimento de três pilares de raciocínio: como evitar incêndios, como combatê-los e como minimizar os seus efeitos. O Instituto de Engenharia de São Paulo também produziu um relatório sobre o incêndio, indicando que haviam sido seguidas as normas vigentes e que elas deveriam sofrer um processo de aperfeiçoamento. Ainda em 1974, a ABNT publicou a NB 208 – Saídas de Emergência em Edifícios Altos. Em 1975, o governador do Rio de Janeiro apresentou o Decreto-Lei nº 247, que dispõe sobre Segurança Contra Incêndio e Pânico.

Sabe-se que as estruturas de concreto armado normalmente apresentam seções robustas e rígidas. Levando em consideração que o concreto possui bom comportamento quando submetido ao fogo, se comparado com outros materiais, devido a sua baixa condutividade térmica. Mas, sob altas temperaturas, os elementos estruturais de concreto armado sofrem perdas consideráveis de resistência e rigidez, podendo ocasionar colapso local ou ruína total da edificação (Almeida, 2018).

A NBR 14432 define que a proteção ativa é definida como o tipo de proteção contra incêndio que é ativada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo. A proteção ativa é basicamente composta pelas instalações prediais de proteção contra incêndio. Já a proteção passiva é definida como sendo o conjunto de medidas incorporado ao sistema construtivo do edifício, sendo funcionais durante a utilização do edifício e que reage passivamente em caso de incêndio, não estabelecendo condições para a propagação e crescimento do incêndio. Este tipo de proteção garante a resistência ao fogo, facilita a fuga dos usuários, a aproximação e o ingresso no edifício para o desenvolvimento das ações de combate. Exemplos de proteção passiva são a compartimentação horizontal ou vertical, as rotas de fuga e a resistência ao fogo das estruturas. A compartimentação é a edificação, ou parte dela, que compreende um ou mais cômodos, espaços ou pavimentos construídos para evitar a propagação do incêndio dentro do edifício e para edifícios vizinhos (ABNT, 2001a).

Segundo Sousa et al. (2015), o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) para cada situação é fornecido pelas Instruções Técnicas dos Corpos de Bombeiro definidas por cada estado. Os edifícios de pequeno porte, de fácil desocupação, exigem menos dispositivos de segurança contra incêndio, e sua verificação pode ser dispensada. Quanto ao dimensionamento das estruturas em situação de incêndio, têm-se as normas NBR 14323:1999 para estruturas de aço (ABNT, 1999) e NBR 15200:2012 para estruturas de concreto (ABNT, 2012a). Recebendo esta última normativa citada, atenção especial neste trabalho em relação à situação de incêndio parcial em edificações de concreto armado.

1.1.OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo geral explorar a metodologia de dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio conforme a normalização nacional e internacional – conforme a norma brasileira ABNT NBR 15200:2012 e a norma internacional Eurocode 2: parte 1-2 (2004) -, considerando o estudo de caso de um incêndio parcial numa edificação de múltiplos pavimentos.

Pretende-se realizar análises referentes às verificações de segurança de incêndio em estruturas de concreto armado considerando um incêndio em um pavimento; espera-se com isso contribuir com mais uma ótica de estudo sobre a instabilidade global que essa ação excepcional pode gerar na edificação. A principal justificativa desta pesquisa é a necessidade do entendimento do comportamento de estruturas de concreto armado sob uma situação específica de incêndio, que é a indução desta ação excepcional somente um pavimento-tipo ou em vários pavimentos em relação ao todo da edificação.

Os objetivos específicos que justificam a realização deste trabalho são:

- Apresentar o Método Analítico e o Método Tabular Geral para os elementos estruturais – vigas, lajes e pilares - conforme a ABNT NBR 15200:2012, que foram baseados no Eurocode 2: parte 1-2 (2004);
- Realizar o dimensionamento estrutural (e se necessário, redimensionamento estrutural) de um edifício de concreto armado em situação normal, utilizando o programa computacional TQS® (seguindo as recomendações da ABNT NBR 6118:2014) e verificar os resultados do dimensionamento dos elementos estruturais – vigas, lajes e pilares - quanto a sua segurança estrutural em situação de incêndio parcial do pórtico, através dos métodos da ABNT NBR 15200:2012;
- Verificar a segurança da estrutura real em relação ao incêndio parcial comparando os resultados das envoltórias ‘Fogo’ e ‘ELU1’ utilizadas como recursos de cálculo por meio do programa CAD/TQS.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Este trabalho está organizado em tópicos principais:

- Tópico 1 - Introdução: Levantar dados históricos e contextos recentes envolvendo incêndios para que a importância da verificação e do dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio possa ser justificada pelas diversas tragédias que advieram dele; informar sobre o processo longo de regulamentação da proteção contra incêndio nas edificações depois das tragédias no Brasil; informar parte das normas técnicas nacionais e internacionais referentes à influência do fogo nas estruturas e também, detalhar levemente os objetivos gerais e específicos deste trabalho;
- Tópico 2 – Conceitos Iniciais: Neste tópico serão abordados os conceitos básicos e norteadores de como acontecem os incêndios esmiuçando as ações de origem térmica envolvendo as trocas de calor e a definição de Incêndio-Padrão;
- Tópico 3 – Comportamento dos materiais estruturais: Neste tópico serão abordados como os materiais estruturais – concreto e aço – dos edifícios se comportam quando ocorrem aplicação de altas temperaturas, bem como algumas definições primárias relativas ao dimensionamento dos elementos estruturais posteriormente;
- Tópico 4 – Spalling ou Lascamento do Concreto: Explicar o efeito deletério no concreto devido ao incêndio, o Spalling, também chamado na área de patologias construtivas por lascamento;
- Tópico 5 – Segurança das estruturas em situação de incêndio: Enunciando as definições de Tempo Requerido de Resistência ao Fogo, Método Tabular e o Método do Tempo Equivalente (Redutor de TRRF);
- Tópico 6 - Dimensionamento dos elementos estruturais em situação de incêndio: Enunciar e descrever o método analítico e o método tabular geral para o dimensionamento dos elementos estruturais – pilares, vigas e lajes -quando submetidas às altas temperaturas a partir das diretrizes normativas da

NBR 15200:2012 e a da Eurocode 2: parte 1-2 (2004);

- Tópico 7 - Análise termoestrutural de edifício: Por meio da modelagem computacional de um edifício de múltiplos andares em concreto armado devidamente dimensionado pelas diretrizes da NBR 6118:2014 e com o auxílio do programa comercial TQS®, será possível realizar diversas análises sobre a segurança estrutural em situação de incêndio da edificação. O principal objetivo deste tópico é entender quais elementos estruturais seriam colapsados em caso de um incidente de incêndio dentro das situações hipotéticas analisadas.
- Tópico 8 - Considerações finais: Levantamento global das considerações finais examinadas durante o andamento do trabalho, como também das principais ideias concluídas do estudo realizado e das possíveis sugestões de continuidade do trabalho dentro dos resultados obtidos.

2. CONCEITOS INICIAIS

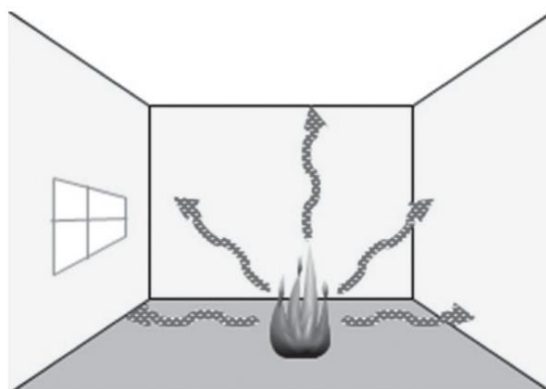
A segurança contra incêndio tem como objetivo principal, conforme explica Silva (2016), minimizar o risco à vida conduzindo à redução da perda patrimonial. O risco à vida é compreendido como a exposição exagerada à fumaça ou calor dos usuários da edificação e o desabamento dos elementos construtivos sobre eles. A principal causa dos óbitos no momento do incêndio é a exposição à fumaça nos primeiros momentos que deflagram o sinistro.

2.1.O INCÊNDIO

Os elementos estruturais quando submetidos ao aumento de temperatura decorrente de uma situação de incêndio (ação térmica), conseqüentemente tem a redução da resistência e do módulo de elasticidade. Porém, os elementos estruturais sofrem com o aparecimento de esforços solicitantes adicionais decorrentes das restrições às deformações de origem térmica (SILVA, 2016). Define-se ação térmica como a ação na estrutura descrita por meio do fluxo de calor, por radiação e por convecção, provocado pela diferença de temperaturas entre os gases quentes do ambiente em chamas e os componentes da estrutura.

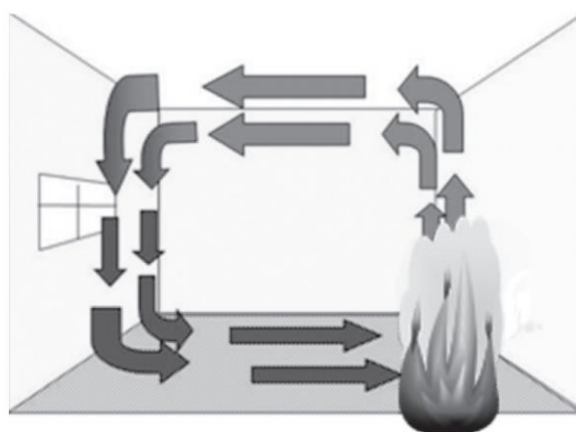
Alguns conceitos importantes precisam ser definidos em relação ao incêndio interagindo com as estruturas, a radiação e a convecção. A radiação é o processo pelo qual o calor flui na forma de propagação de ondas de um corpo em alta temperatura para outro em temperatura mais baixa. Sabe-se que em um compartimento, ela provém dos gases quentes, das chamas e das paredes aquecidas. Caso a fumaça tenha grande densidade de fuligem, a qual resulta da combustão incompleta dos materiais combustíveis do compartimento, a radiação provinda dos gases será predominante. Já a convecção é o processo pelo qual o calor flui, envolvendo movimentação de mistura de fluido, principalmente entre sólidos e fluidos. Esta outra forma de fluxo de calor decorre da diferença de densidades entre os gases com diferentes temperaturas no ambiente em chamas, os quais se movimentam e tocam as estruturas transferindo-lhes calor (SILVA, 2016).

Figura 8: Fluxo de calor radiante



Fonte: SILVA, (2016).

Figura 9: Fluxo de calor convectivo

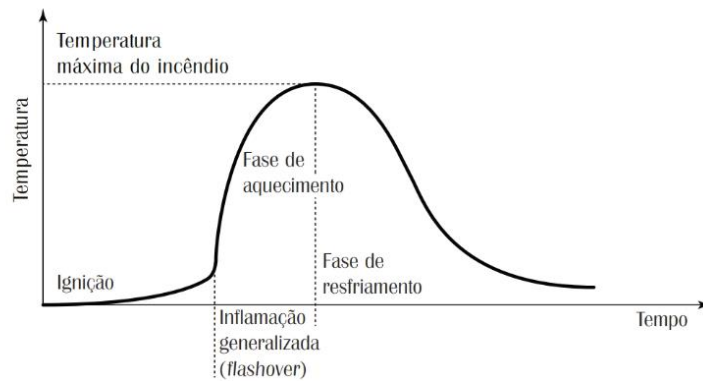


Fonte: SILVA, (2016).

Segundo Silva (2016), a principal característica de um incêndio em relação ao estudo das estruturas, é a curva que fornece a temperatura média dos gases quentes em função do tempo de incêndio. Durante a ocorrência do incêndio vê-se um momento de turbulência e por isso, adota-se métodos simplificados de análise. Define-se os métodos simplificados de análise como uma distribuição uniforme de temperaturas no compartimento após o flashover. Por meio dessa curva se possibilita o cálculo do campo térmico nos elementos estruturais do incêndio. Para a estrutura perder sua capacidade resistente ela necessita da ocorrência de altas temperaturas, esta fase é denominada de pré-flashover.

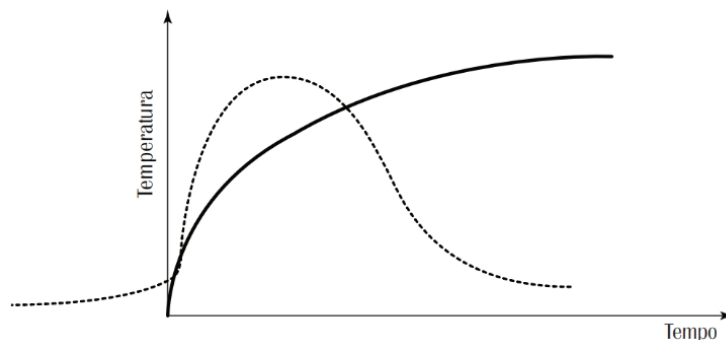
Se na fase de pré-flashover o incêndio não for extinto, haverá um aumento brusco da temperatura a partir de um instante conhecido como flashover ou instante de inflamação generalizada, que acontece quando a superfície de toda a carga combustível presente no ambiente entra em ignição. Depois desse instante, o incêndio começa a se alastrar em grandes proporções, consumindo todo o compartimento e a temperatura dos gases se eleva rapidamente até que todo o material combustível se extinga. Posteriormente, acontece a redução gradativa da temperatura dos gases. A favor da segurança, é usual admitir-se que a temperatura do ambiente em chamas atinja sempre seu valor máximo, e a estrutura deve ser sempre verificada para tal situação (SILVA, 2016).

Figura 10: Curva de incêndio real



Fonte: SILVA, (2016).

Figura 11: Elevação padronizada de temperatura



Fonte: SILVA, (2016).

Os modelos dessas curvas são construídos a partir de análises experimentais ou computacionais que procuram simular a real situação de um compartimento em chamas, estes ensaios são realizados em compartimentos com aberturas para o exterior. Nesses compartimentos, o incêndio ocorre sem a possibilidade de se propagar para fora, em virtude das características de isolamento térmico, estanqueidade e resistência ao fogo dos elementos de vedação. Vale ressaltar que sim, as chamas irão ultrapassar para fora das janelas, o que não é permitido é a propagação do incêndio aos edifícios nas proximidades. Esses modelos de incêndio também são conhecidos como modelos de incêndio natural compartimentados.

As curvas “temperatura–tempo” de um incêndio natural compartimentado dependem de vários parâmetros: carga de incêndio, grau de ventilação, características físico-térmicas dos materiais componentes da vedação, entre outras. Percebe-se que cada compartimento de cada edificação deveria ser projetado para uma curva diferente e o valor da carga de incêndio em um compartimento pode ser medido ou padronizado. Os valores característicos de carga de incêndio específica são padronizados pela ABNT NBR 14432:2001.

Segundo Silva (2016) devido à dificuldade de ordem prática, são raros os casos em que esse modelo é empregado. Com o avanço científico na área da Engenharia de Estruturas em Situação de Incêndio, o autor prevê que dentro de alguns anos o uso de curvas reais temperatura–tempo dos gases quentes se generalize, mas, por enquanto, ela é utilizada somente em estudos acadêmicos ou para edifícios de grande porte em que a economia no dimensionamento das estruturas justifique o custo do projeto. Os

ensaios laboratoriais de materiais de construção a altas temperaturas são realizados em fornos com uma elevação padronizada de temperatura do ambiente interno. Por simplicidade, as normas técnicas permitem que essa curva seja empregada como curva de aquecimento em projeto de estruturas. Esse modelo é conhecido como modelo do incêndio-padrão.

2.2.INCÊNDIO-PADRÃO

Conforme o autor Silva (2016), a característica principal da curva padronizada é a de possuir apenas um ramo ascendente, admitindo, portanto, que a temperatura dos gases é sempre crescente com o tempo e, além disso, independente das características do ambiente e da carga de incêndio.

Ressalta-se que essa curva não representa um incêndio real, portanto todas as conclusões possíveis que se tenham por base nessa curva devem ser analisadas com cuidado, pois não correspondem ao comportamento real do incêndio ou das estruturas expostas ao fogo. Levando em consideração a simplicidade, utiliza-se comumente a curva-padrão associada a tempos padronizados por consenso do meio técnico com a finalidade de fornecer parâmetros de projeto (SILVA, 2016).

As normas brasileiras ABNT NBR 14432 e ABNT NBR 5628 recomendam a Equação 1 para a elevação padronizada de temperatura em função do tempo, com base na ISO 834 (1990):

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

sendo:

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

$\theta_{g,0}$ – Temperatura dos gases no instante $t = 0$, geralmente admitida 20 °C

t – Tempo (min)

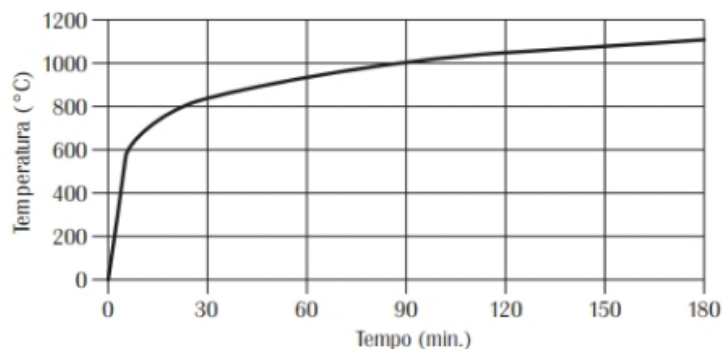
A partir da Equação pode-se construir a Tabela 1 e a Figura 12.

Tabela 1: Temperaturas conforme modelo do incêndio-padrão

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
0	20	95	1.014
5	576	100	1.022
10	678	105	1.029
15	739	110	1.036
20	781	115	1.043
25	815	120	1.049
30	842	125	1.055
35	865	130	1.061
40	885	135	1.067
45	902	140	1.072
50	918	145	1.077
55	932	150	1.082
60	945	155	1.087
65	957	160	1.092
70	968	165	1.097
75	979	170	1.101
80	988	175	1.106
85	997	180	1.110
90	1.006		

Fonte: SILVA, (2016).

Figura 12: Curva-padrão temperatura–tempo (material celulósico)



Fonte: SILVA, (2016).

A curva padrão ISO 834 tem por base uma curva similar recomendada pela American Society for Testing and Materials (ASTM) – “Standard test methods for fire tests of building construction and materials” ASTM E119 (2000). Essa curva foi adotada em 1918 pela ASTM, tendo por base uma proposta do Underwriters Laboratory (UL) de Chicago que a utilizava para o aquecimento de pilares, em ensaios que estavam sendo realizados na época. Supõe-se que os dados tenham sido obtidos em incêndios reais (SILVA, 2016).

A curva ISO 834 é aplicável a incêndios em que a carga de incêndio é, em termos de potencial calorífico, similar à madeira (papel, pano, palha etc.). Quando a carga de incêndio é formada por material cuja origem é hidrocarboneto (derivados de petróleo), o incêndio é mais severo e outra curva deve ser usada. O Eurocode 1 (2002) recomenda para esses casos a Equação 2:

$$\theta_g = 1.080(1 - 0,33e^{-0,17t} - 0,68t^{-2,50t}) + 20 \quad (2)$$

sendo: t = tempo (min)

3. COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS ESTRUTURAIS

Sabe-se que além da resistência ao escoamento, outras propriedades físicas e mecânicas são afetadas pela temperatura (SILVA, 2016). Neste trabalho, serão apresentadas conforme a revisão bibliográfica realizada, as variações com a temperatura das propriedades físicas e térmicas do concreto e do aço. As propriedades do aço para armadura do concreto armado são iguais às empregadas para aço de perfis metálicos. Conforme acrescenta Silva (2016), são válidas para concretos com resistência característica convencional ao escoamento, f_{ck} menor ou igual a 50 MPa.

3.1.CONCRETO

3.1.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO A ALTAS TEMPERATURAS

A resistência à compressão do concreto decresce com o aumento da temperatura, conforme mostrado nas Figuras 13 e 14, podendo ser obtida pela Equação 3.

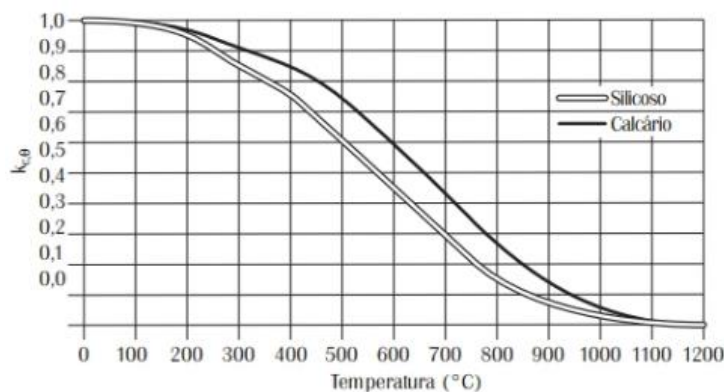
$$f_{c,\theta} = k_{c,\theta} \cdot f_{ck} \quad (3)$$

onde:

f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto em situação normal;

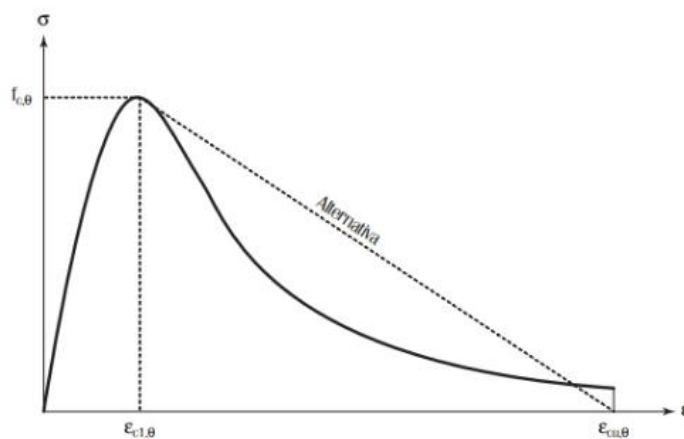
$k_{c,\theta}$ é o fator de redução da resistência do concreto na temperatura θ , conforme Tabela 2.

Figura 13: Fator de redução da resistência dos concretos silicoso e calcário em função da temperatura



Fonte: SILVA, (2016).

Figura 14: Aspecto do diagrama tensão–deformação do concreto



Fonte: SILVA, (2016).

Conforme Silva (2016), aos concretos preparados predominantemente com agregados silicosos, que têm pior comportamento ao fogo, a Tabela 2 fornece a relação entre a resistência à compressão do concreto

submetido a diferentes temperaturas ($f_{c,\theta}$) e a resistência característica à compressão do concreto em situação normal (f_{ck}). Para valores intermediários de temperatura pode ser feita interpolação linear.

Tabela 2– Fator de redução da resistência do concreto ($k_{c,\theta}$) para concretos preparados com agregados predominantemente silicosos e calcários, respectivamente.

Temperatura do concreto (°C)	$k_{c,\theta}$ (adimensional)	
	Agregados silicosos	Agregados calcários
20	1,00	1,00
100	1,00	1,00
200	0,95	0,97
300	0,85	0,91
400	0,75	0,85
500	0,60	0,74
600	0,45	0,60
700	0,30	0,43
800	0,15	0,27
900	0,08	0,15
1000	0,04	0,06
1100	0,01	0,02
1200	0,00	0,00

Fonte: ABNT NBR 15200:2012 e Eurocode 2: parte 1-2 (2004).

3.1.2. ALONGAMENTO

O alongamento específico do concreto de densidade normal com agregado silicoso é determinado da forma apresentada na Equação 4.

para $20\text{ °C} \leq \theta_c < 700\text{ °C}$

$$\frac{\Delta l}{l} = -1,8 \times 10^{-4} + 9 \times 10^{-6} \theta_c + 2,3 \times 10^{-11} \theta_c^3 \quad (4)$$

para $700\text{ °C} \leq \theta_c \leq 1200\text{ °C}$

$$\frac{\Delta l}{l} = 14 \times 10^{-3} \quad (4)$$

onde:

l é o comprimento da peça de concreto a 20 °C ;

Δl é o alongamento do elemento de concreto provocado pela temperatura;

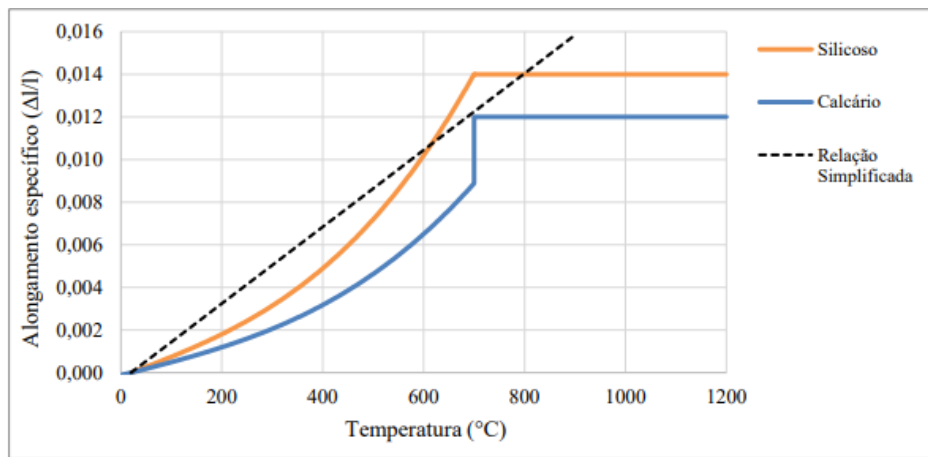
θ_c é a temperatura do concreto, em graus Celsius.

De forma simplificada, a relação entre o alongamento específico do concreto e a temperatura pode ser considerada constante, conforme Equação 5.

$$\frac{\Delta l}{l} = 18 \times 10^{-3}(\theta_c - 20) \quad (5)$$

Na Figura 15, vê-se a variação do alongamento específico do concreto com a temperatura.

Figura 15: Alongamento específico do concreto com agregado silicoso e calcário.



Fonte: ALMEIDA, (2018).

O alongamento específico do concreto de densidade normal com agregado calcário é determinado da forma apresentada na Equação 5.

para $20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_c < 700\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\frac{\Delta l}{l} = -1,2 \times 10^{-4} + 6 \times 10^{-6}\theta_c + 1,4 \times 10^{-11}\theta_c^3 \quad (5)$$

para $700\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_c \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\frac{\Delta l}{l} = 12 \times 10^{-3}$$

3.1.3. CALOR ESPECÍFICO

O calor específico $c_p(\theta)$ do concreto seco ($u = 0\%$) silicoso ou calcário pode ser determinado pela Equação 6.

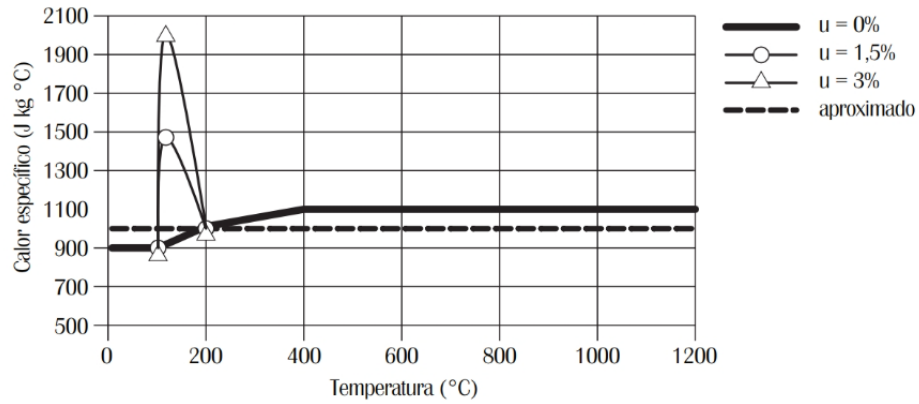
$$\begin{aligned} c_p(\theta) &= 900 \text{ (J/kg}^{\circ}\text{C)} && \text{Para } 20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 100^{\circ}\text{C} \\ c_p(\theta) &= 900 + (\theta - 100) \text{ (J/kg}^{\circ}\text{C)} && \text{Para } 100\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 200^{\circ}\text{C} \end{aligned} \quad (6)$$

$$c_p(\theta) = 1000 + (\theta - 200) \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \quad \text{Para } 200^\circ\text{C} \leq \theta \leq 400^\circ\text{C}$$

$$c_p(\theta) = 1100 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \quad \text{Para } 400^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

A variação do calor específico do concreto com a temperatura pode ser vista na Figura 16.

Figura 16: Calor específico do concreto.



Fonte: SILVA, (2016).

3.1.4. CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Segundo Silva (2016), a condutividade térmica do concreto de densidade normal com agregado silicosos ou calcário, em watt por metro e por grau Celsius (W/m °C), pode ser determinada, para $20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1.200^\circ\text{C}$, pelas Equações 7 e 8, respectivamente valor mínimo adequado a estruturas de concreto e valor máximo, adequado a estruturas mistas de aço e concreto. A Equação 7 é a recomendada pela ABNT NBR 15200:2012.

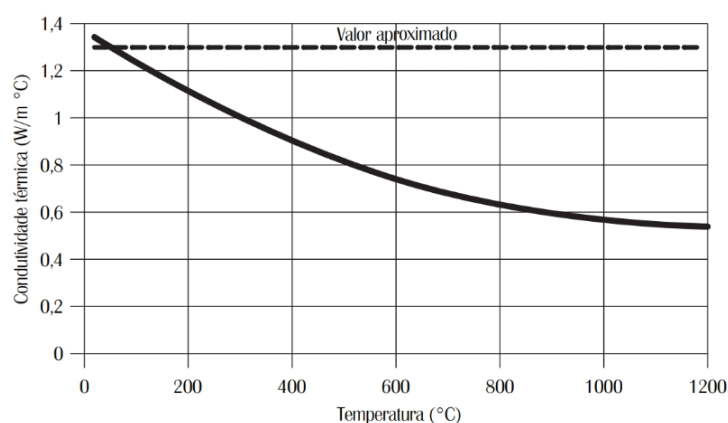
$$\lambda = 1,36 - 0,136 \frac{\theta_c}{100} + 0,0057 \left(\frac{\theta_c}{100} \right)^2 \quad (7)$$

$$\lambda_c = 2 - 0,2451 \frac{\theta_c}{100} + 0,0107 \left(\frac{\theta_c}{100} \right)^2 \quad (8)$$

onde θ_c é a temperatura do concreto, em graus Celsius.

A variação da condutividade do concreto (valor mínimo) com a temperatura pode ser vista na Figura 17.

Figura 17: Condutividade térmica do concreto.



Fonte: SILVA, (2016).

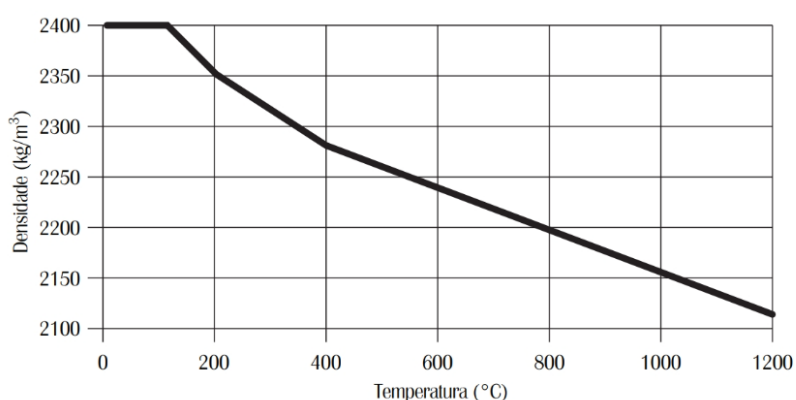
3.1.5. DENSIDADE

A variação da densidade (massa específica) com a temperatura é influenciada pela perda de água e pode ser determinada conforme Equação 10.

$$\begin{aligned}
 \rho(\theta) &= \rho(20\text{ }^{\circ}\text{C}) & \text{para} & \quad 20^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 115^{\circ}\text{C} \\
 \rho(\theta) &= \rho(20\text{ }^{\circ}\text{C}) \times (1 - 0,02(\theta - 115)/85) & \text{para} & \quad 115^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 200^{\circ}\text{C} \\
 \rho(\theta) &= \rho(20\text{ }^{\circ}\text{C}) \times (0,98 - 0,03(\theta - 200)/200) & \text{para} & \quad 200^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 400^{\circ}\text{C} \\
 \rho(\theta) &= \rho(20\text{ }^{\circ}\text{C}) \times (0,95 - 0,07(\theta - 400)/800) & \text{para} & \quad 400^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 1200^{\circ}\text{C}
 \end{aligned} \tag{10}$$

A variação da densidade do concreto com a temperatura pode ser vista na Figura 18.

Figura 18: Densidade do concreto.



Fonte: SILVA, (2016).

3.2.AÇO

3.2.1. RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO DO AÇO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DE ARMADURA PASSIVA A ALTAS TEMPERATURAS

Conforme o autor Silva (2016), a resistência ao escoamento do aço da armadura passiva decresce com o aumento da temperatura, conforme mostrado na Figura 19 podendo ser obtida pela Equação 10:

$$f_{yk,\theta} = k_{s,\theta} \times f_{yk} \quad (10)$$

onde:

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

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

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

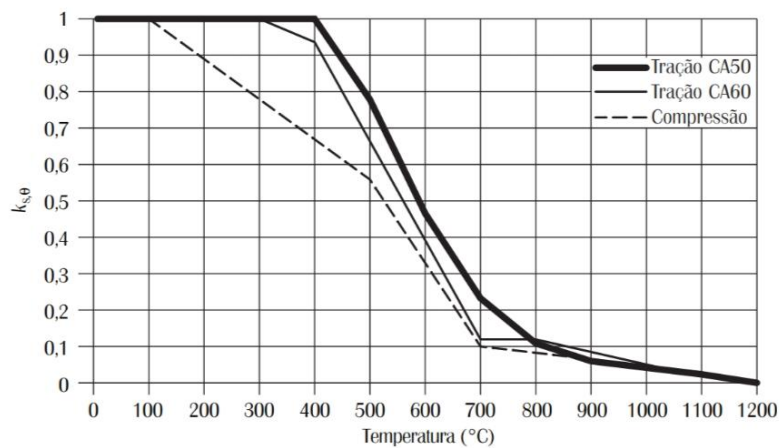
curva tracejada: $k_{s,\theta}$ aplicável quando $\varepsilon_{yi} < 2\%$, usualmente armaduras comprimidas de pilares, vigas ou lajes.

Tabela 3: Valores de $k_{s,\theta}$ para aços de armadura passiva.

Temperatura do aço (°C)	$k_{s,\theta}$ (adimensional)		
	Tração		Compressão CA-50 ou CA-60
	CA-50	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	0,56
500	0,78	0,67	0,40
600	0,47	0,40	0,24
700	0,23	0,12	0,08
800	0,11	0,11	0,06
900	0,06	0,08	0,05
1000	0,04	0,05	0,03
1100	0,02	0,03	0,02
1200	0,00	0,00	0,00

Fonte: ABNT NBT 15200:2012.

Figura 19: Fator de redução da resistência do aço de armadura passiva em função da temperatura.



Fonte: SILVA, (2016).

Admite-se que o aço atinja o patamar de escoamento em situação de incêndio para $\varepsilon_{y,\theta} = 2\%$, conforme a Figura 20. Os valores referentes ao CA-50 da Tabela 14 (curva cheia da Figura 18) são os redutores de resistência convencional ao escoamento, portanto, para $\varepsilon_{y,\theta} \geq 2\%$.

No caso de armaduras sob compressão, deve haver compatibilidade de deformações entre aço e concreto. Dessa forma, dificilmente atingiria 2% e, portanto, o redutor da tensão máxima atingida deve ser diferente. Admite-se, por simplicidade, que essa tensão máxima seja igual àquela correspondente à deformação plástica residual de 0,2%. Esses são os valores indicados na Tabela 4 ou Figura 18 para armaduras comprimidas, para serem empregados em métodos simplificados.

Tabela 4– Valores dos fatores de redução do módulo de elasticidade ($k_{Es,\theta}$) e do limite de proporcionalidade ($k_{p,\theta}$).

Temperatura do aço (°C)	$k_{Es,\theta}$ [adimensional]		$k_{p,\theta}$ [adimensional]	
	CA-50	CA-60	CA-50	CA-60
20	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96
200	0,90	0,87	0,81	0,92
300	0,80	0,72	0,61	0,81
400	0,70	0,56	0,42	0,63
500	0,60	0,40	0,36	0,44
600	0,31	0,24	0,18	0,26
700	0,13	0,08	0,07	0,08
800	0,09	0,06	0,05	0,06
900	0,07	0,05	0,04	0,05
1000	0,04	0,03	0,02	0,03
1100	0,02	0,02	0,01	0,02
1200	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: ABNT NBT 15200:2012.

O módulo de elasticidade do aço da armadura passiva decresce com o aumento da temperatura, conforme mostrado na Figura 19, podendo ser obtido pela Equação 11.

$$E_{s,\theta} = k_{Es,\theta} \times E_s \quad (11)$$

onde:

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

$k_{Es,\theta}$ é o fator de redução do módulo de elasticidade do aço na temperatura θ , conforme Tabela 4.

3.2.2. RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO DO AÇO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DE ARMADURA ATIVA A ALTAS TEMPERATURAS

A resistência ao escoamento do aço da armadura ativa decresce com o aumento da temperatura, conforme mostrado na Figura 20, podendo ser obtida pela Equação 12.

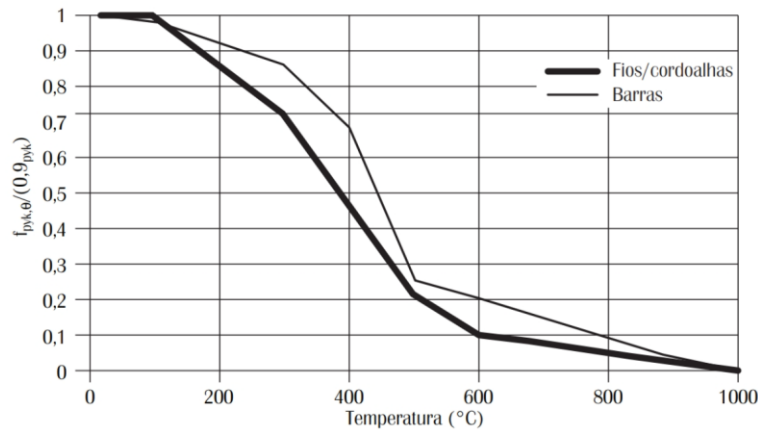
$$f_{pyk,\theta} = k_{p,\theta} \times f_{pyk} \quad (12)$$

onde:

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

$k_{p,\theta}$ é o fator de redução da resistência do aço de armadura ativa na temperatura θ , conforme Tabela 4.

Figura 20: Redução da resistência do aço de armadura ativa em função da temperatura.



Fonte: SILVA, (2016).

O módulo de elasticidade do aço da armadura ativa decresce com o aumento da temperatura, conforme mostrado na Figura 21, podendo ser obtido pela Equação 13.

$$E_{p,\theta} = k_{Ep,\theta} \times E_p \quad (13)$$

onde:

E_p é o módulo de elasticidade do aço de armadura ativa em situação normal;

$k_{Ep,\theta}$ é o fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura ativa na temperatura θ , conforme Tabela 4.

Para o aço da armadura ativa a elevadas temperaturas a Tabela 5 fornece:

- a relação entre a resistência ao escoamento do aço da armadura ativa submetido a diferentes temperaturas ($f_{pyk,\theta}$) e 90% da resistência característica ao escoamento em situação normal (f_{pyk});
- a relação entre o módulo de elasticidade do aço submetido a diferentes temperaturas ($E_{p,\theta}$) e o módulo de elasticidade em situação normal (E_p);
- deformação linear específica no final do patamar de escoamento do aço $\varepsilon_{pt,\theta}$;
- deformação linear específica última do aço $\varepsilon_{pu,\theta}$.

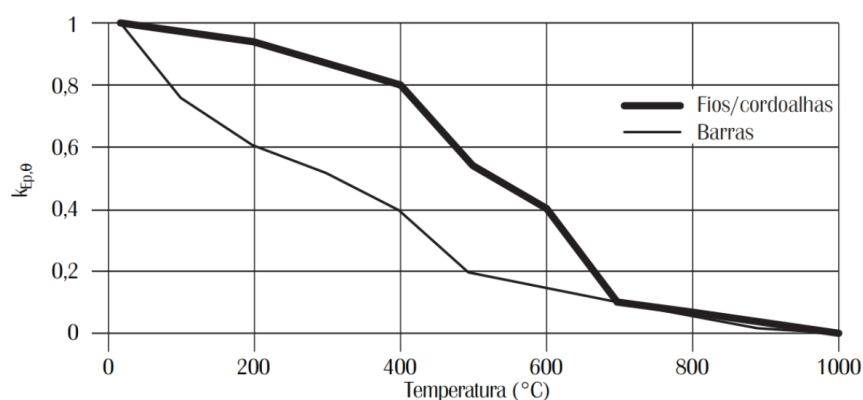
Para valores intermediários de temperatura pode ser feita interpolação linear

Tabela 5– Valores da relação $f_{pyk,\theta}/(0,9 f_{pyk})$ e $E_{p,\theta}/E_p$ para fios e cordoalhas e para barras da armadura ativa

Temperatura do aço °C	$f_{pyk,\theta}/(0,9 f_{pyk})$	$E_{p,\theta}/E_p$
	Fios e cordoalhas	Fios e cordoalhas
20	1,00	1,00
100	0,99	0,98
200	0,87	0,95
300	0,72	0,88
400	0,46	0,81
500	0,22	0,54
600	0,10	0,41
700	0,08	0,10
800	0,05	0,07
900	0,03	0,03
1 000	0,00	0,00
1 100	0,00	0,00
1 200	0,00	0,00

Fonte: ABNT NBT 15200:2012.

Figura 21: Fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura ativa em função da temperatura.



Fonte: SILVA, (2016).

3.2.3. DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DOS AÇOS

Os diagramas tensão–deformação dos aços da armadura passiva a temperaturas elevadas podem ser construídos a partir das Equações (14).

$$\begin{aligned}
 \sigma_{s,\theta} &= \varepsilon_{s,\theta} \times E_{s,\theta} & \text{se} & \quad 0 \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq \varepsilon_{p,\theta} \\
 \sigma_{s,\theta} &= f_{p,\theta} - c + \frac{b}{a} \times \sqrt{a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{s,\theta})^2} & \text{se} & \quad \varepsilon_{p,\theta} \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq \varepsilon_{y,\theta} \\
 \sigma_{s,\theta} &= f_{yk,\theta} & \text{se} & \quad \varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq \varepsilon_{t,\theta} \\
 \sigma_{s,\theta} &= f_{yk,\theta} \times \left[1 - \left(\frac{\varepsilon_{s,\theta} - \varepsilon_{t,\theta}}{\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta}}\right)\right] & \text{se} & \quad \varepsilon_{t,\theta} \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq \varepsilon_{u,\theta} \\
 \sigma_{s,\theta} &= 0 & \text{se} & \quad \varepsilon_{s,\theta} \geq \varepsilon_{u,\theta}
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 a^2 &= (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c/E_{s,\theta}) \\
 b^2 &= c \cdot (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot E_{s,\theta} + c^2 \\
 c^2 &= \frac{(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2}{(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot E_{s,\theta} - 2 \cdot (f_{y,\theta} - f_{p,\theta})} \\
 \varepsilon_{p,\theta} &= f_{p,\theta} / E_{s,\theta} \\
 \varepsilon_{y,\theta} &= 0,02 \\
 f_{p,\theta} &= k_{p,\theta} \times f_{yk}
 \end{aligned}$$

onde:

f_{yk} é a resistência ao escoamento do aço na temperatura θ , conforme Equação 10;

$f_{yk,\theta}$ é a resistência ao escoamento do aço a 20 °C;

$f_{p,\theta}$ é a resistência correspondente ao limite de proporcionalidade do aço na temperatura θ ;

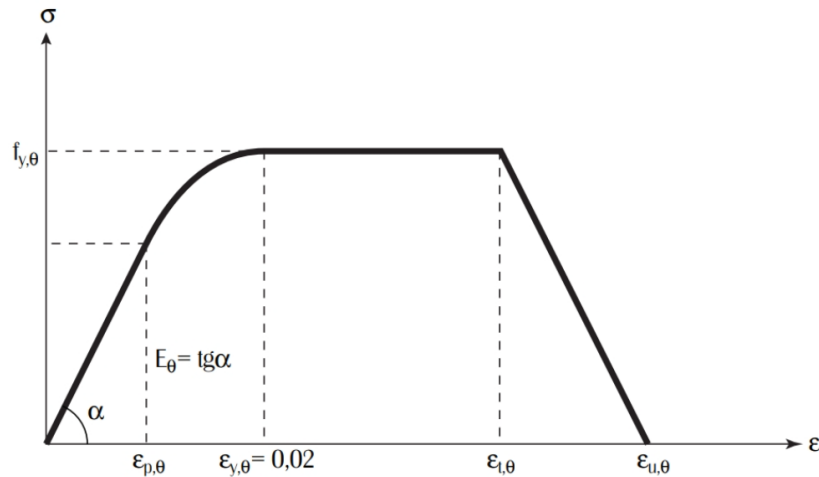
$k_{p,\theta}$ é o redutor do limite de proporcionalidade conforme Tabela 4;

$E_{s,\theta}$ é o módulo de elasticidade do aço na temperatura θ , conforme Equação 11;

Os parâmetros de deformação $\varepsilon_{t,\theta}$ e $\varepsilon_{u,\theta}$ dependem da classe de resistência do aço. Para aços de ductilidade normal (CA 60, conforme ABNT NBR 6118:2014), $\varepsilon_{t,\theta} = 5\%$ e $\varepsilon_{u,\theta} = 10\%$; para os aços de alta ductilidade (CA 25/50, conforme ABNT NBR 6118:2014), $\varepsilon_{st,\theta} = 15\%$ e $\varepsilon_{su,\theta} = 20\%$.

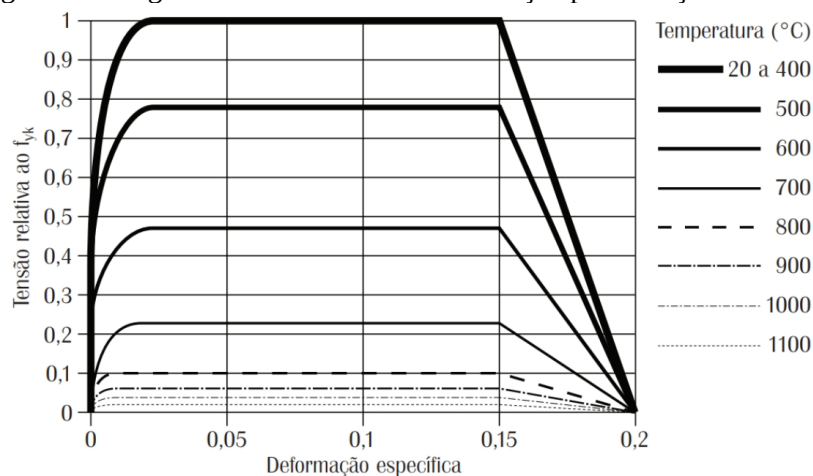
Na Figura 22 apresenta-se o aspecto dos diagramas tensão–deformação dos aços a altas temperaturas e, na Figura 23, os diagramas tensão relativa – deformação para os aços CA25/50, em que a tensão relativa vale: $f_{yk,\theta}/f_{yk}$.

Figura 22: Aspecto do diagrama tensão–deformação dos aços a altas temperaturas.



Fonte: SILVA, (2016).

Figura 23: Diagramas tensão relativa–deformação para os aços CA25-50.



Fonte: SILVA, (2016).

4. SPALLING OU LASCAMENTO DO CONCRETO

O lascamento do concreto ou spalling, conforme definição preconizada por Purkiss (1996 apud COSTA, 2002), é um fenômeno natural nas estruturas de concreto, quando há a exposição das mesmas às altas temperaturas. Dentro da matriz de concreto, ocorre o aparecimento das tensões de origem térmica, que causam a desintegração das regiões superficiais dos elementos estruturais.

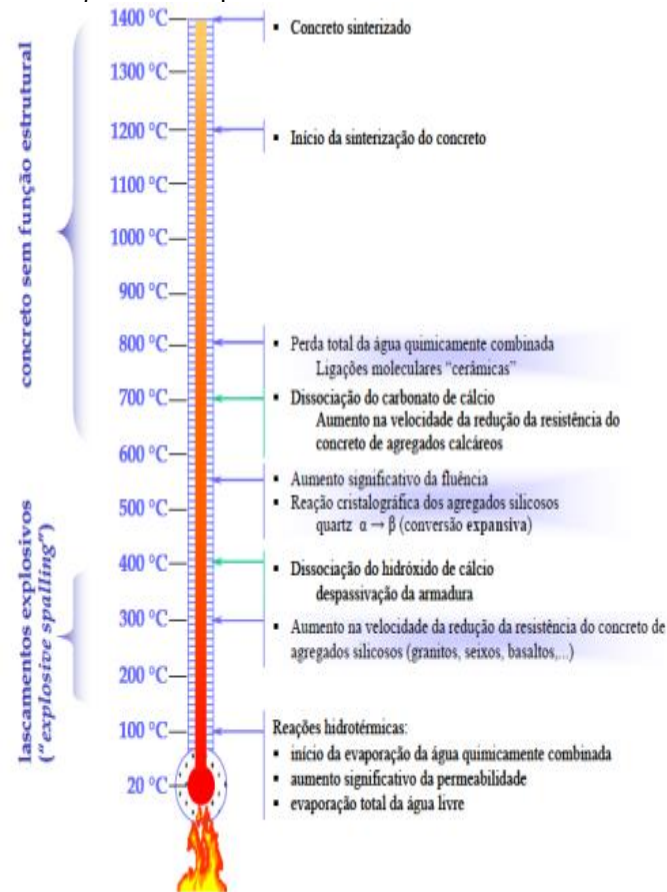
O spalling pode ser classificado em alguns tipos:

- Spalling dos agregados;
- Spalling explosivo;
- Spalling superficial;
- Spalling por delaminação;
- Spalling de canto;

- Spalling após o resfriamento.

Sabe-se que não há ainda um controle totalmente confiável em relação à ocorrência dos lascamentos, pois este fenômeno é devido a uma série de fatores que levam, frequentemente, a um comportamento imprevisível. O lascamento, às vezes, decorre da natureza mineralógica do agregado, ou da concentração de tensões térmicas desenvolvidas durante o aquecimento e que confluem para as camadas próximas aos cantos do elemento (COSTA *et al.*, 2002 *apud* BUCHANAN, 2001).

Figura 24: Transformações físico-químicas do concreto endurecido em altas temperaturas.



Fonte: COSTA, 2008.

Figura 25: Lascamento de canto (sloughing) à esquerda; lascamento explosivo (explosive spalling) à direita.



Fonte: COSTA, 2008.

Júnior (2011 *apud* FIB, 2007) expõe que não há uma divisão evidente entre os tipos de spalling apresentados, pois em uma única situação de incêndio podem ser notados todos os tipos de spalling ou até mesmo todos os tipos citados acontecendo conjuntamente. Geralmente, os três primeiros se manifestam nos instantes iniciais do incêndio, enquanto os três últimos ocorrem momentos mais tarde. O tipo mais severo de spalling que pode ocorrer em estruturas de concreto armado em incêndio é o spalling explosivo, pois ocorrência pode resultar na expulsão, de forma explosiva, de camadas de concreto com espessuras de 25 mm a 100 mm, geralmente na primeira meia hora de um incêndio.

Os fatores que influenciam a ocorrência deste tipo de spalling são a resistência, idade e permeabilidade do concreto, taxa de aquecimento e intensidade dos gradientes térmicos na seção transversal, dimensões e forma da seção transversal, tipo e tamanho dos agregados, teor de umidade do concreto, presença de fissuras, tipo e quantidade de armaduras, presença de fibras de polipropileno e carregamento aplicado. O spalling explosivo pode acontecer devido à pressão nos poros do concreto ou devido às tensões térmicas, ambas influenciadas pelos carregamentos aplicados (JÚNIOR, 2011 *apud* FIB, 2007).

No trabalho de Fletcher *et al.* (2007) é discutido que uma das consequências do spalling é a exposição direta das armaduras ao fogo, o que ocasiona uma perda rápida de resistência das mesmas devido ao aquecimento, e a redução da área da seção transversal, o que diminui a capacidade resistente da peça, porque há um aumento da tensão aplicada ao concreto e aço remanescentes. Este fato é considerado importante mesmo quando há a manifestação do spalling em temperaturas relativamente baixas, antes mesmo que outros efeitos devido ao aquecimento possam se manifestar, resultando em rápida perda.

Portanto, conforme conclui Reina (2010), por se tratar de um fenômeno natural do concreto quando exposto por um período prolongado a altas temperaturas, as normas técnicas estabelecem diretrizes que apenas explicam o retardamento do processo de lascamento do material, mas não como evitá-lo realmente. Mas, são estabelecidos métodos que definem as dimensões mínimas aceitáveis para garantir o bom comportamento dos elementos estruturais sob o efeito desse fenômeno

5. SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

O autor Anjos (2021) explicita que a segurança estrutural de estruturas de concreto armado em situação de incêndio é verificada quando os esforços atuantes são menores ou iguais aos esforços resistentes, de forma semelhante à verificação em temperatura ambiente – Inequação 15. Sabe-se que a exposição dos materiais estruturais - tais como aço e concreto - a altas temperaturas ocasiona a degeneração de suas características físicas e químicas: a redução da resistência e do módulo de elasticidade, que deve ser considerado no dimensionamento das estruturas em situação de incêndio (SILVA, 2016).

$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi} \quad (15)$$

Onde:

$S_{d,fi}$ é o valor de cálculo do esforço atuante, determinado a partir da combinação última excepcional das ações, de acordo com a ABNT NBR 8681:2003;

$R_{d,fi}$ é o valor de cálculo do esforço resistente reduzido em função do aumento da temperatura.

Ainda, segundo Anjos (2021), as ações ou forças atuantes em uma estrutura podem ser permanentes (peso próprio), variáveis (vento e sobrecarga) e variáveis excepcionais (incêndio). A ação térmica tem duração extremamente curta e baixa probabilidade de ocorrer durante a vida útil de uma construção, podendo ser tratada como ação excepcional. Sobre o cálculo dos esforços atuantes em situação de incêndio, $S_{d,fi}$, portanto, considera-se uma combinação excepcional das ações (SILVA, 2016).

A ABNT NBR 8681:2003 recomenda, para combinação última excepcional das ações, a Equação 16:

$$F_{d,fi} = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} \cdot F_{Gi,k} + F_{Q,exc} + \gamma_q \cdot \sum_{j=1}^n 0,7 \cdot \psi_{2j} \cdot F_{Qj,k} \quad (16)$$

Onde:

$F_{d,fi}$ é o valor de cálculo da ação na combinação excepcional;

$F_{Gi,k}$ é o valor característico da ação permanente i ;

$F_{Q,exc}$ é o valor da ação excepcional (ação térmica);

$F_{Qj,k}$ é o valor característico da ação variável j para situação de incêndio;

γ_{gi} é o coeficiente de ponderação das ações permanentes "i" em incêndio;

γ_q é o coeficiente de ponderação das ações variáveis em incêndio;

ψ_{2j} é o fator de combinação utilizado para determinação dos valores reduzidos das ações variáveis.

Conforme exposto por Anjos (2021), na norma brasileira os esforços decorrentes da deformação térmica ($F_{Q,exc}$) podem ser desprezados, por serem muito reduzidos e pelas grandes deformações plásticas que ocorrem em situação de incêndio.

Portanto, a Equação (16) pode ser substituída pela Equação 17:

$$F_{d,fi} = \gamma_g \cdot F_{Gk} + \gamma_q \cdot \sum_{j=1}^n 0,7 \cdot \psi_{2j} \cdot F_{Qj,k} \quad (17)$$

Onde:

γ_g é o coeficiente de ponderação das ações permanentes em incêndio;

F_{Gk} é o valor característico da soma das ações permanentes.

Os valores para os fatores de ponderação e de redução são apresentados na ABNT NBR 8681:2003.

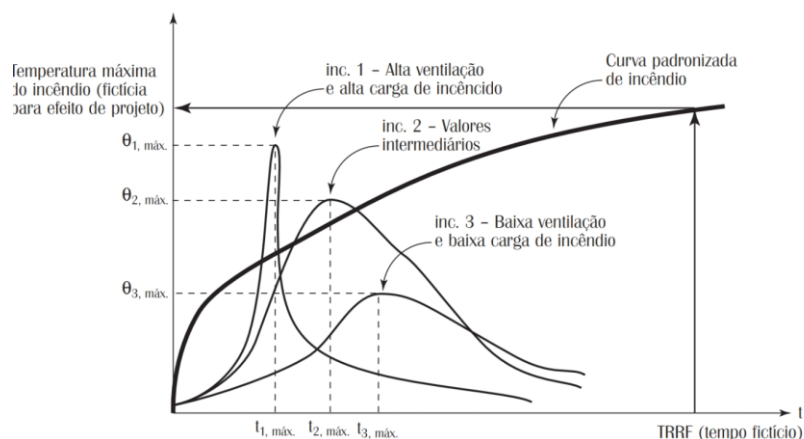
Como alternativa na ausência da solicitação gerada pelas deformações impostas em situação de incêndio, a ABNT NBR 15200:2012 elucida que as solicitações de cálculo em situação de incêndio ($S_{d,fi}$) podem ser tomadas como 70% das solicitações de cálculo em situação normal (S_d), não incluindo o vento nas combinações de ações, ou seja:

$$S_{d,fi} = 0,7 \cdot S_d$$

6. TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO

Para que se possa fazer o cálculo do esforço resistente de um elemento estrutural é preciso conhecer as resistências dos materiais na temperatura atingida durante o incêndio. Conforme explicitado por Silva (2016), pela simplicidade costuma empregar-se um modelo fictício, o modelo do incêndio-padrão. Por meio do tempo de duração do incêndio é possível determinar o campo de temperaturas no elemento de concreto, mas levando-se em vista que é uma curva fictícia e não a curva verdadeira do incêndio, as normas e códigos arbitram, também, em tempos fictícios altos (Figura 26) para que o campo de temperaturas esteja devidamente dimensionado a favor da segurança (SILVA, 2016).

Figura 26: Curvas temperatura-tempo de incêndios



Fonte: SILVA, (2016).

Conforme a ABNT NBR 14432:2001, a resistência ao fogo é a propriedade do elemento construtivo de resistir à ação do fogo por um determinado tempo e manter sua segurança estrutural, estanqueidade e isolamento, quando aplicável. Esta norma brasileira elucida os métodos para que os elementos

construtivos possam atender a um intervalo de tempo de exposição ao incêndio padrão, chamado de tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), sem que haja o colapso estrutural (ANJOS, 2021). Conforme adverte Anjos (2021), a verificação da necessidade de análise da edificação em situação de incêndio deve ser feita através da ABNT NBR 14432:2001 ou das Instruções Técnicas (IT) estaduais do Corpo de Bombeiros.

A ABNT NBR 14432:2001 define o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) como sendo o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão, e a resistência ao fogo é a propriedade de um elemento de construção de resistir à ação do fogo por determinado período de tempo, mantendo sua segurança estrutural, estanqueidade e isolamento, onde aplicável. Este tempo é apenas um parâmetro de projeto, mas não diz respeito à duração de um incêndio, o tempo de desocupação ou o tempo resposta do Corpo de Bombeiros. O TRRF pode ser determinado de duas maneiras: método tabular e método do tempo equivalente.

6.1.MÉTODO TABULAR

No método tabular, os TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo) são determinados de forma empírica, fruto do consenso da sociedade e padronizados em normas ou regulamentos, em função das dimensões e do tipo de utilização do edifício (SILVA, 2016).

Conforme Silva (2016) explica, o TRRF das vigas secundárias das edificações de até 80 m de altura não necessita ser maior do que 60 min para edificações com altura inferior ou igual a 30 m e 90 min para edificações de altura igual ou inferior a 80 m. A Instrução Técnica n. 8: “Resistência ao fogo dos elementos de construção” de 2011, define vigas secundárias como aquelas que não estão ligadas diretamente a pilares ou a outros elementos estruturais que sejam essenciais à estabilidade global da edificação. A Instrução Técnica n. 8º/2011 adverte que os subsolos das edificações devem ter o TRRF estabelecido em função do TRRF da ocupação a que pertencer. Como também que os TRRF dos elementos estruturais do subsolo, cujo dano gerado devido ao incêndio possa causar colapso progressivo das estruturas dos pavimentos acima do solo, por meio de critério a ser adotado pelo profissional habilitado e responsável pelo projeto, não poderão ser inferiores ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo (SILVA, 2016).

O autor Anjos (2021) expõe que o método tabular determina o TRRF de forma empírica, o qual esse tempo pode ser convencionado pelas Instruções Técnicas (IT) estaduais do Corpo de Bombeiros ou pela ABNT NBR 14432, por meio das dimensões e do tipo de utilização do edifício.

As Instruções Técnicas estaduais são instruções elaboradas pelo Corpo de Bombeiro junto a Polícia Militar e, contém informações e procedimentos necessários para a Segurança Contra Incêndio, possuindo, portanto, precedência em relação à ABNT (ANJOS, 2021). As informações sobre o TRRF foram extraídas das IT do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Minas Gerais (CBMMG). Para a determinação do TRRF é necessário antes classificar a edificação e áreas de risco quanto à sua ocupação, conforme a Tabela 6 presente na Instrução Técnica nº 9 de Minas Gerais (2020).

Tabela 6– Classificação das Edificações e Áreas de Risco quanto à Ocupação (continua na página seguinte).

Grupo	Ocupação/Us o	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Casas térreas ou assobradadas (isoladas enão isoladas e condomínios horizontais).
		A-2	Habitação multifamili ar	Edifícios de apartamento em geral.
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos,sem acompanhamento médico.
B	Serviços de hospedagem	B-1	Hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos edivisão A3 com mais de 16 leitos, e assemelhados.
		B-2	Hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha próprios apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais) e assemelhados.
C	Comercial	C-1	Comércio com baixacarga de incêndio	Armarinhos, artigos de metal, louças,artigos hospitalares e outros.
		C-2	Comércio com média ealta carga de incêndio	Edifícios de lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros.
		C-3	Shopping center	Centros de compras em geral (shoppingcenters).
D	Serviço profissional	D-1	Repartições públicas elocais para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	Edificações do Executivo, Legislativo e Judiciário, tribunais, cartórios, escritóriosadministrativos ou técnicos, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), cabeleireiros, teleatendimento, centrosprofissionais e assemelhados.
		D-2	Agência bancária	Agências bancárias e assemelhadas.
		D-3	Serviço de reparação (exceto os classificados em G-4)	Lavanderias, assistência técnica, reparação emanutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros.
		D-4	Laboratório	Laboratórios de análises clínicas sem internação, laboratórios químicos, fotográficos e assemelhados.
E	Educaçãol ecultura física	E-1	Escola em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitários e assemelhados.
		E-2	Escola especial	Escolas de arte e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira, escolasreligiosas e assemelhados.

Tabela 6 – Classificação das Edificações e Áreas de Risco quanto à Ocupação (continua na página seguinte).

Grupo	Ocupação/Us o	Divisão	Descrição	Exemplos
E	Educativa e cultura física	E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou prática de práticas de artes marciais, ginásticas (artística, dança, musculação e outros), esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e assemelhados.
		E-4	Centro de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral.
		E-5	Pré-escola	Creches, escolas maternas, jardins de infância.
		E-6	Escola para portadores de deficiência	Escola para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e assemelhados.
F	Local de reunião de público	F-1	Local onde há objeto de valor inestimável	Museus, centros de documentos históricos, bibliotecas e assemelhados.
		F-2	Local religioso ou velório	Igrejas, capelas, sinagogas, mesquitas, templos, cemitérios, crematórios, necrotérios, salas de funerais e assemelhados.
		F-3	Centro esportivo de exibição	Estádios, ginásios e piscinas com arquibancadas, rodeios, autódromos, sambódromos, arenas em geral, pistas de patinação e assemelhados.
		F-4	Estação e terminal de passageiros	Estações rodoviárias e lacustres, portos, metrô, aeroportos, heliportos, estações de transbordo em geral e assemelhados.
		F-5	Arte cênica	Teatros em geral, cinemas, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão e assemelhados.
		F-6	Local de diversão	Boates, salões de baile, restaurantes dançantes e casas de show.
		F-7	Evento temporário	Circos, feiras em geral, shows e assemelhados.
		F-8	Local para refeição	Restaurantes, lanchonetes, bares, cafés, refeitórios, cantinas e assemelhados.
		F-9	Recreação	Edificações permanentes de jardins zoológicos, parques recreativos, clubes sociais, bilhares, boliches, casas de jogos e assemelhados.

		F-10	Exposição de objetos e animais	Salões e salas de exposição de objetos e animais, show-room, galerias de arte, aquários, planetários e assemelhados. Edificações permanentes.
		F-11	Auditórios	Auditórios em geral, com palco sem movimentação de cenários.

Tabela 6 – Classificação das Edificações e Áreas de Risco quanto à Ocupação (continua na página seguinte).

Grupo	Ocupação/Us o	Divisão	Descrição	Exemplos
G	Serviços automotivos e assemelhados	G-1	Garagem sem acesso de público	Garagens automotivas, garagens de veículos de carga e coletivos.
		G-2	Garagem com acesso de público	Garagens coletivas sem automação.
		G-3	Local dotado de abastecimento de combustível	Postos de abastecimento e serviço.
		G-4	Serviço de conservação, manutenção e reparos	Oficinas de conserto de veículos, borracharias (sem recauchutagem), oficinas de veículos de carga e coletivos, máquinas agrícolas e rodoviárias, retificadoras de motores.
		G-5	Hangares	Abrigos para aeronaves com ou sem abastecimento.
H	Serviço de saúde e institucional	H-1	Hospital veterinário	Hospitais, clínicas veterinárias (inclui-se alojamento com ou sem adestramento).
		H-2	Locais onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, hospitais psiquiátricos, reformatórios, locais para tratamento de dependentes químicos e assemelhados. Todos sem cela.
		H-3	Hospital e assemelhado	Hospitais, casa de saúde, prontos-socorros, clínicas com internação, ambulatórios e postos de atendimento de urgência, postos de saúde e puericultura e assemelhados com internação.
		H-4	Edificações das forças armadas e polícias	Centrais de polícia, delegacias e quartéis sem carceragem, postos policiais e assemelhados.

		H-5	Local onde a liberdade de pessoas sofre restrição	Hospitais psiquiátricos, manicômios, reformatórios, prisões em geral (casa de detenção, penitenciárias, presídios, cadeias públicas, delegacias e quartéis com carceragem) e instituições assemelhadas. Todos com celas.
		H-6	Clínicas médicas, odontológicas e veterinárias	Clínicas médicas em geral, unidades de hemodiálise, ambulatórios e assemelhados. Todos sem internação.
I	Indústria	I-1	Locais onde as atividades exercidas com materiais utilizados apresentam baixo potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio até 300MJ/m ²	Atividades que manipulam materiais com baixo risco de incêndio, tais como fábricas em geral, onde os processos não envolvem utilização intensiva de materiais combustíveis (aço; aparelhos de rádio e som; armas; artigos de metal; gesso; esculturas de pedra; ferramentas; fotografias; jóias; relógios, sabão; serralheria; suco de frutas; louças; metais; máquinas).

Tabela 6 – Classificação das Edificações e Áreas de Risco quanto à Ocupação (continuação).

Grupo	Ocupação/Us o	Divisão	Descrição	Exemplos
I	Indústria	I-2	Locais onde as atividades exercidas com materiais utilizados apresentam médio potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio acima de 300 até 1.200MJ/m ²	Atividades que manipulam materiais com médio risco de incêndio, tais como: artigos de vidro; automóveis; bebidas destiladas; instrumentos musicais; móveis; alimentos; marcenarias; fábricas de caixas e assemelhados.
		I-3	Locais onde há alto risco de incêndio. Locais com carga de incêndio superior a 1.200MJ/m ²	Fabricação de explosivos, atividades industriais que envolvam líquidos e gases inflamáveis, materiais oxidantes, destilarias, refinarias, ceras, espuma sintética, elevadores de grãos, tintas, borracha e assemelhados.
J	Depósito	J-1	Depósitos de material incombustível	Edificações sem processo industrial que armazenam tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e outros materiais incombustíveis.
		J-2	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio até 300MJ/m ² .
		J-3	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio acima de 300 até

				1.200MJ/m².
		J-4	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio acima 1.200MJ/m².
L	Explosivos	L-1	Comércio	Comércio em geral de fogos de artifício e assemelhados.
		L-2	Indústria	Indústria de material explosivo.
		L-3	Depósito	Depósito de material explosivo.
M	Especial	M-1	Túnel	Túneis rodoviários e lacustres, destinados ao transporte de passageiros ou cargas diversas.
		M-2	Tanques ou Parque de Tanques	Locais destinados à produção, manipulação, armazenamento e distribuição de líquidos ou gases combustíveis e inflamáveis.
		M-3	Central de comunicação e energia	Centrais telefônicas, centros de comunicação, centrais de transmissão, de distribuição de energia e central de processamento de dados.
		M-4	Propriedade em transformação	Locais em construção ou demolição.
		M-5	Processamento de lixo	Propriedades destinadas ao processamento, reciclagem ou armazenamento de material recusado/descartado.
		M-6	Terra selvagem	Florestas, reservas ecológicas, parques florestais e assemelhados.
		M-7	Pátio de Containers	Áreas abertas destinadas ao armazenamento de containers.

Fonte: DECRETO ESTADUAL nº 44.746 (2008).

Ressalta-se que alguns tipos específicos de edificações são isentos de verificação e redução do TRRF, desde que atendam aos objetivos do Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco no Estado de Minas Gerais e possuam as saídas de emergência, as rotas de fuga e as condições de ventilação dimensionadas conforme regulamentações vigentes. São excluídos de isenção e redução os casos abaixo:

- subsolos com mais de um piso de profundidade ou área de pavimento superior a 500 m²;
- estrutura e paredes de vedação das escadas e elevadores de segurança, de isolamento de riscos e de compartimentação;
- edificações do Grupo L (explosivos) e divisões M-1 (túneis), M-2 (parques de tanques) e M-3 (centrais de comunicação e energia).

A Instrução Técnica 06 (2005) – IT 06 (2005) - ainda apresenta outras considerações, inclusive a respeito de determinadas edificações isentas de TRRF. Para que isso ocorra, estas edificações devem atender

requisitos específicos de medidas de proteção ativas e passivas.

Tabela 7– Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRF), em minutos (continua na página seguinte).

Grupo	Ocupação/Us	Divisão	Profundidade do Subsolo h		Altura da edificação h					
			Classe S2h > 10m	Classe S1 h ≤ 10m	Edificação Baixa		Edificação Média Altura		Medianamente Alta	Alta
					Classe P1 h ≤ 6m	Classe P2 6m < h ≤ 12m	Classe P3 12m < h ≤ 23m	Classe P4 23m < h ≤ 30m	Classe P5 30m < h ≤ 54m	h > 54m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	CT
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120	CT
C	Comercial varejista	C-1	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120	CT
		C-2 e C-3	90	60	60	60 (30)	60	90	120	CT
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60	30	60 (30)	60	90	120	CT
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	CT
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5 e F-6, F-8, F-10 F- 11	90	60	60 (30)	60	60	90	120	CT
		F-3, F-4 e F-7	90	60	60	60	30	30	CT	CT
		F-9	CT							
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-6	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120	CT
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60	120
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	CT
		H-2, H-3 e H-5	90	60	30	60	60	90	120	CT

I	Industrial	I-1	90 (60)	60 (30)	30	30	30	60	120	CT
		I-2	120	90	30	30	60 (30)	90	120	CT
		I-3	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120	CT

Tabela 7 - Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRF), em minutos
(continuação).

Grupo	Ocupação/Use	Divisão	Profundidade do Subsolo h		Altura da edificação h					
			Classe S2h > 10m	Classe S1 h ≤ 10m	Edificação Baixa		Edificação Média Altura		Medianamente Alta	Alta
					ClasseP1 h ≤ 6m	Classe P2 6m < h ≤ 12m	Classe P3 12m < h ≤ 23m	Classe P4 23m < h ≤ 30m	Classe P5 30m < h ≤ 54m	h > 54m
J	Depósitos	J-1	60	30	30	30	30	30	60	CT
		J-2	90	60 (30)	30	30	30	30	60	CT
		J-3	90	60 (30)	30	60	60	120 (90)	120	CT
		J-4	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120	CT
L	Explosivos	L-1, L-2 e L-3	120	120	120	CT	CT			
M	Especial	M-1	150	150	15	CT				
		M-2	CT							
		M-3	120	90	90	90	120	CT		

Fonte: IT 06 CBMMG, 2005.

Notas da Tabela 7:

1. CT = Consultar Corpo Técnico junto ao Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.
2. Os tempos entre parênteses podem ser usados em subsolos nos quais a área bruta de cada pavimento seja menor ou igual a 500m² e em edificações nas quais cada pavimento acima do solo tenha área menor ou igual a 750m², desde que haja compartimentação vertical entre os pavimentos.
3. O TRRF dos subsolos não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo.
4. Para edificações com altura entre 54m e 80m, poderão ser exigidos os mesmos TRRF das edificações de classe P5.

6.2.MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE (REDUTOR DE TRRF)

O autor Silva (2016) explica que os valores de TRRF podem ser reduzidos em até 30 minutos nas edificações com características favoráveis à segurança contra incêndio.

Na Instrução Técnica n. 8º/2011, ABNT NBR 15200:2012 e ABNT NBR 14323:2012, a metodologia realizada para reduzir o TRRF é denominada “método do tempo equivalente”. O método do tempo equivalente (MTE) apresentado nas normativas brasileiras e nas ITs não é o MTE original detalhado no Eurocode 1 (2002), mas apenas um redutor de até 30 minutos do TRRF tabelado (SILVA, 2016). No trabalho de Almeida (2018), é citado que como a Instrução Técnica n. 8º/2011 do CBPMESP, a IT 06 (2005) do CBMMG também apresenta o mesmo procedimento para a redução do TRRF pelo método do tempo equivalente (MTE).

Ainda sobre a IT 06 (2005), consoante Almeida (2018), para as edificações com altura menor que 6 metros, admite-se o uso do método do tempo equivalente em substituição ao TRRF estabelecido na Tabela 7. Mas, sobre as edificações com altura superior a 6 metros, admite-se o uso do MTE, entretanto, fica limitada a redução de 30 minutos dos valores do TRRF constantes da Tabela 7. Em ambos os casos, ressalta-se que os TRRF resultantes dos cálculos não poderão ter valores inferiores a 30 minutos.

A IT 06 (2005) esclarece que este método não pode ser empregado para edificações dos grupos L (explosivos), M1 (túneis), M2 (parque de tanques), M3 (centrais de comunicação e energia) e edificações de madeira (ALMEIDA, 2018). A IT 06 (2005) apresenta uma fórmula para determinar o tempo equivalente de resistência ao fogo dos elementos estruturais.

A ABNT NBR 15200:2012 apresenta a fórmula para determinar o tempo equivalente de resistência ao fogo dos elementos estruturais. No caso de estruturas de concreto armado, o tempo equivalente é calculado pela Equação 17.

$$t_{eq} = 0,07 \cdot q_{fi} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot W \quad (17)$$

Em que:

t_{eq} é o tempo equivalente (em minutos).

q_{fi} é o valor da carga de incêndio específica do compartimento analisado, em MJ/m². Esse valor pode ser encontrado na ABNT NBR 14432:2001 ou em Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros (no caso de Minas Gerais, é a IT 09 (2020), mostrada no Anexo A).

$\gamma_n = \gamma_{n1} \gamma_{n2} \gamma_{n3}$ é o fator de ponderação que considera a presença de medidas de proteção ativa da edificação, determinado conforme Tabela 8. Na ausência de algum meio de proteção indicado nesta tabela, deve ser adotado o respectivo γ_{ni} igual a 1,0.

Tabela 8– Fatores das medidas de segurança contra incêndio.

Valores de γ_{n1} γ_{n2} γ_{n3}			
Existência de chuveiros automáticos (γ_{n1})	Brigada contra incêndio (γ_{n2})		Existência de detecção automática (γ_{n3})
0,60	Não profissional	Profissional	0,90
	0,90	0,60	

Fonte: IT 06, 2005.

$\gamma_s = \gamma_{s1} \gamma_{s2}$ é o coeficiente de segurança que depende do risco de incêndio e das consequências de colapso da edificação, determinado de acordo com as Tabelas 9 e 10.

Tabela 9– Característica da edificação (γ_{s1}).

Área do compartimento (m ²)	Altura da edificação (m) -						
	Térrea	$h \leq 6$	$6 \leq h \leq 12$	$12 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 30$	$30 \leq h \leq 80$	$h > 80$
≤ 750	1,00	1,00	1,10	1,20	1,25	1,45	1,60
≤ 1000	1,05	1,1	1,15	1,25	1,35	1,65	1,85
≤ 2500	1,10	1,25	1,40	1,70	1,85	2,60	3,00
≤ 5000	1,15	1,45	1,75	2,35	2,65	3,00	3,00
≤ 7500	1,25	1,70	2,15	3,00	3,00	3,00	3,00
≤ 10000	1,30	1,90	2,50	3,00	3,00	3,00	3,00
≤ 20000	1,60	2,80	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
≥ 65000	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00

Fonte: IT 06, 2005.

Tabela 10– Risco de ativação (γ_{s2}).

Valores de γ_{s2}	Risco de ativação do incêndio	Exemplos de ocupação
0,85	Pequena	Biblioteca, correio, escola, galeria de arte, igreja, museu, livraria, frigorífico, escritório, venda de acessórios de automóveis, depósitos em geral.
1,00	Normal	Cinema, consultório médico, farmácia, hotel, hospital, laboratório fotográfico, indústria de papel, oficina elétrica ou mecânica, residência, restaurante, teatro, depósitos de: produtos farmacêuticos, bebidas alcoólicas.
1,20	Média	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica.

1,45	Alta	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis.
------	------	--

Fonte: IT 06, 2005.

W é o fator que considera a influência da ventilação e da altura do compartimento, conforme Equação 18. Nesta fórmula, H é a altura do compartimento (metros), A_v é área de ventilação vertical das janelas, A_h é área de ventilação horizontal do piso e A_f é a área de piso do compartimento.

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \left\{ 0,62 + 90 \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f} \right)^4 \right\} \geq 0,5 \quad (18)$$

7. DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Para realizar o dimensionamento dos elementos estruturais deve-se passar por todas as fases necessárias. Após estudar as propriedades do material, também é preciso estudar a composição do sistema construtivo e determinar a resistência dos elementos estruturais à situação do incêndio. Por meio de diversas normativas - como a ABNT NBR 15200 de 04/2012 e a ABNT NBR 14432 de 11/2001 - pode-se discriminar as resistências pelas metodologias empíricas.

7.1.DIMENSIONAMENTO DE LAJES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Conforme Silva (2016) informa, as informações apresentadas neste tópico são válidas para estruturas de concreto com $f_{ck} \leq 50$ MPa e submetidas ao incêndio-padrão.

7.1.1. MÉTODO TABULAR DA NBR 15200: 2012

A partir da década de 1970 devido às tragédias devido a incêndio em edifícios altos - Edifícios Joelma e Andraus - iniciou-se uma grande pesquisa em torno da necessidade de se ter diretrizes no que se refere ao dimensionamento de peças estruturais em situação de incêndio (SILVA, 2022).

Em 1980, foi apresentada a primeira norma relativa ao estudo de segurança estrutural de edifícios em concreto armado submetidos a incêndio, a ABNT 5627:1980 - “Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo”, que sugeria os valores mínimos de seção transversal e cobrimento das armaduras dos elementos estruturais. Devido aos valores de cobrimentos que a norma exigia serem exageradamente altos, a norma foi cancelada no ano de 2001.

Em 2001, surgiu a ABNT NBR 14432:2001 - “Exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento”, que estabeleceu que estudou as diretrizes de resistência para qualquer estrutura, independentemente do material utilizado. Três anos depois, em 2004, foi apresentada a ABNT NBR 15200:2004 - “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio”, que se inspirou na Eurocode 2: parte 1-2 (1992), onde estão presentes as diretrizes para o dimensionamento de elementos estruturais em concreto armado. No ano de 2012, a ABNT apresentou a primeira revisão da NBR 15200, que corrigiu alguns valores para cobrimento considerados antieconômicos devido ao grande fator de segurança agregado (SILVA, 2022).

Das 4 metodologias de dimensionamento apresentadas pela norma (Método Tabular, Simplificado, Geral e Experimental), somente o método tabular apresenta as diretrizes para o dimensionamento de lajes de concreto armado em situação de incêndio. O Método Tabular da ABNT NBR 15200:2012 apresenta diversas tabelas que realizam a especificação das espessuras mínimas de lajes e capas de lajes nervuradas aquecidas na face inferior, além do parâmetro c_l (distância entre a face atingida e o eixo da barra transversal), todos em função do TRRF calculado (SILVA, 2022).

Levando em consideração os elementos protendidos (lajes protendidas), aconselha-se adicionar à dimensão de c_l , 10 mm para lajes com barras e 15 mm com fios e cordoalhas. As tabelas indicam valores mínimos de espessura de laje (h) caso haja necessidade de compartimentação de ambientes, mas caso contrário pode-se utilizar a espessura obtida através dos cálculos presentes na ABNT NBR 6118:2014. Ressalta-se que se desconsidera o efeito do vento no edifício em situação de incêndio pela norma, conforme indica a ABNT NBR 8681:2003 e a ABNT NBR 15200:2012 (SILVA, 2017; SILVA, 2022).

A ABNT NBR 15200:2012 aduz que a espessura dos revestimentos aplicados não pode ser considerada no cálculo das seções transversais dos elementos estruturais, porém essa espessura pode ser utilizada para o cálculo do parâmetro c_l com a majoração a seguir, em função dos traços desses revestimentos:

- Revestimentos aderentes compostos com argamassa de cal e areia possuem 67% de eficiência em relação ao concreto;
- Revestimentos de argamassa de cimento e areia aderentes possuem 100% de eficiência em relação ao concreto;
- Revestimentos compostos de gesso, vermiculita ou fibras de desempenho equivalente podem ser utilizados, conforme comprovação experimental de sua eficiência e aderência em situação de incêndio.

A ABNT NBR 15200 considera lajes armadas em duas direções todas aquelas lajes que estão apoiadas em seus quatro bordos, caso contrário, deve-se considerar como laje armada em uma direção. As Tabelas 11 e 12, a seguir, apresentam os valores de h e c_l para lajes simplesmente apoiadas e contínuas, em função do TRRF:

Tabela 11- Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas (ABNT 15200:2012)

TRRF min	h^a mm	c_1 mm		
		Laje armada em duas direções ^b		Laje armada em uma direção $\ell_y/\ell_x > 2$
		$\ell_y / \ell_x \leq 1,5$	$1,5 < \ell_y / \ell_x \leq 2$	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40
180	150	30	40	55
^a Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo. ^b Lajes apoiadas nas quatro bordas; caso contrário, a laje deve ser considerada armada em uma direção. ^c Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.				

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012.

Tabela 12- Dimensões mínimas para lajes contínuas (ABNT 15200:2012)

TRRF min	h^a mm	c_1^b mm
30	60	10
60	80	10
90	100	15
120	120	20
180	150	30
^a Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo. ^b Válido para lajes armadas em uma ou duas direções. ^c Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.		

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012.

As Tabelas 13, 14 e 15, a seguir, apresentam as mesmas dimensões mínimas apresentadas anteriormente para lajes lisas ou cogumelo, lajes nervuradas simplesmente apoiadas e lajes nervuradas contínuas em pelo menos uma das bordas, respectivamente.

Tabela 13- Dimensões mínimas para lajes lisas ou cogumelo (ABNT 15200:2012)

TRRF min	h mm	c_1 mm
30	150	10
60	180	15
90	200	25
120	200	35
180	200	45
^a Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.		

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012.

Tabela 14- Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas (ABNT 15200:2012)

TRRF min	Nervuras Combinações de $b_{\min}/c_1$ a mm/mm			Capa ^b h/c_1 mm/mm
	1	2	3	
30	80/15			60/10
60	100/35	120/25	190/15	80/10
90	120/45	160/40	250/30	100/15
120	160/60	190/55	300/40	120/20
180	220/75	260/70	410/60	150/30
^a $b_{\min}$ corresponde à largura mínima da nervura ao nível do centro geométrico das armaduras. ^b h é a altura mínima da laje para garantir a função corta-fogo. ^c Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.				

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012.

Tabela 15- Dimensões mínimas para lajes contínuas em pelo menos uma das bordas (ABNT 15200:2012)

TRRF min	Nervuras Combinações de $b_{\min}/c_1$ ^a mm/mm			Capa ^b h/c_1 mm/mm
	1	2	3	
30	80/10			60/10
60	100/25	120/15	190/10	80/10
90	120/35	160/25	250/15	100/15
120	160/45	190/40	300/30	120/20
180	310/60	600/50		150/30
^a $b_{\min}$ corresponde à largura mínima da nervura ao nível do centro geométrico das armaduras. ^b h é a altura mínima da laje para garantir a função corta-fogo. ^c Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.				

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012.

Excepcionalmente para as duas últimas tabelas apresentadas, é necessário considerar que elas estejam armadas nas duas direções, caso contrário, a Tabela 16 apresentará as dimensões mínimas para lajes nervuradas em apenas uma direção, essas dimensões referem-se às dimensões mínimas das nervuras, para as dimensões da capa é necessário utilizar a Tabela 11.

Tabela 16- Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma só direção (ABNT 15200:2012)

TRRF min	Nervuras Combinações de $b_{\min}/c_1$ mm/mm	
	1	2
30	80/25	100/20
60	100/45	120/40
90	130/60	150/50
120	160/65	220/50
180	220/80	
^a Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.		

Fonte: ABNT NBR 15200, 2012.

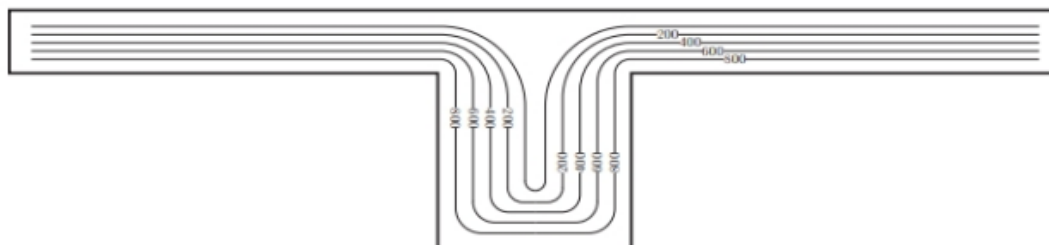
8. DIMENSIONAMENTO DE VIGAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Conforme Silva (2016) informa, as informações apresentadas neste tópico são válidas para estruturas de concreto com $f_{ck} \leq 50$ MPa e submetidas ao incêndio-padrão.

8.1.MÉTODO TABULAR DA NBR 15200: 2012

Assim como Silva (2016) explica, a distribuição de temperaturas no concreto não é uniforme, então é representada por meio de isoterma (Figura 27), que podem ser determinadas por meio de programas de análise térmica.

Figura 27- Ilustração das isotermas em um elemento de concreto



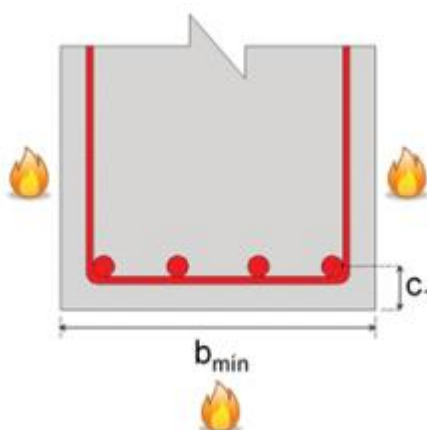
Fonte: Silva (2016).

A ABNT NBR 15200:2012 informa que os ensaios mostram que, em situação de incêndio, as peças de concreto rompem usualmente por flexão ou flexocompressão e não por cisalhamento, então para o dimensionamento das mesmas considera-se apenas a armadura longitudinal no método tabular (SILVA, 2016).

A ABNT NBR 15200:2012 informa que no método tabular é preciso apenas atender às dimensões mínimas apresentadas nas tabelas, em função do tipo de elemento estrutural e do TRRF, respeitando-se as limitações indicadas. Acrescenta-se também que nessas tabelas não são considerados eventuais efeitos de spalling (lascamentos) ou restrições à deformação térmica. A segurança estrutural das vigas de concreto armado será verificada, quando se limita a temperatura das barras de aço em 500 °C, conforme explica a Eurocode 2 (2004) (SILVA, 2016).

No dimensionamento de vigas em situação de incêndio deve-se, a princípio, estar de acordo com a normativa ABNT NBR 6118:2014. e em temperatura ambiente deve-se também, atender à largura mínima ($b_{\min}$). Já a distância mínima entre o eixo da armadura longitudinal inferior e a face do concreto exposta ao fogo (c_1), de acordo com o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) já pré-estabelecido, deverá atender aos valores estipulados na Figura 28:

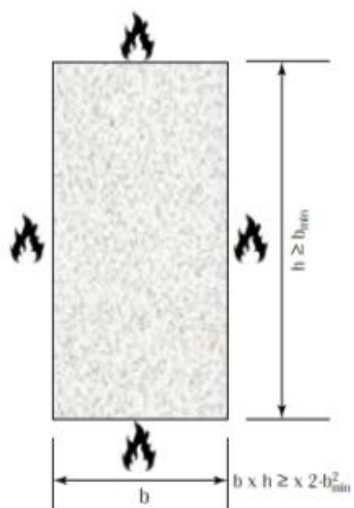
Figura 28 – Dimensões mínimas da viga



Fonte: Albuquerque (2013).

A Tabela 17 e a Tabela 18 abaixo, são pertencentes à ABNT NBR 15200:2012, e mostram as armaduras inferiores considerando o caso de a viga ser aquecida nos três lados, sob uma laje. Se forem vigas aquecidas dos quatro lados, pode ser considerado o mesmo valor, desde que a sua altura não seja inferior ao $b_{\min}$ e a área da seção transversal da viga não seja inferior a $2 \times (b_{\min})^2$. Em outras palavras, respeitados esses limites, não há necessidade de limitar-se o c_1 em armaduras negativas (SILVA, 2016).

Figura 29– Dimensões mínimas para dispensar a verificação de c_1 das armaduras superiores.



Fonte: Silva (2016).

Tabela 17– Dimensões mínimas para vigas biapoiadas em situação de incêndio

TRRF min	Combinações de $b_{\min}/c_1$ mm/mm				$b_{w\min}$ mm
	1	2	3	4	
30	80/25	120/20	160/15	190/15	80
60	120/40	160/35	190/30	300/25	100
90	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140
^a Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescentando-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.					

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Tabela 18– Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos em situação de incêndio

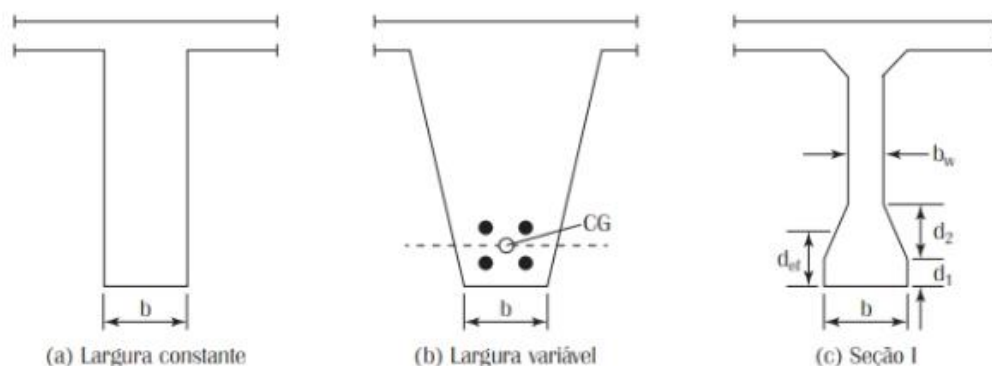
TRRF min	Combinações de $b_{\min}/c_1$ mm/mm				$b_{w\min}$ mm
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	–	–	80
60	120/25	190/12	–	–	100
90	140/37	250/25	–	–	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

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

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

As tabelas acima foram construídas em casos de seções transversais retangulares, porém se for o caso das vigas com a largura variável, como elementos pré-moldados, o $b_{\min}$ é definido a partir do nível do centro geométrico (CG) das armaduras, como mostrado na Figura 30, a seguir:

Figura 30– Definição das dimensões para diferentes tipos de seção transversal de vigas



Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

A definição do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo - TRRF -, são utilizadas tabelas que levam em consideração a função do tipo de ocupação, a altura da edificação e presença do subsolo. De acordo com a IT 06 – Segurança Estrutural das Edificações (2005), é possível determinar o TRRF em função do uso da edificação e categoria, conforme a Tabela 7. Para determinar a categoria do edifício é utilizada a Tabela 6, que se baseia na classificação e área de risco. Existem, também, alguns edifícios que são isentos de TRRF, determinado também pela IT 06 (2005), porém deve-se ter a necessidade de que a edificação atenda a todos os requisitos citados pela IT, em relação às proteções passiva e ativa dos elementos estruturais.

9. DIMENSIONAMENTO DE PILARES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Conforme Silva (2016), com base na ABNT NBR 15200:2012, as informações contidas neste capítulo são válidas para estruturas de concreto com $f_{ck} \leq 50$ MPa e submetidas ao incêndio-padrão. Os métodos explorados nas Seções 9.1 e 9.2 são adequados às estruturas de nós fixos, mas, poderão ser empregados nos casos de estruturas em que os deslocamentos não lineares ou de segunda ordem, decorrentes do desaprumo, puderem ser desconsiderados em situação de incêndio. Ressalta-se também que em qualquer caso, os efeitos globais de segunda ordem à temperatura ambiente não poderão ultrapassar 30% dos respectivos esforços de primeira ordem (por exemplo, $\gamma_z \leq 1,3$).

9.1.MÉTODO ANALÍTICO PARA A DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES SEGUNDO A NBR 15200: 2012

Sobre os casos de pilares de concreto armado com mais de uma face exposta ao fogo, é indicada a utilização do método analítico para o cálculo do Tempo de Resistência ao Fogo (TRF), cujo valor deve ser igual ou superior ao TRRF, conforme a ABNT NBR 15200:2012.

O tempo de resistência ao fogo de um pilar pode ser determinado por meio da Equação 19.

$$TRF = 120 \times \left(\frac{R_{\mu} + R_{\alpha} + R_L + R_b + R_{\eta}}{120} \right)^{1,8} \quad (19)$$

onde:

$$\begin{aligned} R_{\mu} &= 83[1 - \mu_{fi}] \\ R_{\alpha} &= 1,60 (c_1 - 30), c_1 \text{ em mm} \\ R_L &= 9,60 (5 - l_{ef,fi}) \\ R_b &= 0,09 b' \text{ para } 190 \text{ mm} \leq b' \leq 450 \text{ mm} \\ R_b &= 40,5 \text{ para } b' > 450 \\ R_{\eta} &= 0 \text{ para } \eta = 4, \text{ sendo } \eta \text{ o número de barras longitudinais} \\ R_{\eta} &= 12 \text{ para } \eta > 4 \end{aligned}$$

sendo:

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Sd,fi}}{N_{Rd}}$$

$N_{Sd,fi}$ é o valor de cálculo da força axial em situação de incêndio;

N_{Rd} é o valor de cálculo da força normal resistente do pilar calculado de acordo com ABNT NBR 6118 com γ_m à temperatura ambiente, incluindo os efeitos da não linearidade geométrica (2ª ordem) e desconsiderados os efeitos das forças decorrentes do vento;

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

$l_{ef,fi}$ é o comprimento equivalente do pilar em situação de incêndio, em metro, e poderá sempre ser considerado igual ao da situação normal, l_{ef} , conforme Seção 15.6 da ABNT NBR 6118:2007.

Mas, no que se refere aos pilares dos andares intermediários de edifícios de múltiplos pavimentos compartimentados verticalmente e com os efeitos globais de segunda ordem à temperatura ambiente inferiores ou iguais a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem (por exemplo, $\gamma_z \leq 1,1$), pode ser assumido que $l_{ef,fi} = 0,5l_{ef}$ e para o pavimento mais alto que $l_{ef,fi} = 0,7l_{ef}$ conforme ilustrado na Figura 28. Para situações em que os efeitos globais de segunda ordem à temperatura ambiente são superiores a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem (por exemplo, $\gamma_z > 1,1$), o $l_{ef,fi}$ poderá ser determinado por análise estrutural específica (SILVA, 2016).

- $b' = 2 A_c / (b + h)$ para $h \leq 1,5 b$
- $b' = 1,2 b$ para $h > 1,5 b$

A_c é a área da seção transversal do pilar em milímetro quadrado;

b é a menor dimensão da seção transversal do pilar em milímetro;

h é a maior dimensão da seção transversal do pilar em milímetro.

Para o uso da Equação 19, as seguintes limitações devem ser respeitadas:

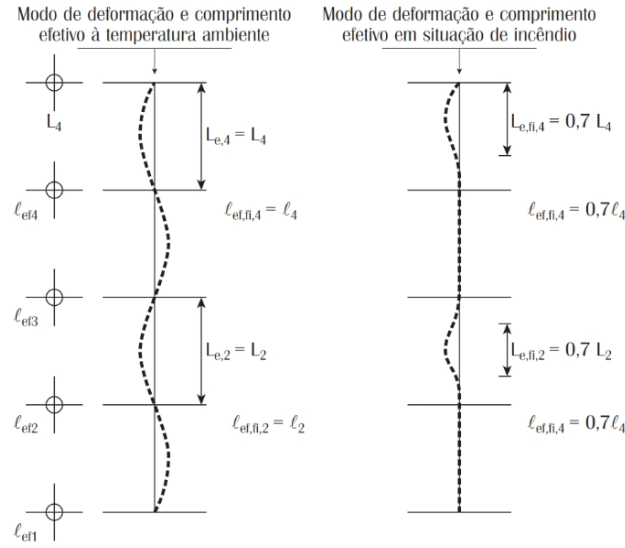
- $A_s/A_c \leq 0,04$
- $25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm}$
- $b' \geq 190 \text{ mm}$
- $e \leq 0,15 b$
- $l_{ef,fi} \leq 6 \text{ m}$

Onde

A_s é a área total das armaduras;

“e” é a excentricidade de primeira ordem da força normal atuante em situação de incêndio, que pode ser assumida igual à excentricidade de primeira ordem da força normal atuante à temperatura ambiente, desconsiderado o efeito das forças decorrentes do vento.

Figura 31 – l_{ef} de pilares em estruturas com $\gamma_z \leq 1,1$.



Fonte: Silva (2016).

9.1.1. MÉTODO “A” - EUROCODE 2

A Tabela 19 é uma adaptação do método “A” do Eurocode 2: parte 1-2 (2004), para o projeto de pilares contraventados, os quais se limitam pelas características (COSTA, 2008):

- Distância entre o CG da armadura e a face próxima exposta ao calor: $25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm}$;
- Comprimento de efetivo em situação de incêndio: $l_{ef,fi} < 3 \text{ m}$;
- Índice de esbeltez em situação de incêndio: $\lambda_{fi} = \frac{l_{ef,fi}}{i} \leq 30$, i = raio de giração da seção;
- Excentricidade de 1º ordem em situação de incêndio: $e_{1,fi} = \frac{M_{sd,fi}}{N_{sd,fi}} \leq e_{máx}$ onde $0,15 \cdot b \leq e_{máx} \leq 0,4 \cdot b$; o Eurocode 2: parte 1-2 (2004) recomenda a excentricidade máxima $e_{máx} = 0,15 \cdot b$, sendo “b” a menor dimensão do pilar.

O autor Costa (2008) explica que os limites de dimensões, comprimento efetivo e excentricidades são definidos pelas características dos 80 pilares testados em um programa experimental desenvolvido por cinco laboratórios (Tabela 19);

Tabela 19– Laboratórios responsáveis pelos ensaios dos pilares empregados na calibração do método “A” da Eurocode 2: parte 1-2 (2004)

Laboratório	País	Quantidade de corpos-de-prova
Laboratório de Segurança Contra Incêndio da Universidade de Ghent	Bélgica	12
Laboratório Magnel de Pesquisas de Concreto da Universidade de Ghent	Bélgica	
Laboratório de pontes e Engenharia Estrutural da Universidade de Liège	Bélgica	8
Laboratório da Universidade Técnica de Braunschweig	Alemanha	39
National Research Council of Canada (NRCC)	Canadá	21
<i>total:</i>		<i>80</i>

Fonte: COSTA (2008).

Conforme Costa (2006), as características geométricas dos corpos-de-prova que foram utilizados na construção do modelo de cálculo são justificadas pelas limitações das dimensões, pela taxa de armadura (Eq. 20) e pela excentricidade em uma direção da seção, para garantir a fidedignidade do método “A”.

$$\rho = \frac{As}{Ac} < 4\% \quad (20)$$

onde:

ρ = taxa de armadura.

A excentricidade de 1ª ordem em situação de incêndio também pode ser considerada igual àquela na situação normal (Eq. 21), caso o ponto de aplicação do esforço atuante seja o mesmo.

$$e_{1,fi} = e_1 = \frac{M_{1d}}{N_{sd}} \quad (21)$$

onde:

$e_{1,fi}$ = excentricidade de 1ª ordem em situação de incêndio [m];

e_1 = excentricidade de 1ª ordem na situação normal [m];

N_{sd} = valor de cálculo do esforço normal solicitante na situação normal [kN];

M_{1d} = valor de cálculo momento total de 1ª ordem na situação normal [kN.m].

O método “A” do Eurocode 2: parte 1-2 (2004) é um método empírico, o qual foi obtido por meio de análises numéricas auxiliadas pelo programa SAFIR®53, que forneceu como resultado primário uma formulação simples e prática (Eq. 22), onde a resistência à ação axial incluindo os efeitos de 2ª ordem ($R_{\eta fi}$), o comprimento de esbeltez (R_l), a menor dimensão da seção (R_b), a quantidade de barras de aço (R_n) e a suas posições dentro da seção de concreto (R_a), são particularizados. Tal método foi formulado nas propostas de Franssen (2000), apresentadas no SiF’2000 – First International Workshop Structures in Fire⁵⁴. Nos Laboratórios da Universidade de Ghent (Laboratório de Segurança Contra Incêndio e Laboratório Magnel de Pesquisas de Concreto) foi realizado uma análise experimental paramétrica para se realizar a avaliação da influência do nível de

carregamento, da resistência característica do concreto e da taxa mecânica de armadura sobre a resistência de pilares de concreto submetidos ao incêndio-padrão ISO 834:1975 (COSTA, 2008).

A esbeltez é considerada diretamente, na componente R_l (Eq. 22) e, indiretamente, na componente $R_{\eta fi}$, uma vez que os efeitos de 2ª ordem são levados em conta no valor de cálculo do carregamento axial resistente à temperatura ambiente, usado na determinação de “ ηfi ” presente nesta componente.

$$R_f = 120 \left(\frac{R_{\eta fi} + R_l + R_a + R_b + R_n}{120} \right)^{1,8} \quad (22)$$

onde:

R_f = resistência ao fogo do pilar de concreto [min];

$R_{\eta fi}$ = componente da resistência ao fogo dependente do nível de carregamento [min] (Eq. 23);

R_l = componente da resistência ao fogo dependente do comprimento efetivo [min] (Eq. 25);

R_a = componente da resistência ao fogo dependente da localização das barras dentro da seção de concreto [min] (eq. 26);

R_b = componente da resistência ao fogo dependente da largura efetiva da seção [min] (eq. 27);

R_n = componente da resistência ao fogo dependente da quantidade de barras [min] (eq. 28).

Vale frisar que o desempenho do pilar aquecido foi afetado pelo diâmetro, pela qualidade das barras de aço e pela esbeltez: pilares com armaduras de diâmetro $\varnothing \geq 25 \text{ mm}$ obtiveram lascamentos mais significativos e resistência menor do que os pilares de mesma taxa mecânica de armadura de diâmetro $\varnothing = 16 \text{ mm}$ (COSTA, 2008 *apud* ALDEA et al., 1997; FRANSSEN, 2000). O autor Franssen (2000) comenta em seu trabalho que a esbeltez e o nível de carregamento dos pilares também contribuem na resistência, mas não eram considerados no método tabular da ENV 1992-1-2:1995.

De acordo com Almeida (2018), a componente da resistência ao fogo dependente do nível do carregamento é denominada

$R_{\eta fi}$ - ao contrário de R_{μ} , conforme é também na norma brasileira -, e é calculada conforme a Equação 22.

$$R_{\eta fi} = 83 \left[1 - \eta fi \left(\frac{1 + \omega}{\frac{0,85}{\alpha_{cc}} + \omega} \right) \right] \quad (23)$$

Em que:

ηfi é o fator de redução para o nível de carregamento em situação de incêndio, sendo calculado da mesma forma que o fator μ_{fi} apresentado na Equação 19;

ω é a taxa mecânica para a situação normal de projeto (Equação 24);

α_{cc} é o coeficiente relacionado aos efeitos do carregamento de longa duração.

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \quad (24)$$

Em que:

A_s é a soma da área da seção transversal de todas as armaduras principais, em metros quadrados;

A_c é a área da seção transversal de concreto, em metros quadrados;

f_{cd} é o valor de cálculo da resistência à compressão do concreto, em MPa;

f_{yd} é o valor de cálculo da resistência à tração do aço, em MPa.

$$R_l = 9,6(5 - l_{e,fi}) \quad (25)$$

onde:

$l_{e,fi}$ = comprimento efetivo do pilar em situação de incêndio [m]. O comprimento efetivo do pilar é o comprimento correspondente a cada modo de flambagem,

$$R_a = 1,6(c_1 - 30) \quad (26)$$

$$25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm}$$

onde:

c_1 = distância entre o CG da armadura principal e a face exposta ao calor mais próxima [mm].

$$R_b = 0,09 \cdot b' \quad (27)$$

$$b' = \begin{cases} \frac{2 \cdot b \cdot h}{b + h}, \frac{h}{b} \leq 1,5 \rightarrow \text{para a seção transversal retangular} \\ \emptyset \rightarrow \text{para a seção transversal circular} \end{cases}$$

$$200 \text{ mm} \leq b' \leq 450 \text{ mm}$$

onde:

b' = largura efetiva da seção-transversal [mm];

b = largura da seção transversal retangular [mm];

h = altura da seção transversal retangular [mm];

$\emptyset$ = diâmetro da seção transversal circular [mm].

$$R_n = \begin{cases} 0, & \text{para } n = 4 \\ 12, & \text{para } n > 4 \end{cases} \quad (28)$$

onde:

n = quantidade de barras de aço da armadura principal na seção transversal do pilar.

Para o uso da Equação 22 as seguintes limitações devem ser respeitadas:

- $\frac{A_s}{A_c} \leq 0,04$
- $25mm \leq c_1 \leq 80mm$
- $b' \geq 190mm$
- $e \leq 0,15b$
- $l_{e,fi} \leq 6m$

Em que:

A_s é a área total das armaduras;

" e " é a excentricidade de primeira ordem da força normal atuante em situação de incêndio, que pode ser assumida igual à excentricidade de primeira ordem da força normal atuante à temperatura ambiente, desconsiderando o efeito das forças decorrentes do vento.

Conforme observa Almeida (2018), o que diferencia a componente R_μ do método da ABNT NBR 15200:2012 da componente $R_{\eta fi}$ do método "A" do Eurocode 2: parte 1-2 (2004) é o fator $(\frac{1+\omega}{\frac{0,85}{\alpha_{cc}}+\omega})$. Costa (2008) explica que este componente foi adicionado durante o processo de revisão da norma EN 1992-1-1:2004, como fator de ajuste do fator de redução para o nível de carregamento (ηfi), quando os efeitos do carregamento de longa duração (α_{cc}) são considerados no cálculo da resistência do concreto.

Costa (2008) explica que para a construção do modelo, assumiu-se $\alpha_{cc} = 0,85$ para o cálculo da capacidade resistente em situação normal N_{Rd} e do fator " ηfi "; mas, a EN 1992-1-1:2004 permite usar $\alpha_{cc} = 1$ para o projeto de elementos de concreto à temperatura ambiente, o que ocasiona um fator " ηfi " menor e, assim, uma resistência ao fogo virtualmente maior do que aquela calculada para $\alpha_{cc} = 0,85$.

No que se diz respeito aos pilares curtos de carregamento concêntrico, Costa (2008) informa que o valor de cálculo da capacidade resistente é calculado pela Eq. (29). A correção do valor de cálculo do esforço resistente usando dois coeficientes $\alpha_{cc} = 0,85$ e qualquer $\alpha_{cc} \neq 0,85$ para o efeito de carregamento de longa duração, é feita pela relação entre as Eqs. (29) e (30).

$$N_{Rd} = f_{yd} \cdot A_s + \alpha_{cc} \cdot f_{cd} \cdot A_c \quad (29)$$

onde: $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$.

$$N_{Rd,A} = f_{yd} \cdot A_s + 0,85 \cdot f_{cd} \cdot A_c \quad (30)$$

onde:

$N_{Rd,A}$ = valor de cálculo da capacidade resistente à temperatura ambiente de pilares de concreto armado usados no método “A”.

Almeida (2018) comenta em seu trabalho que a componente de resistência ao fogo dependente do comprimento efetivo (R_l), o Eurocode 2: parte 1-2 (2004) faz a recomendação que para as estruturas contraventadas de edifícios com TRRF ≥ 30 minutos, $l_{ef,fi} = 0,5.l$ para pilares de pavimentos intermediários e $0,5.l \leq l_{ef,fi} \leq 0,7.l$ para pilares de pavimentos de cobertura, onde “ l ” é o comprimento nominal do pilar, isto é, a distância entre os eixos dos elementos estruturais aos quais o pilar está vinculado. A Eurocode 2: parte 1-2 (2004) realiza também a limitação do comprimento $l_{ef,fi}$ em 3 metros para ter a possibilidade de aplicação do Método “A”.

No que concerne sobre a componente da resistência ao fogo dependente da largura efetiva da seção (R_b), o autor Almeida (2018) também cita que a Eurocode 2: parte 1-2 (2004) não menciona como calcular R_b caso b' seja maior que 450 mm, nem como calcular b' se $h > 1,5b$. Enfatizou-se também que a norma brasileira NBR ABNT 15200: 2012 limita b' em 190 mm, enquanto o Método “A” limita b' em 200 mm.

Costa (2008) expõe que a eficiência de qualquer método de cálculo depende do teor de umidade livre, da natureza dos agregados, da permeabilidade do concreto e da taxa de aquecimento, com a finalidade de se evitar a ação prematura do spalling. Para garantir a eficiência do método “A”, segundo Costa (2008), o Eurocode 2: parte 1-2 (2004) limita a umidade livre do concreto a 3% em peso e faz a recomendação do uso de uma armadura intermediária sem função estrutural, na periferia da seção, situada no meio do cobrimento, quando $c_1 \geq 70$ mm (distância entre o eixo da armadura principal e a superfície mais próxima).

9.2.MÉTODO TABULAR PARA A DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RESISTÊNCIA AO FOGO DE PILARES SEGUNDO A NBR 15200: 2012

Consoante exposto por Almeida (2018), a ABNT NBR 15200:2012 e a Eurocode 2: parte 1-2 (2004) apresentam o Método Tabular Geral para realizar o dimensionamento de pilares de concreto armado em situação de incêndio, por meio das Tabela 21 a Tabela 29. Tais tabelas fazem associação das dimensões e do índice de esbeltez ao TRRF, para uma extensa faixa de taxa de armadura mecânica e excentricidades de primeira ordem.

O método tabular é chamado de Método “B” pelo Eurocode 2: parte 1-2 (2004), e foi desenvolvido pelo engenheiro espanhol José Maria Izquierdo. Em 2003, Izquierdo utilizou o método do pilar-padrão “clássico”, isto é, sem correção, acoplado ao diagrama momento-normal-curvatura ($M \times N \times 1/r$) na análise da estabilidade de pilares isolados para construir as tabelas do método. Assim, as tabelas são aplicações do método de cálculo do pilar-padrão, considerando-se o aquecimento padronizado ISO 834:1975 em todas as faces dos pilares, os efeitos da temperatura elevada sobre a resistência e as relações tensão x deformação dos materiais, na construção do

diagrama momento-normal-curvatura ($M \times N \times 1/r$). Os efeitos de segunda ordem são estimados por meio de curvatura aproximada (COSTA, 2008).

Os parâmetros que compõem as tabelas são:

- Taxa mecânica de armadura (ω), definida na Equação 24 da seção 9.1.1 - MÉTODO “A” - EUROCODE 2.
- Excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio (e), definido na Equação 31, que foi apresentado na seção 9.1.1. O máximo valor de “ e ” para uso nas tabelas é denominado $e_{máx}$.

$$e = \frac{M_{0Sd,fi}}{N_{0Sd,fi}} = \frac{M_{0Sd}}{N_{0Sd}} \quad (31)$$

Em que:

$M_{0Sd,fi}$ é o valor de cálculo do momento fletor de 1ª ordem em situação de incêndio, que pode ser assumido igual a 70% de M_{0Sd} , em que M_{0Sd} é o valor de cálculo do momento fletor de 1ª ordem à temperatura ambiente, desconsiderado os efeitos das forças decorrentes do vento;

$N_{0Sd,fi}$ é o valor de cálculo do esforço normal de compressão de 1ª ordem em situação de incêndio, que pode ser assumido igual a 70% de N_{0Sd} , em que N_{0Sd} é o valor de cálculo do esforço normal de compressão de 1ª ordem à temperatura ambiente, desconsiderado os efeitos das forças decorrentes do vento.

- Parâmetro v_{fi} , calculado conforme a Equação 32.
- Esbeltez em situação de incêndio (λ_{fi}), calculado conforme a Equação 33.
- Distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo (c_1). Neste cálculo, é permitida a consideração do revestimento conforme prescrições dispostas na ABNT NBR 15200:2012.
- Mínima dimensão da seção transversal do pilar (retangular ou circular), expressa em milímetros (b_{min}).

$$v_{fi} = \frac{N_{0Sd,fi}}{0,7(f_{cd} \cdot A_c + f_{yd} \cdot A_s)} \quad (32)$$

Em que:

$N_{0Sd,fi}$ é o valor de cálculo do esforço normal de compressão de 1ª ordem em situação de incêndio, que pode ser assumido igual a 70% de N_{0Sd} , onde N_{0Sd} é o valor de cálculo do esforço normal de compressão de 1ª ordem à temperatura ambiente, desconsiderando os efeitos das forças decorrentes do vento;

A_s é a área total da seção das barras de aço; A_c é a área da seção de concreto;

$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ é o valor de cálculo da resistência do concreto à compressão à temperatura ambiente, com $\gamma_c = 1,0$;

$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$ é o valor de cálculo da resistência do aço à temperatura ambiente, com $\gamma_s = 1,0$.

$$\lambda_{fi} = \frac{l_{ef,fi}}{r} \quad (33)$$

Em que:

$l_{ef,fi}$ é o comprimento equivalente do pilar em situação de incêndio;
 r é o raio de giração, calculado pela Equação 34.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_c}} \quad (34)$$

Em que:

I é o momento de inércia da seção de concreto;

Os pilares em que $A_s > 0,02A_c$, se faz necessário a distribuição uniforme das armaduras ao longo dos lados da seção para $TRRF \geq 90$ minutos. De maneira simplificada, a ABNT NBR 15200:2012 também apresenta a Tabela 20 para o caso de pilares com apenas uma face exposta ao fogo, na qual fornece as dimensões mínimas para a seção transversal e os valores de $c1$ das armaduras, em função do TRRF.

Tabela 20– Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta ao fogo.

TRRF (min)	Combinações de $b_{mín}$ e $c1$ (mm/mm)
30	155/25
60	155/25
90	155/25
120	175/35
180	230/55

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Os valores presentes nas Tabelas 21 a 29 podem ser interpolados, somente se forem respeitados os limites especificados para cada uma delas.

Tabela 21- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,1$ e $e_{m\acute{a}x} = 10$ mm (para $b \leq 400$ mm) e $e_{m\acute{a}x} = 0,025 \times b$ mm (para $b > 400$ mm).

TRRF min	λ_{fi}	b_{min} / c_1			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	150/25	150/25
	40	150/25	150/25	150/25	150/25
	50	150/25	150/25	150/25	200/25
	60	150/25	150/25	200/25	250/25
	70	150/25	150/25	250/25	300/25
	80	150/25	200/25	250/30: 300/25	350/25
60	30	150/25	150/25	200/25	200/30:250/25
	40	150/25	150/25	200/25	250/25
	50	150/25	200/25	250/25	300/25
	60	150/25	200/40:250/25	250/40:300/25	350/30:400/25
	70	200/25	250/30:300/25	300/40:350/25	450/35:550/25
	80	200/30: 250/25	250/40:300/25	400/30:450/25	550/60:600/35
90	30	150/25	200/25	200/50:250/25	250/30:300/25
	40	150/35:200/25	200/30:250/25	250/25	300/25
	50	200/25	250/25	300/25	350/50:400/25
	60	200/35:250/25	250/40:300/25	350/35:400/25	450/50:55/25
	70	250/25	300/35:350/25	400/45:550/25	600/40
	80	250/30:300/25	350/35:400/25	550/40:600/25	a
120	30	200/25	200/25	200/25	300/45:350/25
	40	200/25	200/25	300/25	400/25
	50	200/25	300/25	350/50:400/25	450/50:500/25
	60	200/25	300/25	450/40:500/25	550/50
	70	250/50:300/25	400/25	500/60:550/25	a
	80	300/25	450/40:500/25	600/45	a
180	30	250/25	250/25	350/25	400/50:450/25
	40	250/25	300/30:350/25	400/25	450/50:500/25
	50	250/50:300/25	350/50:400/25	450/40:500/25	550/60:600/35
	60	300/40:350/25	450/25	550/40:600/25	a
	70	350/30:400/25	500/25	600/80	a
	80	400/30:450/25	550/45:600/25	a	a

^a Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Tabela 22- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,1$ e $e_{m\acute{a}x} = 0,25 \times b$ (para $b \leq 400$ mm) e $e_{m\acute{a}x} = 100$ mm

(para $b > 400$ mm).

TRRF min	λ_{fi}	b_{min} / c_1			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	200/30:250/25	300/30:350/25
	40	150/25	150/30:200/25	300/25	500/40:550/25
	50	150/25	200/40:250/25	350/40:500/25	550/25
	60	150/25	300/25	550/25	600/30
	70	200/25	350/40:500/25	550/30:600/25	a
	80	250/25	550/25	a	a
60	30	150/30:200/25	200/40:300/25	300/40:500/25	500/25
	40	200/30:250/25	300/35:350/25	450/50:550/25	550/40:600/25
	50	200/40:300/25	350/45:550/25	550/30:600/30	600/55
	60	250/35:400/25	450/50:550/25	600/35	a
	70	300/40:500/25	550/30:600/25	600/80	a
	80	400/40:550/25	600/30	a	a
90	30	200/40:250/25	300/40:400/25	500/50:550/25	550/40:600/25
	40	250/40:350/25	350/50:550/25	550/35:600/25	600/50
	50	300/40:500/25	500/60:550/25	600/40	a
	60	300/50:550/25	550/45:600/25	a	a
	70	400/50:550/25	600/45	a	a
	80	500/60:600/25	a	a	a
120	30	250/50:350/25	400/50:550/25	550/25	550/60:600/45
	40	300/50:500/25	500/50:550/25	550/50:600/25	a
	50	400/50:550/25	550/50:600/25	600/60	a
	60	500/50:550/25	550/55:600/50	a	a
	70	500/60:600/25	600/60	a	a
	80	550/50:600/25	a	a	a
180	30	400/50:500/25	500/60:550/25	550/60:600/30	a
	40	500/50:550/25	550/50:600/25	600/80	a
	50	550/25	600/60	a	a
	60	550/50:600/25	600/80	a	a
	70	600/55	a	a	a
	80	600/70	a	a	a

^a Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Tabela 23- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,1$ e $e_{máx} = 0,5 \times b$ (para $b \leq 400$ mm) e $e_{máx} = 200$ mm

(para $b > 400$ mm).

TRRF min	λ_{fi}	$b_{mín} / c_1$			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	400/40:550/25	500/25	a
	40	200/25	550/25	550/35:600/30	a
	50	250/30:300/25	550/30:600/25	a	a
	60	300/40:550/25	600/25	a	a
	70	400/40:550/25	a	a	a
	80	550/25	a	a	a
60	30	300/35:500/25	500/50:550/25	550/50:600/40	a
	40	350/40:550/25	550/40:600/30	a	a
	50	450/50:550/25	550/50:600/40	a	a
	60	550/30	600/80	a	a
	70	550/35	a	a	a
	80	550/40	a	a	a
90	30	350/50:550/25	550/45:600/40	600/80	a
	40	500/60:600/30	550/60:600/50	a	a
	50	550/40	600/80	a	a
	60	550/50:600/45	a	a	a
	70	550/60:600/50	a	a	a
	80	600/70	a	a	a
120	30	550/40:600/30	550/50	a	a
	40	550/50:600/45	600/70	a	a
	50	550/55:600/50	a	a	a
	60	550/60:600/50	a	a	a
	70	600/70	a	a	a
	80	a	a	a	a
180	30	550/50	600/80	a	a
	40	550/60	a	a	a
	50	600/70	a	a	a
	60	a	a	a	a
	70	a	a	a	a
	80	a	a	a	a

^a Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Tabela 24– Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,5$ e $e_{m\acute{a}x} = 10$ mm (para $b \leq 400$ mm) e $e_{m\acute{a}x} = 0,025 \times b$ mm (para $b > 400$ mm).

TRRF min	λ_{fi}	$b_{m\acute{i}n} / c_1$			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	150/25	150/25
	40	150/25	150/25	150/25	150/25
	50	150/25	150/25	150/25	200/25
	60	150/25	150/25	150/25	200/30:250/25
	70	150/25	150/25	200/25	250/25
	80	150/25	150/25	200/30:250/25	300/25
60	30	150/25	150/25	150/30:200/25	200/35:250/25
	40	150/25	150/25	200/25	250/30:300/25
	50	150/25	150/35:200/25	200/40:250/25	250/40:350/25
	60	150/25	200/30:250/25	250/30:300/25	300/40:450/25
	70	150/25	200/35:250/25	250/40:350/25	350/45:600/25
	80	150/35:200/25	250/30:300/25	300/40:500/25	450/50:600/35
90	30	150/25	150/40:200/25	200/40:250/25	250/40:300/25
	40	150/25	200/35:250/25	250/30:300/25	300/40:400/25
	50	150/40:200/25	200/45:250/25	250/45:350/25	350/45:550/25
	60	200/25	250/35:300/25	300/45:400/25	400/50:600/35
	70	200/35:250/25	250/45:350/25	350/45:600/25	550/50:600/45
	80	200/45:250/25	250/50:400/25	400/50:600/35	600/60
120	30	150/35:200/25	200/40:250/25	250/45:300/25	350/45:500/25
	40	200/25	250/25	300/45:350/25	400/50:550/25
	50	200/40:250/25	250/45:300/25	350/45:450/25	450/50:600/25
	60	200/50:250/25	300/45:350/25	400/50:550/25	500/60:600/35
	70	250/35:300/25	350/45:450/25	500/50:600/40	600/45
	80	250/45:300/25	400/50:550/25	500/60:600/45	600/60
180	30	200/45:250/25	250/35:300/25	350/45:400/25	450/45:500/25
	40	250/25	300/45:350/25	450/25	500/55:600/50
	50	250/35:300/25	350/45:400/25	500/40:550/25	600/65
	60	300/40:350/25	450/25	500/60:600/55	600/80
	70	350/25	500/40:550/25	600/65	a
	80	400/30:450/25	500/55:600/45	600/80	a

^a Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Tabela 25- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,5$ e $e_{m\acute{a}x} = 0,25 \times b$ (para $b \leq 400$ mm) e $e_{m\acute{a}x} = 100$ mm

(para $b > 400$ mm).

TRRF min	λ_{fi}	b_{min} / c_1			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	150/25	200/30:250/25
	40	150/25	150/25	150/25	300/45:350/25
	50	150/25	150/25	200/30:250/25	350/40:450/25
	60	150/25	150/25	250/30:300/25	500/30:550/25
	70	150/25	150/35:200/25	350/30:400/25	550/35:600/30
	80	150/25	200/30:250/25	400/40:500/25	600/50
60	30	150/25	150/35:200/25	250/35:350/25	350/40:550/25
	40	150/25	200/30:300/25	300/35:500/25	450/50:600/30
	50	150/30:200/25	200/40:350/25	300/45:550/25	500/50:600/35
	60	150/35:200/25	250/40:500/25	400/45:600/30	600/45
	70	200/30:300/25	300/40:500/25	500/40:600/35	600/80
	80	200/35:300/25	350/40:600/25	550/55:600/40	a
90	30	150/35:200/25	200/45:300/25	300/45:550/25	550/50:600/40
	40	200/35:250/25	250/45:500/25	350/50:600/25	550/50:600/45
	50	200/40:300/25	300/45:550/25	550/50:600/35	600/55
	60	200/50:400/25	350/50:600/25	550/50:600/45	a
	70	300/35:500/25	400/50:600/35	600/50	a
	80	300/40:600/25	500/55:600/40	600/80	a
120	30	200/45:300/25	300/45:550/25	450/50:600/25	550/60:600/50
	40	200/50:350/25	350/50:550/25	500/50:600/40	600/55
	50	250/45:450/25	450/50:600/25	550/55:550/45	600/80
	60	300/50:500/25	500/45:600/40	550/60:600/60	a
	70	350/50:550/25	500/50:550/45	600/75	a
	80	400/50:600/25	500/55:550/50	a	a
180	30	300/45:450/25	450/50:600/25	500/60:600/50	600/75
	40	350/50:500/25	500/50:600/25	600/60	a
	50	450/50:500/25	500/60:600/50	600/70	a
	60	500/50:600/25	550/60:600/55	a	a
	70	500/55:600/35	600/65	a	a
	80	500/60:600/55	600/75	a	a

^a Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Tabela 26- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 0,5$ e $e_{máx} = 0,5 \times b$ (para $b \leq 400$ mm) e $e_{máx} = 200$ mm

(para $b > 400$ mm).

TRRF min	λ_{fi}	b_{min} / c_1			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	250/35:300/25	500/40:550/25
	40	150/25	150/30:200/25	300/35:450/25	550/30
	50	150/25	200/30:250/25	400/40:500/25	550/50:600/40
	60	150/25	200/35:300/25	450/50:550/25	a
	70	150/25	250/40:400/25	500/40:600/30	a
	80	150/25	300/40:500/25	550/50:600/40	a
60	30	150/30:200/25	200/40:450/25	450/50:550/30	550/50:600/40
	40	150/35:250/25	250/40:500/25	500/40:550/35	600/60
	50	200/35:300/25	300/45:550/25	500/55:550/40	a
	60	200/40:500/25	400/40:600/30	550/50:600/45	a
	70	200/40:550/25	500/40:550/35	600/60	a
	80	250/40:600/25	500/45:600/35	a	a
90	30	250/40:450/25	300/50:500/25	500/55:600/40	600/80
	40	200/50:500/25	350/50:550/35	550/60:600/50	a
	50	250/45:550/25	500/45:550/40	600/60	a
	60	250/50:550/30	500/50:550/45	600/80	a
	70	300/50:550/35	550/50:600/45	a	a
	80	350/50:600/35	550/60:600/50	a	a
120	30	250/50:550/25	500/50:550/40	550/50	a
	40	300/50:600/25	500/55:550/45	550/60:600/55	a
	50	400/50:550/35	500/60:600/45	600/80	a
	60	450/50:600/40	550/50	a	a
	70	500/50:550/45	550/60:600/55	a	a
	80	550/60:600/45	600/70	a	a
180	30	500/45:550/30	550/55	600/75	a
	40	500/50:600/40	550/60	a	a
	50	500/60:550/50	600/70	a	a
	60	550/50	600/75	a	a
	70	550/60	a	a	a
	80	600/60	a	a	a

^a Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Tabela 27- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 1,0$ e $e_{m\acute{a}x} = 10$ mm (para $b \leq 400$ mm) e $e_{m\acute{a}x} = 0,025 \times b$ mm (para $b > 400$ mm).

TRRF min	λ_{fi}	b_{min} / c_1			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	150/25	150/25
	40	150/25	150/25	150/25	150/25
	50	150/25	150/25	150/25	150/30:200/25
	60	150/25	150/25	150/25	200/30:250/25
	70	150/25	150/25	150/30:200/25	250/25
	80	150/25	150/25	200/30:250/25	250/30:300/25
60	30	150/25	150/25	150/25	200/40:300/25
	40	150/25	150/25	200/30:250/25	250/35:350/25
	50	150/25	150/30:200/25	200/40:250/25	250/40:350/25
	60	150/25	150/40:250/25	250/35:300/25	300/40:600/25
	70	150/25	200/35:250/25	250/40:400/25	350/40:450/35
	80	150/30:200/25	200/40:300/25	300/40:550/25	350/45:450/40
90	30	150/25	200/25	200/40:250/25	250/45:600/25
	40	150/25	200/35:250/25	250/35:350/25	300/45:600/30
	50	150/35:200/25	200/40:250/25	250/45:400/25	350/45:600/35
	60	150/40:250/25	250/55:300/25	300/45:550/25	400/50:600/40
	70	200/35:250/25	300/35:350/25	350/45:600/35	550/50:600/45
	80	200/40:250/25	300/40:500/25	350/50:600/40	550/65:600/55
120	30	150/40:200/25	200/45:250/25	250/40:400/25	400/40:600/25
	40	200/30:250/25	250/25	300/45:400/25	400/50:600/30
	50	200/40:250/25	250/35:300/25	350/40:550/25	550/45:600/40
	60	200/45:250/25	250/45:400/25	400/50:600/25	550/60:600/50
	70	250/25	350/35:450/25	550/40:600/35	600/70
	80	250/35:300/25	350/40:550/25	550/50:600/45	a
180	30	200/50:250/25	300/25	350/45:450/25	500/50:600/45
	40	250/25	300/45:350/25	450/45:550/25	550/60:600/55
	50	250/30:300/25	350/40:450/25	450/50:600/40	600/70
	60	250/40:350/25	350/50:500/25	550/55:600/50	600/80
	70	300/45:400/25	450/45:600/35	550/70:600/65	a
	80	350/40:450/25	550/50:600/40	600/75	a

^a Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Tabela 28- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 1,0$ e $e_{m\acute{a}x} = 0,25 \times b$ mm (para $b \leq 400$ mm) e $e_{m\acute{a}x} = 100$ mm (para $b > 400$ mm).

TRRF min	λ_{fi}	$b_{m\acute{i}n} / c_1$			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	150/25	200/30:300/25
	40	150/25	150/25	150/25	250/30:450/25
	50	150/25	150/25	200/25	300/35:500/25
	60	150/25	150/25	200/30:250/25	400/40:550/25
	70	150/25	150/25	250/35:300/25	500/35:600/30
	80	150/25	150/30:250/25	300/35:500/25	500/60:600/35
60	30	150/25	150/30:200/25	200/40:400/25	300/50:600/30
	40	150/25	150/40:250/25	250/40:500/25	400/50:600/35
	50	150/25	200/35:400/25	300/40:600/25	500/45:600/40
	60	150/30:200/25	200/40:450/25	400/40:600/30	550/40:600/40
	70	150/35:200/25	240/40:550/25	450/45:500/35	600/60
	80	200/30:250/25	300/40:550/25	500/50:600/40	600/80
90	30	200/25	200/40:300/25	250/40:550/25	500/50:600/45
	40	200/30:250/25	200/50:400/25	300/50:600/35	500/60:600/50
	50	200/35:300/25	250/50:550/25	400/50:600/40	600/55
	60	200/40:400/25	300/45:600/25	500/50:600/45	600/70
	70	200/45:450/25	300/50:600/35	550/55:600/50	a
	80	200/50:500/25	400/50:600/35	600/55	a
120	30	200/40:250/25	250/50:400/25	450/45:600/30	600/60
	40	200/45:300/25	300/40:500/25	500/50:600/35	a
	50	250/40:400/25	400/40:550/25	550/50:600/45	a
	60	250/50:450/25	400/50:500/35	600/55	a
	70	300/40:500/25	500/45:600/35	a	a
	80	300/50:550/25	500/60:600/40	a	a
180	30	300/35:400/25	450/50:550/25	500/60:600/45	a
	40	300/40:450/25	500/40:600/30	550/65:600/60	a
	50	400/40:500/25	500/45:600/35	600/75	a
	60	400/45:550/25	500/55:600/45	a	a
	70	400/50:600/30	500/65:600/50	a	a
	80	500/45:600/35	600/70	a	a

^a Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

Tabela 29- Dimensões mínimas para pilares com $\omega = 1,0$ e $e_{m\acute{a}x} = 0,5 \times b$ mm (para $b \leq 400$ mm) e $e_{m\acute{a}x} = 200$ mm (para $b > 400$ mm).

TRRF min	λ_{fi}	$b_{m\acute{i}n} / c_1$			
		$v_{fi} = 0,15$	$v_{fi} = 0,3$	$v_{fi} = 0,5$	$v_{fi} = 0,7$
30	30	150/25	150/25	200/30:300/25	500/30:550/25
	40	150/25	150/25	250/30:450/25	500/40:600/30
	50	150/25	150/30:200/25	300/35:500/25	550/35
	60	150/25	200/30:250/25	350/40:500/25	550/50
	70	150/25	200/30:300/25	450/50:550/25	a
	80	150/25	250/30:350/25	500/35:600/30	a
60	30	150/25	200/35:450/25	350/40:600/30	550/45:600/40
	40	150/30:200/25	200/40:500/25	450/50:500/35	600/60
60	50	150/35:250/25	250/40:550/25	500/40:600/35	600/80
	60	200/30:350/25	300/40:600/25	500/50:600/40	a
	70	250/30:450/25	350/40:600/30	550/50:600/45	a
	80	250/55:500/25	450/40:500/35	600/70	a
90	30	200/35:300/25	250/50:550/25	500/50:600/40	600/70
	40	200/40:450/25	300/50:600/30	500/55:600/45	a
	50	200/45:500/25	350/50:600/35	550/50	a
	60	200/50:550/25	450/50:600/40	600/60	a
	70	250/45:600/30	500/50:600/45	600/80	a
	80	250/50:500/35	500/55:600/45	a	a
120	30	200/50:450/25	450/450:600/25	550/55:600/50	a
	40	250/50:500/25	500/40:600/30	600/65	a
	50	300/40:550/25	500/50:600/35	a	a
	60	350/45:550/25	500/60:600/40	a	a
	70	450/40:600/30	550/60:600/50	a	a
	80	450/45:600/30	600/65	a	a
180	30	350/45:550/25	500/45:600/40	600/80	a
	40	450/45:600/30	500/60:600/45	a	a
	50	450/50:600/35	500/70:600/55	a	a
	60	500/45:600/40	550/70:600/65	a	a
	70	500/50:600/40	600/75	a	a
	80	500/55:600/45	a	a	a

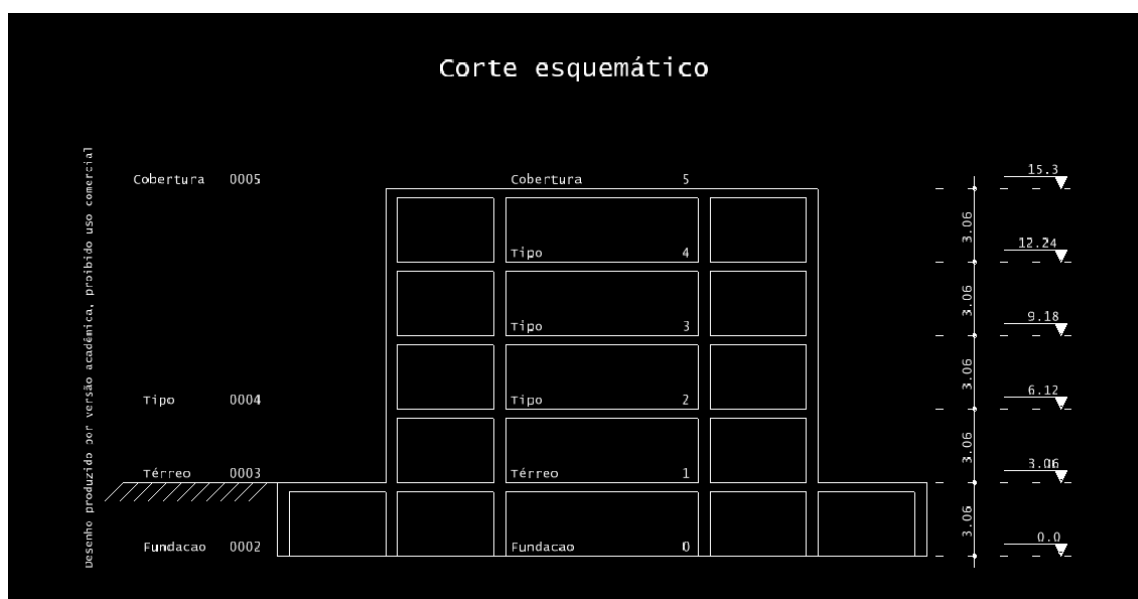
^a Requer largura superior a 600 mm. Avaliação específica é requerida.

Fonte: ABNT NBR 15200:2012.

10. ESTUDO DE CASO

Para a realização deste estudo de caso, foi utilizado um projeto arquitetônico de um edifício de múltiplos andares cedido pelo Prof. Dr. Gerson Moacyr Sisniegas Alva. Este projeto consiste em um edifício comercial de cinco pavimentos (sendo um térreo, três pavimentos tipo e uma cobertura) com 3,06 metros de pé esquerdo em cada pavimento, conforme mostrado na Figura 32.

Figura 32– Corte esquemático da edificação em estudo, utilizando o TQS®.



Fonte: Autor (2023).

Antes de se realizar as verificações de incêndio segundo a ABNT NBR 15200:2012, foi realizado o dimensionamento do edifício em concreto armado à temperatura ambiente consoante a ABNT NBR 6118:2014, utilizando o programa computacional TQS®. O TQS® é um programa computacional que se utiliza para a elaboração de projetos estruturais de edificações de concreto armado, concreto protendido, concreto pré-moldado e alvenaria estrutural. (TQS Informática Ltda, 2022).

Considerou-se que o edifício em concreto armado seria construído em um centro urbano com grau de agressividade II, e por isso determinou-se um valor de cobrimento nominal de 2,5 cm para lajes e 3,0 cm para as vigas e pilares. Adotou-se $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ para todos os elementos estruturais do edifício em questão.

Considerou-se também a incidência de ações permanentes e acidentais. No caso das lajes, determinou-se uma carga permanente distribuída de 1 kN/m^2 e sobrecarga de $1,5 \text{ kN/m}^2$. Em relação às paredes de alvenaria sobre vigas externas, utilizou-se carga de $3,5 \text{ kN/m}^2$, e $2,5 \text{ kN/m}^2$ para as paredes de alvenaria sobre vigas internas.

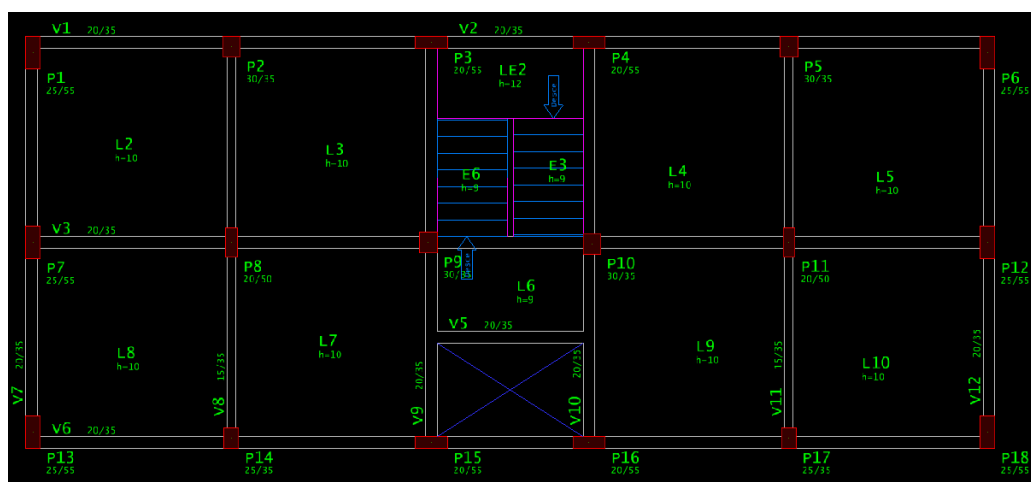
As ações de vento foram calculadas utilizando o programa computacional TQS® segundo a ABNT NBR 6123:1988. Para isso, foram considerados os seguintes parâmetros de projeto:

- $V_0 \approx 34 \text{ m/s}$ (Cidade: Uberlândia – MG)
- $S_1 = 1,0$ (Terreno plano)

- $S_3 = 1,0$ (Edifício comercial)
- Terreno: Categoria IV

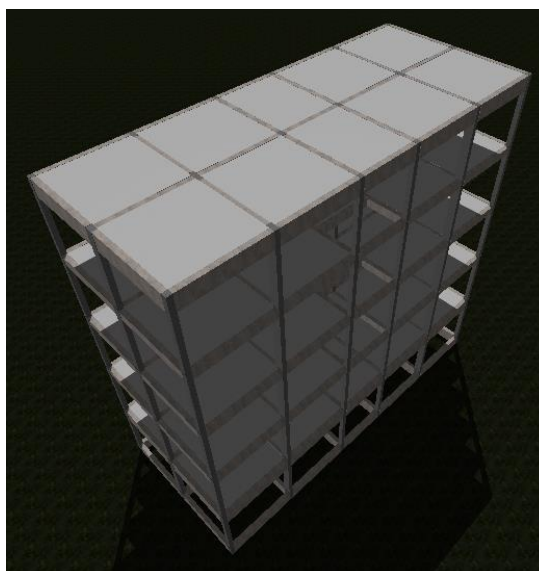
A Figura 33 mostra a planta de formas do projeto correspondente ao pavimento tipo, contendo as dimensões de vigas, lajes e pilares. Já a Figura 34 apresenta o modelo em perspectiva da edificação modelada no TQS®.

Figura 33– Planta de formas gerada utilizando o TQS®.



Fonte: Autor (2023).

Figura 34 – Modelo espacial da estrutura da edificação fornecida pelo TQS®.



Fonte: Autor (2023).

Em relação a estabilidade global e os efeitos de segunda ordem, foi analisado o parâmetro *GamaZ*. Após alguns ajustes no pré-dimensionamento da estrutura, obteve-se $GamaZ = 1,03$ para os casos 5, 6, 7 e 8, calculado por meio do programa TQS®, conforme mostra a Tabela 30.

Tabela 30– Parâmetro de estabilidade ($GamaZ$) para os carregamentos simples de vento.

Parâmetro de estabilidade (γ_z) para os carregamentos simples de vento									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	Mig	γ_z	α	Obs
5	90.00	654.75	3.17	15.51	151.03	14.18	1.03	0.367	
6	270.00	654.75	3.17	15.51	151.03	14.18	1.03	0.367	
7	0.00	654.75	1.29	5.79	56.42	14.18	1.03	0.381	
8	180.00	654.75	1.29	5.79	56.42	14.18	1.03	0.381	

Fonte: Autor (2023).

Em que:

Caso - Caso simples de vento

Ang é o ângulo de vento (graus)

$CTot$ é a somatória de cargas verticais (tf – característico)

$M2$ é o momento de 2ª ordem das cargas verticais (tf.m – característico)

$CHor$ são as ações horizontais (tf – característico)

$M1$ é o momento de 1ª ordem das ações horizontais (tf.m – característico)

Mig é o momento de desaprumo por imperfeições globais (tf.m – característico)

$GamaZ$ é o coeficiente de avaliação da importância dos esforços de 2ª ordem globais para estruturas reticuladas com pelo menos 4 andares, segundo TQS Informática Ltda (2022) em conformidade com a ABNT NBR 6118:2014.

α -Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica.

A Equação 35 apresenta a expressão utilizada ao cálculo do coeficiente $GamaZ$ realizado pelo TQS®.

$$GamaZ = \frac{1}{1 - \frac{M2}{M1} \times \frac{\gamma_f}{\gamma_{f3}}} \quad (35)$$

Em que:

$$\gamma_f = 1,40$$

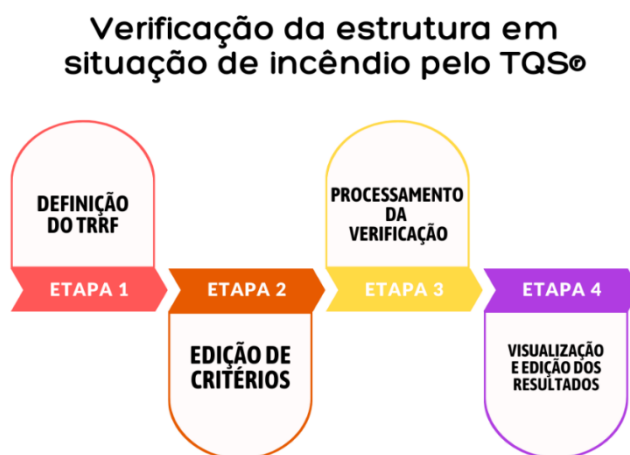
$$\gamma_{f3} = 1,10$$

Como $GamaZ = 1,03 < 1,10$ para os casos 5 e 6 e $GamaZ = 1,03$ para os casos 7 e 8 $< 1,10$, a estrutura deve ser considerada de nós fixos.

10.1. VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS – PILARES, LAJES E VIGAS - EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO PELO TQS® - MÉTODOS TABULAR E ANALÍTICO

Os elementos estruturais à temperatura ambiente devem ter concluído o dimensionamento e detalhamento da armadura dos elementos estruturais para que seja possível realizar a verificação da segurança estrutural em situação de incêndio pelo programa computacional TQS[®]. Esta verificação é realizada nos passos descritos pelo fluxograma da Figura 35 a seguir:

Figura 35 – Fluxograma de verificação da estrutura em situação de incêndio pelo TQS[®].



Fonte: Autor (2023).

A definição do TRRF depende da altura do edifício, seu tipo de uso e ocupação. Para este estudo de caso, trata-se de um edifício comercial de escritórios administrativos, sendo assim, classificado como grupo D e divisão D-1, conforme Tabela 6. A Figura 36 mostra o cálculo automatizado efetuado pelo programa TQS[®], fornecendo um valor de TRRF de 30 minutos para este edifício. Ressalta-se que o programa computacional TQS[®] calcula o TRRF e tem respaldo no Método Tabular da ABNT NBR 14432:2001. As Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros citadas e apresentadas neste trabalho possuem importância em relação a esta norma, como por exemplo considerando o Estado de Minas Gerais, deve-se analisar a IT06 (2005) do CBMMG. Serão calculadas cada TRRF para cada uma das hipóteses de incêndio – para cada uma das cotas +3,06 metros, +6,12 metros, +9,18 metros, +12,24 metros e +15,3 metros - consideradas a seguir neste trabalho, como exemplificada na Figura 36.

Figura 36– Determinação do TRRF utilizando o TQS[®].

Fonte: Autor (2023).

Importante mencionar que o TRRF foi calculado utilizando o TQS® neste exemplo, o TRRF calculado pela ABNT NBR 14432:2001 e IT06(2005) coincidem em 30 minutos. Em determinadas estruturas, é possível reduzir o TRRF através do Método do Tempo Equivalente, como foi explicado na seção 6.2 - MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE (REDUTOR DE TRRF) - deste trabalho. Neste estudo de caso, considerou-se estes dados do compartimento em análise:

- Área de piso: $A_f = 117,03 \text{ m}^2$
- Área de ventilação vertical das janelas: $A_v = 18 \text{ m}^2$
- Área de ventilação horizontal do piso: $A_h = 0$

Através da tabela do Anexo A, obteve-se a carga de incêndio específica para escritórios (divisão D-1), de $q_{fi} = 700 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$. Não foi considerado nenhum meio de proteção adicional contra incêndio, como chuveiros automáticos, detectores ou brigada de incêndio. Dessa forma, tem-se o fator $\gamma_n = 1,0$. Sobre o coeficiente de segurança que depende do risco de incêndio e das consequências do colapso da edificação, foi encontrado $\gamma_s = 1,02$. Já para o fator associado à ventilação do ambiente, por meio da Fórmula 36 abaixo ele foi calculado:

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \left[0,62 + \frac{90 \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)^4}{1 + 12,5 \cdot \left(1 + 10 \frac{A_v}{A_f}\right) \cdot \frac{A_h}{A_f}} \right] \geq 0,5 \quad (36)$$

$$W = \left(\frac{6}{3,06}\right)^{0,3} \left[0,62 + \frac{90 \left(0,4 - \frac{18}{117,03}\right)^4}{1 + 12,5 \cdot \left(1 + 10 \frac{18}{117,03}\right) \cdot \frac{0}{117,03}} \right] \geq 0,5$$

$$W = \left(\frac{6}{3,06}\right)^{0,3} \left[0,62 + \frac{90 \left(0,4 - \frac{18}{117,03}\right)^4}{1} \right] \geq 0,5 \approx 1,163435$$

A Figura 37 mostra o cálculo automático do tempo equivalente conforme a IT-08: 2004 (SP), após a inserção das informações do compartimento analisado.

Figura 37 – Cálculo do tempo equivalente utilizando o TQS®.

Fonte: Autor (2023).

O tempo equivalente calculado foi de aproximadamente $t_{eq} = 45 \text{ minutos}$, tanto pela IT-08: 2004 (SP) quanto pela ABNT NBR 14432:2001, por meio do programa computacional TQS®. Por ser superior ao TRRF encontrado através do método tabular, seria conveniente a princípio adotar o $TRRF = 30 \text{ minutos}$.

Dessa forma, através da Equação 17, obtém-se o valor do tempo equivalente:

$$t_{eq} = 0,07 * 700 * 0,85 * 1,02 * 1,163435259$$

$$t_{eq} \approx 49,42622013 \text{ minutos}$$

Segundo enunciou-se na seção 6.2 - MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE (REDUTOR DE TRRF) -, o valor de tempo equivalente foi de aproximadamente 49,42 minutos – o que destoa do resultado calculado pelo TQS®, que excede o TRRF que é de 30 minutos. O valor de resistência ao fogo será considerado a favor da segurança, isto é, adota-se 30 minutos.

É informado por TQS Informática Ltda (2022) que o cálculo da força normal de cálculo em situação de incêndio (N_{sdi}), necessária para a verificação de pilares, é efetuado de forma automática pelo sistema a partir dos resultados obtidos do processamento do pórtico espacial ELU e pode ser realizado de duas formas:

- Uso da envoltória FOGO: leva em conta todas as combinações definidas, na qual todas as ações permanentes e variáveis são majoradas;
- Uso da envoltória ELU: leva em conta todas as combinações últimas normais definidas de acordo com a NBR 6118:2003.

Complementa-se que em ambos os casos, os esforços em situação de incêndio são estimados como 70% (critério de projeto que pode ser alterado) das solicitações em situação normal. Sucedendo à próxima etapa no programa TQS®, que é a edição de critérios. Será verificado a segurança estrutural contra incêndio por meio das 2 envoltórias contidas no programa computacional – a envoltória FOGO e a envoltória ELU.

Retornando ao programa comercial TQS®, a próxima etapa a ser realizada é a de edição de critérios. De acordo com a Figura 38, as envoltórias “Fogo” e “ELU1” serão verificadas e comparadas para representar as solicitações de cálculo em situação de incêndio ($S_{d,fi}$).

Ressalta-se que a envoltória “Fogo” é baseada na combinação de esforços definida na Equação 17, da norma ABNT NBR 8681:2003, enunciada na seção 5 (SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO) deste trabalho. O TQS® considera a simplificação proposta pela ABNT NBR 15200:2012, em que o $S_{d,fi}$ pode ser calculado multiplicando-se as solicitações de cálculo em situação normal (S_d) pelo fator de 0,7. Para os pilares, lajes e vigas, respectivamente, foram considerados os seguintes critérios para as verificações da segurança estrutural do edifício de concreto armado nas situações de incêndio:

Figura 38– Critérios da verificação dos elementos estruturas em situação de incêndio pelo TQS®.

Solicitações de cálculo ($S_{d,fi}$)

Envoltória de combinações a ser considerada: Fogo ☒ ELU1 ☐

Multiplicador das solicitações de cálculo em situação normal (S_d):

Verificação de pilares

Tabela a ser utilizada: NBR 15200:2004 ☐ NBR 15200:2012 (TRF) ☒

Fonte: Autor (2023).

Optou-se o Método Analítico da ABNT NBR 15200:2012 como método de verificação da segurança estrutural dos pilares em situação de incêndio pelo TQS® pelas envoltórias “Fogo” e “ELU1”.

As Figuras 39, 41 e 42 mostram as definições dos critérios relacionados ao revestimento dos pilares, lajes e vigas do pórtico. Aos pilares, escolheu-se o revestimento de argamassa de cal e areia, com 15 mm de espessura. Com esse tipo de revestimento, a ABNT NBR 15200:2012 define que há 67% de eficiência relativa ao concreto. Isto é, neste caso haverá o acréscimo de $0,67 \times 15 = 10,05 \text{ mm}$ referente ao revestimento no cálculo da

distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo (c_1).

Figura 39– Critérios de revestimentos de pilares, pelo TQS®.

❗ Espessura pilares	15 mm
❗ Material pilares	Argamassa de cal e areia ☒ Argamassa de cimento e areia ☐ Protetores à base de gesso, vermiculita ☐

Fonte: Autor (2023).

Outro critério a ser definido nas verificações de segurança estrutural em situação de incêndio, é sobre o cálculo do comprimento equivalente do pilar em situação de incêndio ($l_{e,fi}$). Seguiu-se as recomendações da ABNT NBR 15200:2012 na escolha dos multiplicadores para o cálculo de $l_{e,fi}$, como mostra a Figura 40.

Figura 40 – Critérios para cálculo do comprimento equivalente de pilares em situação de incêndio ($l_{e,fi}$), pelo TQS®.

Multiplicadores para cálculo de $l_{e,fi}$	
Lances intermediários	0.5
Último lance	0.7
❗ Nós móveis	2

Fonte: Autor (2023).

Na verificação estrutural das lajes para a edição de critérios, considerou-se uma espessura de 10 mm para os revestimentos padrões das lajes, que seguem as regras de eficiência dispostas na seção 7.1 (DIMENSIONAMENTO DE LAJES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO). O revestimento escolhido também foi o de cal e areia a favor da segurança, então será também calculado 67% de rendimento da argamassa quando comparada ao concreto. Dessa forma, a espessura considerada para o revestimento será de 6,7 mm.

Figura 41- Critérios de revestimentos de lajes, pelo TQS®

Revestimentos padrões

i Espessura lajes mm

i Material lajes

Argamassa de cal e areia ☒

Argamassa de cimento e areia ☐

Protetores à base de gesso, vermiculita ☐

Fonte: Autor (2023).

Considerou-se uma espessura de 15 mm para os revestimentos padrões das vigas, que seguem as regras de eficiência dispostas na seção 8.1 (MÉTODO TABULAR DA NBR 15200: 2012). O revestimento escolhido também foi o de cal e areia a favor da segurança, então será também calculado 67% de rendimento da argamassa quando comparada ao concreto. Dessa forma, a espessura considerada para o revestimento será de 10,05 mm.

Figura 42– Critérios de revestimento de vigas, pelo TQS®

i Espessura vigas mm

i Material vigas

Argamassa de cal e areia ☒

Argamassa de cimento e areia ☐

Protetores à base de gesso, vermiculita ☐

Fonte: Autor (2023).

10.2.RESULTADOS OBTIDOS DAS VERIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS – PILARES, LAJES E VIGAS - EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO PELO TQS® NAS 5 HIPÓTESES DE SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Para o início das análises da verificação estrutural do edifício utilizado neste estudo de caso, foram consideradas 5 hipóteses de situações de incêndio onde o fogo consome parcialmente cada um dos pavimentos do edifício até consumi-lo totalmente. Para cada uma dessas hipóteses serão coletados os resultados obtidos para cada um dos elementos estruturais – pilares, vigas e lajes – presentes em cada pavimento verificado quanto à resistência ao fogo. As hipóteses de situações de incêndio consideradas no edifício se dispõem dessa forma:

- 1ª hipótese de situação de incêndio no pavimento térreo na cota +3,06 metros;
- 2ª hipótese de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +6,12 metros;
- 3ª hipótese de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +9,18 metros;

- 4ª hipótese de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +12,24 metros;
- 5ª hipótese de situação de incêndio no pavimento cobertura na cota +15,3 metros.

10.2.1. 1ª hipótese de situação de incêndio no pavimento térreo na cota +3,06

A 1ª hipótese de situação de incêndio será no pavimento térreo na cota +3,06. Conforme as Figuras 36 e 37, o TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo - utilizado para verificar a segurança estrutural será de 30 minutos. Serão realizadas as verificações de resistência ao fogo pelos elementos estruturais utilizando as envoltórias ‘Fogo’ e ‘ELU1’ como recursos de cálculo e análise por meio do programa CAD/TQS.

A primeira verificação será utilizando a envoltória ‘Fogo’. Conforme a Figura 38, a envoltória “Fogo” representa todas as solicitações de cálculo em situação de incêndio (Sd,fi) e ela se baseia através da combinação de esforços, por meio da Equação 16 presente na norma ABNT NBR 8681:2003. Ressalta-se também que o TQS® considera a simplificação descrita na seção 5 (SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO), considerando $Sd,fi = 0,7 * Sd$.

A primeira análise foi realizada por meio da envoltória ‘Fogo’, depois de todos os dados necessários serem inseridos para a verificação e o processamento do edifício, obteve-se obter o relatório descritivo das dos elementos estruturas e também o esquema visual das elementos estruturas não dimensionadas.

O programa comercial TQS® gerou então os relatórios descritivos dos resultados da 1ª hipótese de situação de situação de incêndio no pavimento térreo na cota +3,06, algumas informações das tabelas que trazem os resultados das verificações das lajes, vigas e pilares são descritas a seguir:

Legenda da tabela de vigas:

- Tipo: biapoiada ou contínua
- b: largura da seção transversal (mm)
- c1: Distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)

Legenda da tabela de lajes:

- Tipo: apoiada em vigas, lisa ou cogumelo, nervurada biapoiada ou nervurada contínua
- Dir. As: armada em uma direção ou em duas
- L_y/L_x : relação entre as dimensões em planta
- h: altura total da laje (mm)
- c1: distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)

- b: largura da nervura (mm)
- hc: altura da capa (mm)

Legenda da tabela de pilares:

- Tipo: comum, pilar-parede ou tirante
- NSdi/NRd: relação entre a força solicitante de cálculo em situação de incêndio (tf) e a força resistente de cálculo em situação normal (tf)
- NFE: número de faces expostas ao fogo
- e: excentricidade (mm)
- As/Ac: taxa geométrica de armadura
- w: taxa mecânica de armadura
- ni: força normal adimensional
- le: pé-direito (m)
- le,fi: comprimento efetivo em incêndio (m)
- NB: número total de barras de armaduras
- b x h: menor e maior dimensão do pilar (mm)
- c1: distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)
- Situação: $TRF > TRRF^*$ significa que embora o tempo de resistência (TRF) seja superior à requerida (TRRF), há algum parâmetro fora dos limites normativos. TRF expresso em min

Para a fundação da edificação, onde não se consideram pilares e lajes nas verificações, gerou-se esse relatório de vigas:

Figura 43- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação

**Fundacao
Vigas**

Titulo	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VB1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Térreo:

Figura 44- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo

Vigas

Titulo	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VI6	Biapoiada	1	220	51	OK
VI9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VI10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VI4	Biapoiada	1	220	51	OK
VI3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VI2	Biapoiada	1	220	51	OK
VI1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VI5	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VI7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VI8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VI11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VI12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 45 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	cl	b	hc	Situação
LT2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E2	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT1	Apoiada	1 dir.	2.1	127	32	---	---	OK
LT4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E5	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
LT11	Apoiada	2 dir.	1.6	207	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 46 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	19.47/232.89 = 0.08	2	3	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P2	Pilar	30.06/178.07 = 0.17	2	3	0.005	0.114	0.21	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P3	Pilar	26.87/183.49 = 0.15	2	3	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P4	Pilar	29.11/182.34 = 0.16	2	5	0.004	0.104	0.19	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=222
P5	Pilar	30.28/178.07 = 0.17	2	3	0.005	0.114	0.21	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=218
P6	Pilar	19.32/232.39 = 0.08	2	7	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P7	Pilar	29.89/232.93 = 0.13	2	4	0.005	0.111	0.16	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=241
P8	Pilar	51.51/170.14 = 0.30	2	1	0.005	0.115	0.37	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=194
P9	Pilar	56.50/178.07 = 0.32	2	1	0.005	0.114	0.39	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=191
P10	Pilar	57.69/177.69 = 0.32	2	3	0.005	0.114	0.39	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=189
P11	Pilar	51.78/170.61 = 0.30	2	1	0.005	0.115	0.37	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=194
P12	Pilar	29.74/232.28 = 0.13	2	6	0.005	0.111	0.16	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=241
P13	Pilar	19.42/233.00 = 0.08	2	5	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P14	Pilar	29.04/151.82 = 0.19	2	2	0.006	0.137	0.23	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P15	Pilar	27.50/183.56 = 0.15	2	5	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P16	Pilar	27.86/182.53 = 0.15	2	6	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=223
P17	Pilar	29.38/152.00 = 0.19	2	1	0.006	0.137	0.24	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=207
P18	Pilar	19.57/232.62 = 0.08	2	7	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para os Pavimentos Tipo:

Figura 47- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Tipo Vigas

Título	Tipo	Vão	b	cl	Situação
V1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V2	Biapoiada	1	220	51	OK
V3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V5	Biapoiada	1	220	51	OK
V6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 48 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	cl	b	hc	Situação
LE2	Apoiada	1 dir.	2.2	127	32	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E3	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
E6	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 49 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Pilares

Titulo	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	16.06/229.57 = 0.07	2	19	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P2	Pilar	24.70/174.41 = 0.14	2	5	0.005	0.114	0.17	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=224
P3	Pilar	22.09/179.90 = 0.12	2	13	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=229
P4	Pilar	23.55/179.82 = 0.13	2	15	0.004	0.104	0.16	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=227
P5	Pilar	24.89/174.60 = 0.14	2	3	0.005	0.114	0.17	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=224
P6	Pilar	15.94/228.42 = 0.07	2	25	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P7	Pilar	24.55/227.74 = 0.11	2	19	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=245
P8	Pilar	41.92/169.75 = 0.25	2	2	0.005	0.115	0.30	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=205
P9	Pilar	44.81/177.46 = 0.25	2	2	0.005	0.114	0.31	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=203
P10	Pilar	43.49/176.72 = 0.25	2	5	0.005	0.114	0.30	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=204
P11	Pilar	42.25/170.75 = 0.25	2	0	0.005	0.115	0.30	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=205
P12	Pilar	24.36/226.59 = 0.11	2	22	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=245
P13	Pilar	16.09/229.34 = 0.07	2	21	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P14	Pilar	24.03/148.64 = 0.16	2	3	0.006	0.137	0.19	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=213
P15	Pilar	20.57/178.91 = 0.11	2	18	0.004	0.104	0.14	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=230
P16	Pilar	20.65/178.85 = 0.12	2	19	0.004	0.104	0.14	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=230
P17	Pilar	24.31/148.32 = 0.16	2	1	0.006	0.137	0.20	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=213
P18	Pilar	16.16/228.61 = 0.07	2	25	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Cobertura:

Figura 50 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Cobertura Vigas

Titulo	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VC4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 51 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LC3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC1	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK
LC6	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 52 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	3.46/228.65 = 0.02	2	104	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P2	Pilar	5.32/174.60 = 0.03	2	11	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=232
P3	Pilar	4.78/181.12 = 0.03	2	54	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P4	Pilar	4.74/179.29 = 0.03	2	72	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P5	Pilar	5.38/174.41 = 0.03	2	6	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=232
P6	Pilar	3.41/228.73 = 0.01	2	117	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P7	Pilar	5.44/226.59 = 0.02	2	96	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=248
P8	Pilar	9.80/170.60 = 0.06	2	4	0.005	0.115	0.07	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=228
P9	Pilar	8.95/177.46 = 0.05	2	14	0.005	0.114	0.06	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=228
P10	Pilar	9.00/178.24 = 0.05	2	10	0.005	0.114	0.06	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=228
P11	Pilar	9.89/170.44 = 0.06	2	4	0.005	0.115	0.07	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=228
P12	Pilar	5.36/226.78 = 0.02	2	96	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=248
P13	Pilar	3.51/228.12 = 0.02	2	113	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P14	Pilar	5.17/148.09 = 0.03	2	7	0.006	0.137	0.04	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=224
P15	Pilar	4.83/178.68 = 0.03	2	76	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P16	Pilar	4.83/178.68 = 0.03	2	77	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P17	Pilar	5.23/147.86 = 0.04	2	4	0.006	0.137	0.04	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=224
P18	Pilar	3.49/228.61 = 0.02	2	122	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250

Fonte: Autor (2023).

Agora será utilizada a envoltória “ELU1” para a primeira análise, depois de todos os dados necessários serem inseridos para a verificação e o processamento do edifício. Ressalta-se esta envoltória leva em conta todas as combinações últimas normais definidas de acordo com a NBR 6118:2003. Mas para ambas as envoltórias, os esforços em situação de incêndio são estimados como 70% das solicitações em situação normal.

Para a fundação da edificação, onde não se consideram pilares e lajes nas verificações, gerou-se esse relatório de vigas:

Figura 53- Verificação das vigas em situação de incêndio – Fundação

Fundacao

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	cl	Situação
VE1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VE5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VE3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VE4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VE6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VE7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VE9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VE8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VE2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Térreo:

Figura 54- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo

Térreo

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	cl	Situação
VI6	Biapoiada	1	220	51	OK
VI9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VI10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VI4	Biapoiada	1	220	51	OK
VI3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VI2	Biapoiada	1	220	51	OK
VI1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VI5	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VI7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VI8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VI11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VI12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 55 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LT2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E2	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT1	Apoiada	1 dir.	2.1	127	32	---	---	OK
LT4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E5	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
LT11	Apoiada	2 dir.	1.6	207	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 56 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	MFE	e	As/As	w	ni	le	le,fi	MB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	24.44/209.20 = 0.12	2	18	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=243
P2	Pilar	33.67/165.86 = 0.20	2	15	0.005	0.114	0.23	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=212
P3	Pilar	30.32/173.49 = 0.17	2	17	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=219
P4	Pilar	32.65/172.20 = 0.19	2	15	0.004	0.104	0.22	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=216
P5	Pilar	33.86/166.40 = 0.20	2	14	0.005	0.114	0.23	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=212
P6	Pilar	24.18/210.95 = 0.11	2	21	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244
P7	Pilar	21.75/207.06 = 0.15	2	11	0.005	0.111	0.17	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=236
P8	Pilar	55.61/153.24 = 0.36	2	4	0.005	0.115	0.40	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=183
P9	Pilar	60.48/165.56 = 0.37	2	7	0.005	0.114	0.41	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=182
P10	Pilar	61.76/166.05 = 0.37	2	8	0.005	0.114	0.42	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=181
P11	Pilar	55.82/153.85 = 0.36	2	4	0.005	0.115	0.40	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=183
P12	Pilar	21.58/208.47 = 0.15	2	15	0.005	0.111	0.17	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=236
P13	Pilar	24.11/211.52 = 0.11	2	17	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244
P14	Pilar	22.37/142.56 = 0.23	2	10	0.006	0.137	0.26	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=201
P15	Pilar	29.75/176.16 = 0.17	2	16	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=220
P16	Pilar	30.15/174.41 = 0.17	2	16	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=219
P17	Pilar	32.77/142.29 = 0.23	2	9	0.006	0.137	0.26	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=200
P18	Pilar	24.46/211.51 = 0.12	2	22	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para os Pavimentos Tipo:

Figura 57- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Tipo Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Contínua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK
V2	Biapoiada	1	220	S1	OK
V3	Contínua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK
V5	Biapoiada	1	220	S1	OK
V6	Contínua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK
V7	Contínua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
V8	Contínua	1	170	S1	OK
		2	170	S1	OK
V9	Contínua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
V10	Contínua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
V11	Contínua	1	170	S1	OK
		2	170	S1	OK
V12	Contínua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 58 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LE2	Apoiada	1 dir.	2.2	127	32	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E3	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
E6	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 59 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Pilares

Título	Tipo	MSdi/NRd	NFE	e	As/As	w	ni	le	le,fi	MS	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	19.05/214.39 = 0.09	2	30	0.005	0.111	0.10	0.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P2	Pilar	27.15/169.73 = 0.17	2	22	0.005	0.114	0.19	0.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P3	Pilar	24.20/179.49 = 0.14	2	26	0.004	0.104	0.16	0.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=226
P4	Pilar	25.72/171.28 = 0.15	2	29	0.004	0.104	0.17	0.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P5	Pilar	27.35/164.26 = 0.17	2	20	0.005	0.114	0.19	0.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P6	Pilar	18.92/215.49 = 0.09	2	36	0.005	0.111	0.10	0.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P7	Pilar	26.03/209.20 = 0.12	2	26	0.005	0.111	0.14	0.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=242
P8	Pilar	45.14/154.50 = 0.29	2	6	0.005	0.118	0.32	0.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=196
P9	Pilar	48.09/164.02 = 0.29	2	9	0.005	0.114	0.33	0.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=195
P10	Pilar	46.61/164.64 = 0.28	2	14	0.005	0.114	0.32	0.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=197
P11	Pilar	45.47/154.88 = 0.29	2	8	0.005	0.118	0.33	0.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=196
P12	Pilar	25.81/209.50 = 0.12	2	30	0.005	0.111	0.14	0.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=242
P13	Pilar	19.12/217.44 = 0.09	2	32	0.005	0.111	0.10	0.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P14	Pilar	26.44/139.85 = 0.19	2	15	0.006	0.137	0.21	0.06	1.53	4	250x250	53	OK, TRF=208
P15	Pilar	22.23/171.05 = 0.13	2	34	0.004	0.104	0.15	0.06	1.53	6	200x550	50	TRF>TRRF+, TRF=228
P16	Pilar	22.31/170.67 = 0.13	2	35	0.004	0.104	0.15	0.06	1.53	6	200x550	50	TRF>TRRF+, TRF=227
P17	Pilar	26.74/139.21 = 0.19	2	13	0.006	0.137	0.22	0.06	1.53	4	250x250	53	OK, TRF=208
P18	Pilar	19.17/215.20 = 0.09	2	36	0.005	0.111	0.10	0.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Cobertura:

Figura 60 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Cobertura
Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VC4	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
VC3	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK
VC9	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
VC5	Continua	1	170	S1	OK
		2	170	S1	OK
VC7	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
VC1	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK
VC8	Continua	1	170	S1	OK
		2	170	S1	OK
VC2	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK
VC6	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 61 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Lajes									
Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	cl	b	hc	Situação	
LC3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
LC4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
LC8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
LC9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
LC5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
LC7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
LC2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
LC10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
LC1	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK	
LC6	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK	

Fonte: Autor (2023).

Figura 62 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Pilares														
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le, fi	NB	b x h	cl	Situação	
P1	Pilar	$3.93/225.68 = 0.02$	2	135	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249	
P2	Pilar	$5.93/172.16 = 0.03$	2	39	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=231	
P3	Pilar	$5.38/178.91 = 0.03$	2	84	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233	
P4	Pilar	$5.33/177.99 = 0.03$	2	94	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233	
P5	Pilar	$6.00/171.97 = 0.03$	2	30	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=231	
P6	Pilar	$3.88/225.91 = 0.02$	2	148	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249	
P7	Pilar	$5.82/225.68 = 0.03$	2	105	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=247	
P8	Pilar	$10.83/166.34 = 0.07$	2	9	0.005	0.115	0.08	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=226	
P9	Pilar	$10.01/175.32 = 0.06$	2	24	0.005	0.114	0.07	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=227	
P10	Pilar	$10.06/175.63 = 0.06$	2	23	0.005	0.114	0.07	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=227	
P11	Pilar	$10.92/166.47 = 0.07$	2	8	0.005	0.115	0.08	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=226	
P12	Pilar	$5.73/225.26 = 0.03$	2	113	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=247	
P13	Pilar	$4.00/225.68 = 0.02$	2	146	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249	
P14	Pilar	$5.77/146.33 = 0.04$	2	24	0.006	0.137	0.05	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=223	
P15	Pilar	$5.38/177.46 = 0.03$	2	91	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233	
P16	Pilar	$5.39/177.33 = 0.03$	2	93	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233	
P17	Pilar	$5.83/145.91 = 0.04$	2	19	0.006	0.137	0.05	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=223	
P18	Pilar	$3.97/225.60 = 0.02$	2	155	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249	

Fonte: Autor (2023).

Com os resultados obtidos das duas envoltórias, ‘Fogo’ e ‘ELU1’, percebe-se que para a 1ª hipótese de situação de incêndio no pavimento térreo todas as lajes e vigas estão bem dimensionadas para a situação de incêndios em todos os pavimentos do edifício.

Porém, os pilares deram como não dimensionados para o pavimento Cobertura para a Envoltória ‘Fogo’ – P1, P3, P4, P6, P7, P12, P13, P15, P16 e P18. Para a envoltória “ELU1”, os pilares deram como não dimensionados para o pavimento Cobertura nos mesmos pilares que não passaram nas verificações da envoltória ‘Fogo’; e nos pavimentos Tipo, os pilares P15 e P16 não passaram também na verificação.

Percebe-se que em todos os casos descritos $TRF > TRRF$, adotado como 30 minutos para o edifício. Porém, alguns pilares não passaram nas verificações por possuírem excentricidade maior que o limite estabelecido pela ABNT NBR 15200:2012 pelo Método Analítico ($e \leq 0,15 \times b$), como pode ser visto na Tabela 31.

Tabela 31– Pilares que não passaram na condição de excentricidade pelo Método Analítico.

Título	Tipo	e	b x h	c1	b	e = 0,15.b	Condição
P1	Pilar	104	250x550	50	250	37,5	$e > 0,15.b$
P3	Pilar	54	200x550	50	200	30	$e > 0,15.b$
P4	Pilar	72	200x550	50	200	30	$e > 0,15.b$
P6	Pilar	117	250x550	50	250	37,5	$e > 0,15.b$
P7	Pilar	96	250x550	50	250	37,5	$e > 0,15.b$
P12	Pilar	96	250x550	50	250	37,5	$e > 0,15.b$
P13	Pilar	113	250x550	50	250	37,5	$e > 0,15.b$
P15	Pilar	76	200x550	50	200	30	$e > 0,15.b$
P16	Pilar	77	200x550	50	200	30	$e > 0,15.b$
P18	Pilar	122	250x550	50	250	37,5	$e > 0,15.b$

Fonte: Autor (2023).

10.2.2. 2ª hipótese de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +6,12

A 2ª hipótese de situação de incêndio será no pavimento tipo na cota +6,12. Conforme as Figuras 63 e 64, o TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo - utilizado para a cota +6,12 para verificar a segurança estrutural será de 30 minutos. Serão realizadas as verificações de resistência ao fogo pelos elementos estruturais utilizando as envoltórias ‘Fogo’ e ‘ELU1’ como recursos de cálculo e análise por meio do programa CAD/TQS.

Figura 63– Determinação do TRRF utilizando o TQS®.

Fonte: Autor (2023).

Figura 64 – Cálculo do tempo equivalente utilizando o TQS®.

Fonte: Autor (2023).

A primeira análise foi realizada por meio da envoltória ‘Fogo’, depois de todos os dados necessários serem inseridos para a verificação e o processamento do edifício, obteve-se obter o relatório descritivo das dos elementos estruturas e também o esquema visual dos elementos estruturas não dimensionadas ou bem dimensionadas.

Foram gerados, então, os relatórios descritivos dos resultados da 2ª hipótese de situação de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +6,12, algumas informações das tabelas que trazem os resultados das verificações das lajes, vigas e pilares são descritas a seguir:

Para a fundação da edificação, onde não se consideram pilares e lajes nas verificações, gerou-se esse relatório de vigas:

Figura 65- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação

Fundacao
Vigas

Titulo	Tipo	Vão	b	cl	Situação
VB1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Térreo:

Figura 66- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo

Térreo
Vigas

Titulo	Tipo	Vão	b	cl	Situação
VT6	Biapoiada	1	220	51	OK
VT9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT4	Biapoiada	1	220	51	OK
VT3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT2	Biapoiada	1	220	51	OK
VT1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT5	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 67 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LT2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E2	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT1	Apoiada	1 dir.	2.1	127	32	---	---	OK
LT4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E5	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
LT11	Apoiada	2 dir.	1.6	207	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 68 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	19.47/232.89 = 0.08	2	3	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P2	Pilar	30.06/178.07 = 0.17	2	3	0.005	0.114	0.21	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P3	Pilar	26.87/183.49 = 0.15	2	3	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P4	Pilar	29.11/182.34 = 0.16	2	5	0.004	0.104	0.19	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=222
P5	Pilar	30.28/178.07 = 0.17	2	3	0.005	0.114	0.21	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=218
P6	Pilar	19.32/232.39 = 0.08	2	7	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P7	Pilar	29.89/232.93 = 0.13	2	4	0.005	0.111	0.16	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=241
P8	Pilar	51.51/170.14 = 0.30	2	1	0.005	0.115	0.37	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=194
P9	Pilar	56.50/178.07 = 0.32	2	1	0.005	0.114	0.39	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=191
P10	Pilar	57.69/177.69 = 0.32	2	3	0.005	0.114	0.39	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=189
P11	Pilar	51.78/170.61 = 0.30	2	1	0.005	0.115	0.37	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=194
P12	Pilar	29.74/232.28 = 0.13	2	6	0.005	0.111	0.16	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=241
P13	Pilar	19.42/233.00 = 0.08	2	5	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P14	Pilar	29.04/151.82 = 0.19	2	2	0.006	0.137	0.23	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P15	Pilar	27.50/183.56 = 0.15	2	5	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P16	Pilar	27.86/182.53 = 0.15	2	6	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=223
P17	Pilar	29.38/152.00 = 0.19	2	1	0.006	0.137	0.24	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=207
P18	Pilar	19.57/232.62 = 0.08	2	7	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para os Pavimentos Tipo:

Figura 69- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Tipo Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V2	Biapoiada	1	220	51	OK
V3	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V5	Biapoiada	1	220	51	OK
V6	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V7	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V8	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V9	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V10	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V11	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V12	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 70 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LE2	Apoiada	1 dir.	2.2	127	32	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E3	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
E6	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 71 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	16.06/229.57 = 0.07	2	19	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P2	Pilar	24.70/174.41 = 0.14	2	5	0.005	0.114	0.17	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=224
P3	Pilar	22.09/179.90 = 0.12	2	13	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=229
P4	Pilar	23.55/179.82 = 0.13	2	15	0.004	0.104	0.16	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=227
P5	Pilar	24.89/174.60 = 0.14	2	3	0.005	0.114	0.17	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=224
P6	Pilar	15.94/228.42 = 0.07	2	25	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P7	Pilar	24.55/227.74 = 0.11	2	19	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=245
P8	Pilar	41.92/169.75 = 0.25	2	2	0.005	0.115	0.30	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=205
P9	Pilar	44.81/177.46 = 0.25	2	2	0.005	0.114	0.31	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=203
P10	Pilar	43.49/176.72 = 0.25	2	5	0.005	0.114	0.30	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=204
P11	Pilar	42.25/170.75 = 0.25	2	0	0.005	0.115	0.30	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=205
P12	Pilar	24.36/226.59 = 0.11	2	22	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=245
P13	Pilar	16.09/229.34 = 0.07	2	21	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P14	Pilar	24.03/148.64 = 0.16	2	3	0.006	0.137	0.19	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=213
P15	Pilar	20.57/178.91 = 0.11	2	18	0.004	0.104	0.14	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=230
P16	Pilar	20.65/178.85 = 0.12	2	19	0.004	0.104	0.14	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=230
P17	Pilar	24.31/148.32 = 0.16	2	1	0.006	0.137	0.20	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=213
P18	Pilar	16.16/228.61 = 0.07	2	25	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Cobertura:

Figura 72 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Cobertura
Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VC4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 73 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Lajes

Titulo	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	cl	b	hc	Situação
LC3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC1	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK
LC6	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 74 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Pilares

Titulo	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le, fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	$3.46/228.65 = 0.02$	2	104	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P2	Pilar	$5.32/174.60 = 0.03$	2	11	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=232
P3	Pilar	$4.78/181.12 = 0.03$	2	54	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P4	Pilar	$4.74/179.29 = 0.03$	2	72	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P5	Pilar	$5.38/174.41 = 0.03$	2	6	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=232
P6	Pilar	$3.41/228.73 = 0.01$	2	117	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P7	Pilar	$5.44/226.59 = 0.02$	2	96	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=248
P8	Pilar	$9.80/170.60 = 0.06$	2	4	0.005	0.115	0.07	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=228
P9	Pilar	$8.95/177.46 = 0.05$	2	14	0.005	0.114	0.06	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=228
P10	Pilar	$9.00/178.24 = 0.05$	2	10	0.005	0.114	0.06	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=228
P11	Pilar	$9.89/170.44 = 0.06$	2	4	0.005	0.115	0.07	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=228
P12	Pilar	$5.36/226.78 = 0.02$	2	96	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=248
P13	Pilar	$3.51/228.12 = 0.02$	2	113	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P14	Pilar	$5.17/148.09 = 0.03$	2	7	0.006	0.137	0.04	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=224
P15	Pilar	$4.83/178.68 = 0.03$	2	76	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P16	Pilar	$4.83/178.68 = 0.03$	2	77	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P17	Pilar	$5.23/147.86 = 0.04$	2	4	0.006	0.137	0.04	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=224
P18	Pilar	$3.49/228.61 = 0.02$	2	122	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250

Fonte: Autor (2023).

Agora será utilizada a envoltória “ELU1” para a segunda análise, depois de todos os dados necessários serem inseridos para a verificação e o processamento do edifício. Para a fundação da edificação, onde não se consideram pilares e lajes nas verificações, gerou-se esse relatório de vigas:

Figura 75- Verificação das vigas em situação de incêndio – Fundação

Fundacao

Vigas

Titulo	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VB1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Térreo:

Figura 76- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo

Térreo

Vigas

Titulo	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VT6	Biapoiada	1	220	51	OK
VT9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT4	Biapoiada	1	220	51	OK
VT3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT2	Biapoiada	1	220	51	OK
VT1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT5	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 77 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Lajes								
Título	Tipo	Dir. As	L _y /L _x	h	c1	b	hc	Situação
LT2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E2	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT1	Apoiada	1 dir.	2.1	127	32	---	---	OK
LT4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E5	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
LT11	Apoiada	2 dir.	1.6	207	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 78 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Pilares													
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NE	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	24.44/209.20 = 0.12	2	18	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=243
P2	Pilar	33.67/165.86 = 0.20	2	15	0.005	0.114	0.23	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=212
P3	Pilar	30.32/173.49 = 0.17	2	17	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=219
P4	Pilar	32.65/172.20 = 0.19	2	15	0.004	0.104	0.22	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=216
P5	Pilar	33.86/166.40 = 0.20	2	14	0.005	0.114	0.23	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=212
P6	Pilar	24.18/210.95 = 0.11	2	21	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244
P7	Pilar	31.75/207.06 = 0.15	2	11	0.005	0.111	0.17	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=236
P8	Pilar	55.61/153.24 = 0.36	2	4	0.005	0.115	0.40	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=183
P9	Pilar	60.48/165.56 = 0.37	2	7	0.005	0.114	0.41	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=182
P10	Pilar	61.76/166.05 = 0.37	2	8	0.005	0.114	0.42	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=181
P11	Pilar	55.82/153.85 = 0.36	2	4	0.005	0.115	0.40	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=183
P12	Pilar	31.58/208.47 = 0.15	2	15	0.005	0.111	0.17	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=236
P13	Pilar	24.11/211.52 = 0.11	2	17	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244
P14	Pilar	32.37/142.56 = 0.23	2	10	0.006	0.137	0.26	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=201
P15	Pilar	29.75/176.16 = 0.17	2	16	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=220
P16	Pilar	30.15/174.41 = 0.17	2	16	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=219
P17	Pilar	32.77/142.29 = 0.23	2	9	0.006	0.137	0.26	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=200
P18	Pilar	24.46/211.51 = 0.12	2	22	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para os Pavimentos Tipo:

Figura 79- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Tipo Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V2	Biapoiada	1	220	51	OK
V3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V5	Biapoiada	1	220	51	OK
V6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 80 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	L _y /L _x	h	c1	b	hc	Situação
LE2	Apoiada	1 dir.	2.2	127	32	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E3	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
E6	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 81 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Pilares													
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	19.05/214.39 = 0.09	2	30	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P2	Pilar	27.18/163.73 = 0.17	2	22	0.005	0.114	0.19	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P3	Pilar	24.20/173.49 = 0.14	2	26	0.004	0.104	0.16	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=226
P4	Pilar	25.72/171.28 = 0.15	2	29	0.004	0.104	0.17	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P5	Pilar	27.38/164.26 = 0.17	2	20	0.005	0.114	0.19	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P6	Pilar	18.93/215.49 = 0.09	2	36	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P7	Pilar	26.03/209.20 = 0.12	2	26	0.005	0.111	0.14	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=242
P8	Pilar	45.14/154.50 = 0.29	2	6	0.005	0.115	0.32	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=196
P9	Pilar	48.09/164.03 = 0.29	2	9	0.005	0.114	0.33	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=195
P10	Pilar	46.61/164.64 = 0.28	2	14	0.005	0.114	0.32	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=197
P11	Pilar	45.47/154.88 = 0.29	2	5	0.005	0.115	0.33	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=196
P12	Pilar	25.81/209.50 = 0.12	2	30	0.005	0.111	0.14	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=242
P13	Pilar	19.12/217.44 = 0.09	2	32	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P14	Pilar	26.44/139.85 = 0.19	2	15	0.006	0.137	0.21	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P15	Pilar	22.23/171.05 = 0.13	2	34	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=228
P16	Pilar	22.31/170.67 = 0.13	2	35	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=227
P17	Pilar	26.74/139.31 = 0.19	2	13	0.006	0.137	0.22	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P18	Pilar	19.17/215.30 = 0.09	2	36	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Cobertura:

Figura 82 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Vigas					
Título	Tipo	Vão	b	cl	Situação
VC4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 83 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	L_y/L_x	h	c1	b	hc	Situação
LC3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC1	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK
LC6	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 84 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	$3.93/225.68 = 0.02$	2	135	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P2	Pilar	$5.93/172.16 = 0.03$	2	39	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=231
P3	Pilar	$5.38/178.91 = 0.03$	2	84	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P4	Pilar	$5.33/177.99 = 0.03$	2	94	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P5	Pilar	$6.00/171.97 = 0.03$	2	30	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=231
P6	Pilar	$3.88/225.91 = 0.02$	2	148	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P7	Pilar	$5.82/225.68 = 0.03$	2	105	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=247
P8	Pilar	$10.83/166.34 = 0.07$	2	9	0.005	0.115	0.08	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=226
P9	Pilar	$10.01/175.32 = 0.06$	2	24	0.005	0.114	0.07	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=227
P10	Pilar	$10.06/175.63 = 0.06$	2	23	0.005	0.114	0.07	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=227
P11	Pilar	$10.92/166.47 = 0.07$	2	8	0.005	0.115	0.08	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=226
P12	Pilar	$5.73/225.26 = 0.03$	2	113	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=247
P13	Pilar	$4.00/225.68 = 0.02$	2	146	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P14	Pilar	$5.77/146.33 = 0.04$	2	24	0.006	0.137	0.05	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=223
P15	Pilar	$5.38/177.46 = 0.03$	2	91	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P16	Pilar	$5.39/177.33 = 0.03$	2	93	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P17	Pilar	$5.83/145.91 = 0.04$	2	19	0.006	0.137	0.05	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=223
P18	Pilar	$3.97/225.60 = 0.02$	2	155	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249

Fonte: Autor (2023).

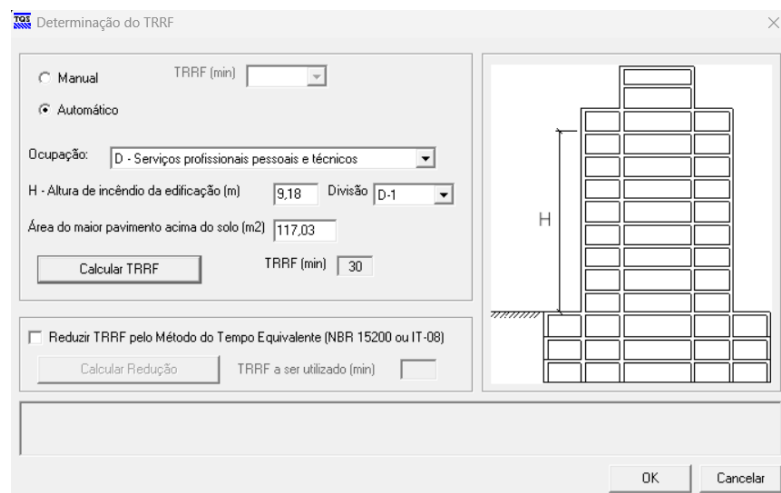
Com os resultados obtidos das duas envoltórias, ‘Fogo’ e ‘ELU1’, percebe-se que para a 2ª hipótese de situação de incêndio nos pavimentos tipo todas as lajes e vigas estão bem dimensionadas para a situação de incêndios em todos os pavimentos do edifício.

Mas, deram como não dimensionados os mesmos pilares do pavimento Cobertura na análise da envoltória ‘Fogo’ e os mesmos pilares dos pavimentos Cobertura e Tipo na envoltória “ELU1”, igualmente se apresentou nos relatórios descritivos da 1ª hipótese. O motivo destes pilares não terem passado nas verificações de segurança estrutural contra o incêndio é o mesmo observado na 1ª hipótese – excentricidade maior que o limite estabelecido pela ABNT NBR 15200:2012 pelo Método Analítico.

10.2.3. 3ª hipótese de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +9,18

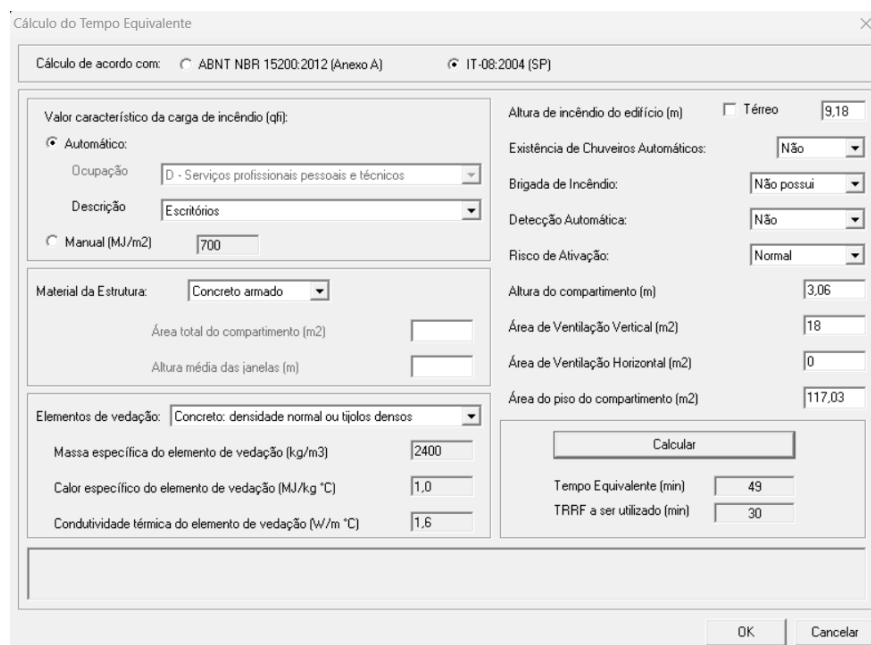
A 3ª hipótese de situação de incêndio será no pavimento tipo na cota +9,18. Conforme as Figuras 85 e 86, o TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo - utilizado para a cota +9,18 para verificar a segurança estrutural será de 30 minutos. Serão realizadas as verificações de resistência ao fogo pelos elementos estruturais utilizando as envoltórias ‘Fogo’ e ‘ELU1’ como recursos de cálculo e análise por meio do programa CAD/TQS.

Figura 85– Determinação do TRRF utilizando o TQS®.



Fonte: Autor (2023).

Figura 86 – Cálculo do tempo equivalente utilizando o TQS®.



Fonte: Autor (2023).

A primeira análise foi realizada por meio da envoltória ‘Fogo’, depois de todos os dados necessários serem inseridos para a verificação e o processamento do edifício, obteve-se obter o relatório descritivo das dos elementos estruturas e também o esquema visual dos elementos estruturas não dimensionadas ou bem dimensionadas.

Foram gerados, então, os relatórios descritivos dos resultados da 3ª hipótese de situação de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +9,18, algumas informações das tabelas que trazem os resultados das verificações das lajes, vigas e pilares são descritas a seguir:

Para a fundação da edificação, onde não se consideram pilares e lajes nas verificações, gerou-se esse relatório de vigas:

Figura 87- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação

Fundacao
Vigas

Titulo	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VB1	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK
VB5	Continua	1	170	S1	OK
		2	170	S1	OK
VB3	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK
VB4	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
VB6	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
VB7	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
VB9	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
VB8	Continua	1	170	S1	OK
		2	170	S1	OK
VB2	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Térreo:

Figura 88- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo

Térreo

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VT6	Biapoiada	1	220	51	OK
VT9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT4	Biapoiada	1	220	51	OK
VT3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT2	Biapoiada	1	220	51	OK
VT1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT5	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 89 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LT2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E2	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT1	Apoiada	1 dir.	2.1	127	32	---	---	OK
LT4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E5	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
LT11	Apoiada	2 dir.	1.6	207	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 90 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Pilares

Título	Tipo	NSd1/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	19.47/232.89 = 0.08	2	3	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P2	Pilar	30.06/178.07 = 0.17	2	3	0.005	0.114	0.21	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P3	Pilar	26.87/183.49 = 0.15	2	3	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P4	Pilar	29.11/182.34 = 0.16	2	5	0.004	0.104	0.19	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=222
P5	Pilar	30.28/178.07 = 0.17	2	3	0.005	0.114	0.21	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=218
P6	Pilar	19.32/232.39 = 0.08	2	7	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P7	Pilar	29.89/232.93 = 0.13	2	4	0.005	0.111	0.16	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=241
P8	Pilar	51.51/170.14 = 0.30	2	1	0.005	0.115	0.37	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=194
P9	Pilar	56.50/178.07 = 0.32	2	1	0.005	0.114	0.39	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=191
P10	Pilar	57.69/177.69 = 0.32	2	3	0.005	0.114	0.39	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=189
P11	Pilar	51.78/170.61 = 0.30	2	1	0.005	0.115	0.37	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=194
P12	Pilar	29.74/232.28 = 0.13	2	6	0.005	0.111	0.16	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=241
P13	Pilar	19.42/233.00 = 0.08	2	5	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P14	Pilar	29.04/151.82 = 0.19	2	2	0.006	0.137	0.23	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P15	Pilar	27.50/183.56 = 0.15	2	5	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P16	Pilar	27.86/182.53 = 0.15	2	6	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=223
P17	Pilar	29.38/152.00 = 0.19	2	1	0.006	0.137	0.24	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=207
P18	Pilar	19.57/232.62 = 0.08	2	7	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para os Pavimentos Tipo:

Figura 91- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Tipo Vigas

Título	Tipo	Vão	b	cl	Situação
V1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V2	Biapoiada	1	220	51	OK
V3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V5	Biapoiada	1	220	51	OK
V6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 92 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Lajes									
Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação	
LE2	Apoiada	1 dir.	2.2	127	32	---	---	OK	
L2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
L3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
E3	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK	
L4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
L5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
L6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK	
E6	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK	
L7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
L8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
L9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	
L10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK	

Fonte: Autor (2023).

Figura 93 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Pilares													
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	16.06/229.57 = 0.07	2	19	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P2	Pilar	24.70/174.41 = 0.14	2	5	0.005	0.114	0.17	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=224
P3	Pilar	22.09/179.90 = 0.12	2	13	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=229
P4	Pilar	23.55/179.82 = 0.13	2	15	0.004	0.104	0.16	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=227
P5	Pilar	24.89/174.60 = 0.14	2	3	0.005	0.114	0.17	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=224
P6	Pilar	15.94/228.42 = 0.07	2	25	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P7	Pilar	24.55/227.74 = 0.11	2	19	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=245
P8	Pilar	41.92/169.75 = 0.25	2	2	0.005	0.115	0.30	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=205
P9	Pilar	44.81/177.46 = 0.25	2	2	0.005	0.114	0.31	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=203
P10	Pilar	43.49/176.72 = 0.25	2	5	0.005	0.114	0.30	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=204
P11	Pilar	42.25/170.75 = 0.25	2	0	0.005	0.115	0.30	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=205
P12	Pilar	24.36/226.59 = 0.11	2	22	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=245
P13	Pilar	16.09/229.34 = 0.07	2	21	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P14	Pilar	24.03/148.64 = 0.16	2	3	0.006	0.137	0.19	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=213
P15	Pilar	20.57/178.91 = 0.11	2	18	0.004	0.104	0.14	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=230
P16	Pilar	20.65/178.85 = 0.12	2	19	0.004	0.104	0.14	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=230
P17	Pilar	24.31/148.32 = 0.16	2	1	0.006	0.137	0.20	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=213
P18	Pilar	16.16/228.61 = 0.07	2	25	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Cobertura:

Figura 94 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Cobertura

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VC4	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC3	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC9	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC5	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC7	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC1	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC8	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC2	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC6	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 95 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LC3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC1	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK
LC6	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 96 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Pilares													
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/As	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	3.46/228.65 = 0.02	2	104	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P2	Pilar	5.32/174.60 = 0.03	2	11	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=232
P3	Pilar	4.78/181.12 = 0.03	2	54	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P4	Pilar	4.74/179.29 = 0.03	2	72	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P5	Pilar	5.38/174.41 = 0.03	2	6	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=232
P6	Pilar	3.41/228.73 = 0.01	2	117	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P7	Pilar	5.44/226.59 = 0.02	2	96	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=248
P8	Pilar	9.80/170.60 = 0.06	2	4	0.005	0.115	0.07	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=228
P9	Pilar	8.95/177.46 = 0.05	2	14	0.005	0.114	0.06	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=228
P10	Pilar	9.00/178.24 = 0.05	2	10	0.005	0.114	0.06	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=228
P11	Pilar	9.89/170.44 = 0.06	2	4	0.005	0.115	0.07	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=228
P12	Pilar	5.36/226.78 = 0.02	2	96	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=248
P13	Pilar	3.51/228.12 = 0.02	2	113	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P14	Pilar	5.17/148.09 = 0.03	2	7	0.006	0.137	0.04	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=224
P15	Pilar	4.83/178.68 = 0.03	2	76	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P16	Pilar	4.83/178.68 = 0.03	2	77	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P17	Pilar	5.23/147.86 = 0.04	2	4	0.006	0.137	0.04	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=224
P18	Pilar	3.49/228.61 = 0.02	2	122	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250

Fonte: Autor (2023).

Agora será utilizada a envoltória “ELU1” para a segunda análise, depois de todos os dados necessários serem inseridos para a verificação e o processamento do edifício. Para a fundação da edificação, onde não se consideram pilares e lajes nas verificações, gerou-se esse relatório de vigas:

Figura 97- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação

Fundacao Vigas					
Título	Tipo	Vão	b	cl	Situação
VB1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Térreo:

Figura 98- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo

Térreo
Vigas

Titulo	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VT6	Biapoiada	1	220	51	OK
VT9	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT10	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT4	Biapoiada	1	220	51	OK
VT3	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT2	Biapoiada	1	220	51	OK
VT1	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT5	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT7	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT8	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT11	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT12	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 99 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Lajes

Titulo	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LT2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E2	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT1	Apoiada	1 dir.	2.1	127	32	---	---	OK
LT4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E5	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
LT11	Apoiada	2 dir.	1.6	207	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 100 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Pilares													
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	24.44/209.20 = 0.12	2	18	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=243
P2	Pilar	33.67/165.86 = 0.20	2	15	0.005	0.114	0.23	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=212
P3	Pilar	30.32/173.49 = 0.17	2	17	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=219
P4	Pilar	32.65/172.20 = 0.19	2	15	0.004	0.104	0.22	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=216
P5	Pilar	33.86/166.40 = 0.20	2	14	0.005	0.114	0.23	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=212
P6	Pilar	24.18/210.95 = 0.11	2	21	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244
P7	Pilar	31.75/207.06 = 0.15	2	11	0.005	0.111	0.17	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=236
P8	Pilar	55.61/153.24 = 0.36	2	4	0.005	0.115	0.40	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=183
P9	Pilar	60.48/165.56 = 0.37	2	7	0.005	0.114	0.41	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=182
P10	Pilar	61.76/166.05 = 0.37	2	8	0.005	0.114	0.42	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=181
P11	Pilar	55.82/153.85 = 0.36	2	4	0.005	0.115	0.40	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=183
P12	Pilar	31.58/208.47 = 0.15	2	15	0.005	0.111	0.17	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=236
P13	Pilar	24.11/211.52 = 0.11	2	17	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244
P14	Pilar	32.37/142.56 = 0.23	2	10	0.006	0.137	0.26	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=201
P15	Pilar	29.75/176.16 = 0.17	2	16	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=220
P16	Pilar	30.15/174.41 = 0.17	2	16	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=219
P17	Pilar	32.77/142.29 = 0.23	2	9	0.006	0.137	0.26	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=200
P18	Pilar	24.46/211.51 = 0.12	2	22	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para os Pavimentos Tipo:

Figura 101- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Tipo Vigas					
Título	Tipo	Vão	b	cl	Situação
V1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V2	Biapoçada	1	220	51	OK
V3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V5	Biapoçada	1	220	51	OK
V6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 102 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Lajes

Titulo	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	cl	b	hc	Situação
LE2	Apoiada	1 dir.	2.2	127	32	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E3	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
E6	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 103 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Pilares

Titulo	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	19.05/214.39 = 0.09	2	30	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P2	Pilar	27.18/163.73 = 0.17	2	22	0.005	0.114	0.19	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P3	Pilar	24.20/173.49 = 0.14	2	26	0.004	0.104	0.16	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=226
P4	Pilar	25.72/171.28 = 0.15	2	29	0.004	0.104	0.17	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P5	Pilar	27.38/164.26 = 0.17	2	20	0.005	0.114	0.19	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P6	Pilar	18.93/215.49 = 0.09	2	36	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P7	Pilar	26.03/209.20 = 0.12	2	26	0.005	0.111	0.14	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=242
P8	Pilar	45.14/154.50 = 0.29	2	6	0.005	0.115	0.32	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=196
P9	Pilar	48.09/164.03 = 0.29	2	9	0.005	0.114	0.33	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=195
P10	Pilar	46.61/164.64 = 0.28	2	14	0.005	0.114	0.32	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=197
P11	Pilar	45.47/154.88 = 0.29	2	5	0.005	0.115	0.33	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=196
P12	Pilar	25.81/209.50 = 0.12	2	30	0.005	0.111	0.14	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=242
P13	Pilar	19.12/217.44 = 0.09	2	32	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P14	Pilar	26.44/139.85 = 0.19	2	15	0.006	0.137	0.21	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P15	Pilar	22.23/171.05 = 0.13	2	34	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=228
P16	Pilar	22.31/170.67 = 0.13	2	35	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=227
P17	Pilar	26.74/139.31 = 0.19	2	13	0.006	0.137	0.22	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P18	Pilar	19.17/215.30 = 0.09	2	36	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Cobertura:

Figura 104 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Cobertura

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VC4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 105 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LC3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC1	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK
LC6	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 106 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Pilares

Titulo	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	3.93/225.68 = 0.02	2	135	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P2	Pilar	5.93/172.16 = 0.03	2	39	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=231
P3	Pilar	5.38/178.91 = 0.03	2	84	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P4	Pilar	5.33/177.99 = 0.03	2	94	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P5	Pilar	6.00/171.97 = 0.03	2	30	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=231
P6	Pilar	3.88/225.91 = 0.02	2	148	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P7	Pilar	5.82/225.68 = 0.03	2	105	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=247
P8	Pilar	10.83/166.34 = 0.07	2	9	0.005	0.115	0.08	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=226
P9	Pilar	10.01/175.32 = 0.06	2	24	0.005	0.114	0.07	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=227
P10	Pilar	10.06/175.63 = 0.06	2	23	0.005	0.114	0.07	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=227
P11	Pilar	10.92/166.47 = 0.07	2	8	0.005	0.115	0.08	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=226
P12	Pilar	5.73/225.26 = 0.03	2	113	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=247
P13	Pilar	4.00/225.68 = 0.02	2	146	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P14	Pilar	5.77/146.33 = 0.04	2	24	0.006	0.137	0.05	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=223
P15	Pilar	5.38/177.46 = 0.03	2	91	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P16	Pilar	5.39/177.33 = 0.03	2	93	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P17	Pilar	5.83/145.91 = 0.04	2	19	0.006	0.137	0.05	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=223
P18	Pilar	3.97/225.60 = 0.02	2	155	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249

Fonte: Autor (2023).

Com os resultados obtidos das duas envoltórias, ‘Fogo’ e ‘ELU1’, percebe-se que para a 3ª hipótese de situação de incêndio nos pavimentos tipo todas as lajes e vigas estão bem dimensionadas para a situação de incêndios em todos os pavimentos do edifício.

Mas, deram também como não dimensionados os mesmos pilares do pavimento Cobertura na análise da envoltória ‘Fogo’ e os mesmos pilares dos pavimentos Cobertura e Tipo na envoltória “ELU1”, igualmente se apresentou nos relatórios descritivos das 1ª e 2ª hipóteses. O motivo destes pilares não terem passado nas verificações de segurança estrutural contra o incêndio é o mesmo observado na 1ª hipótese – excentricidade maior que o limite estabelecido pela ABNT NBR 15200:2012 pelo Método Analítico.

10.2.4. 4ª hipótese de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +12,24

A 4ª hipótese de situação de incêndio será no pavimento tipo na cota +12,24. Conforme as Figuras 107 e 108, o TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo - utilizado para a cota +12,24 para verificar a segurança estrutural será de 60 minutos. Serão realizadas as verificações de resistência ao fogo pelos elementos estruturais utilizando as envoltórias ‘Fogo’ e ‘ELU1’ como recursos de cálculo e análise por meio do programa CAD/TQS.

Figura 107– Determinação do TRRF utilizando o TQS®.

Fonte: Autor (2023).

Figura 108 – Cálculo do tempo equivalente utilizando o TQS®.

Fonte: Autor (2023).

A primeira análise foi realizada por meio da envoltória ‘Fogo’, depois de todos os dados necessários serem inseridos para a verificação e o processamento do edifício, obteve-se obter o relatório descritivo das dos elementos estruturas e também o esquema visual dos elementos estruturas não dimensionadas ou bem dimensionadas.

Foram gerados, então, os relatórios descritivos dos resultados da 4ª hipótese de situação de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +12,24, algumas informações das tabelas que trazem os resultados das verificações das lajes, vigas e pilares são descritas a seguir:

Para a fundação da edificação, onde não se consideram pilares e lajes nas verificações, gerou-se esse relatório de vigas:

Figura 109- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação

Fundacao
Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VB1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Térreo:

Figura 110- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo

Térreo
Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VT6	Biapoiada	1	220	51	OK
VT9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT4	Biapoiada	1	220	51	OK
VT3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT2	Biapoiada	1	220	51	OK
VT1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT5	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 111 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LT2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E2	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT1	Apoiada	1 dir.	2.1	127	32	---	---	OK
LT4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E5	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
LT11	Apoiada	2 dir.	1.6	207	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 112 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ag	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	19.47/232.89 = 0.08	2	3	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P2	Pilar	30.06/178.07 = 0.17	2	3	0.005	0.114	0.21	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P3	Pilar	26.87/183.49 = 0.15	2	3	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P4	Pilar	29.11/182.34 = 0.16	2	5	0.004	0.104	0.19	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=222
P5	Pilar	30.28/178.07 = 0.17	2	3	0.005	0.114	0.21	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=218
P6	Pilar	19.32/232.39 = 0.08	2	7	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P7	Pilar	29.89/232.93 = 0.13	2	4	0.005	0.111	0.16	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=241
P8	Pilar	51.51/170.14 = 0.30	2	1	0.005	0.115	0.37	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=194
P9	Pilar	56.50/178.07 = 0.32	2	1	0.005	0.114	0.39	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=191
P10	Pilar	57.69/177.69 = 0.32	2	3	0.005	0.114	0.39	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=189
P11	Pilar	51.78/170.61 = 0.30	2	1	0.005	0.115	0.37	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=194
P12	Pilar	29.74/232.28 = 0.13	2	6	0.005	0.111	0.16	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=241
P13	Pilar	19.42/233.00 = 0.08	2	5	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P14	Pilar	29.04/151.82 = 0.19	2	2	0.006	0.137	0.23	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P15	Pilar	27.50/183.56 = 0.15	2	5	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P16	Pilar	27.86/182.53 = 0.15	2	6	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=223
P17	Pilar	29.38/152.00 = 0.19	2	1	0.006	0.137	0.24	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=207
P18	Pilar	19.57/232.62 = 0.08	2	7	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para os Pavimentos Tipo:

Figura 113- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Tipo Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V2	Biapoiada	1	220	51	OK
V3	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V5	Biapoiada	1	220	51	OK
V6	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V7	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V8	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V9	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V10	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V11	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V12	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 114 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LE2	Apoiada	1 dir.	2.2	127	32	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E3	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
E6	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 115 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	16.06/229.57 = 0.07	2	19	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P2	Pilar	24.70/174.41 = 0.14	2	5	0.005	0.114	0.17	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=224
P3	Pilar	22.09/179.90 = 0.12	2	13	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=229
P4	Pilar	23.55/179.82 = 0.13	2	15	0.004	0.104	0.16	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=227
P5	Pilar	24.89/174.60 = 0.14	2	3	0.005	0.114	0.17	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=224
P6	Pilar	15.94/228.42 = 0.07	2	25	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P7	Pilar	24.55/227.74 = 0.11	2	19	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=245
P8	Pilar	41.92/169.75 = 0.25	2	2	0.005	0.115	0.30	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=205
P9	Pilar	44.81/177.46 = 0.25	2	2	0.005	0.114	0.31	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=203
P10	Pilar	43.49/176.72 = 0.25	2	5	0.005	0.114	0.30	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=204
P11	Pilar	42.25/170.75 = 0.25	2	0	0.005	0.115	0.30	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=205
P12	Pilar	24.36/226.59 = 0.11	2	22	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=245
P13	Pilar	16.09/229.34 = 0.07	2	21	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P14	Pilar	24.03/148.64 = 0.16	2	3	0.006	0.137	0.19	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=213
P15	Pilar	20.57/178.91 = 0.11	2	18	0.004	0.104	0.14	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=230
P16	Pilar	20.65/178.85 = 0.12	2	19	0.004	0.104	0.14	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=230
P17	Pilar	24.31/148.32 = 0.16	2	1	0.006	0.137	0.20	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=213
P18	Pilar	16.16/228.61 = 0.07	2	25	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Cobertura:

Figura 116 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Cobertura					
Vigas					
Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VC4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 117 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Lajes								
Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LC3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC1	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK
LC6	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 118 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Pilares														
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação	
P1	Pilar	3.46/228.65 = 0.02	2	104	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250	
P2	Pilar	5.32/174.60 = 0.03	2	11	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=232	
P3	Pilar	4.78/181.12 = 0.03	2	54	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234	
P4	Pilar	4.74/179.29 = 0.03	2	72	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234	
P5	Pilar	5.38/174.41 = 0.03	2	6	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=232	
P6	Pilar	3.41/228.73 = 0.01	2	117	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250	
P7	Pilar	5.44/226.59 = 0.02	2	96	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=248	
P8	Pilar	9.80/170.60 = 0.06	2	4	0.005	0.115	0.07	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=228	
P9	Pilar	8.95/177.46 = 0.05	2	14	0.005	0.114	0.06	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=228	
P10	Pilar	9.00/178.24 = 0.05	2	10	0.005	0.114	0.06	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=228	
P11	Pilar	9.89/170.44 = 0.06	2	4	0.005	0.115	0.07	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=228	
P12	Pilar	5.36/226.78 = 0.02	2	96	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=248	
P13	Pilar	3.51/228.12 = 0.02	2	113	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250	
P14	Pilar	5.17/148.09 = 0.03	2	7	0.006	0.137	0.04	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=224	
P15	Pilar	4.83/178.68 = 0.03	2	76	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234	
P16	Pilar	4.83/178.68 = 0.03	2	77	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234	
P17	Pilar	5.23/147.86 = 0.04	2	4	0.006	0.137	0.04	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=224	
P18	Pilar	3.49/228.61 = 0.02	2	122	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250	

Fonte: Autor (2023).

Agora será utilizada a envoltória “ELU1” para a segunda análise, depois de todos os dados necessários serem inseridos para a verificação e o processamento do edifício. Para a fundação da edificação, onde não se consideram pilares e lajes nas verificações, gerou-se esse relatório de vigas:

Figura 119- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação

Fundacao

Vigas

Titulo	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VB1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Térreo:

Figura 120- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo

Térreo

Vigas

Titulo	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VT6	Biapoiada	1	220	51	OK
VT9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT4	Biapoiada	1	220	51	OK
VT3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT2	Biapoiada	1	220	51	OK
VT1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT5	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 121 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	cl	b	hc	Situação
LT2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E2	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT1	Apoiada	1 dir.	2.1	127	32	---	---	OK
LT4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E5	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
LT11	Apoiada	2 dir.	1.6	207	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 122 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
F1	Pilar	24.44/209.20 = 0.12	2	18	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=243
F2	Pilar	33.67/165.86 = 0.20	2	15	0.005	0.114	0.23	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=212
F3	Pilar	30.32/173.49 = 0.17	2	17	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=219
F4	Pilar	32.65/172.20 = 0.19	2	15	0.004	0.104	0.22	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=216
F5	Pilar	33.86/166.40 = 0.20	2	14	0.005	0.114	0.23	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=212
F6	Pilar	24.18/210.95 = 0.11	2	21	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244
F7	Pilar	31.75/207.06 = 0.15	2	11	0.005	0.111	0.17	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=236
F8	Pilar	55.61/153.24 = 0.36	2	4	0.005	0.115	0.40	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=183
F9	Pilar	60.48/165.56 = 0.37	2	7	0.005	0.114	0.41	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=182
F10	Pilar	61.76/166.05 = 0.37	2	8	0.005	0.114	0.42	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=181
F11	Pilar	55.82/153.85 = 0.36	2	4	0.005	0.115	0.40	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=183
F12	Pilar	31.58/208.47 = 0.15	2	15	0.005	0.111	0.17	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=236
F13	Pilar	24.11/211.52 = 0.11	2	17	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244
F14	Pilar	32.37/142.56 = 0.23	2	10	0.006	0.137	0.26	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=201
F15	Pilar	29.75/176.16 = 0.17	2	16	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=220
F16	Pilar	30.15/174.41 = 0.17	2	16	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=219
F17	Pilar	32.77/142.29 = 0.23	2	9	0.006	0.137	0.26	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=200
F18	Pilar	24.46/211.51 = 0.12	2	22	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para os Pavimentos Tipo:

Figura 123- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Tipo Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V2	Biapoiada	1	220	51	OK
V3	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V5	Biapoiada	1	220	51	OK
V6	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V7	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V8	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V9	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V10	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V11	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V12	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 124 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LE2	Apoiada	1 dir.	2.2	127	32	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E3	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
E6	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 125 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Pilares

Título	Tipo	NSd1/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	ci	Situação
P1	Pilar	19.05/214.39 = 0.09	2	30	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P2	Pilar	27.18/163.73 = 0.17	2	22	0.005	0.114	0.19	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P3	Pilar	24.20/173.49 = 0.14	2	26	0.004	0.104	0.16	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=226
P4	Pilar	25.72/171.28 = 0.15	2	29	0.004	0.104	0.17	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P5	Pilar	27.38/164.26 = 0.17	2	20	0.005	0.114	0.19	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P6	Pilar	18.93/215.49 = 0.09	2	36	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P7	Pilar	26.03/209.20 = 0.12	2	26	0.005	0.111	0.14	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=242
P8	Pilar	45.14/154.50 = 0.29	2	6	0.005	0.115	0.32	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=196
P9	Pilar	48.09/164.03 = 0.29	2	9	0.005	0.114	0.33	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=195
P10	Pilar	46.61/164.64 = 0.28	2	14	0.005	0.114	0.32	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=197
P11	Pilar	45.47/154.88 = 0.29	2	5	0.005	0.115	0.33	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=196
P12	Pilar	25.81/209.50 = 0.12	2	30	0.005	0.111	0.14	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=242
P13	Pilar	19.12/217.44 = 0.09	2	32	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P14	Pilar	26.44/139.85 = 0.19	2	15	0.006	0.137	0.21	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P15	Pilar	22.23/171.05 = 0.13	2	34	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=228
P16	Pilar	22.31/170.67 = 0.13	2	35	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=227
P17	Pilar	26.74/139.31 = 0.19	2	13	0.006	0.137	0.22	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P18	Pilar	19.17/215.30 = 0.09	2	36	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Cobertura:

Figura 126 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Cobertura
Vigas

Título	Tipo	Vão	b	ci	Situação
VC4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 127 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Lajes								
Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LC3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC1	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK
LC6	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 128 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Pilares													
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	$3.93/225.68 = 0.02$	2	135	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P2	Pilar	$5.93/172.16 = 0.03$	2	39	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=231
P3	Pilar	$5.38/178.91 = 0.03$	2	84	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P4	Pilar	$5.33/177.99 = 0.03$	2	94	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P5	Pilar	$6.00/171.97 = 0.03$	2	30	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=231
P6	Pilar	$3.88/225.91 = 0.02$	2	148	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P7	Pilar	$5.82/225.68 = 0.03$	2	105	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=247
P8	Pilar	$10.83/166.34 = 0.07$	2	9	0.005	0.115	0.08	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=226
P9	Pilar	$10.01/175.32 = 0.06$	2	24	0.005	0.114	0.07	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=227
P10	Pilar	$10.06/175.63 = 0.06$	2	23	0.005	0.114	0.07	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=227
P11	Pilar	$10.92/166.47 = 0.07$	2	8	0.005	0.115	0.08	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=226
P12	Pilar	$5.73/225.26 = 0.03$	2	113	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=247
P13	Pilar	$4.00/225.68 = 0.02$	2	146	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P14	Pilar	$5.77/146.33 = 0.04$	2	24	0.006	0.137	0.05	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=223
P15	Pilar	$5.38/177.46 = 0.03$	2	91	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P16	Pilar	$5.39/177.33 = 0.03$	2	93	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P17	Pilar	$5.83/145.91 = 0.04$	2	19	0.006	0.137	0.05	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=223
P18	Pilar	$3.97/225.60 = 0.02$	2	155	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249

Fonte: Autor (2023).

Com os resultados obtidos das duas envoltórias, ‘Fogo’ e ‘ELU1’, percebe-se que para a 4ª hipótese de situação de incêndio nos pavimentos tipo todas as lajes e vigas estão bem dimensionadas para a situação de incêndios em todos os pavimentos do edifício.

Mas, deram também como não dimensionados os mesmos pilares do pavimento Cobertura na análise da envoltória ‘Fogo’ e os mesmos pilares dos pavimentos Cobertura e Tipo na envoltória “ELU1”, igualmente se apresentou nos relatórios descritivos das 1ª, 2ª e 3ª hipóteses. O motivo destes pilares não terem passado nas

verificações de segurança estrutural contra o incêndio é o mesmo observado na 1ª hipótese – excentricidade maior que o limite estabelecido pela ABNT NBR 15200:2012 pelo Método Analítico.

10.2.5. 5ª hipótese de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +15,3

A 5ª hipótese de situação de incêndio será no pavimento cobertura na cota +15,3. Conforme as Figuras 129 e 130, o TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo - utilizado para a cota +15,3 para verificar a segurança estrutural será de 60 minutos. Serão realizadas as verificações de resistência ao fogo pelos elementos estruturais utilizando as envoltórias ‘Fogo’ e ‘ELU1’ como recursos de cálculo e análise por meio do programa CAD/TQS.

Figura 129– Determinação do TRRF utilizando o TQS®.

Fonte: Autor (2023).

Figura 130 – Cálculo do tempo equivalente utilizando o TQS®.

Fonte: Autor (2023).

A primeira análise foi realizada por meio da envoltória ‘Fogo’, depois de todos os dados necessários serem inseridos para a verificação e o processamento do edifício, obteve-se obter o relatório descritivo das dos

elementos estruturas e também o esquema visual dos elementos estruturas não dimensionadas ou bem dimensionadas.

Foram gerados, então, os relatórios descritivos dos resultados da 5ª hipótese de situação de situação de incêndio no pavimento tipo na cota +15,3, algumas informações das tabelas que trazem os resultados das verificações das lajes, vigas e pilares são descritas a seguir:

Para a fundação da edificação, onde não se consideram pilares e lajes nas verificações, gerou-se esse relatório de vigas:

Figura 131- Verificação das vigas em situação de incêndio - Fundação

Fundacao
Vigas

Titulo	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VB1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Térreo:

Figura 132- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo

Térreo					
Vigas					
Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VT6	Biapoiada	1	220	51	OK
VT9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT4	Biapoiada	1	220	51	OK
VT3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT2	Biapoiada	1	220	51	OK
VT1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT5	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VT7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VT8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VT12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 133 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Lajes								
Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LT2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E2	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT1	Apoiada	1 dir.	2.1	127	32	---	---	OK
LT4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E5	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
LT11	Apoiada	2 dir.	1.6	207	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 134 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Pilares													
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	19.47/232.89 = 0.08	2	3	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P2	Pilar	30.06/178.07 = 0.17	2	3	0.005	0.114	0.21	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P3	Pilar	26.87/183.49 = 0.15	2	3	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P4	Pilar	29.11/182.34 = 0.16	2	5	0.004	0.104	0.19	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=222
P5	Pilar	30.28/178.07 = 0.17	2	3	0.005	0.114	0.21	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=218
P6	Pilar	19.32/232.39 = 0.08	2	7	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P7	Pilar	29.89/232.93 = 0.13	2	4	0.005	0.111	0.16	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=241
P8	Pilar	51.51/170.14 = 0.30	2	1	0.005	0.115	0.37	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=194
P9	Pilar	56.50/178.07 = 0.32	2	1	0.005	0.114	0.39	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=191
P10	Pilar	57.69/177.69 = 0.32	2	3	0.005	0.114	0.39	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=189
P11	Pilar	51.78/170.61 = 0.30	2	1	0.005	0.115	0.37	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=194
P12	Pilar	29.74/232.28 = 0.13	2	6	0.005	0.111	0.16	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=241
P13	Pilar	19.42/233.00 = 0.08	2	5	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250
P14	Pilar	29.04/151.82 = 0.19	2	2	0.006	0.137	0.23	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P15	Pilar	27.50/183.56 = 0.15	2	5	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P16	Pilar	27.86/182.53 = 0.15	2	6	0.004	0.104	0.18	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=223
P17	Pilar	29.38/152.00 = 0.19	2	1	0.006	0.137	0.24	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=207
P18	Pilar	19.57/232.62 = 0.08	2	7	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=250

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para os Pavimentos Tipo:

Figura 135- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Tipo Vigas					
Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V2	Biapoiada	1	220	51	OK
V3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V5	Biapoiada	1	220	51	OK
V6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
V7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
V11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
V12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 136 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	cl	b	hc	Situação
LE2	Apoiada	1 dir.	2.2	127	32	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E3	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
E6	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 137 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	16.06/229.57 = 0.07	2	19	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P2	Pilar	24.70/174.41 = 0.14	2	5	0.005	0.114	0.17	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=224
P3	Pilar	22.09/179.90 = 0.12	2	13	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=229
P4	Pilar	23.55/179.82 = 0.13	2	15	0.004	0.104	0.16	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=227
P5	Pilar	24.89/174.60 = 0.14	2	3	0.005	0.114	0.17	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=224
P6	Pilar	15.94/228.42 = 0.07	2	25	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P7	Pilar	24.55/227.74 = 0.11	2	19	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=245
P8	Pilar	41.92/169.75 = 0.25	2	2	0.005	0.115	0.30	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=205
P9	Pilar	44.81/177.46 = 0.25	2	2	0.005	0.114	0.31	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=203
P10	Pilar	43.49/176.72 = 0.25	2	5	0.005	0.114	0.30	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=204
P11	Pilar	42.25/170.75 = 0.25	2	0	0.005	0.115	0.30	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=205
P12	Pilar	24.36/226.59 = 0.11	2	22	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=245
P13	Pilar	16.09/229.34 = 0.07	2	21	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253
P14	Pilar	24.03/148.64 = 0.16	2	3	0.006	0.137	0.19	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=213
P15	Pilar	20.57/178.91 = 0.11	2	18	0.004	0.104	0.14	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=230
P16	Pilar	20.65/178.85 = 0.12	2	19	0.004	0.104	0.14	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=230
P17	Pilar	24.31/148.32 = 0.16	2	1	0.006	0.137	0.20	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=213
P18	Pilar	16.16/228.61 = 0.07	2	25	0.005	0.111	0.08	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=253

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Cobertura:

Figura 138 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Cobertura

Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VC4	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC3	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC9	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC5	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC7	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC1	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC8	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC2	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC6	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 139 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LC3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC1	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK
LC6	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 140 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Pilares													
Título	Tipo	NSdi/Nrd	NFE	e	As/As	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	3.46/228.65 = 0.02	2	104	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P2	Pilar	5.32/174.60 = 0.03	2	11	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=232
P3	Pilar	4.78/181.12 = 0.03	2	54	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P4	Pilar	4.74/179.29 = 0.03	2	72	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P5	Pilar	5.38/174.41 = 0.03	2	6	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=232
P6	Pilar	3.41/228.73 = 0.01	2	117	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P7	Pilar	5.44/226.59 = 0.02	2	96	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=248
P8	Pilar	9.80/170.60 = 0.06	2	4	0.005	0.115	0.07	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=228
P9	Pilar	8.95/177.46 = 0.05	2	14	0.005	0.114	0.06	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=228
P10	Pilar	9.00/178.24 = 0.05	2	10	0.005	0.114	0.06	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=228
P11	Pilar	9.89/170.44 = 0.06	2	4	0.005	0.115	0.07	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=228
P12	Pilar	5.36/226.78 = 0.02	2	96	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=248
P13	Pilar	3.51/228.12 = 0.02	2	113	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250
P14	Pilar	5.17/148.09 = 0.03	2	7	0.006	0.137	0.04	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=224
P15	Pilar	4.83/178.68 = 0.03	2	76	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P16	Pilar	4.83/178.68 = 0.03	2	77	0.004	0.104	0.03	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=234
P17	Pilar	5.23/147.86 = 0.04	2	4	0.006	0.137	0.04	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=224
P18	Pilar	3.49/228.61 = 0.02	2	122	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=250

Fonte: Autor (2023).

Agora será utilizada a envoltória “ELU1” para a segunda análise, depois de todos os dados necessários serem inseridos para a verificação e o processamento do edifício. Para a fundação da edificação, onde não se consideram pilares e lajes nas verificações, gerou-se esse relatório de vigas:

Figura 141- Verificação das vigas em situação de incêndio – Fundação

Fundacao Vigas					
Título	Tipo	Vão	b	cl	Situação
VB1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB5	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VB4	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB6	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VB8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VB2	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Térreo:

Figura 142- Verificação das vigas em situação de incêndio – Pavimentos Térreo

Térreo
Vigas

Título	Tipo	Vão	b	cl	Situação
VI6	Biapoiada	1	220	51	OK
VI9	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VI10	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VI4	Biapoiada	1	220	51	OK
VI3	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VI2	Biapoiada	1	220	51	OK
VI1	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VI5	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VI7	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VI8	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VI11	Continua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VI12	Continua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 143 - Verificação das lajes em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	cl	b	hc	Situação
LT2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E2	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT1	Apoiada	1 dir.	2.1	127	32	---	---	OK
LT4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E5	Apoiada	2 dir.	1.6	87	35	---	---	OK
LT8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LT6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
LT11	Apoiada	2 dir.	1.6	207	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 144 - Verificação dos pilares em situação de incêndio – Pavimento Térreo

Pilares													
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	24.44/209.20 = 0.12	2	18	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=243
P2	Pilar	33.67/165.86 = 0.20	2	15	0.005	0.114	0.23	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=212
P3	Pilar	30.32/173.49 = 0.17	2	17	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=219
P4	Pilar	32.65/172.20 = 0.19	2	15	0.004	0.104	0.22	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=216
P5	Pilar	33.86/166.40 = 0.20	2	14	0.005	0.114	0.23	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=212
P6	Pilar	24.18/210.95 = 0.11	2	21	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244
P7	Pilar	31.75/207.06 = 0.15	2	11	0.005	0.111	0.17	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=236
P8	Pilar	55.61/153.24 = 0.36	2	4	0.005	0.115	0.40	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=183
P9	Pilar	60.48/165.56 = 0.37	2	7	0.005	0.114	0.41	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=182
P10	Pilar	61.76/166.05 = 0.37	2	8	0.005	0.114	0.42	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=181
P11	Pilar	55.82/153.85 = 0.36	2	4	0.005	0.115	0.40	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=183
P12	Pilar	31.58/208.47 = 0.15	2	15	0.005	0.111	0.17	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=236
P13	Pilar	24.11/211.52 = 0.11	2	17	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244
P14	Pilar	32.37/142.56 = 0.23	2	10	0.006	0.137	0.26	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=201
P15	Pilar	29.75/176.16 = 0.17	2	16	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=220
P16	Pilar	30.15/174.41 = 0.17	2	16	0.004	0.104	0.20	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=219
P17	Pilar	32.77/142.29 = 0.23	2	9	0.006	0.137	0.26	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=200
P18	Pilar	24.46/211.51 = 0.12	2	22	0.005	0.111	0.13	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=244

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para os Pavimentos Tipo:

Figura 145- Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Tipo Vigas					
Título	Tipo	Vão	b	cl	Situação
V1	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK
V2	Biapoiada	1	220	S1	OK
V3	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK
V5	Biapoiada	1	220	S1	OK
V6	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
		3	220	S1	OK
		4	220	S1	OK
		5	220	S1	OK
V7	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
V8	Continua	1	170	S1	OK
		2	170	S1	OK
V9	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
V10	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK
V11	Continua	1	170	S1	OK
		2	170	S1	OK
V12	Continua	1	220	S1	OK
		2	220	S1	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 146 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LE2	Apoiada	1 dir.	2.2	127	32	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
E3	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L6	Apoiada	2 dir.	1.8	97	35	---	---	OK
E6	Apoiada	2 dir.	1.6	97	35	---	---	OK
L7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
L10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 147 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimentos Tipo

Pilares

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	19.05/214.39 = 0.09	2	30	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P2	Pilar	27.18/163.73 = 0.17	2	22	0.005	0.114	0.19	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P3	Pilar	24.20/173.49 = 0.14	2	26	0.004	0.104	0.16	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=226
P4	Pilar	25.72/171.28 = 0.15	2	29	0.004	0.104	0.17	3.06	1.53	6	200x550	50	OK, TRF=224
P5	Pilar	27.38/164.26 = 0.17	2	20	0.005	0.114	0.19	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=219
P6	Pilar	18.93/215.49 = 0.09	2	36	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P7	Pilar	26.03/209.20 = 0.12	2	26	0.005	0.111	0.14	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=242
P8	Pilar	45.14/154.50 = 0.29	2	6	0.005	0.115	0.32	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=196
P9	Pilar	48.09/164.03 = 0.29	2	9	0.005	0.114	0.33	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=195
P10	Pilar	46.61/164.64 = 0.28	2	14	0.005	0.114	0.32	3.06	1.53	4	300x350	53	OK, TRF=197
P11	Pilar	45.47/154.88 = 0.29	2	5	0.005	0.115	0.33	3.06	1.53	6	200x500	50	OK, TRF=196
P12	Pilar	25.81/209.50 = 0.12	2	30	0.005	0.111	0.14	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=242
P13	Pilar	19.12/217.44 = 0.09	2	32	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249
P14	Pilar	26.44/139.85 = 0.19	2	15	0.006	0.137	0.21	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P15	Pilar	22.23/171.05 = 0.13	2	34	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	TRF>TRF*, TRF=228
P16	Pilar	22.31/170.67 = 0.13	2	35	0.004	0.104	0.15	3.06	1.53	6	200x550	50	TRF>TRF*, TRF=227
P17	Pilar	26.74/139.31 = 0.19	2	13	0.006	0.137	0.22	3.06	1.53	4	250x350	53	OK, TRF=208
P18	Pilar	19.17/215.30 = 0.09	2	36	0.005	0.111	0.10	3.06	1.53	8	250x550	50	OK, TRF=249

Fonte: Autor (2023).

Foram gerados os seguintes relatórios descritivos dos resultados para o Pavimento Cobertura:

Figura 148 - Verificação das vigas em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Cobertura
Vigas

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
VC4	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC3	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC9	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC5	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC7	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
VC1	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC8	Contínua	1	170	51	OK
		2	170	51	OK
VC2	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK
		3	220	51	OK
		4	220	51	OK
		5	220	51	OK
VC6	Contínua	1	220	51	OK
		2	220	51	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 149 - Verificação das lajes em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Lajes

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
LC3	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC4	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC8	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC9	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC5	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC7	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC2	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC10	Apoiada	2 dir.	1.0	107	35	---	---	OK
LC1	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK
LC6	Apoiada	2 dir.	1.3	107	35	---	---	OK

Fonte: Autor (2023).

Figura 150 - Verificação dos pilares em situação de incêndio - Pavimento Cobertura

Pilares													
Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ag	w	ni	le	le, fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	$3.93/225.68 = 0.02$	2	135	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P2	Pilar	$5.93/172.16 = 0.03$	2	39	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=231
P3	Pilar	$5.38/178.91 = 0.03$	2	84	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P4	Pilar	$5.33/177.99 = 0.03$	2	94	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P5	Pilar	$6.00/171.97 = 0.03$	2	30	0.005	0.114	0.04	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=231
P6	Pilar	$3.88/225.91 = 0.02$	2	148	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P7	Pilar	$5.82/225.68 = 0.03$	2	105	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=247
P8	Pilar	$10.83/166.34 = 0.07$	2	9	0.005	0.115	0.08	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=226
P9	Pilar	$10.01/175.32 = 0.06$	2	24	0.005	0.114	0.07	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=227
P10	Pilar	$10.06/175.63 = 0.06$	2	23	0.005	0.114	0.07	3.06	2.14	4	300x350	53	OK, TRF=227
P11	Pilar	$10.92/166.47 = 0.07$	2	8	0.005	0.115	0.08	3.06	2.14	6	200x500	50	OK, TRF=226
P12	Pilar	$5.73/225.26 = 0.03$	2	113	0.005	0.111	0.03	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=247
P13	Pilar	$4.00/225.68 = 0.02$	2	146	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249
P14	Pilar	$5.77/146.33 = 0.04$	2	24	0.006	0.137	0.05	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=223
P15	Pilar	$5.38/177.46 = 0.03$	2	91	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P16	Pilar	$5.39/177.33 = 0.03$	2	93	0.004	0.104	0.04	3.06	2.14	6	200x550	50	TRF>TRRF*, TRF=233
P17	Pilar	$5.83/145.91 = 0.04$	2	19	0.006	0.137	0.05	3.06	2.14	4	250x350	53	OK, TRF=223
P18	Pilar	$3.97/225.60 = 0.02$	2	155	0.005	0.111	0.02	3.06	2.14	8	250x550	50	TRF>TRRF*, TRF=249

Fonte: Autor (2023).

Com os resultados obtidos das duas envoltórias, ‘Fogo’ e ‘ELU1’, percebe-se que para a 5ª hipótese de situação de incêndio nos pavimentos tipo todas as lajes e vigas estão bem dimensionadas para a situação de incêndios em todos os pavimentos do edifício.

Mas, deram também como não dimensionados os mesmos pilares do pavimento Cobertura na análise da envoltória ‘Fogo’ e os mesmos pilares dos pavimentos Cobertura e Tipo na envoltória “ELU1”, igualmente se apresentou nos relatórios descritivos das 1ª, 2ª, 3ª e 4ª hipóteses. O motivo destes pilares não terem passado nas verificações de segurança estrutural contra o incêndio é o mesmo observado na 1ª hipótese – excentricidade maior que o limite estabelecido pela ABNT NBR 15200:2012 pelo Método Analítico.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do avanço deste trabalho, observou-se que há uma quantidade reduzida de artigos e pesquisas voltadas a analisar a influência e o efeito do fogo em estruturas de concreto armado. Com as ferramentas e programas computacionais disponíveis na atualidade, mais estudos e análises podem ser realizados para entender como os edifícios se comportam sobre situações de ações excepcionais, como o incêndio.

Por meio do estudo de caso realizado neste trabalho, com as 5 hipóteses de situações de incêndio atingindo o edifício gradativamente, pode-se chegar à conclusão, juntamente com os trabalhos de Almeida (2018), Silva (2022) e Reis (2022); que por mais que os elementos estruturais estejam muito bem dimensionados e verificados segundo a NBR 6118:2014, ainda assim é necessário passar pelas demais verificações para garantir a segurança estrutural da edificação. Para as duas envoltórias analisadas, ‘Fogo’ e ‘ELU1’, afere-se que ambas têm praticamente a mesma precisão dos resultados obtidos nas verificações de segurança estrutural contra incêndio.

Nas verificações realizadas nas 5 hipóteses de incêndio localizado nos pavimentos, notou-se que os mesmos pilares – P1, P3, P4, P6, P7, P12, P13, P15, P16 e P18 - não passaram nas verificações de segurança estrutural para o pavimento Cobertura nas duas envoltórias utilizadas. Como também, a envoltória ‘ELU1’ detectou que nos pavimentos tipo, os pilares P15 e P16, não obtiveram um resultado satisfatório nas verificações. Os relatórios descritivos colhidos das envoltórias ‘Fogo’ e ‘ELU1’ trouxeram resultados positivos, partindo do princípio que ambos tiveram resultados bem próximos nas verificações. Observa-se também que nenhuma das vigas ou lajes para nenhuma das verificações realizadas das 5 hipóteses de situações de incêndio, obtiveram resultado de estarem não dimensionadas. Isso é positivo, revelando que para um bom dimensionamento estrutural conforme a NBR 6118:2014 pode conferir uma boa resistência às ações excepcionais que podem assolar a estrutura em toda a sua vida útil.

Por fim, observou-se que há a possibilidade de complementar tal estudo comparando os resultados obtidos por meio do programa comercial TQS® neste estudo de caso com outro, utilizando o mesmo edifício e o programa comercial Eberick. Ou então, realizar análises da influência e resistência ao fogo no mesmo edifício usando o TQS® só que comparando com a modelagem em Alvenaria Estrutural e Concreto Protendido, observando como são a profundidade dos resultados em termos de resistência estrutural e redimensionamento. Para este último item de sugestão de trabalhos futuros, notou-se a falta destes tipos de análises comportamentais dos elementos estruturais de diferentes tipologias de sistemas construtivos – Alvenaria Estrutural, Concreto Protendido e Estruturas mistas em Concreto e Aço - em situação de incêndio; podendo também versar em estudos laboratoriais da comparação da resistência térmica e mecânica ao fogo de diferentes materiais usados para função estrutural. Então, compreende-se a grande vastidão de estudos que podem ser gerados e desenvolvidos dentro desta área que ainda necessita de tantos estudos e informações para a maior segurança

no dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais, com a finalidade de se tornarem mais seguras e econômicas.

12.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681:2003** – “Ações e segurança nas estruturas”. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323:2003** – “Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio”. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200:2004** – “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio”. Rio de Janeiro, 2004.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628:2001** – “Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo”. Rio de Janeiro, 2001.

Albuquerque, Gabriela & Silva, Valdir. (2013). **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio por meio gráfico**. 6. 513-536.

ALDEA, C. M.; FRANSSEN, J.-M.; DOTREPPE, J.-C. **Fire test on normal and high-strength reinforced concrete columns**. In: **INTERNATIONAL WORKSHOP ON FIRE PERFORMANCE OF HIGH-STRENGTH CONCRETE**, 1997, Gaithersburg, MD. Proceedings... Gaithersburg, MD: National Institute of Standard and Technology, 1997. p. 109–124.

ALMEIDA, M. C. **Verificação da segurança estrutural de pilares de concreto armado em situação de incêndio**. 2018. 100 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E119-2000: standard test methods for fire tests of building construction and materials**. Philadelphia: ASCE, 2000.

ANJOS, Luísa Vitória Santos dos. **Análise de pilares de concreto armado em situação de incêndio**. 2020. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2021.

BUCHANAN, A. H. **Structural for design fire safety**. Chichester; New York: Wiley, 2001. xxii, 421 p.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. **Instrução técnica nº CBMMG 06/61/20**. Dispõe sobre Segurança estrutural das edificações. DOEMG, n. 260, 12 dez 2022.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. **Instrução técnica nº CBMMG 09: Carga de incêndio nas edificações e área de risco**. DOEMG, n. 260, 12 dez 2022.

Costa, Carla & Figueiredo, Antonio & Silva, Valdir. (2002). **O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica**.

COSTA, Carla Neves. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. doi:10.11606/T.3.2008.tde-04092008-155911. Acesso em: 2022-10-08.

COSTA, C. N. **Trial of the tabular “A” method of the EUROCODE 2-1-2:2004 for the fire design of reinforced columns**. Manchester: MACE/UMIST, 2006. 61 p. (Final Report).

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1991-1-2: Eurocode 1: actions on structures – part 1.2: general actions – actions on structures exposed to fire**. Brussels: CEN, 2002.

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

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **ENV 1992-1-2: Eurocode 2: design of concrete structures – Part 1-2: general rules — structural fire design**. Brussels: CEN, 1995. 85 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1995-1-2: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2: General Rules – Structural Fire Design**. Brussels: CEN, 2004. 69 p.

FIB, F. I. D. B. **Bulletin 38 - Fire design of concrete structures**. Lausanne, Suíça: EPFL, 2007.

FRANSSEN, J.-M. **Design of concrete columns based on EC2 tabulated data – critical review**. In: **INTERNATIONAL WORKSHOP “STRUCTURES IN FIRE” – SiF’2000**, 1., 2000, Copenhagen. Proceedings... Copenhagen: University of Liège/Danish Institute of Fire Technology/CIB-W14 Fire, 2000. p. 323–339.

ISO 834-1, 1999, **Fire-Resistance Tests - Elements of Building Construction, Part 1: General Requirements**, ISO - International Organization for Standardization, Geneva.

MINAS GERAIS. Decreto nº 44.746, de 29 de fevereiro de 2008. Regulamenta a Lei nº 14.130, de 19 de dezembro de 2001, que dispõe sobre a prevenção contra incêndio e pânico no Estado e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.

MINAS GERAIS. Secretaria de Segurança Pública. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Instrução Técnica nº 06: Segurança estrutural das edificações**. Minas Gerais, 2005.

MINAS GERAIS. Secretaria de Segurança Pública. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Instrução Técnica nº 09: Carga de incêndio nas edificações e área de risco**. Minas Gerais, 2005.

PURKISS, John A. **Fire Safety Engineering Design of Structures**. Butterworth Heinemann. Oxford, 1996.

KLEIN JÚNIOR, Odinir. **Pilares de concreto armado em situação de incêndio submetidos à flexão normal composta**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. doi:10.11606/D.3.2011.tde-17082011-154210. Acesso em: 2022-10-16.

REIS, Dayanne Castro. **Análise comportamental de vigas de concreto armado em situação de incêndio**. 2022. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia.

REINA, A. G. R. **Dimensionamento de elementos de concreto à flexão simples em situação de incêndio**. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.

SÃO PAULO (Estado). **Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública**. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. Instrução Técnica n. 8: Resistência ao fogo dos elementos de construção. São Paulo, 2011.

SOUSA, Douglas Alves de; SILVA, Guilherme Pereira. **ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**. 2015. 137 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015. > Acesso em: 15 out. 2022.

SILVA, Bruno Ravagnani Rodrigues. **Análise comportamental de lajes de concreto armado em situação de incêndio**. 2022. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia.

Silva, V. P. (2016). **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio conforme ABNT NBR 15200(2 ed.)**. São Paulo: Blucher.

TQS Informática Ltda. **TQS Estudante**. São Paulo, 2022. Disponível em: <
<https://www.tqs.com.br/systems/tqs-estudante/kd04pfvhi1>>. Acesso em: 25 dez. 2022.

13.ANEXO A

Cargas de incêndio específicas por ocupação (IT 09 - 2020)

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de Incêndio (<i>qfi</i>) em MJ/m ²
Residencial	Alojamentos estudantis	A-3	300
	Apartamentos	A-2	300
	Casas térreas ou sobrados	A-1	300
	Pensionatos	A-3	300
Serviços de Hospedagem	Hotéis	B-1	500
	Motéis	B-1	500
	Apart-hotéis	B-2	300
Comercial varejista, loja	Açougue	C-1	40
	Antiguidades	C-2	700
	Aparelhos domésticos	C-1	300
	Armarinhos	C-1	300
	Armas	C-1	300
	Artigos de bijuteria, metal ou vidro	C-1	300
	Artigos de cera	C-2	2100
	Artigos de couro, borracha, esportivos	C-2	800
	Automóveis	C-1	200
	Bebidas destiladas	C-2	700
	Brinquedos	C-2	500
	Calçados	C-2	500
	Drogarias (incluindo depósitos)	C-2	1000
	Ferragens	C-1	300
	Floricultura	C-1	80
	Galeria de quadros	C-1	200
	Livrarias	C-2	1000
	Lojas de departamento ou centro de compras (Shoppings)	C-2 / C-3	800
	Máquinas de costura ou de escritório	C-1	300
	Materiais fotográficos	C-1	300
	Móveis	C-2	400
	Papelarias	C-2	700
	Perfumarias	C-2	400
	Produtos têxteis	C-2	600
	Relojoarias	C-2	600
	Supermercados	C-2	400
	Tapetes	C-2	800

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de Incêndio (<i>qfi</i>) em MJ/m²
Comercial varejista, loja	Tintas e vernizes	C-2	1000
	Verduras frescas	C-1	200
	Vinhos	C-1	200
	Vulcanização	C-2	1000
Serviços profissionais , pessoais e técnicos	Agências bancárias	D-2	300
	Agências de correios	D-1	400
	Centrais telefônicas	D-1	100
	Cabeleireiros	D-1	200
	Copiadora	D-1	400
	Encadernadoras	D-1	1000
	Escritórios	D-1	700
	Estúdios de rádio ou de televisão ou de fotografia	D-1	300
	Laboratórios químicos	D-4	500
	Laboratórios (outros)	D-4	300
	Lavanderias	D-3	300
	Oficinas elétricas	D-3	600
	Oficinas hidráulicas ou mecânicas	D-3	200
	Pinturas	D-3	500
	Processamentos de dados	D-1	400
Educacional e cultura física	Academias de ginástica e similares	E-3	300
	Pré-escolas e similares	E-5	300
	Creches e similares	E-5	300
	Escolas em geral	E-1 / E-2 / E-4 / E-6	300
Locais de reunião depúblico	Bibliotecas	F-1	2000
	Cinemas, teatros e similares	F-5	600
	Circos e assemelhados	F-7	500
	Centros esportivos e de exibição	F-3	150
	Clubes sociais, boates e similares	F-6	600
	Estações e terminais de passageiros	F-4	200
	Exposições	F-10	Levantamento de carga de incêndio, conforme IT 09 (2017).
	Igrejas e templos	F-2	200
	Museus	F-1	300
	Restaurantes	F-8	300
Serviços automotivos e assemelhados	Estacionamentos	G-1 / G-2	200
	Oficinas de conserto de veículos e manutenção	G-4	300

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de Incêndio (<i>qfi</i>) em MJ/m ²
Serviços automotivos e assemelhados	Postos de abastecimento (tanques enterrados)	G-3	300
	Hangares	G-5	200
Serviços de saúde e institucionais	Asilos	H-2	350
	Clínicas e consultórios médicos e odontológicos	H-6	200
	Hospitais em geral	H-1 / H-3	300
	Presídios e similares	H-5	100
	Quartéis e similares	H-4	450
Industrial	Aparelhos eletroeletrônicos, fotográficos, ópticos	I-2	400
	Acessórios para automóveis	I-1	300
	Acetileno	I-2	700
	Alimentação	I-2	800
	Artigos de borracha, cortiça, couro, feltro, espuma	I-2	600
	Artigos de argila, cerâmica ou porcelanas	I-1	200
	Artigos de bijuteria	I-1	200
	Artigos de cera	I-2	1000
	Artigos de gesso	I-1	80
	Artigos de mármore	I-1	40
	Artigos de peles	I-2	500
	Artigos de plásticos em geral	I-2	1000
	Artigos de tabaco	I-1	200
	Artigos de vidro	I-1	80
	Automotiva e autopeças (exceto pintura)	I-1	300
	Automotiva e autopeças pintura)	I-2	500
	Aviões	I-2	600
	Balanças	I-1	300
	Baterias	I-2	800
	Bebidas destiladas	I-2	500
	Bebidas não alcoólicas	I-1	80
	Bicicletas	I-1	200
	Brinquedos	I-2	500
	Café (inclusive torrefação)	I-2	400
	Caixotes, barris ou pallets de madeira	I-2	1000
	Calçados	I-2	600
	Carpintarias e marcenarias	I-2	800
	Cera de polimento	I-3	2000
	Cerâmica	I-1	200

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de Incêndio (<i>qfi</i>) em MJ/m ²
Industrial	Cereais	I-3	1700
	Cervejarias	I-1	80
	Chapas de aglomerado ou compensado	I-1	300
	Chocolate	I-2	400
	Cimento	I-1	40
	Cobertores, tapetes	I-2	600
	Colas	I-2	800
	Colchões (exceto espuma)	I-2	500
	Condimentos, conservas	I-1	40
	Confeitarias	I-2	400
	Congelados	I-2	800
	Couro sintético	I-2	1000
	Defumados	I-1	200
	Discos de música	I-2	600
	Doces	I-2	800
	Espumas	I-3	3000
	Farinhas	I-3	2000
	Feltros	I-2	600
	Fermentos	I-2	800
	Fiações	I-2	600
	Fibras sintéticas	I-1	300
	Fios elétricos	I-1	300
	Flores artificiais	I-1	300
	Fornos de secagem com grade de madeira	I-2	1000
	Forragem	I-3	2000
	Fundições de metal	I-1	40
	Galpões de secagem com grade de madeira	I-2	400
	Geladeiras	I-2	1000
	Gelatinas	I-2	800
	Gesso	I-1	80
	Gorduras comestíveis	I-2	1000
	Gráficas (empacotamento)	I-3	2000
	Gráficas (produção)	I-2	400
	Guarda-chuvas	I-1	300
	Instrumentos musicais	I-2	600
	Janelas e portas de madeira	I-2	800
	Jóias	I-1	200
	Laboratórios farmacêuticos	I-1	300

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de Incêndio (<i>qfi</i>) em MJ/m ²
Industrial	Laboratórios químicos	I-2	500
	Lápis	I-2	600
	Lâmpadas	I-1	40
	Laticínios	I-1	200
	Malharias	I-1	300
	Máquinas de lavar de costura ou de escritório	I-1	300
	Massas alimentícias	I-2	1000
	Mastiques	I-2	1000
	Materiais sintéticos ou plásticos	I-3	2000
	Metalurgia	I-1	200
	Montagens de automóveis	I-1	300
	Motocicletas	I-1	300
	Motores elétricos	I-1	300
	Móveis	I-2	600
	Óleos comestíveis	I-2	1000
	Padarias	I-2	1000
	Papéis (acabamento)	I-2	500
	Papéis (preparo da celulose)	I-1	80
	Papéis (procedimento)	I-2	800
	Papelões betuminados	I-3	2000
	Papelões ondulados	I-2	800
	Pedras	I-1	40
	Perfumes	I-1	300
	Pneus	I-2	700
	Produtos adesivos	I-2	1000
	Produtos de adubo químico	I-1	200
	Produtos alimentícios (expedição)	I-2	1000
	Produtos com ácido acético	I-1	200
	Produtos com ácido carbônico	I-1	40
	Produtos com ácido inorgânico	I-1	80
	Produtos com albumina	I-3	2000
	Produtos com alcatrão	I-2	800
	Produtos com amido	I-3	2000
	Produtos com soda	I-1	40
	Produtos de limpeza	I-3	2000
	Produtos graxos	I-1	1000
	Produtos refratários	I-1	200
	Rações	I-3	2000

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de Incêndio (<i>q_{fi}</i>) em MJ/m ²
Industrial	Relógios	I-1	300
	Resinas	I-3	3000
	Roupas	I-2	500
	Sabões	I-1	300
	Sacos de papel	I-2	800
	Sacos de juta	I-2	500
	Sorvetes	I-1	80
	Sucos de fruta	I-1	200
	Tapetes	I-2	600
	Têxteis em geral	I-2	700
	Tintas e solventes	I-3	4000
	Tintas látex	I-2	800
	Tintas não inflamáveis	I-1	200
	Transformadores	I-1	200
	Tratamento de madeira	I-3	3000
	Tratores	I-1	300
	Vagões	I-1	200
	Vassouras ou escovas	I-2	700
	Velas de cera	I-3	1300
	Vidros ou espelhos	I-1	200
	Vinagres	I-1	80
Demais usos	Demais atividades não enquadradas acima	Levantamento de carga de incêndio, conforme IT 09 (2017).	

Fonte: CBMMG (2020)