



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CARLOS ARTHUR DE OLIVEIRA CÂNDIDO

**DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO PARA SITUAÇÃO NORMAL DE
TEMPERATURA E PARA SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: UMA ANÁLISE
COMPARATIVA**

FORTALEZA

2019

CARLOS ARTHUR DE OLIVEIRA CÂNDIDO

DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO PARA SITUAÇÃO NORMAL DE
TEMPERATURA E PARA SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof. Dr. Magnólia Maria Campelo Mota.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C223d Cândia, Carlos Arthur de Oliveira.
Dimensionamento de um edifício para situação normal de temperatura e para situação de incêndio : uma análise comparativa / Carlos Arthur de Oliveira Cândia. – 2019.
161 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profa. Dra. Magnólia Maria Campelo Mota.
1. Incêndio. 2. Estruturas de concreto armado. 3. Norma de incêndio. 4. Viabilidade estrutural. 5. Viabilidade econômica. I. Título.

CDD 620

CARLOS ARTHUR DE OLIVEIRA CÂNDIDO

DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO PARA SITUAÇÃO NORMAL DE
TEMPERATURA E PARA SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovada em: 29/11/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Magnólia Maria Campelo Mota (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Augusto Teixeira de Albuquerque
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Joaquim Eduardo Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Carlos e Silvia e toda a minha
família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre guiar meu caminho na vida e me dar forças para enfrentar todos os desafios, por mais difíceis que pareçam.

A minha família, em geral, que sempre se faz presente e que foram tão importantes na minha jornada na Universidade, desde o dia em que comemorávamos juntos a minha aprovação no vestibular.

Aos meus pais, Carlos Antônio Cândido de Aquino e Silvia Maria de Oliveira Cândido, por todo o amor incondicional, carinho, confiança e incentivo que me deram durante não só essa minha caminhada mas durante toda a minha vida, e por serem meus maiores exemplos de dedicação, força e honestidade.

A todos os professores da Universidade aos quais tive a honra de aprender com eles, em específico a professora Magnólia Maria Campelo Mota, por ter aceitado ser minha orientadora e sempre ter tido paciência, zelo e carinho durante todo o processo, além de ser um exemplo de profissional.

Aos meus amigos do Colégio Militar de Fortaleza e do Farias Brito, que me acompanharam de perto durante muito tempo da minha vida e contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Civil, em específico, Bárbara Vieira, Lara Moreira, Leonardo Ribeiro, Sofia Midauar, Thaís Antero e Vítor Midauar, e o trio Bruno Luz, Racine Peixoto e Talys Pereira, que além de terem compartilhado os desafios e os bons momentos da graduação comigo, são pessoas incríveis que me ensinaram muita coisa.

Ao Engenheiro Filipe Ferreira que com toda a sua paciência me ajudou na utilização do programa TQS, tão essencial para esse trabalho.

A todos os grandes profissionais e amigos, João Pedro, Renata Serpa e Diego Castelo Branco, que conheci durante os meus estágios na graduação, sempre me dando apoio para conquistar meus objetivos, além de serem exemplos de profissionais éticos e honestos.

RESUMO

Atualmente a utilização da ABNT NBR 15200:2012 para estruturas de concreto em situação de incêndio é restrita pela maioria dos projetistas estruturais, muito reforçado pelo tabu que a sua aplicação pode tornar um empreendimento inviável economicamente. Apesar de ser uma situação excepcional, o incêndio possui consequências devastadoras que põe em risco vidas humanas. Torna-se essencial a ampliação de estudos nessa área, reforçando a importância do assunto e quantificando de forma empírica as suas diferenças em relação a ABNT NBR 6118:2014 para dimensionamento de estruturas de concreto em situação normal de temperatura. Este trabalho, além de fazer uma revisão bibliográfica do assunto, utiliza-se do programa TQS para dimensionar um edifício residencial para as duas situações expostas, comparando os resultados estruturais, de consumo e de custos. No dimensionamento em situação de incêndio, observou-se uma diminuição do γ_z , mesmo com o aumento de carga referente ao peso próprio das peças de concreto, devido ao aumento das suas dimensões. O consumo de concreto e aço também aumentou, destacando-se nesse aspecto as lajes que tiveram os maiores aumentos. Consequentemente, o custo dos insumos também aumentaram quando dimensionado para situação de incêndio. Para o edifício residencial utilizado neste trabalho, apesar da norma de incêndio ter causado aumentos nas dimensões das peças e das cargas atuantes, houve uma diminuição do fator γ_z , garantindo uma maior estabilidade global da edificação e aproximando-a de uma estrutura de nós fixos. Em comparação com o custo estimado total da obra, a utilização da norma de incêndio representa 5,33% desse custo total, ou seja, a sua utilização pode ser viável economicamente.

Palavras-chave: Incêndio. Estruturas de concreto armado. Norma de incêndio. Viabilidade estrutural. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

Currently the use of ABNT NBR 15200: 2012 for fire design of concrete structures is restricted by most structural designers, greatly reinforced by the taboo that its application can make a building economically unviable. Despite being an exceptional situation, the fire has devastating consequences that endanger human lives. It is essential to expand studies in this area, reinforcing the importance of the subject matter and empirically quantifying its differences from ABNT NBR 6118: 2014 for design of concrete structures in normal temperature. This undergraduate thesis, besides making a bibliographic review of the subject, uses the TQS program to design a residential building for the two situations exposed, comparing the structural, consumption and economic results. In fire design, a decrease in γ_z was observed, even with the increase of the load related to the concrete's own weight, due to the increase of its dimensions. Consumption of concrete and steel also increased, highlighting the slabs that had the largest increases. Consequently, the cost of inputs also increased when designed for fire situation. For the residential building used in this final paper, although the fire standard caused increases in the dimensions of the structural elements and the acting loads, there was a decrease in the γ_z , ensuring a greater overall stability of the building and bringing it closer to a fixed node structure. Compared to the estimated total cost of the work, the use of the fire standard represents 5,33% of this total cost, i.e., its use may be economically viable.

Keywords: Fire. Reinforced concrete structures. Fire Standard. Structural viability. Economic viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fator de redução da resistência do concreto silicoso em função da temperatura ..	153
Figura 2 - Valores da relação $k(c,\theta)=f(c,\theta)/f_{ck}$ para concretos preparados com agregados predominantemente silicosos.....	153
Figura 3 - Fator de redução da resistência do aço de armadura passiva em função da temperatura	155
Figura 4 - Fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura passiva em função da temperatura	155
Figura 5 - Valores das relações $k(s,\theta)=f(y_k,\theta)/f_{yk}$ e $k(E_s,\theta)=E(s,\theta)/E_s$ para aços de armadura passiva	156
Figura 6 - Valor de c_1 e b_{min} para seção retangular	159
Figura 7 - Largura de b_{min} para diferentes tipos de seção.....	159
Figura 8 - Dimensões mínimas para vigas biapoiadas	160
Figura 9 - Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos	160
Figura 10 - Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas.....	161
Figura 11 - Dimensões mínimas para lajes contínuas	161
Figura 12 - Dimensões mínimas para lajes lisas ou cogumelo.....	162
Figura 13 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas	162
Figura 14 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas contínuas em pelo menos uma das bordas	163
Figura 15 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma só direção.....	163
Figura 16 - Dimensões mínimas para pilares-parede	164
Figura 17 - Representação do “Tetraedro do Fogo”	167
Figura 18 - Curva Temperatura-Tempo de um Incêndio Real.....	168
Figura 19 - Curva de incêndio-padrão ISO 834	170
Figura 20 - Representação simplificada das reações físico-químicas do concreto com o aumento da temperatura	172
Figura 21 - Deformação linear específica do concreto em função da temperatura	174
Figura 22 - Aspecto do diagrama tensão-deformação do concreto a temperaturas elevadas .	174
Figura 23 - Alongamento específico do concreto.....	176
Figura 24 - Variação do calor específico do concreto com a temperatura.....	177
Figura 25 - Condutividade térmica do concreto	178
Figura 26 - Densidade do concreto com a temperatura.....	179

Figura 27 - Valores da relação $k(p,\theta)=f(pk,\theta)/f_{yk}$ para aços de armadura passiva	181
Figura 28 - Localização em Mapa do Condomínio Mont Park	185
Figura 29 - Esquema Vertical do Condomínio Mont Park	186
Figura 30 - Modelo 3D do edifício estudado.....	188
Figura 31 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal	189
Figura 32 - Carga acidental para escadas de acordo com a NBR 6120.....	191
Figura 33 - Peso específico de alguns elementos de acordo com a NBR 6120 (ABNT 1980)	192
Figura 34 - Coeficientes de ponderação das ações no ELU	194
Figura 35 - Coeficientes de ponderação das ações no ELU	195
Figura 36 - Coeficiente adicional para pilares e pilares-paredes.....	199
Figura 37 - Exemplo de diferença na geração de grelhas para as lajes no pavimento platô ..	217
Figura 38 - Modelo laje nervurada utilizada no Subsolo e no Térreo	275
Figura 39 - Modelo laje nervurada utilizada nos pavimentos tipo, cobertura, coberta e fundo da caixa d'água	275
Figura 40 - Tempos requeridos de resistência ao fogo	Erro! Indicador não definido.
Figura 41 - Classificação das edificações quanto à sua ocupação	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo Concreto por Pavimento	202
Gráfico 2 - Consumo Aço por Pavimento	203
Gráfico 3 - Custos totais de concreto e aço em dimensionamento para situação normal de temperatura por elemento estrutural	204
Gráfico 4 - Consumo Concreto por Pavimento em situação de incêndio.....	212
Gráfico 5 - Consumo Concreto por Pavimento em situação de incêndio.....	213
Gráfico 6 - Comparativo consumo de concreto por pavimento.....	214
Gráfico 7 - Comparativo consumo de aço por pavimento.....	215
Gráfico 8 - Custos totais de concreto e aço em dimensionamento para situação de incêndio por elemento estrutural	218
Gráfico 9 - Aumentos totais de custos de concreto e aço	219

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações gerais da edificação.....	187
Tabela 2 - Cargas acidentais utilizadas nas lajes por pavimento	191
Tabela 3 - Parâmetro γ_z obtido	200
Tabela 4 - Cargas permanentes e acidentais por pavimento	200
Tabela 5 - Consumo de concreto por pavimento	201
Tabela 6 - Consumo de aço por pavimento	201
Tabela 7 - Taxas de aço e concreto por pavimento	202
Tabela 8 - Custos de concreto e aço em dimensionamento para situação normal de temperatura	204
Tabela 9 - Valores de Cobrimento Adotados Para Situação de Incêndio.....	207
Tabela 10 - Valores Adotados Para Alguns Elementos em Situação de Incêndio	207
Tabela 11 - Novo parâmetro γ_z obtido.....	208
Tabela 12 - Novos valores de cargas permanentes e acidentais por pavimento	209
Tabela 13 - Comparativo das cargas características por pavimento	210
Tabela 14 - Consumo de concreto por pavimento em situação de incêndio.....	211
Tabela 15 - Consumo de aço por pavimento em situação de incêndio.....	211
Tabela 16 - Taxas de aço e concreto por pavimento em situação de incêndio	212
Tabela 17 - Comparativo consumo de concreto por pavimento	213
Tabela 18 - Comparativo consumo de aço por pavimento	214
Tabela 19 - Comparação espessura média dos pavimentos	215
Tabela 20 - Custos de concreto e aço em dimensionamento para situação de incêndio.....	218
Tabela 21 - Comparação dos custos entre situação normal de temperatura e situação de incêndio	219
Tabela 22 - Custo total da edificação.....	220
Tabela 23 - Análise das vigas do Subsolo para situação de incêndio	225
Tabela 24 - Análise das vigas do Subsolo para situação de incêndio	226
Tabela 25 - Análise das vigas do Térreo para situação de incêndio	227
Tabela 26 - Análise das vigas do Térreo para situação de incêndio	228
Tabela 27 - Análise das vigas do Térreo para situação de incêndio	229
Tabela 28 - Análise das vigas do Pavimento Tipo para situação de incêndio.....	230
Tabela 29 - Análise das vigas da Cobertura para situação de incêndio	231
Tabela 30 - Análise das vigas da Coberta para situação de incêndio.....	232

Tabela 31 - Análise das vigas do Platô para situação de incêndio.....	233
Tabela 32 - Análise das vigas do Fundo da Caixa D'água para situação de incêndio.....	233
Tabela 33 - Análise das vigas da Tampa da Caixa D'água para situação de incêndio.....	233
Tabela 34 - Análise das lajes do subsolo para situação de incêndio.....	234
Tabela 35 - Análise das lajes do Térreo para situação de incêndio.....	235
Tabela 36 - Análise das lajes do Pavimento Tipo para situação de incêndio.....	236
Tabela 37 - Análise das lajes da Cobertura para situação de incêndio	236
Tabela 38 - Análise das lajes da Coberta para situação de incêndio.....	236
Tabela 39 - Análise das lajes do Platô para situação de incêndio.....	237
Tabela 40 - Análise das lajes do Fundo da Caixa D'água para situação de incêndio	237
Tabela 41 - Análise das lajes da Tampa da Caixa D'água para situação de incêndio.....	237
Tabela 42 - Análise dos pilares do subsolo para situação de incêndio	238
Tabela 43 - Análise dos pilares do Térreo para situação de incêndio	239
Tabela 44 - Análise dos pilares do Pavimento Tipo para situação de incêndio	240
Tabela 45 - Análise dos pilares da Cobertura para situação de incêndio.....	241
Tabela 46 - Análise dos pilares da Coberta para situação de incêndio	242
Tabela 47 - Análise dos pilares do Platô para situação de incêndio	243
Tabela 48 - Análise dos pilares do Fundo da Caixa D'água para situação de incêndio	244
Tabela 49 - Análise dos pilares da Tampa da Caixa D'água para situação de incêndio	245
Tabela 50 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Subsolo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	246
Tabela 51 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Térreo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	247
Tabela 52 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Tipo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	248
Tabela 53 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Cobertura de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	249
Tabela 54 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Coberta de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	250
Tabela 55 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Platô de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	251
Tabela 56 - Valores Adotados Para Vigas do Fundo da Caixa D'água de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	251
Tabela 57 - Valores Adotados Para Vigas da Tampa da Caixa D'água de acordo com a NBR	

15200 (ABNT, 2012).....	251
Tabela 58 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Subsolo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	252
Tabela 59 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Térreo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	253
Tabela 60 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Tipo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	254
Tabela 61 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Cobertura de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	254
Tabela 62 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Coberta de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	255
Tabela 63 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Platô de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	255
Tabela 64 - Valores Adotados Para Lajes do Fundo da Caixa D'água de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	255
Tabela 65 - Valores Adotados Para Lajes da Tampa da Caixa D'água de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012).....	255
Tabela 66 - Valores Adotados Para Pilares de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)	256
Tabela 67 - Nova análise das vigas do subsolo para situação de incêndio	257
Tabela 68 - Nova análise das vigas do subsolo para situação de incêndio	258
Tabela 69 - Nova análise das vigas do térreo para situação de incêndio	259
Tabela 70 - Nova análise das vigas do térreo para situação de incêndio	260
Tabela 71 - Nova análise das vigas do pavimento tipo para situação de incêndio	261
Tabela 72 - Nova análise das vigas da cobertura para situação de incêndio	262
Tabela 73 - Nova análise das vigas da coberta para situação de incêndio.....	263
Tabela 74 - Nova análise das vigas do platô para situação de incêndio	263
Tabela 75 - Nova análise das vigas do fundo da caixa d'água para situação de incêndio.....	264
Tabela 76 - Nova análise das vigas da tampa da caixa d'água para situação de incêndio.....	264
Tabela 77 - Nova análise das lajes do subsolo para situação de incêndio	264
Tabela 78 - Nova análise das lajes do térreo para situação de incêndio	265
Tabela 79 - Nova análise das lajes do pavimento tipo para situação de incêndio	265
Tabela 80 - Nova análise das lajes da cobertura para situação de incêndio	266
Tabela 81 - Nova análise das lajes da coberta para situação de incêndio.....	266
Tabela 82 - Nova análise das lajes do platô para situação de incêndio	266

Tabela 83 - Nova análise das lajes do fundo da caixa d'água para situação de incêndio	266
Tabela 84 - Nova análise das lajes da tampa da caixa d'água para situação de incêndio.....	266
Tabela 85 - Nova análise dos pilares do subsolo para situação de incêndio.....	267
Tabela 86 - Nova análise dos pilares do térreo para situação de incêndio	268
Tabela 87 - Nova análise dos pilares do pavimento tipo para situação de incêndio.....	269
Tabela 88 - Nova análise dos pilares da cobertura para situação de incêndio	270
Tabela 89 - Nova análise dos pilares da coberta para situação de incêndio	271
Tabela 90 - Nova análise dos pilares do platô para situação de incêndio.....	272
Tabela 91 - Nova análise dos pilares do fundo da caixa d'água para situação de incêndio ...	273
Tabela 92 - Nova análise dos pilares da tampa da caixa d'água para situação de incêndio ...	274

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	143
2	OBJETIVOS	145
2.1	Objetivo Geral.....	145
2.2	Objetivos Específicos	145
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	146
3.1	Antecedentes Históricos	146
3.2	Alguns Trabalhos Produzidos na área de Engenharia de Estruturas em Situação de Incêndio	147
3.3	ABNT NBR 6118:2014 – “Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento”	149
3.4	ABNT NBR 15200:2012 – “Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio”	150
3.4.1	<i>Resistência à compressão do concreto a altas temperaturas</i>	<i>152</i>
3.4.2	<i>Resistência ao escoamento e módulo de elasticidade do aço de armadura passiva a altas temperaturas</i>	<i>154</i>
3.4.3	<i>Valor de cálculo das resistências</i>	<i>156</i>
3.4.4	<i>Ações correspondentes ao incêndio e solicitações.....</i>	<i>157</i>
3.4.5	<i>Método tabular.....</i>	<i>158</i>
3.4.6	<i>Método simplificado de cálculo.....</i>	<i>164</i>
3.4.7	<i>Método analítico para pilares.....</i>	<i>165</i>
3.5	Fundamentação Teórica	167
3.5.1	<i>Incêndio.....</i>	<i>167</i>
3.5.2	<i>Curva de Incêndio Padrão.....</i>	<i>169</i>
3.5.3	<i>Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF).....</i>	<i>171</i>
3.5.4	<i>Efeitos Térmicos No Concreto e No Aço</i>	<i>171</i>
3.5.4.1	<i>Diagrama Tensão-Deformação do Concreto.....</i>	<i>173</i>
3.5.4.2	<i>Alongamento do concreto</i>	<i>175</i>
3.5.4.3	<i>Calor Específico do concreto</i>	<i>176</i>
3.5.4.4	<i>Condutividade Térmica do Concreto.....</i>	<i>177</i>
3.5.4.5	<i>Densidade do concreto</i>	<i>178</i>
3.5.4.6	<i>Diagramas tensão-deformação dos aços</i>	<i>179</i>
3.5.4.7	<i>Resfriamento e pós-incêndio</i>	<i>181</i>

3.5.5	“Spalling” do concreto	182
4	METODOLOGIA	184
4.1	Contextualização do Projeto	185
4.2	Critérios e hipóteses adotadas	188
4.2.1	Critérios e hipóteses gerais	189
4.2.1.1	<i>Modelo estrutural</i>	189
4.2.1.2	<i>Classe de agressividade ambiental</i>	189
4.2.1.3	<i>Fatores de Vento</i>	190
4.2.1.4	<i>Furos em vigas e lajes</i>	190
4.2.1.5	<i>Cargas</i>	190
4.2.1.6	<i>Cargas das paredes</i>	191
4.2.1.7	<i>Fundações</i>	192
4.2.1.8	<i>Resistência do concreto e do aço para situação normal de temperatura</i>	192
4.2.1.9	<i>Composição do concreto</i>	192
4.2.1.10	<i>Dimensão mínima da laje</i>	192
4.2.1.11	<i>Escadas</i>	193
4.2.1.12	<i>Dimensão pilar</i>	193
4.2.1.13	<i>Coefficiente γ_z</i>	193
4.2.1.14	<i>Pilar-parede</i>	193
4.2.1.15	<i>Momentos Negativos</i>	193
4.2.1.16	<i>Coefficientes de ponderação das ações</i>	194
4.2.1.17	<i>Cruzamento de vigas</i>	195
4.2.1.18	<i>TRRF</i>	195
4.2.1.19	<i>Método analítico para pilares</i>	196
4.2.1.20	<i>Esforços solicitantes e resistências em situação de incêndio</i>	196
4.2.1.21	<i>Preços considerados</i>	197
4.2.2	Critérios e hipóteses por pavimento	197
4.2.2.1	<i>Subsolo</i>	197
4.2.2.2	<i>Caixa d’água</i>	198
4.2.2.3	<i>Platô</i>	198
4.2.2.4	<i>Coberta</i>	199
4.3	Dados de entrada no programa TQS	199
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	200
5.1	Resultados Em Situação Normal de Temperatura	200

5.2	Resultados Verificação de Incêndio e Comparações	205
6	CONCLUSÃO.....	221
	REFERÊNCIAS.....	223
	APÊNDICE A - TABELAS COM RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO DE INCÊNDIO PARA EDIFÍCIO MODELADO EM SITUAÇÃO NORMAL DE TEMPERATURA	225
	APÊNDICE B - TABELAS COM VALORES PROPOSTOS PARA ADEQUAÇÃO DO EDIFÍCIO MODELADO EM SITUAÇÃO NORMAL DE TEMPERATURA COM A NBR 15200 (ABNT, 2012)	246
	APÊNDICE C - TABELAS COM NOVOS RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO DE INCÊNDIO PARA EDIFÍCIO REMODELADO PARA SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	257
	APÊNDICE D - PLANTAS DE FORMAS UTILIZADAS PARA MODELAGEM NO PROGRAMA TQS	275
	ANEXO A - TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO E CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES QUANTO A SUA OCUPAÇÃO DE ACORDO COM A NBR 14432 (ABNT, 2001)	Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

Pela ausência de grandes incêndios no Brasil até o início dos anos 70 do século passado, a segurança contra incêndio era relegada a segundo plano (SILVA, 2016). As poucas normas e regulamentações que tinham eram esparsas e não incorporavam qualquer aprendizado de outros grandes incêndios ocorridos ao redor do mundo. A própria Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) se restringia a tratar de assuntos ligados à produção de extintores.

Segundo Silva (2016), o maior incêndio em perda de vidas ocorreu em Niterói, Rio de Janeiro no Gran Circo Norte-Americano em 17 de Dezembro de 1961, tendo como resultado 250 mortos e 400 feridos. Em 24 de Fevereiro de 1972, ocorreu o primeiro grande incêndio em prédios elevados, no edifício Andraus em São Paulo. Tratava-se de um prédio comercial no qual o incêndio resultou em 16 mortos e 336 feridos. Essa tragédia motivou os primeiros grupos de trabalhos sobre o assunto em São Paulo, mas com o passar do tempo esses trabalhos perderam a força inicial e foram engavetados. Quase dois anos após o incêndio no edifício Andraus, outro incêndio ocorreu em São Paulo no edifício Joelma em 1º de Fevereiro de 1974, deixando 179 mortos e 320 feridos.

Este último incêndio causou grande impacto, dando início ao processo de reformulação das medidas de segurança contra incêndios no Brasil. Uma semana após a tragédia no edifício Joelma, a Prefeitura Municipal de São Paulo instituiu normas especiais para a segurança dos edifícios a serem observadas na elaboração do projeto, na execução, bem como no equipamento, dispondo ainda sobre sua aplicação em caráter prioritário. Após isso, outras manifestações técnicas e normas apareceram, até chegarmos aos dias de hoje, com a ABNT NBR 15200 – “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio”.

A ABNT NBR 6118: “Projeto de estruturas de concreto – Procedimento”, principal norma de projeto de estruturas de concreto, apresenta procedimentos para o dimensionamento de estruturas de concreto armado e protendido, utilizando-se de ponderações para os estados limites, garantindo a resistência dos materiais quando aplicadas ações permanentes e variáveis. Entretanto, de acordo com a mesma norma, ela não inclui requisitos exigíveis para evitar os estados limites gerados por ações como o fogo, que aparece em situações de incêndio.

Um sistema de segurança contra incêndio consiste em um conjunto de meios ativos (detecção de calor ou fumaça, chuveiros automáticos, brigada contra incêndio etc) e passivos (resistência das estruturas ao fogo, compartimentação, saídas de emergência etc.) (SILVA, 2016). Para garantir essa resistência das estruturas ao fogo, a NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio (ABNT, 2012), fornece subsídios para a consideração do

efeito do fogo no concreto e no aço, apresentando parâmetros mínimos de dimensionamento para os projetos.

O estudo do comportamento do concreto e do aço com a presença do fogo por um longo período de tempo e a consideração desses efeitos no projeto, torna-se de suma importância, pois o colapso de uma edificação pode pôr em risco, centenas de vidas humanas. De acordo com a NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento (ABNT, 2001), alguns requisitos devem ser atendidos pelo projetista para que em situação de incêndio a estrutura não venha ao colapso, que são: os ocupantes devem ser retirados com segurança, tem que existir uma boa segurança ao combate do incêndio e minimizar os danos das edificações vizinhas e da infraestrutura pública.

Devido a isso, faz-se necessário utilizar-se das ponderações estabelecidas na NBR 15200 (ABNT, 2012) para situações de incêndio, além do procedimento habitual já estabelecido na NBR 6118 (ABNT, 2014). Para uma melhor aplicação e desenvolvimento da NBR 15200 (ABNT, 2012), é necessário o estudo e comparação com procedimentos habituais de dimensionamento para analisar a viabilidade e melhorias que podem ser observadas.

Procura-se, neste trabalho, dimensionar um edifício para situação normal de temperatura de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) e dimensionar o mesmo edifício para situação de incêndio de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012), utilizando para as duas situações o programa TQS, com o objetivo de comparar os dois resultados em termos qualitativos e quantitativos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo geral comparar e discutir de forma quantitativa e qualitativa as NBR 6118 (ABNT, 2014) e 15200 (ABNT, 2012), fazendo o dimensionamento de um edifício para situação normal de temperatura e em situação de incêndio, utilizando para isso o programa TQS.

2.2 Objetivos Específicos

- (a) Fazer uma revisão bibliográfica sobre o assunto proposto.
- (b) Dimensionar lajes, vigas e pilares de uma edificação de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) à temperatura ambiente, utilizando o programa TQS.
- (c) Dimensionar os mesmos elementos do item anterior para uma situação de incêndio de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012), aplicando os métodos tabular (para vigas e lajes) e analítico (para pilares) com o auxílio do programa TQS.
- (d) Realizar uma análise comparativa dos resultados obtidos acerca de parâmetros estruturais e de viabilidade financeira, tirando as devidas conclusões.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Antecedentes Históricos

As primeiras investigações sobre o comportamento do concreto armado submetido a temperaturas elevadas ocorreram no início do século XIX. Por meio de experimentos rudimentares, pôde-se constatar a influência da umidade interna do concreto na desagregação do material submetido a incêndios em residências uni-habitacionais (MÖRSCH, 1948 apud COSTA, 2008).

Segundo Costa (2008), devido a grandes construções feitas em aço até então, os acidentes estruturais em edifícios de aço envolvendo o incêndio chamavam mais atenção do que em estruturas de concreto armado devido à baixa resistência deste primeiro quando submetido a altas temperaturas.

Ainda segundo Costa (2008), a partir dos anos 50 foram desenvolvidos experimentos mais apurados e estudos para investigarem os efeitos térmicos de degradação do concreto de resistência convencional. Esses trabalhos serviram como base para as primeiras normas norte-americanas e europeias sobre o tema.

No Brasil, alguns grandes incêndios como o no Gran Circo Norte-Americano em 1961, na indústria Volkswagem do Brasil em 1970, no Edifício Andraus em 1972 e no Edifício Joelma em 1974, estimularam o estudo sobre o assunto e a elaboração de exigências técnicas para se minimizar as consequências do incêndio.

A primeira manifestação técnica ocorreu de 18 a 21 de março de 1974, quando o Clube de Engenharia do Rio de Janeiro realizou Simpósio de Segurança Contra Incêndio, buscando o desenvolvimento de três linhas mestras de raciocínio: 1. Como evitar incêndios; 2. Como combater-los; 3. Como minimizar os efeitos. (SEITO et al., 2008)

Esse tema começou a se desenvolver dentro da engenharia estrutural com a publicação da antiga norma NB 503 (1977), também conhecida como NBR 5627 (ABNT, 1980) – Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo. Esta norma foi cancelada em 01/12/2001 e trazia recomendações quanto à segurança das estruturas de concreto em situação de incêndio, apresentando tabelas com dimensões mínimas para a seção transversal e valores mínimos do cobrimento da armadura para cada tipo de peça estrutural. Esta norma considerava a duração de tempo de resistência ao fogo de um elemento estrutural de 60 a 240 minutos. Nota-se que suas recomendações eram consideradas conservadoras tendo sido, portanto, suprimida do meio técnico (SOARES, 2003).

Em contrapartida, esta norma foi substituída pelo Anexo B do texto de revisão da ABNT NBR 6118 na versão de 2001. Com a publicação da versão final em 2003, o anexo foi retirado mas o texto deu base para o desenvolvimento da ABNT NBR 15200 – “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio”, a primeira norma nacional publicada no final de 2004, que trata especificamente do concreto armado em situação de incêndio, baseada no EUROCODE 2 – “*Design of concrete structures – Part 1-2 General rules – Structural fire design*” e adaptada à realidade brasileira.

3.2 Alguns Trabalhos Produzidos na área de Engenharia de Estruturas em Situação de Incêndio

SOARES, E. M. P (2003), em sua tese de mestrado, fornece uma forma simplificada de dimensionamento e (ou) verificação de peças usuais de concreto armado, vigas, lajes e pilares, em situação de incêndio. Como na época não existia uma norma brasileira específica para o assunto, utilizou-se o EUROCODE (1995) e o ANEXO B (2001) do projeto de revisão da NBR 6118, que é semelhante ao código estrangeiro e foi suprimido da versão final da nova NB-1 (NBR 6118-2003). Os elementos são dimensionados de acordo com as exigências em situação normal de temperatura, com o acréscimo das ponderações exigidas para a situação de incêndio. Após a realização de exemplos de dimensionamento e verificação em situação normal de temperatura e em situação de incêndio, o resultados obtidos são comparados, mostrando uma simples aplicação do método.

SILVA, V. P; VARGAS, M. R (2005), no livro “Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço”, divide-o em nove capítulos abordando os temas: princípios de segurança contra o incêndio, segurança estrutural, exigências de resistência ao fogo, como obter a resistência ao fogo das estruturas de aço, materiais de proteção térmica, estruturas externas, considerações sobre o projeto de arquitetura e tendências internacionais. No fim é apresentado uma extensa bibliografia sobre o assunto.

CASTRO, G. G. S (2005), em sua tese de mestrado, apresenta um método geral de cálculo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2004) capaz de avaliar se um elemento estrutural de concreto armado, dimensionado em condições normais de temperatura, resiste a diferentes tempos de exposição ao fogo. Para isso, além de utilizar-se de planilhas eletrônicas para avaliar o comportamento dos elementos estruturais, utiliza-se o programa “THERSYS – Sistema para

simulação via método dos elementos finitos da distribuição 3D de temperatura em estruturas em situação de incêndio”, desenvolvido no Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais.

SEITO, A. I et al (2008), no livro “A Segurança Contra Incêndio no Brasil”, produzido por pessoas ligadas à Universidade de São Paulo e ao Corpo de Bombeiros de São Paulo, discute a importância e a necessidade de uma literatura nacional sobre segurança contra incêndio, que pudesse servir de base para estudos nessa área. O livro procurou traçar um largo panorama da segurança contra incêndio, de modo a dar uma ampla visão da área.

COSTA, C. N (2008), em sua tese de doutorado, fornece informações para a escassa literatura técnica sobre o dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio. São apresentados: os efeitos do calor sobre as propriedades térmicas e mecânicas dos materiais – concreto e aço – e suas influências sobre o comportamento estrutural de edifícios de concreto armado, os métodos de cálculo disponíveis na literatura técnica internacional para o projeto de estruturas de concreto armado em situação de incêndio e proposta de um método simplificado expedito mais preciso para o projeto de elementos submetidos à flexão simples e normal composta para os padrões geométricos e características do concreto usuais no Brasil.

KLEIN JÚNIOR, Odinir (2011), em sua tese de mestrado, desenvolveu uma ferramenta computacional para o cálculo do tempo de resistência ao fogo em pilares de concreto armado em situação de incêndio. O cálculo foi baseado no método fornecido pelo Eurocode 2 (EM 1992-1-2:2004), chamado de “método da estimativa da curvatura”.

D. A. de Sousa, G. P. Silva (2015), no seu trabalho de conclusão de curso, apresentou uma metodologia de dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio conforme a normalização nacional e internacional, utilizando a NBR 15200 (ABNT, 2012) e o EUROCODE 2, respectivamente. Foi apresentado exemplos de dimensionamento de elementos isolados de concreto armado em situação de incêndio (vigas, lajes e pilares), verificando a segurança das estruturas com o auxílio do TQS.

AJALA, G. R et al (2016), no artigo publicado para a Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico, desenvolveu um estudo objetivando apresentar a utilização e o conhecimento

relacionado às normas ABNT NBR 15200:2012 e ABNT NBR 6118:2014 na atividade prática dos Engenheiros do Estado do Rio de Janeiro.

SILVA, V. P (2016), no livro publicado pela editora Edgard Blücher, tem como objetivo colaborar com o engenheiro de estruturas de concreto, procurando esclarecer a norma brasileira ABNT NBR 15200:2012. No livro, algumas recomendações do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo são incluídas, a fim de determinar as exigências de resistência ao fogo das edificações.

ANDREAZZA, D. L (2017), em seu trabalho de conclusão de curso, trouxe uma abordagem geral de normas voltadas para estruturas em situação de incêndio, analisando requisitos de projeto necessários de acordo com a norma ABNT NBR 15200:2012, bem como um estudo a respeito do comportamento do concreto em situação de incêndio.

MUNHOZ, Guilherme da Silva et al (2018), no artigo publicado nos anais do 60º Congresso Brasileiro do Concreto IBRACON, avaliou a viabilidade técnico-econômica da aplicação da norma de incêndio, realizando o dimensionamento por *software* conforme a ABNT NBR 6118:2014 e em seguida adequando o primeiro modelo aos critérios do método tabular da ABNT NBR 15200:2012.

3.3 ABNT NBR 6118:2014 – “Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento”

A ABNT NBR 6118:2014 é a norma que rege quase que com totalidade as estruturas de concreto de obras civis que são executadas mas que também deve ser complementada por outras normas, dependendo da estrutura a ser construída (ANDREAZZA, 2017). Ela foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-02), pela Comissão de Estudo de Estruturas de Concreto – Projeto e Execução (CE-02:124.15) e está na sua terceira versão, cancelando e substituindo a anterior (ABNT NBR 6118:2007), a qual foi tecnicamente revisada.

De acordo com o escopo da NBR 6118 (ABNT, 2014), esta norma estabelece os requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido. São excluídas aquelas em que se utilize concreto leve, pesado ou outros especiais. Além disso, de acordo com a mesma norma, ela não inclui requisitos exigíveis para evitar os estados-limites gerados por certos tipos de ação como sismos, impactos, explosões e fogo. O

Quadro 1 a seguir simplifica os principais pontos da ABNT NBR 6118:2014 além de apontar riscos a obra se os requisitos não forem atendidos:

Quadro 1 - Resumo da ABNT NBR 6118:2014

Pontos Relevantes	Riscos de não atendimento
<ul style="list-style-type: none"> • Norma atual e em consonância com as similares internacionais, como Eurocode e ACI; • Estabelece critérios de cálculo, dimensionamento e detalhamento de projeto, bem como define os materiais a serem utilizados na execução das estruturas; • Condiciona a durabilidade às classes de agressividade ambiental a que a estrutura estará sujeita e estabelece os critérios e as diretrizes de projeto para seu atendimento; • Define condições de recebimento da estrutura e ações em casos de não conformidade; • Prevê a necessidade de manutenção por parte do usuário. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dúvidas quanto à segurança estrutural da estrutura projetada; • Uso de materiais inadequados, com reflexos na segurança estrutural e na durabilidade; • Descumprimento de exigências de projeto por desconhecimento; • Falta de subsídios para garantia da durabilidade da estrutura; • Execução de elementos estruturais com cobrimentos de armaduras insuficientes, o que pode comprometer a durabilidade; • Dificuldades na interpretação do projeto e no relacionamento com os responsáveis por sua elaboração; • Problemas no pós-obra por descumprimento da norma.

Fonte: Ajala et al (2016)

3.4 ABNT NBR 15200:2012 – “Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio”

Publicada em 26/05/2012 e elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-02) pela Comissão de Estudo de Estruturas de Concreto – Projeto e Execução (CE-02:124.15), a NBR 15200:2012 substitui a antiga NBR 15200:2004, com a principal diferença de que a norma atual possui anexos que auxiliam na aplicação da mesma.

A norma estabelece os critérios de projeto para estruturas de concreto em situação de incêndio e a forma de demonstrar o seu atendimento, de acordo com os requisitos da ABNT NBR 14432:2001 – “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento”. Ressalta-se que esta norma aplica-se à concretos normais, identificadas por massa específica seca maior do que 2000 kg/m^3 , não excedendo 2800 kg/m^3 , do grupo I de resistência (C20 a C50), conforme classificação da ABNT NBR 8953 – “Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência”. Segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012), as situações que não são cobertas pela norma (como por exemplo a utilização de agregados que não sejam silicosos), o responsável técnico pode utilizar-

se de procedimentos ou normas internacionais aceitos pela comunidade tecnocientífica, desde que sejam atendidos os níveis de segurança previstos pela ABNT NBR 15200:2012.

De acordo com o item 5 da ABNT NBR 15200:2012, o projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio tem por base a correlação entre o comportamento dos materiais e da estrutura à temperatura ambiente (considerada próxima a 20 °C) e em situação de incêndio. Os objetivos gerais para a verificação de estruturas para esta última situação são: limitar o risco à vida humana; limitar o risco da vizinhança e da própria sociedade; e limitar o risco da propriedade exposta ao fogo. Esses objetivos são atingidos se for demonstrado que a estrutura mantém as funções corta-fogo (capacidade da estrutura de impedir que o fogo a ultrapasse. Compreende a estanqueidade à passagem de chamas e o isolamento térmico) e de suporte (capacidade da estrutura resistir aos esforços solicitantes em situação de incêndio).

Ainda de acordo com a ABNT NBR 15200:2012, essas funções estão inseridas em um conjunto maior de requisitos gerais de proteção contra incêndio que são: reduzir o risco de incêndio; controlar o fogo em estágios iniciais; limitar a área exposta ao fogo (compartimento corta-fogo); criar rotas de fuga; facilitar a operação de combate ao incêndio; evitar ruína prematura da estrutura, permitindo a fuga dos usuários e as operações de combate ao incêndio.

Por fim, a ABNT NBR 15200:2012 ainda faz observações com relação a severidade da aplicação da norma. Edificações de grande porte devem atender a exigências mais severas para cumprir com os requisitos gerais. Projetos que favoreçam a prevenção ou a proteção contra incêndio podem ter aliviadas as exigências em relação à resistência de sua estrutura ao fogo, conforme previsto na ABNT NBR 14432:2001.

O Quadro 2 a seguir simplifica os principais pontos da ABNT NBR 15200:2012 além de apontar riscos a obra se os requisitos não forem atendidos:

Quadro 2 - Resumo da ABNT NBR 15200:2012

Pontos Relevantes	Riscos de não atendimento
<ul style="list-style-type: none"> • Complementa a norma de projeto de estruturas de concreto (ABNT NBR 6118:2014); • Estabelece como atender às exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações (ABNT NBR 14432:2001) e também as exigências do Corpo de Bombeiros; • Fornece diversas metodologias aceitáveis para a comprovação da resistência ao fogo, destacando-se: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Método tabular; ▪ Método analítico, <ul style="list-style-type: none"> ▪ Realização de ensaios experimentais (ABNT NBR 15873:2010); ▪ Simulação computacional (utilizando <i>softwares</i> específicos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Descumprimento de legislação estadual em Estados que há decreto lei; • Majoração do risco de colapso estrutural em caso de incêndio; • Falta de subsídio técnico para comprovação do atendimento às exigências legais em caso de colapso estrutural por incêndio.

Fonte: Ajala et al (2016)

Vale ressaltar que a ABNT NBR 15200:2012 apresenta 4 métodos de comprovação da resistência do fogo que são: método tabular, método analítico para pilares, método simplificado de cálculo, métodos avançados de cálculo e método experimental. Para esse trabalho, apenas serão abordados e utilizados os métodos tabular e analítico para pilares.

3.4.1 Resistência à compressão do concreto a altas temperaturas

A resistência à compressão do concreto decresce com o aumento da temperatura, de acordo com a Equação (3.1) e representado na Figura 1:

$$f_{c,\theta} = k_{c,\theta} f_{ck} \quad (3.1)$$

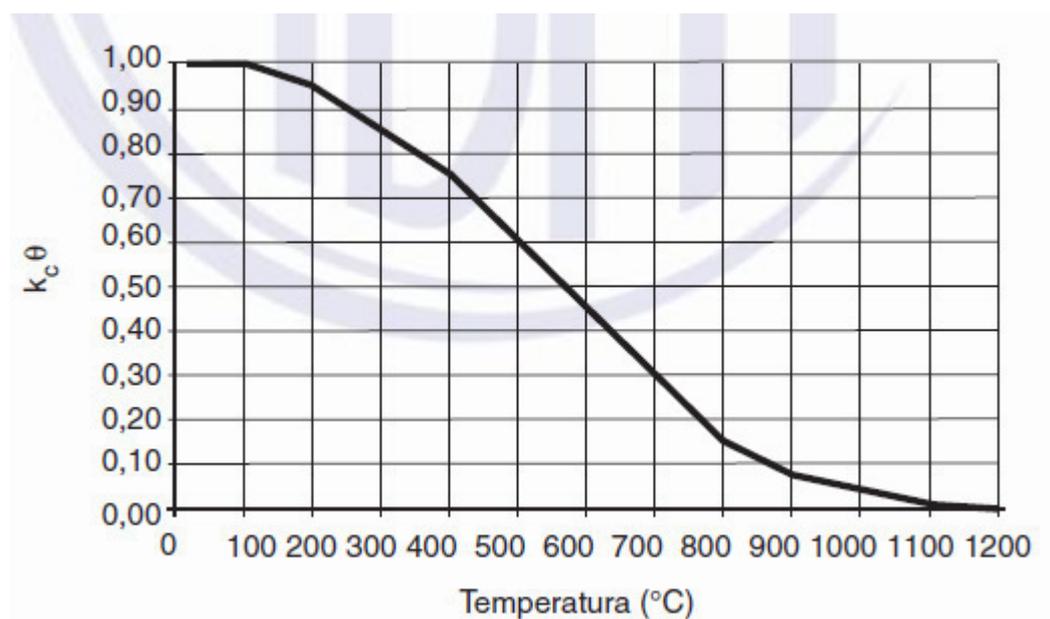
Onde:

$f_{c,\theta}$ = resistência do concreto na temperatura θ

f_{ck} = resistência característica à compressão do concreto à temperatura ambiente

$k_{c,\theta}$ = fator de redução da resistência do concreto na temperatura θ , conforme Figura 2

Figura 1 - Fator de redução da resistência do concreto silicioso em função da temperatura



Fonte: ABNT NBR 15200 (2012)

Figura 2 - Valores da relação $k(c,\theta)=f(c,\theta)/f_{ck}$ para concretos preparados com agregados predominantemente siliciosos

Temperatura do concreto °C	$k_{c,\theta} = f_{c,\theta}/f_{ck}$
1	2
20	1,00
100	1,00
200	0,95
300	0,85
400	0,75
500	0,60
600	0,45
700	0,30
800	0,15
900	0,08
1 000	0,04
1 100	0,01
1 200	0,00

Fonte: ABNT NBR 15200 (2012)

Todas essas fórmulas e figuras são para concretos preparados predominantemente com agregados siliciosos. Para concretos preparados com outros agregados ou massas específicas diferentes daquelas citadas no tópico 8.4, deve ser consultado o Eurocode 2, *Part 1-2*.

3.4.2 Resistência ao escoamento e módulo de elasticidade do aço de armadura passiva a altas temperaturas

A resistência ao escoamento do aço da armadura passiva decresce com o aumento da temperatura, de acordo com a Equação (3.2) e representado na Figura 3:

$$f_{y,\theta} = k_{s,\theta} f_{yk} \quad (3.2)$$

Onde:

$f_{y,\theta}$ = resistência ao escoamento do aço da armadura passiva na temperatura θ

f_{yk} = resistência característica do aço de armadura passiva à temperatura ambiente

$k_{s,\theta}$ = fator de redução da resistência do aço na temperatura θ , conforme Figura 5, onde:

- (a) Curva cheia: $k_{s,\theta}$ aplicável quando a deformação específica do aço no escoamento (ε_{yi}) $\geq 2\%$, usualmente armaduras tracionadas de vigas, lajes ou tirantes;
- (b) Curva tracejada: $k_{s,\theta}$ aplicável quando $\varepsilon_{yi} < 2\%$, usualmente armaduras comprimidas de pilares, vigas ou lajes.

A módulo de elasticidade do aço da armadura passiva decresce com o aumento da temperatura, de acordo com a Equação (3.3) e representado na Figura 4:

$$E_{s,\theta} = k_{Es,\theta} E_s \quad (3.3)$$

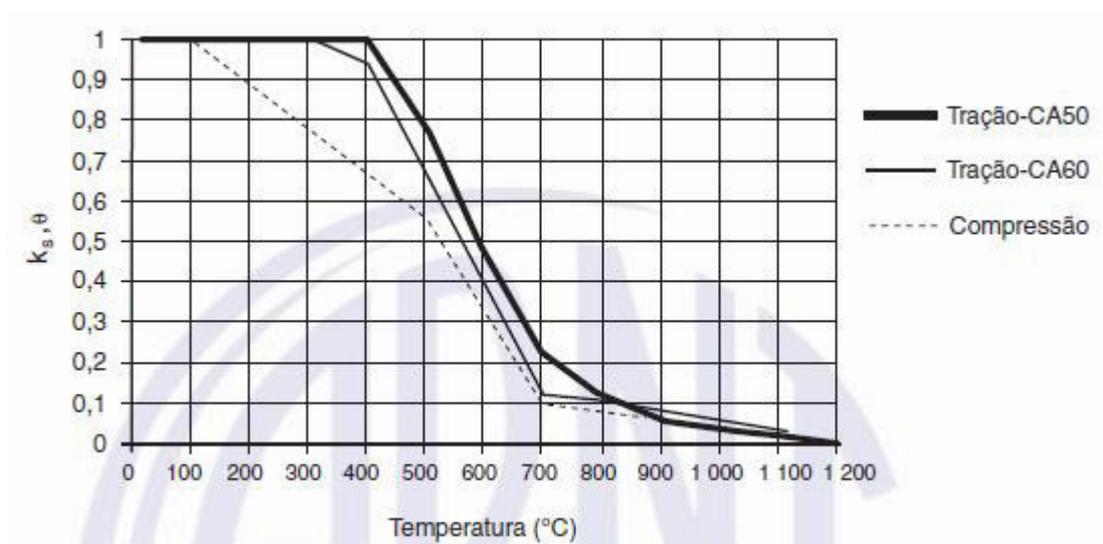
Onde:

$E_{s,\theta}$ = módulo de elasticidade do aço de armadura passiva na temperatura θ

E_s = módulo de elasticidade do aço de armadura passiva à temperatura ambiente

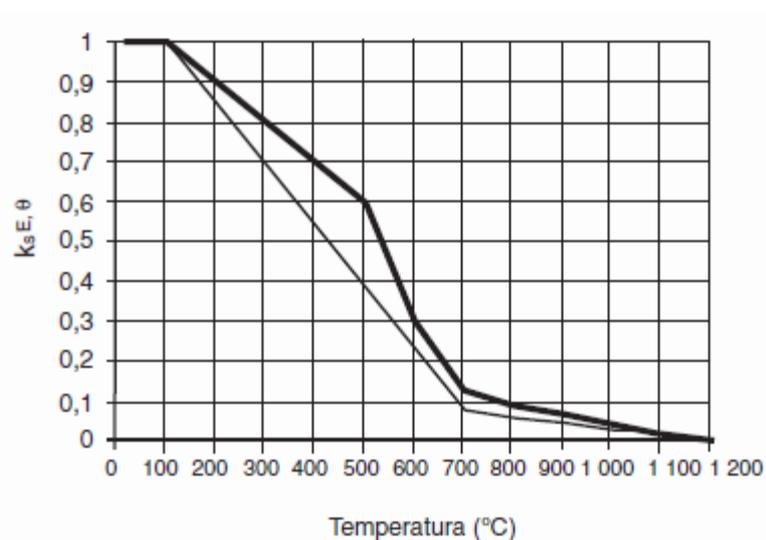
$k_{Es,\theta}$ = fator de redução do módulo de elasticidade do aço na temperatura θ , conforme Figura 5

Figura 3 - Fator de redução da resistência do aço de armadura passiva em função da temperatura



Fonte: ABNT NBR 15200 (2012)

Figura 4 - Fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura passiva em função da temperatura



Fonte: ABNT NBR 15200 (2012)

Figura 5 - Valores das relações $k(s,\theta)=f_{yk,\theta}/f_{yk}$ e $k(E_s,\theta)=E(s,\theta)/E_s$ para aços de armadura passiva

Temperatura do aço °C	$K_{s,\theta} = f_{yk,\theta}/f_{yk}$			$k_{E_s,\theta} = E_{s,\theta}/E_s$	
	Tração		Compressão CA-50 ou CA-60	CA-50	CA-60
	CA-50	CA-60			
1	2	3	4	5	6
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,89	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,78	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,67	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,56	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,33	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,10	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,08	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,06	0,07	0,05
1 000	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03
1 100	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
1 200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: ABNT NBR 15200 (2012)

3.4.3 Valor de cálculo das resistências

Os valores de cálculo das resistências do concreto e dos aços devem ser determinados usando-se o coeficiente de ponderação das resistências (γ_m) = 1,0, ou seja:

$$f_{cd,\theta} = f_{ck,\theta} \quad (3.4)$$

$$f_{yd,\theta} = f_{yk,\theta} \quad (3.5)$$

Onde:

$f_{cd,\theta}$ = resistência de cálculo do concreto à compressão na temperatura θ

$f_{ck,\theta}$ = resistência característica à compressão do concreto na temperatura θ

$f_{yd,\theta}$ = resistência de cálculo do aço de armadura passiva ao escoamento na temperatura θ

$f_{yk,\theta}$ = resistência característica ao escoamento do aço de armadura passiva na temperatura θ

3.4.4 Ações correspondentes ao incêndio e solicitações

Conforme a ABNT NBR 14432:2001, a ação do incêndio pode ser representada pelo intervalo de tempo de exposição ao incêndio-padrão, chamado de tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF). O calor transmitido durante esse tempo (TRRF) gera uma distribuição de calor de acordo com a geometria de cada elemento estrutural. Esse processo reduz a resistência dos elementos estruturais, além de gerar esforços solicitantes decorrentes de alongamentos axiais restringidos ou de gradientes térmicos. Entretanto, como no aquecimento a rigidez das peças diminui e a sua capacidade plástica cresce proporcionalmente, esses esforços podem ser desprezados.

A verificação para as estruturas em situação de incêndio deve ser feita apenas no estado limite último (ELU) para uma combinação excepcional, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, apresentado na equação a seguir:

$$F_{d,fi} = \gamma_g F_{gk} + F_{qexc} + \gamma_q \sum_2^n \psi_{2j} F_{qj} \quad (3.6)$$

Onde:

$F_{d,fi}$ = ação de cálculo em situação de incêndio

γ_g = coeficiente de ponderação das ações permanentes, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014

F_{gk} = ação permanente com seu valor característico

F_{qexc} = ação variável excepcional

γ_q = coeficiente de ponderação de ações variáveis, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014

ψ_{2j} = fator de redução de combinação quase permanente para ELS, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014

F_{qj} = ação variável com seu valor característico

Devido às grandes deformações plásticas que ocorrem em situação de incêndio, os esforços decorrentes das deformações impostas podem ser desprezados e a ação do fogo se resume a redução da resistência dos materiais e da capacidade dos elementos estruturais. Com isso, a verificação da estrutura em situação de incêndio se reduz a mostrar a seguinte condição:

$$S_{d,fi} = \left(\gamma_g F_{gk} + \gamma_q \sum_2^n \psi_{2j} F_{qjk} \right) \leq R_{d,fi} [f_{ck,\theta}, f_{yk,\theta}] \quad (3.7)$$

Onde:

$S_{d,fi}$ = solicitação de cálculo em situação de incêndio

$R_{d,fi}$ = resistência de cálculo em situação de incêndio

Segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012), onde a ação principal for o fogo, o fator de redução ψ_2 indicado na ABNT NBR 6118:2014 pode ser reduzido, multiplicando-o por 0,7. Na ausência de qualquer solicitação gerada pelas deformações em situação de incêndio, a $S_{d,fi}$ pode ser considerada como 70% da solicitação de cálculo à temperatura ambiente, não incluindo ações do vento, ou seja, $S_{d,fi} = 0,70S_d$.

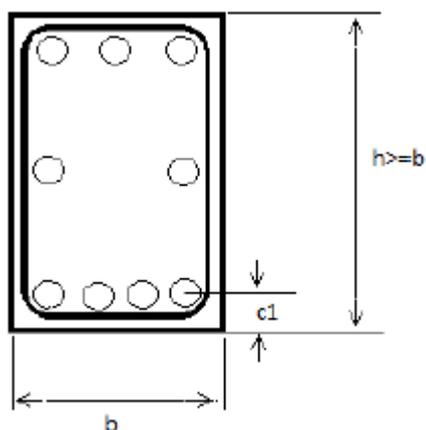
3.4.5 Método tabular

O método tabular se resume ao atendimento às dimensões mínimas apresentadas nas tabelas a seguir, em função do tipo de elemento estrutural e do TRRF. Essas dimensões mínimas devem respeitar a ABNT NBR 6118:2014. Apenas a armadura longitudinal é considerada nesse método, visto que ensaios mostram que as peças de concreto usualmente rompem por flexão ou flexocompressão quando em situação de incêndio. Essas dimensões mínimas consideradas (b_{min}) são normalmente: largura das vigas, espessura de lajes, seções transversais de pilares, e principalmente, a distância entre o eixo da armadura longitudinal e da face de concreto que estará exposta ao fogo (c_1) (ANDREAZZA, 2017). No cálculo das espessuras mínimas das lajes para garantir a função corta fogo, é permitida a consideração do revestimento, de acordo com as condições expostas na NBR 15200 (ABNT, 2012). Na tabela de pilares-parede, $\mu_{fi} = N_{Sd,fi}/N_{Rd}$, onde $N_{Sd,fi}$ é o valor de cálculo da força axial em situação de incêndio e N_{Rd} é o valor de cálculo da força normal resistente do pilar calculado de acordo com a ABNT NBR 6118, com γ_m à temperatura ambiente, incluindo os efeitos de não linearidade geométrica (2ª ordem) e desconsiderados os efeitos das forças decorrentes do vento.

Todas as tabelas foram concebidas tomando como temperatura crítica do aço 500° C, representando o ponto em que a armadura entra em escoamento para as combinações de ações correspondentes ao incêndio (REINA, 2010). Para a determinação da temperatura na armadura, admite-se que esta tem a mesma temperatura do concreto que a envolve, definido por meio de

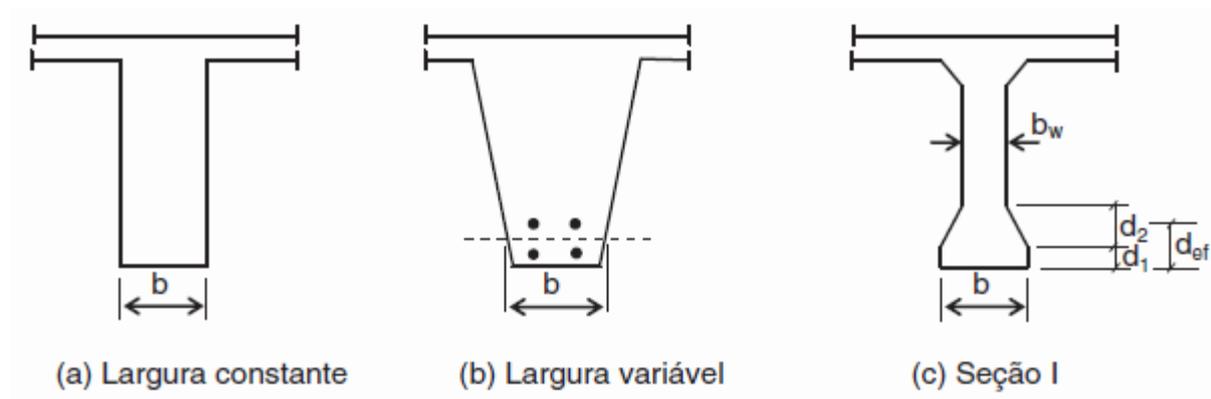
isotermas. Na Figura 7, b_{min} refere-se ao mínimo valor de b medido ao nível do centro geométrico das armaduras, enquanto b_w é o menor valor de largura da alma.

Figura 6 - Valor de c_1 e b_{min} para seção retangular



Fonte: Andreazza (2017)

Figura 7 - Largura de b_{min} para diferentes tipos de seção



Fonte: ABNT NBR 15200 (2012)

Figura 8 - Dimensões mínimas para vigas biapoiadas

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)

Figura 9 - Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos

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)

Figura 10 - Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas

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)

Figura 11 - Dimensões mínimas para lajes contínuas

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)

Figura 12 - Dimensões mínimas para lajes lisas ou cogumelo

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)

Figura 13 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas

TRRF min	Nervuras Combinações de $b_{\text{mín}}/c_1$ 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 $b_{\text{mín}}$ 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)

Figura 14 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas contínuas em pelo menos uma das bordas

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)

Figura 15 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma só direção

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

^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)

Figura 16 - Dimensões mínimas para pilares-parede

TRRF min	Combinações de b_{\min}/c_1 mm/mm			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	Uma face exposta	Duas faces expostas	Uma face exposta	Duas faces expostas
	1	2	3	4
30	100/10	120/10	120/10	120/10
60	110/10	120/10	130/10	140/10
90	120/20	140/10	140/25	170/25
120	140/25	160/25	160/35	220/35
180	180/40	200/45	210/50	270/55

^a Pilar-parede conforme ABNT NBR 6118.

Fonte: ABNT NBR 15200 (2012)

As tabelas referentes ao método tabular para pilares da NBR 15200 (ABNT, 2012), encontram-se no Anexo E desta mesma norma.

3.4.6 Método simplificado de cálculo

O método simplificado de cálculo não garante a função corta-fogo e se resume a três hipóteses, sendo elas:

- (a) As solicitações de cálculo em situação de incêndio podem ser calculadas conforme:

$$S_{d,fi} = 0,70S_d \quad (3.8)$$

- (b) O esforço resistente de cálculo em situação de incêndio de cada elemento pode ser calculado com base na distribuição de temperatura obtida para sua seção transversal. Conforme o TRRF, essa distribuição pode ser obtida utilizando-se de programas específicos ou obtida na literatura técnica.
- (c) Os esforços podem ser calculados normalmente pelos critérios da ABNT NBR 6118:2014 para situação normal de temperatura, adotando uma resistência média para o aço e o concreto em situação de incêndio. Essa média obtêm-se distribuindo uniformemente na parte comprimida da seção a perda total de resistência por

aquecimento do concreto e do aço. Podem-se utilizar métodos encontrados na literatura técnica que consideram a seção reduzida em situação de incêndio. O valor de $f_{cd,\theta}$ não precisa ser afetado pelo coeficiente $\alpha = 0,85$ como na temperatura ambiente.

3.4.7 Método analítico para pilares

Para pilares com mais de uma face exposta ao fogo, pode-se utilizar a formulação a seguir para o cálculo do tempo de resistência ao fogo (TRF), cujo valor deve ser superior ou igual ao tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF).

$$TRF = 120 \left(\frac{R_{\mu} + R_a + R_l + R_b + R_n}{120} \right)^{1,8} \quad (3.9)$$

Onde:

$$R_{\mu} = 83 (1 - \mu_{fi})$$

$$R_a = 1,60 (c_1 - 30), c_1 \text{ em mm}$$

$$R_l = 9,60 (5 - l_{ef,fi})$$

$$R_b = 0,09 b' \text{ para } 190 \text{ mm} \leq b' \leq 450 \text{ mm}$$

$$R_b = 40,5 \text{ para } b' > 450 \text{ mm}$$

$$R_n = 0 \text{ para } n = 4, \text{ sendo } n \text{ o número de barras longitudinais}$$

$$R_n = 12 \text{ para } n > 4$$

Sendo:

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

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

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

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

(e) $l_{ef,fi}$ é o comprimento equivalente do pilar em situação de incêndio, em metros, e pode sempre ser considerado igual ao da temperatura ambiente, l_e , conforme ABNT NBR

6118, 15.6. Para os pilares dos andares intermediários de edifícios de múltiplos pavimentos compartimentados verticalmente e com os efeitos globais de segunda ordem (por exemplo, $\gamma_z \leq 1,1$), pode ser assumido que $l_{ef,fi} = 0,5 \cdot l_e$ e para o pavimento mais alto $l_{ef,fi} = 0,7 \cdot l_e$. 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 $l_{ef,fi}$ pode ser determinado por análise estrutural específica.

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

(g) $b' = 1,2 b$ para $h > 1,5 b$

onde

(a) A_c é a área da seção transversal do pilar, expressa em milímetros quadrados;

(b) b é a menor dimensão da seção transversal do pilar, expressa em milímetros;

(c) h é a maior dimensão da seção transversal do pilar, expressa em milímetros.

Essa formulação é adequada a estruturas de nós fixos. Entretanto, de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012), ela pode ser usada em casos de estruturas em que os deslocamentos não lineares de 2ª ordem puderem ser desconsiderados em situação de incêndio. Para o uso dessa equação, as seguintes limitações devem ser respeitadas:

(a) $A_s / A_c \leq 0,04$

(b) $25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm}$

(c) $b' \geq 190 \text{ mm}$

(d) $e \leq 0,15 b$

(e) $l_{ef,fi} \leq 6 \text{ m}$

Onde

(a) A_s é a área total das armaduras;

(b) 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.

3.5 Fundamentação Teórica

3.5.1 Incêndio

O incêndio, ou uma combustão, é definido como sendo uma reação química exotérmica que se processa entre um combustível e um comburente liberando luz e calor. Para que esta reação aconteça e se mantenha, são necessários quatro elementos: o combustível, o comburente, o calor e a reação em cadeia. Estes elementos são, didaticamente, simbolizados pelo tetraedro do fogo. (FLORES et al., 2016)

Figura 17 - Representação do “Tetraedro do Fogo”



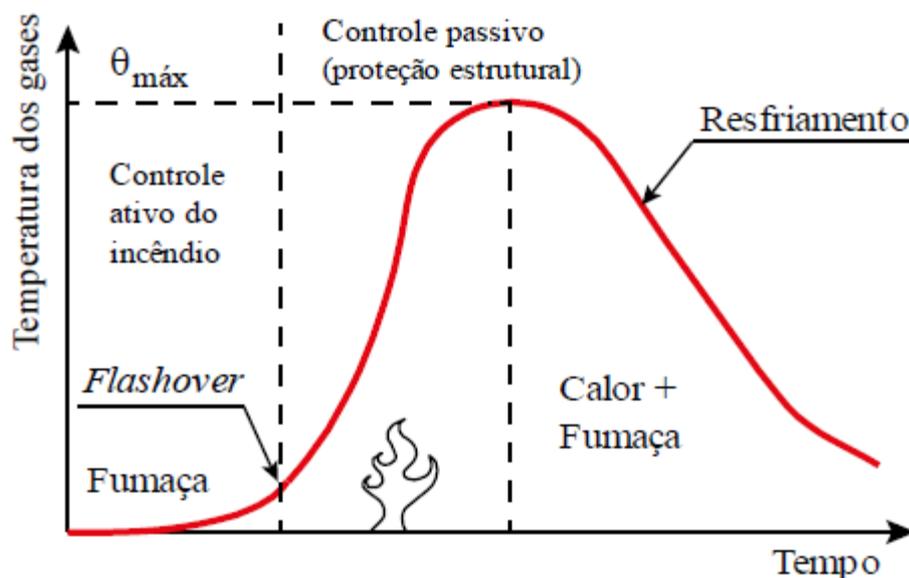
Fonte: DENIPOTTI et al. (2005)

O incêndio pode ser descrito em uma curva que apresenta a temperatura dos gases em função do tempo de incêndio. Esta curva é dividida em três ramos (ascendentes e descendentes) que mostram o comportamento do incêndio em uma situação real. Os principais parâmetros dessas curvas são (FIB, 2007 apud KLEIN JÚNIOR, 2011):

- (a) A taxa de aquecimento, que influencia no desenvolvimento de gradientes de temperatura, de umidade e de pressão nos poros do concreto;
- (b) A temperatura máxima do incêndio, que influencia as reações físico-químicas nos materiais, que por sua vez afetam as suas propriedades termomecânicas;
- (c) A duração do incêndio, que influencia na evolução das temperaturas na estrutura ao longo do tempo;
- (d) A fase de resfriamento. Por exemplo, resfriamento natural ou resfriamento com uso de água geram diferentes impactos nos materiais e na distribuição de temperaturas.

A partir do conhecimento da temperatura dos gases é possível obter a máxima temperatura atingida pelos elementos estruturais e assim, avaliar o comportamento dos materiais em temperaturas elevadas (CASTRO, 2005).

Figura 18 - Curva Temperatura-Tempo de um Incêndio Real



Fonte: LIE (1992) apud KLEIN JÚNIOR (2011)

Na fase inicial do incêndio (fase de ignição), representado na curva pela seção antes do “flashover”, ocorre a inflamação dos materiais no compartimento incendiado. Como a quantidade de material combustível é relativamente baixa, liberando assim pouca energia térmica, as temperaturas não apresentam valor elevado. Apesar disso, mesmo com a baixa influência térmica na solicitação da estruturas, a desocupação da edificação deve ser feita da forma mais rápida possível, devido aos gases tóxicos e asfixiantes liberados. Caso haja na edificação medidas de proteção contra incêndio (detectores de calor e fumaça, chuveiros automáticos, brigada de incêndio, etc.) e o fogo seja extinto nesse intervalo de tempo, nenhuma verificação posterior da estrutura será necessária (LIE, 1992; SILVA, 2004 apud KLEIN JÚNIOR, 2011)

Na segunda fase, conhecida como “flashover”, todo o material combustível é queimado (com o aumento do oxigênio), fornecendo caminho para a propagação do fogo, causando a elevação da temperatura e o surgimento de gases inflamáveis. A curva apresenta aumento brusco da inclinação, como visto na Figura 18, caracterizando um elevado gradiente térmico e um incêndio de grandes proporções. Nesta fase há uma redistribuição de esforços, pois o fogo influencia o comportamento estrutural da edificação.

A terceira e última fase representa a redução da temperatura dos gases e o esfriamento da estrutura, devido a queima total dos combustíveis. Com isso não há mais liberação de energia térmica.

A evolução da temperatura dos gases e a severidade do incêndio dependem de fatores como a quantidade de material combustível no ambiente; o grau de ventilação do compartimento, relacionado à dimensão das aberturas e das janelas, influenciando a entrada do comburente oxigênio; e as características térmicas do material de vedação, facilitando ou dificultando o isolamento do calor, influenciando na propagação do fogo.

3.5.2 Curva de Incêndio Padrão

As curvas que representam a temperatura dos gases de um incêndio real são variáveis, dependendo de diversos parâmetros: carga de incêndio, condições de ventilação, características térmicas dos materiais de vedação, etc. Por isso, surgiu a necessidade de adotar curvas padronizadas para análise experimental de estruturas, materiais de revestimento contra o fogo, portas corta-fogo, etc., em laboratórios de pesquisa (KLEIN JÚNIOR, 2011).

As curvas de incêndio-padrão usadas em ensaios, análises e projetos foram criadas com base em incêndios reais e são divididas em categorias conforme sua aplicação: edificações, offshore/petroquímicas e túneis (FIB, 2007 apud KLEIN JÚNIOR, 2011). Entretanto, esse trabalho abordará apenas a curva aplicada em edificações.

As principais características das curvas de incêndio-padrão são (FIB, 2008 apud KLEIN JÚNIOR, 2011):

- (a) São descritas como uma relação entre a temperatura média dos gases no compartimento em função do tempo. As curvas representam, portanto, a situação de incêndio plenamente desenvolvido. Para grandes compartimentos, essa situação só seria verificada após um longo tempo de incêndio (dependendo também da disponibilidade de material combustível, ventilação, etc.);
- (b) Todas essas relações são monotonicamente crescentes com o tempo. A fase de resfriamento não é modelada. Normalmente, quando certo tempo de resistência ao fogo é exigido, basta verificar a capacidade resistente para essa duração de incêndio, ou seja, nenhuma consideração é feita em relação aos instantes além desse período.

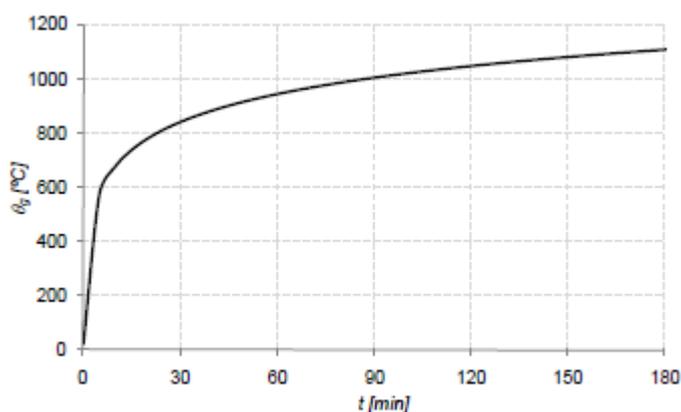
O uso de curvas de incêndio-padrão possui diversas limitações conhecidas pelo meio técnico especializado (FIB, 2007 apud KLEIN JÚNIOR, 2011):

- (a) Como a evolução da temperatura é padronizada e controlada nos ensaios, o impacto real do aquecimento de estruturas depende também de outras variáveis, incluindo as propriedades óticas dos gases do forno de ensaio e a resposta térmica da estrutura;
- (b) Os resultados dos ensaios proporcionam pouca informação a respeito da resposta dos elementos estruturais in situ, por exemplo, levando em consideração a interação entre

- as diferentes partes da estrutura, os efeitos das restrições, etc.;
- (c) Os gradientes térmicos no interior dos elementos de concreto são geralmente mais severos quando submetidos a incêndios reais, se comparados ao incêndio-padrão;
 - (d) Os efeitos decorrentes de incêndios não uniformes no compartimento são muito pouco conhecidos, e sabe-se que a ocorrência do *spalling* pode estar relacionada a esses efeitos;
 - (e) As curvas de incêndio-padrão desconsideram os importantes efeitos do resfriamento.

Como dito anteriormente, esse trabalho limita-se à abordagem da curva de incêndio-padrão para análise da resistência ao fogo de estruturas de edificações. Ela representa um incêndio típico em edifícios, porém não apresentando a fase de resfriamento (temperatura aumenta indefinidamente).

Figura 19 - Curva de incêndio-padrão ISO 834



Fonte: ISO (1999) apud KLEIN JÚNIOR (2011)

A expressão da curva de incêndio-padrão ISO 834-1 (ISO, 1999), que relaciona a temperatura média dos gases do compartimento em função do tempo é dada pela Equação (3.10).

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \log(8t + 1) \quad (3.10)$$

Onde:

t – tempo de incêndio, desde o início da queima do material combustível, em minutos.

θ_g – temperatura dos gases em função do tempo t, em graus.

θ_0 – temperatura ambiente inicial, geralmente adotada igual a 20 °C.

A NBR 14432:2001 – “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento”, adota a curva de incêndio-padrão citada como modelo.

3.5.3 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

Segundo Silva (2005), é costume em normas nacionais e internacionais exigir-se a segurança de estruturas de concreto por um determinado tempo, associado a curva-padrão de incêndio. Esse tempo, segundo a ABNT NBR 15200:2012, é o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), ou seja, o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo, quando sujeito ao incêndio padrão. A resistência ao fogo do elemento estrutural é o quanto ele mantém a sua segurança estrutural, estanqueidade e isolamento quando exposto a um determinado tempo de incêndio. O TRRF pode ser traduzido como uma ação que aumenta as solicitações nos elementos estruturais ao mesmo tempo que diminui a resistência desses elementos.

Ressalta-se que, de acordo com Klein Júnior (2011), é comum haver confusão no meio técnico quanto a definição do TRRF. O tempo requerido de resistência ao fogo não significa o tempo necessário para a evacuação da edificação, para a realização de operações de combate ao incêndio ou para a diminuição dos danos causados a vizinhança antes do colapso estrutural.

O anexo A da ABNT NBR 14432:2001 apresenta um método tabular para a determinação do TRRF de uma edificação, levando em consideração o tipo de ocupação, altura da edificação e a carga de incêndio. Para situações em que for comprovada uma severidade mais branda do incêndio na estrutura (em função da carga de incêndio e da ventilação), a norma citada permite que seja utilizado curvas teóricas e experimentais, diferentes da curva de incêndio-padrão, reduzindo em até 30 min o TRRF e determinando assim novos tempo equivalente de resistência ao fogo. Admite-se ainda a utilização de outros métodos que considerem as medidas ativas e passivas de proteção contra incêndio, como o método de Gretener, para a determinação do TRRF.

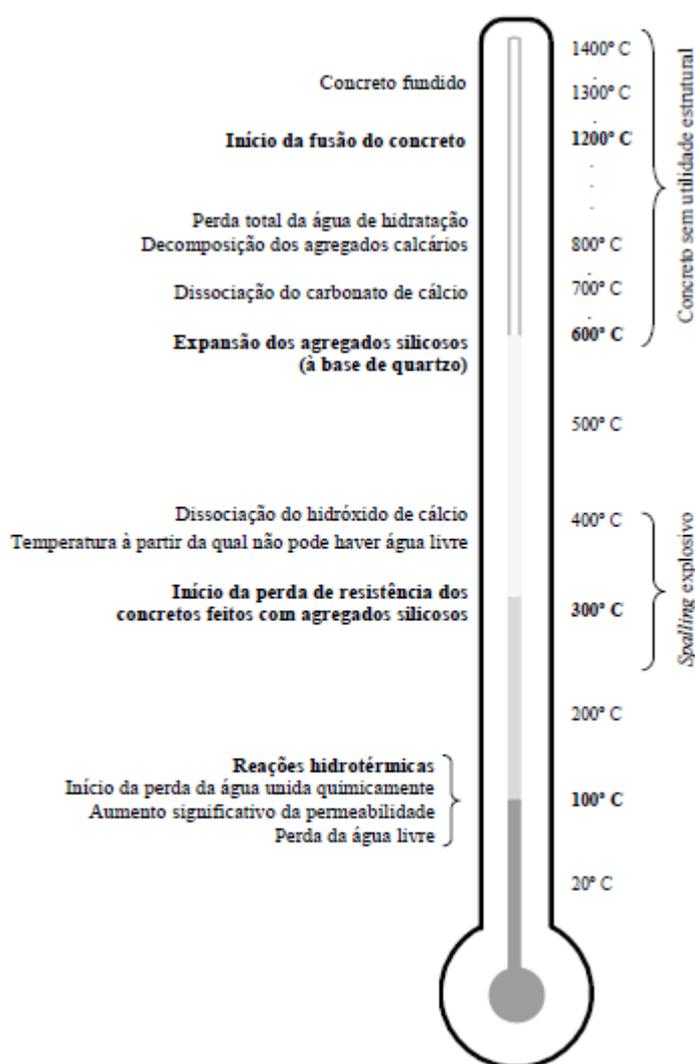
3.5.4 Efeitos Térmicos No Concreto e No Aço

O concreto armado, tanto para o dimensionamento em situação normal de temperatura quanto em situação de incêndio, é considerado como um elemento homogêneo e monolítico, mesmo sendo um material heterogêneo, composto por agregados, água e cimento. Devido a boa

aderência do aço no concreto, os dois elementos conseguem trabalhar de forma conjunta quando solicitados.

De acordo com Costa (2008), em temperaturas elevadas (acima dos 100 °C), a heterogeneidade do concreto é realçada pelas transformações físicas, químicas e mineralógicas envolvendo a pasta de cimento, os agregados e o aço. A figura abaixo apresenta um esquema do que ocorre com o concreto quando se aumenta a temperatura:

Figura 20 - Representação simplificada das reações físico-químicas do concreto com o aumento da temperatura



Fonte: Khoury (2000) apud Klein Júnior (2011)

Considerar uma distribuição uniforme de temperatura no elemento estrutural pode ser bastante conservador e a favor da segurança. Devido a robustez e a rigidez das peças, a temperatura se distribui de forma desigual, gerando os gradientes térmicos. Como dito no tópico

3.4, devido a redução da rigidez e ao aumento da plasticidade dos elementos estruturais em situação de incêndio, as solicitações geradas devido ao alongamento das peças e o gradiente térmico podem ser desprezados.

3.5.4.1 Diagrama Tensão-Deformação do Concreto

O diagrama tensão-deformação do concreto a temperaturas elevadas segue a seguinte equação:

$$\sigma_{c,\theta} = f_{c,\theta} \frac{3 \left(\frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)}{2 + \left(\frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)^3} \quad (3.11)$$

Onde:

$\sigma_{c,\theta}$ = valor da tensão à compressão do concreto à temperatura elevada θ (MPa)

$f_{c,\theta}$ = valor da resistência à compressão do concreto à temperatura elevada θ (MPa)

$\varepsilon_{c,\theta}$ = é a deformação linear específica correspondente do concreto à temperatura elevada θ (adimensional)

$\varepsilon_{c1,\theta}$ = é a deformação linear específica correspondente à tensão de resistência máxima do concreto à temperatura elevada θ , apresentado na Figura 21 (adimensional)

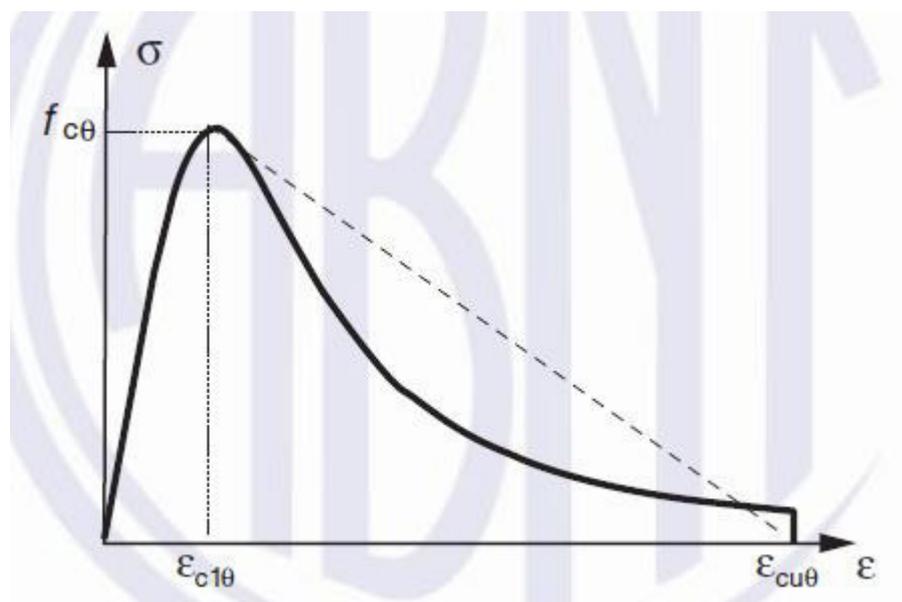
$\varepsilon_{cu,\theta}$ = é a deformação linear específica última do concreto à temperatura elevada θ , apresentado na Figura 21 (adimensional)

Figura 21 - Deformação linear específica do concreto em função da temperatura

θ °C	$\epsilon_{c1,\theta}$ %	$\epsilon_{cu,\theta}$ %
20	0,25	2,00
100	0,35	2,25
200	0,45	2,50
300	0,60	2,75
400	0,75	3,00
500	0,95	3,25
600	1,25	3,50
700	1,40	3,75
800	1,45	4,00
900	1,50	4,25
1 000	1,50	4,50
1 100	1,50	4,75
1 200	1,50	-

Fonte: ABNT NBR 15200 (2012)

Figura 22 - Aspecto do diagrama tensão-deformação do concreto a temperaturas elevadas



Fonte: ABNT NBR 15200 (2012)

O ramo descendente do diagrama apresentado pode ser definido pela Equação (3.11) ou pode-se adotar uma linha reta entre $\epsilon_{c1,\theta}$ e $\epsilon_{cu,\theta}$ conforme valores apresentados na Figura 21.

3.5.4.2 Alongamento do concreto

O alongamento específico do concreto de densidade normal com agregado silicoso é determinado da forma apresentada nas Equações (3.12) e (3.13).

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

$$\frac{\Delta l}{l} = -9 \times 10^{-6} \theta_c + 2,3 \times 10^{-11} \theta_c^3 - 1,8 \times 10^{-4} \quad (3.12)$$

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

$$\frac{\Delta l}{l} = 14 \times 10^{-3} \quad (3.13)$$

Onde

l = comprimento da peça de concreto de densidade normal a 20 °C

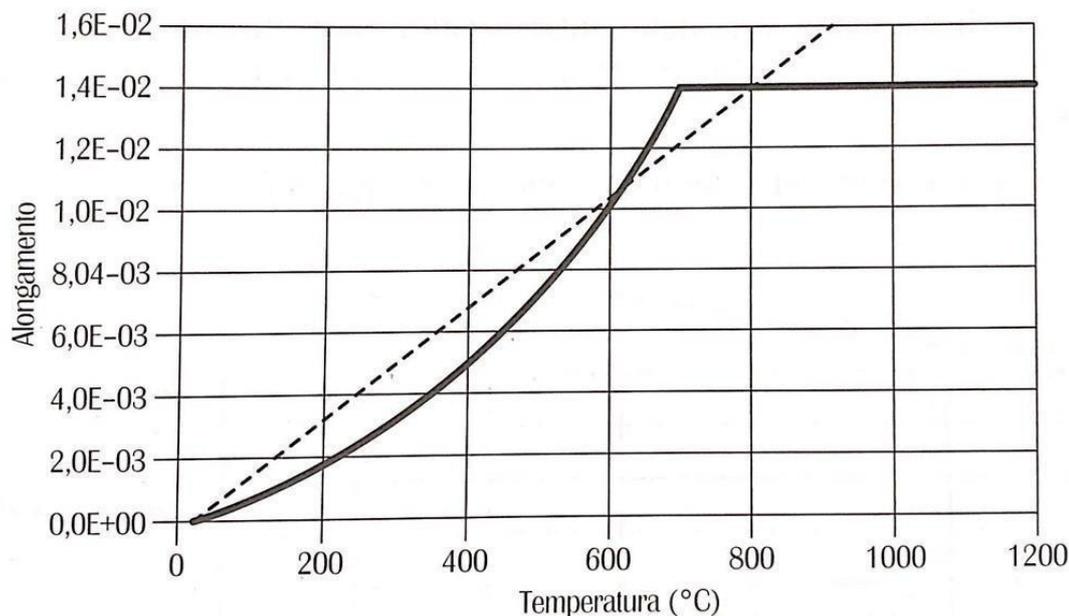
Δl = alongamento do elemento de concreto de densidade normal provocado pela temperatura

θ_c = temperatura do concreto, em °C

De forma simplificada, a relação entre o alongamento específico do concreto de densidade normal e a temperatura pode ser considerada constante, de acordo com a Equação (3.14)

$$\frac{\Delta l}{l} = 18 \times 10^{-3} (\theta_c - 20) \quad (3.14)$$

Figura 23 - Alongamento específico do concreto



Fonte: Silva (2016)

3.5.4.3 Calor Específico do concreto

O calor específico $c_p(\theta)$ do concreto seco ($u = 0\%$) silicoso ou calcário pode ser determinado da seguinte maneira:

$$c_p(\theta) = 900 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \text{ para } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C} \quad (3.15)$$

$$c_p(\theta) = 900 + (\theta - 100) \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \text{ para } 100^\circ\text{C} < \theta \leq 200^\circ\text{C} \quad (3.16)$$

$$c_p(\theta) = 1000 + (\theta - 200)/2 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \text{ para } 200^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C} \quad (3.17)$$

$$c_p(\theta) = 1100 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \text{ para } 400^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C} \quad (3.18)$$

Quando a umidade não for considerada explicitamente no método de cálculo, a função do calor específico do concreto calcário ou silicoso pode ser modelado por um valor constante $c_{p,top}$, situado entre 100°C e 115°C , com decréscimo linear entre 115°C e 200°C

$$c_{p,top} = 900 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \text{ para umidade de } 0\% \text{ em peso} \quad (3.19)$$

$$c_{p,top} = 1470 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \text{ para umidade de } 1,5\% \text{ em peso} \quad (3.20)$$

$$c_{p,top} = 2020 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \text{ para umidade de } 3,0\% \text{ em peso} \quad (3.21)$$

Ou seja,

$$c_p(\theta) = 900 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \text{ para } 20 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.22)$$

$$c_p(\theta) = c_{p,top} \text{ para } 100 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 115 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.23)$$

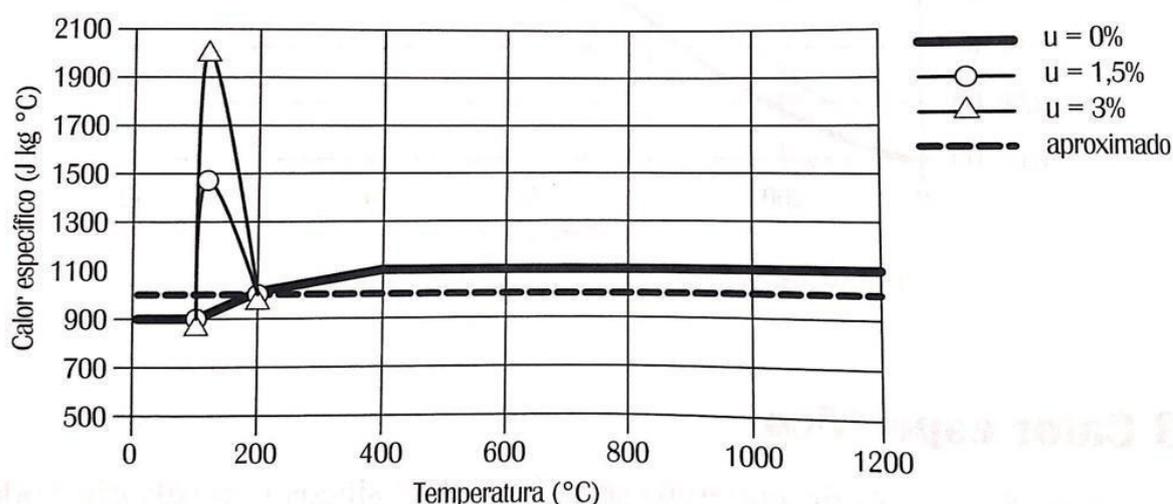
$$c_p(\theta) = c_{p,top} - \frac{c_{p,top} - 1000}{85} (\theta - 115) \text{ para } 115 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 200 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.24)$$

$$c_p(\theta) = 1000 + \frac{\theta - 200}{2} \text{ para } 200 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 400 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.25)$$

$$c_p(\theta) = 1100 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \text{ para } 400 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.26)$$

De forma simplificada, a relação entre o calor específico do concreto e a temperatura pode ser considerada constante. Nesse caso, pode ser considerada igual a 1000 J/kg°C.

Figura 24 - Variação do calor específico do concreto com a temperatura



Fonte: Silva (2016)

3.5.4.4 Condutividade Térmica do Concreto

A condutividade térmica do concreto de densidade normal com agregado silicoso ou calcário, em watt por metro e por grau Celsius (W/m °C), pode ser determinada, para $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C}$, pelas equações (3.27) e (3.28), respectivamente valor mínimo adequado a estruturas de concreto e valor máximo, adequado a estruturas mistas de aço e concreto.

$$\lambda = 1,36 - 0,136 \frac{\theta_c}{100} + 0,0057 \left(\frac{\theta_c}{100} \right)^2 \quad (3.27)$$

$$\lambda_c = 2 - 0,2451 \frac{\theta_c}{100} + 0,0107 \left(\frac{\theta_c}{100} \right)^2 \quad (3.28)$$

Onde

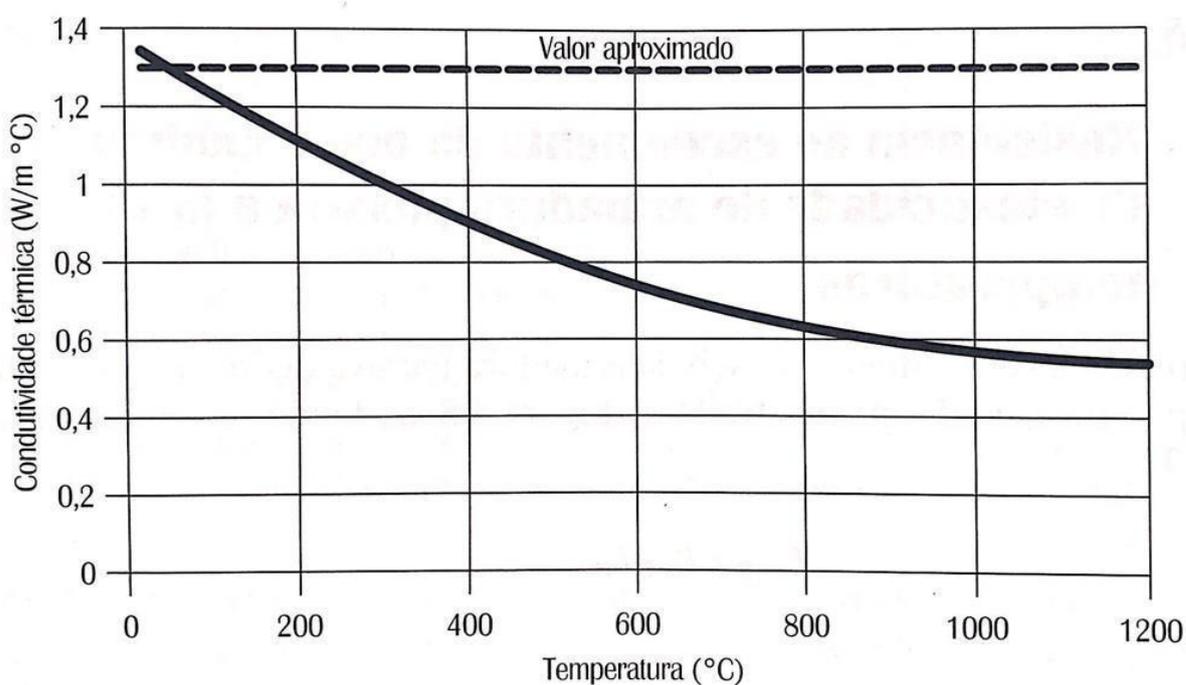
λ = valor mínimo da condutividade térmica do concreto para estruturas de concreto

λ_c = valor máximo da condutividade térmica do concreto para estruturas mistas de aço e concreto

θ_c = temperatura do concreto, em graus Celsius

De forma simplificada, a relação entre a condutividade térmica do concreto e a temperatura pode ser considerada constante. Nesse caso, pode ser considerada igual a 1,3 W/m °C

Figura 25 - Condutividade térmica do concreto



Fonte: Silva (2016)

3.5.4.5 Densidade do concreto

A variação da densidade (massa específica) com a temperatura é influenciada pela perda de água e pode ser determinada conforme as equações abaixo:

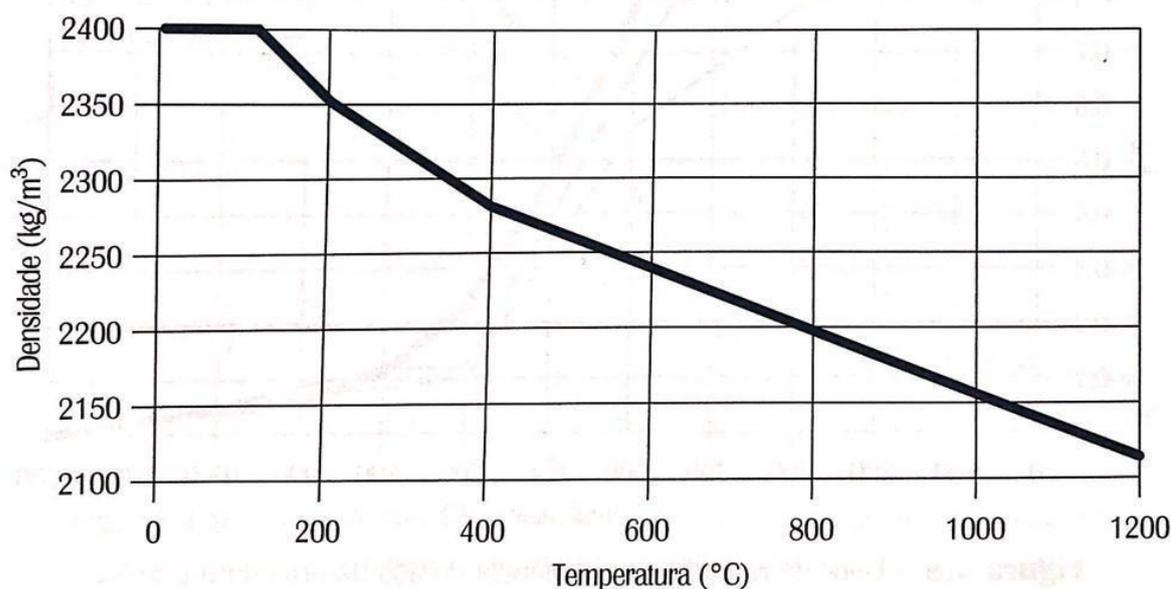
$$\rho(\theta) = \rho(20\text{ }^{\circ}\text{C}) \text{ para } 20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 115\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.29)$$

$$\rho(\theta) = \rho(20\text{ }^{\circ}\text{C}) \times \left(1 - \frac{0,02(\theta-115)}{85}\right) \text{ para } 115\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 200\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.30)$$

$$\rho(\theta) = \rho(20\text{ }^{\circ}\text{C}) \times \left(0,98 - \frac{0,03(\theta-200)}{200}\right) \text{ para } 200\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 400\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.31)$$

$$\rho(\theta) = \rho(20\text{ }^{\circ}\text{C}) \times \left(0,95 - \frac{0,07(\theta-400)}{800}\right) \text{ para } 400\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.32)$$

Figura 26 - Densidade do concreto com a temperatura



Fonte: Silva (2016)

3.5.4.6 Diagramas tensão-deformação dos aços

Os diagramas tensão-deformação dos aços da armadura passiva a temperaturas elevadas podem ser construídos a partir das equações a seguir:

$$\sigma_{s,\theta} = \varepsilon_{s,\theta} E_{s,\theta} \text{ se } 0 \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq \varepsilon_{p,\theta} \quad (3.33)$$

$$\sigma_{s,\theta} = f_{p,\theta} - c + \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{s,\theta})^2} \text{ se } \varepsilon_{p,\theta} \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq \varepsilon_{y,\theta} \quad (3.34)$$

$$\sigma_{s,\theta} = f_{yk,\theta} \text{ se } \varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon_{s,\theta} \leq \varepsilon_{t,\theta} \quad (3.35)$$

$$\sigma_{s,\theta} = f_{yk,\theta} \left[1 - \left(\frac{\varepsilon_{s,\theta} - \varepsilon_{t,\theta}}{\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta}}\right)\right] \text{ se } \varepsilon_{t,\theta} \leq \varepsilon_{s,\theta} < \varepsilon_{u,\theta} \quad (3.36)$$

$$\sigma_{s,\theta} = 0 \text{ se } \varepsilon_{s,\theta} \geq \varepsilon_{u,\theta} \quad (3.37)$$

$$a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \left(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + \frac{c}{E_{s,\theta}}\right) \quad (3.38)$$

$$b^2 = c(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{s,\theta} + c^2 \quad (3.39)$$

$$c = \frac{(f_{yk,\theta} - f_{p,\theta})^2}{(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{s,\theta} - 2(f_{yk,\theta} - f_{p,\theta})} \quad (3.40)$$

$$\varepsilon_{p,\theta} = \frac{f_{p,\theta}}{E_{s,\theta}} \quad (3.41)$$

$$\varepsilon_{y,\theta} = 0,02 \quad (3.42)$$

$$f_{p,\theta} = k_{p,\theta}f_{yk} \quad (3.43)$$

Onde

$\sigma_{s,\theta}$ = tensão do aço da armadura passiva a uma temperatura θ

$\varepsilon_{s,\theta}$ = deformação específica do aço da armadura passiva a uma temperatura θ

$E_{s,\theta}$ = módulo de elasticidade do aço de armadura passiva na temperatura θ

$\varepsilon_{p,\theta}$ = deformação específica correspondente ao limite de proporcionalidade do aço na temperatura θ

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

$\varepsilon_{y,\theta}$ = deformação específica de escoamento do aço de armadura passiva a uma temperatura θ

$f_{yk,\theta}$ = resistência ao escoamento do aço na temperatura θ , conforme equação (3.2) (tópico 3.4)

$\varepsilon_{t,\theta}$ = parâmetro de deformação igual a 5% para aços de ductilidade normal (CA 60) e 15% para aços de alta ductilidade (CA 25/50)

$\varepsilon_{u,\theta}$ = parâmetro de deformação igual a 10% para aços de ductilidade normal (CA 60) e 20% para aços de alta ductilidade (CA 25/50)

$k_{p,\theta}$ = redutor do limite de proporcionalidade conforme Figura 27

f_{yk} = resistência ao escoamento do aço a 20 °C

Figura 27 - Valores da relação $k(p,\theta)=f(pk,\theta)/f_{yk}$ para aços de armadura passiva

Temperatura do aço °C	$k_{p,\theta} = f_{pk,\theta} / f_{yk}$	
	CA-50	CA-60
20	1,00	1,00
100	1,00	0,96
200	0,81	0,92
300	0,61	0,81
400	0,42	0,63
500	0,36	0,44
600	0,18	0,26
700	0,07	0,08
800	0,05	0,06
900	0,04	0,05
1 000	0,02	0,03
1 100	0,01	0,02
1 200	0,00	0,00

Fonte: ABNT NBR 15200 (2016)

3.5.4.7 Resfriamento e pós-incêndio

O valor da resistência após o resfriamento depende da temperatura atingida durante o incêndio e da velocidade de resfriamento. Quanto mais rápido o resfriamento, mais prejudicial será para a resistência do concreto (SILVA, 2016). Em geral, o concreto perde até 10% da sua resistência inicial, quando resfriado. Com relação ao aço, até ele atingir cerca de 720 °C, pode-se considerar que ele recupera a sua resistência após o resfriamento. Segundo a ABNT NBR 15200 (2012), plastificações, ruínas e até colapsos locais são aceitos para uma estrutura dimensionando para situação de incêndio. Por isso, uma estrutura só pode ser reutilizada após um incêndio, quando for vistoriada, conferida a sua resistência remanescente e ter sido projetada e executada a sua recuperação.

3.5.5 “Spalling” do concreto

O lascamento ou *spalling* do concreto é um fenômeno natural do concreto quando exposto a altas temperaturas. Basicamente a umidade interna do concreto é aquecida e esse vapor confinado dentro do material gera tensões que contribuem para a desintegração das regiões superficiais dos elementos estruturais, podendo até explodir.

De acordo com Soares (2003), o fenômeno do lascamento pode ocorrer como lascamento explosivo ou prematuro (*sloughing*). O explosivo ocorre nos primeiros 30 minutos do incêndio sob temperaturas mais baixas, entre 240 °C e 280 °C. No lascamento prematuro, o concreto se desfaz gradativamente devido à perda de resistência e aderência.

LANDI (1986) apud SOARES (2003) enumera alguns pontos que acarretam no lascamento, dentre eles:

- (a) O coeficiente de dilatação térmica da pasta de cimento é o dobro do coeficiente de dilatação térmica dos agregados. Assim, os materiais constituintes do concreto dilatam-se diferentemente, criando um processo de desagregação;
- (b) A água livre e a água de hidratação do cimento tentam se evaporar, criando locais com elevada pressão interna;
- (c) Apesar de aço e concreto possuírem praticamente o mesmo coeficiente de dilatação térmica, o aço dilata-se mais cedo por apresentar maior coeficiente de condutividade térmica que o concreto. Assim, surgem tensões entre os dois materiais e conseqüentemente perda de aderência, o que pode favorecer o fenômeno do lascamento.

As principais conseqüências do *spalling* são o aumento da exposição do aço ao fogo, visto que parte do concreto de cobertura da peça desintegrou-se, e a redução da área de seção transversal da peça, diminuindo a capacidade resistente da peça (aumentando a sollicitação no concreto e no aço remanescente). O aço tem a sua resistência comprometida quando exposto ao fogo e conseqüentemente o seu aquecimento. Concretos de alta resistência estão mais suscetíveis ao lascamento instantâneo, devido a sua baixa porosidade (o que dificulta mais ainda a saída do vapor de água, aumentando as tensões internas) e além disso, esse tipo de concreto permite a construção de estruturas mais esbeltas, facilitando a propagação do calor na peça.

De acordo com Klein Júnior (2011), o *spalling* deve ser evitado ao máximo, pois pode invalidar hipóteses de cálculo e diminuir significativamente os níveis de segurança da estrutura em situação de incêndio. Os meios mais eficazes para reduzir a probabilidade de ocorrência do *spalling* explosivo são (FIB, 2007 apud KLEIN JÚNIOR, 2011):

- (a) Uso de proteção térmica nas estruturas;

- (b) Adição de fibras de polipropileno à mistura de concreto (0,05% a 0,1% em massa);
- (c) Uso de aditivo incorporador de ar;
- (d) Uso de agregados de baixa expansão térmica e estáveis sob temperaturas elevadas;
- (e) Adoção de seções transversais com maiores dimensões.

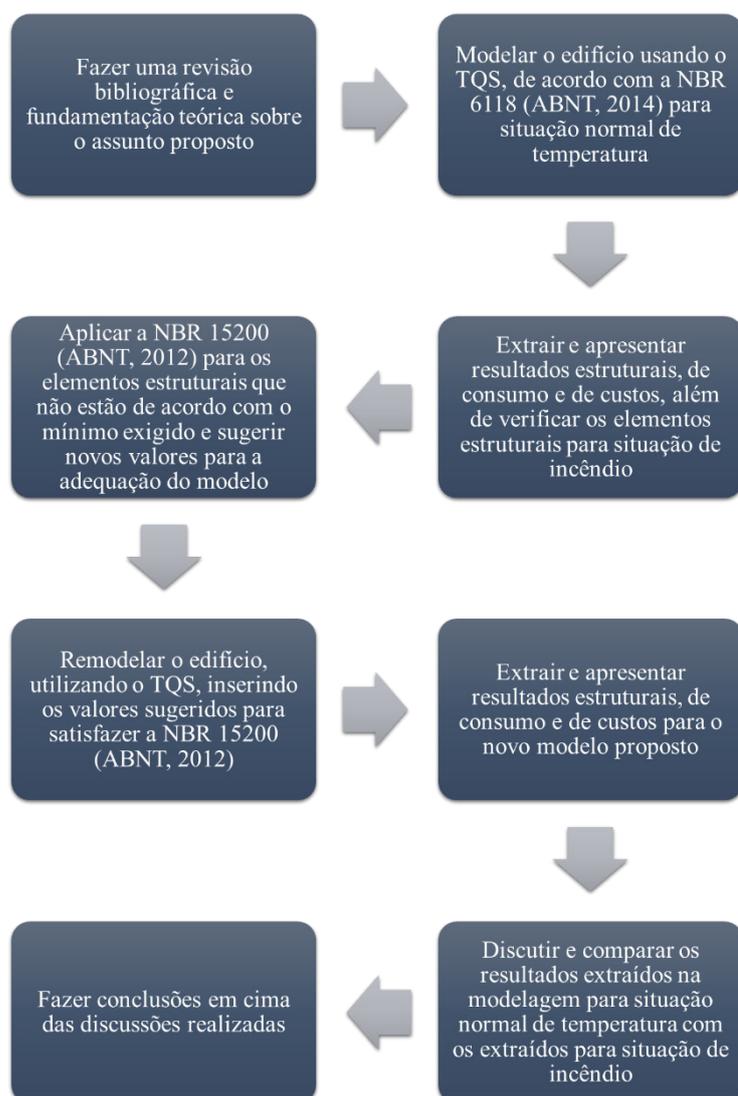
4 METODOLOGIA

A revisão bibliográfica e fundamentação teórica básica, necessárias para o melhor entendimento sobre o assunto e essenciais para a realização deste trabalho, foram apresentadas nos capítulos anteriores.

As análises estruturais propostas neste trabalho serão realizadas a partir de uma edificação já existente, modelando-a no programa TQS, tanto para situação normal de temperatura como para situação de incêndio, utilizando como referência a NBR 6118 (ABNT, 2014) e a NBR 15200 (ABNT, 2012), respectivamente.

A sequência metodológica utilizada neste trabalho é apresentado de forma visual no fluxograma a seguir:

Fluxograma 1 - Sequência metodológica aplicada

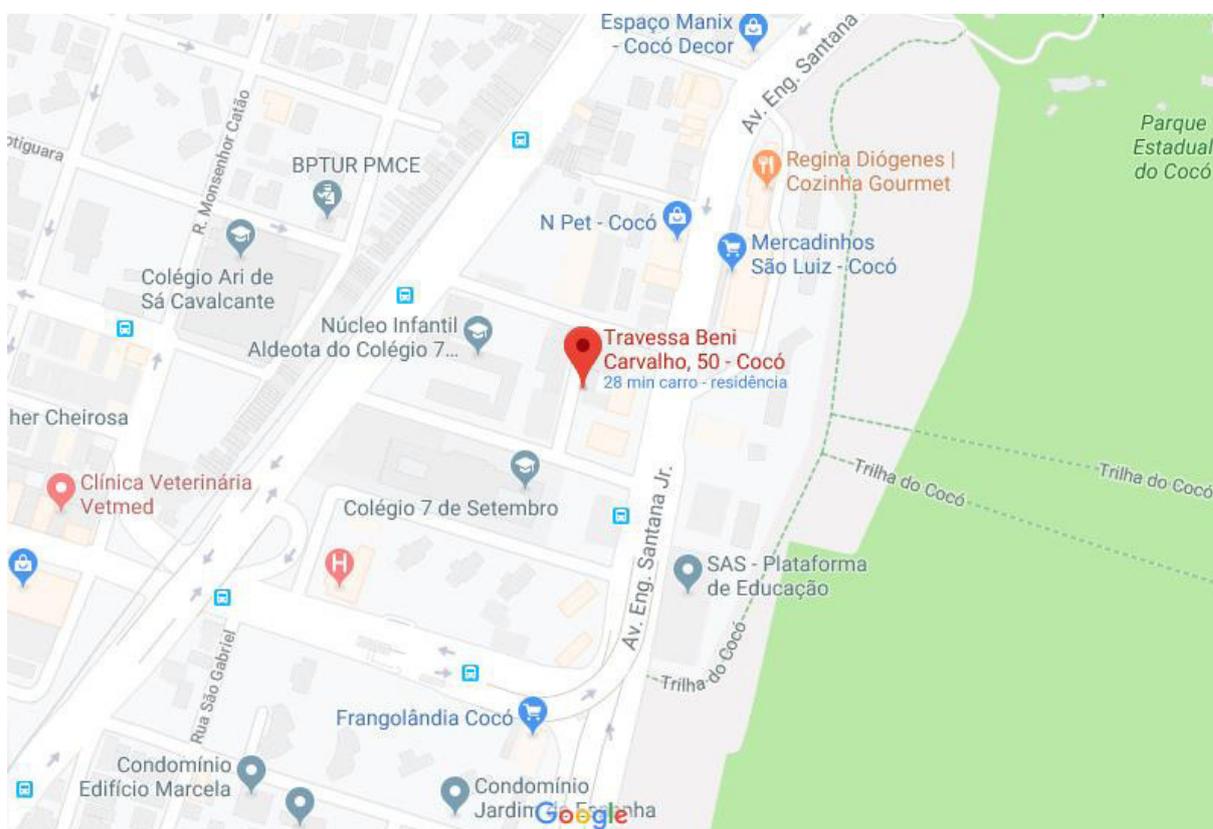


4.1 Contextualização do Projeto

Foi escolhido para estudo de caso o Condomínio Mont Park, localizado na cidade de Fortaleza – CE na Travessa Beni Carvalho, 50. Alguns pontos influenciaram na escolha do condomínio:

- a) Projeto original realizado antes de 2012, ano em que a norma de incêndio entrou em vigor, sendo interessante para observar o que muda com a NBR 15200 (ABNT 2012);
- b) Projeto simples, com apenas uma torre e de uso residencial, diminuindo a complexidade dos elementos estruturais e suas variações;
- c) Condomínio construído em concreto armado sem nenhuma protensão;
- d) Acesso às plantas de formas e arquiteturas, garantindo uma maior aproximação da modelagem no TQS com o modelo real.

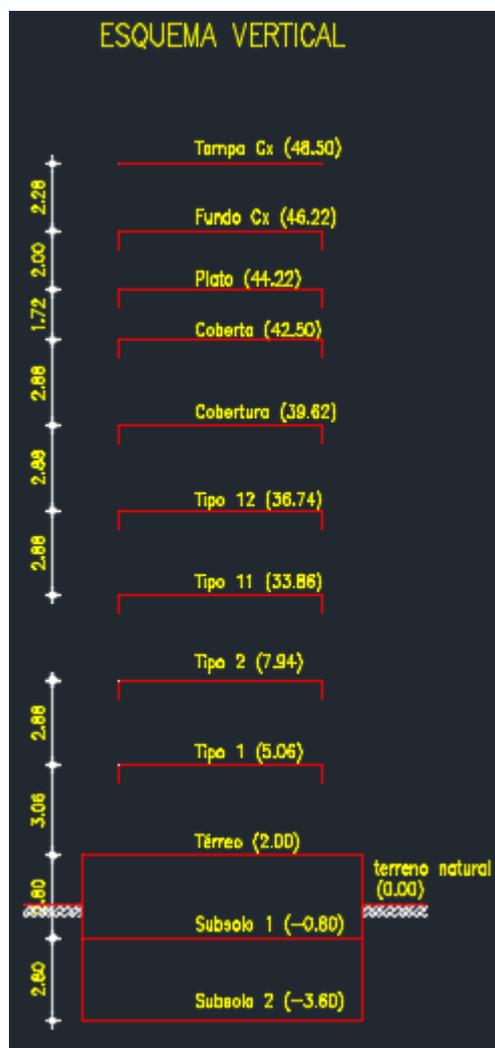
Figura 28 - Localização em Mapa do Condomínio Mont Park



Fonte: Autor (2019)

A estrutura desse condomínio está dividida em 19 pavimentos principais: subsolo 2, subsolo 1, térreo, pavimento tipo (12 pavimentos), cobertura, coberta, platô e caixa d'água. As informações de pé direito e área de cada pavimento pode ser visto na tabela a seguir:

Figura 29 - Esquema Vertical do Condomínio Mont Park



Fonte: Autor (2019)

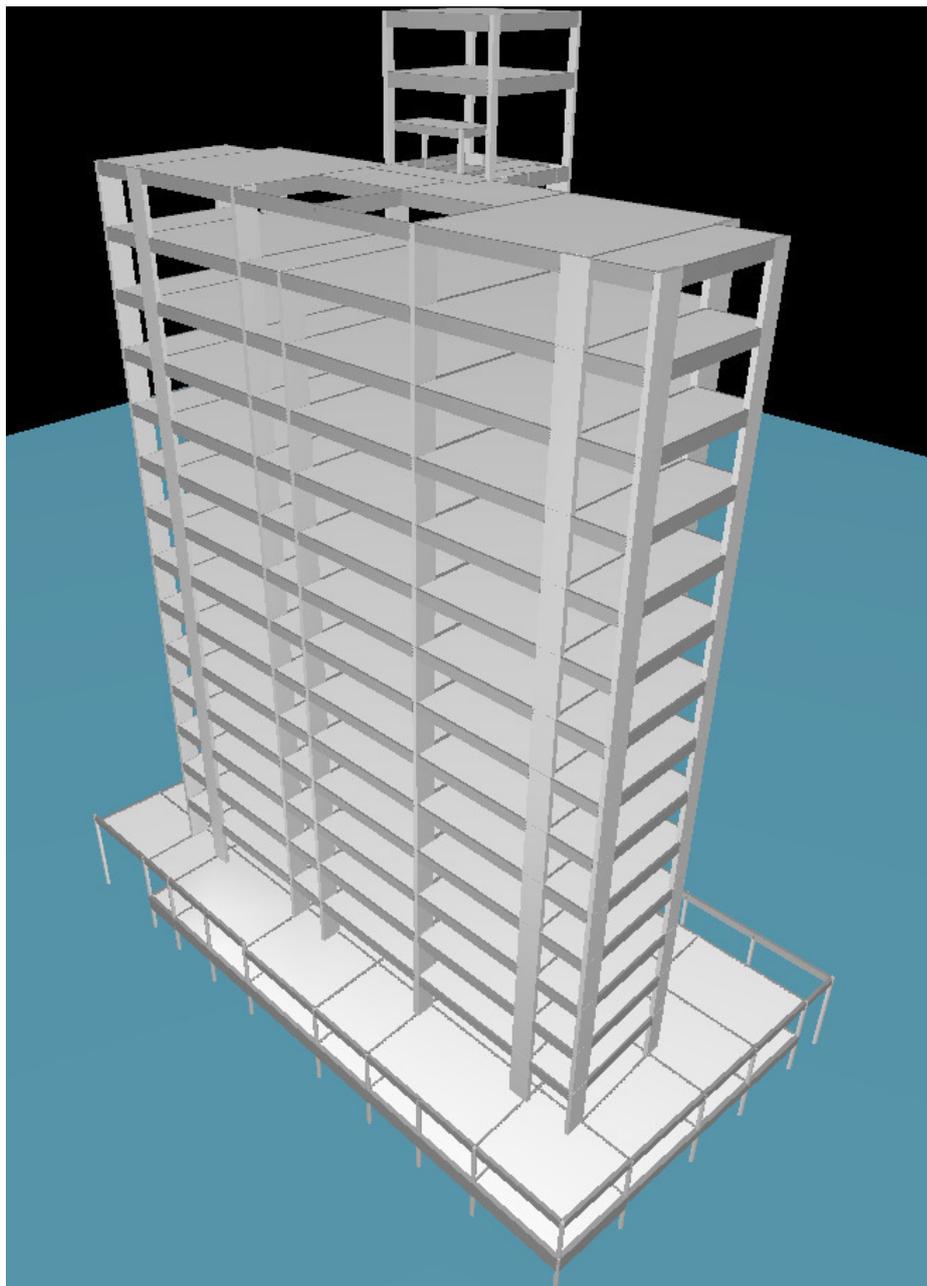
Tabela 1 - Informações gerais da edificação

Pavimento	Piso	Piso a piso (m)	Cota (m)	Área (m ²)
Tampa Cx Dágua	19	2,28	52,1	34,3
Fundo Cx Dágua	18	2	49,8	34,3
Plato	17	1,72	47,8	9,7
Coberta	16	2,88	46,1	234,7
Cobertura	15	2,88	43,2	277,4
Pavimento Tipo 3 a 12	14	2,88	40,3	277,4
Pavimento Tipo 3 a 12	13	2,88	37,5	277,4
Pavimento Tipo 3 a 12	12	2,88	34,6	277,4
Pavimento Tipo 3 a 12	11	2,88	31,7	277,4
Pavimento Tipo 3 a 12	10	2,88	28,8	277,4
Pavimento Tipo 3 a 12	9	2,88	25,9	277,4
Pavimento Tipo 3 a 12	8	2,88	23,1	277,4
Pavimento Tipo 3 a 12	7	2,88	20,2	277,4
Pavimento Tipo 3 a 12	6	2,88	17,3	277,4
Pavimento Tipo 3 a 12	5	2,88	14,4	277,4
Pavimento Tipo 2	4	2,88	11,5	277,5
Pavimento Tipo 1	3	3,06	8,7	277,5
Térreo	2	2,8	5,6	742,6
Subsolo	1	2,8	2,8	695,1
				TOTAL = 5357,1

Fonte: Autor (2019)

No 6APÊNDICE D é apresentado todas as plantas de formas do edifício utilizadas para a modelagem no TQS. A imagem a seguir mostra o modelo em 3D:

Figura 30 - Modelo 3D do edifício estudado



Fonte: Autor (2019)

4.2 Critérios e hipóteses adotadas

A fim de padronizar ou simplificar o modelo estrutural, alguns critérios e hipóteses foram adotados, podendo ser comum a todos os pavimentos (gerais) ou específicos de algum pavimento.

4.2.1 Critérios e hipóteses gerais

4.2.1.1 Modelo estrutural

O modelo estrutural escolhido foi de um pórtico espacial formado somente por pilares e vigas. Para efeito de cálculo, os esforços horizontais (vento) são resistidos pelo pórtico espacial e a laje resiste apenas aos esforços verticais.

4.2.1.2 Classe de agressividade ambiental

Foi considerada a classe de agressividade ambiental I (fraca), de acordo com o projeto original, gerando cobrimentos de 2 cm para as lajes e 2,5 cm para os pilares em vigas. Entretanto, foi utilizado um cobrimento de 2,5 cm para as lajes, a fim de garantir que bitolas de aço de 25 mm pudessem ser alocadas, respeitando o que é dito na NBR 6118 (ABNT, 2014), onde o cobrimento deve ser maior ou igual a bitola da barra de aço.

Figura 31 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

4.2.1.3 Fatores de Vento

Todos os fatores de vento são descritos na NBR 6123 (ABNT, 2013) e para o efeito de dimensionamento foram utilizados:

- a) Velocidade Básica – 30 m/s, de acordo com a região de Fortaleza, onde a edificação se encontra
- b) Fator do Terreno – 1,00, considerando um relevo plano
- c) Categoria de Rugosidade – V, considerando um ambiente com obstáculos numerosos e pouco espaçados
- d) Classe de Edificação – C, pois a maior direção vertical ou horizontal possui mais de 50 metros
- e) Fator Estatístico – 1

Com isso, os coeficientes de arrasto calculados de acordo com a NBR 6123 – Forças Devidas ao Vento em Edificações (ABNT, 1988) foram de 1,34; 1,34; 1,255 e 1,255 para os ângulos de 90°, 270°, 0° e 180° respectivamente.

4.2.1.4 Furos em vigas e lajes

Apesar do projeto original possuir pequenos cortes nas lajes e furos nas vigas, optou-se por não considera-los, simplificando a modelagem estrutural.

4.2.1.5 Cargas

Todo os elementos estruturais possuem um peso específico, ou seja, um peso próprio (carga permanente) de 25 KN/m³ (vigas, pilares e lajes). Nas lajes, além de considerar o peso próprio, considerou-se que esses elementos teriam uma carga permanente de 1 KN/m², que representa o reboco e revestimento (exceto o fundo da caixa d'água). As cargas acidentais utilizadas nas lajes em cada pavimento são mostradas na tabela abaixo. As lajes no entorno das escadas receberam uma carga acidental de 3 KN/m² em todos os pavimentos, baseando-se na NBR 6120 (ABNT, 1980) para cargas acidentais em escadas.

Figura 32 - Carga acidental para escadas de acordo com a NBR 6120

12 Escadas	Com acesso ao público	(ver 2.2.1.7)	3
	Sem acesso ao público		2,5

Fonte: ABNT NBR 6120 (1980)

Tabela 2 - Cargas acidentais utilizadas nas lajes por pavimento

Pavimento	Piso	Carga aplicada (tf/m ²)
Tampa Cx Dágua	19	0.05
Fundo Cx Dágua	18	0.05
Plato	17	0.05
Coberta	16	0.15
Cobertura	15	0.20
Pavimento Tipo 3 a 12	14	0.20
Pavimento Tipo 3 a 12	13	0.20
Pavimento Tipo 3 a 12	12	0.20
Pavimento Tipo 3 a 12	11	0.20
Pavimento Tipo 3 a 12	10	0.20
Pavimento Tipo 3 a 12	9	0.20
Pavimento Tipo 3 a 12	8	0.20
Pavimento Tipo 3 a 12	7	0.20
Pavimento Tipo 3 a 12	6	0.20
Pavimento Tipo 3 a 12	5	0.20
Pavimento Tipo 2	4	0.20
Pavimento Tipo 1	3	0.20
Térreo	2	0.15
Subsolo	1	0.3
Fundacao	0	0
		3.35

Fonte: Autor (2019)

4.2.1.6 Cargas das paredes

De acordo com o projeto, existem dois tipos de paredes: uma com 15 cm de largura e outra de 9 cm de largura. Para as paredes de 15 cm, considerou-se uma carga por área de 1,8 KN/m² e para as paredes de 9 cm considerou-se uma carga por área de 1,5 KN/m², baseando-se nos pesos específicos encontrados na NBR 6120 (ABNT 1980). Para encontrar a carga linear, bastou multiplicar a carga por área pela altura da parede.

Figura 33 - Peso específico de alguns elementos de acordo com a NBR 6120 (ABNT 1980)

Materiais		Peso específico aparente (kN/m ³)
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcáreo	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos sílico-calcáreos	20

Fonte: ABNT NBR 6120 (1980)

4.2.1.7 Fundações

Como a fundação é executada abaixo do solo, ou seja, não possui contato direto com o fogo e seus efeitos, optou-se por não modelar e dimensionar as sapatas. Assim, considera-se que os pilares são engastados no solo.

4.2.1.8 Resistência do concreto e do aço para situação normal de temperatura

Todo o projeto foi modelado com concreto f_{ck} 25MPa e aço CA 50.

4.2.1.9 Composição do concreto

Considerou-se que o concreto utilizado foi feito com agregado silicoso, sendo então respaldado pela NBR 15200 (ABNT 2012).

4.2.1.10 Dimensão mínima da laje

No projeto original, as lajes maciças que se encontram próximas as escadas possuem altura de 7 cm. Entretanto, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), as lajes de piso não em balanço possuem um mínimo de 8 cm. Portanto, essas lajes foram modificadas com uma altura de 8 cm.

4.2.1.11 Escadas

De acordo com Silva (2016), as estruturas de escadas de emergência não necessitam de verificação de resistência ao fogo. Para o estudo desse trabalho não foram consideradas as escadas.

4.2.1.12 Dimensão pilar

Para garantir que o esforço resistido pelos pilares fossem maiores ou iguais aos esforços solicitantes, o P13 foi modificado, em relação ao projeto original, para uma dimensão de 30x115.

4.2.1.13 Coeficiente γ_z

Para garantir um γ_z dentro do limite máximo estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2014) de 1,1 para a estrutura ser de nós fixos e 1,3 para ser de nós móveis, os pilares P5, P6, P13, P19 e P23 foram rotacionados em 90°, garantindo uma inércia suficiente para resistir ao vento na direção horizontal.

4.2.1.14 Pilar-parede

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), a armadura transversal de pilares-parede deve respeitar o mínimo de 25% da armadura longitudinal por metro da maior face da lâmina considerada. Para evitar bitolas e espaçamentos muito exagerados de armadura transversal, optou-se por alterar a dimensão dos pilares P11, P14 e P15 de maneira que a maior dimensão não fosse 5 vezes a menor dimensão (definição de pilar-parede), garantindo assim que o pilar não seja considerado um pilar-parede.

4.2.1.15 Momentos Negativos

Em algumas situações, devido uma rigidez maior de pilares e vigas, algumas lajes apresentavam momentos negativos muito elevados no encontro desses elementos, gerando armaduras negativas e armaduras de compressão com áreas de aço em torno de 5000 cm², ou seja, impossíveis de serem adotados em obra. Para isso, algumas nervuras das lajes próximas a viga ou pilares foram desconsideradas (ou seja, considerou-se laje maciça em alguns trechos), aumentando a área de concreto e a resistência à compressão (evitando armadura de compressão). Além disso, em alguns encontros de laje e pilar, foi considerado uma ligação articulada, ou seja, não há transferência de momento negativo e é considerado apenas uma armadura negativa mínima.

Para o cálculo dos momentos negativos (e positivos) em lajes, o TQS divide em faixas e calcula a área de aço necessária para cada uma delas. Para simplificação, adotou-se o critério de calcular a média ponderada das áreas de aço e comprimento das faixas de cada lado da laje e adotar o valor encontrado.

4.2.1.16 Coeficientes de ponderação das ações

O coeficiente de ponderação das ações no estado-limite último (ELU) adotado, tanto para as cargas permanentes como para as variáveis em situação normal de temperatura, foi de 1,4. Para as combinações de cargas, utilizou-se os coeficientes para “locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas”, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014)

Figura 34 - Coeficientes de ponderação das ações no ELU

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ^a	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

onde
 D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.

^a Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

Figura 35 - Coeficientes de ponderação das ações no ELU

Ações		γ_{f2}		
		ψ_0	ψ_1^a	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^b	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
^a Para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga, ver Seção 23. ^b Edifícios residenciais. ^c Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.				

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

4.2.1.17 Cruzamento de vigas

Nos cruzamentos de vigas, para escolher qual viga se apoiava em qual, adotou-se o critério de apoiar em vigas que tivessem maiores dimensões, ou seja, maior rigidez. Em casos de vigas com dimensões iguais, adotou-se aquela com menor braço de alavanca, evitando assim momentos elevados.

4.2.1.18 TRRF

Para a aplicação do TRRF, não foi considerado nenhuma redução no tempo. De acordo com a NBR 15200 (ABNT 2012), os valores de TRRF podem ser reduzidos em até 30 min nas edificações com características favoráveis à segurança contra o incêndio. Para definir o TRRF da edificação, considerou-se uma profundidade do subsolo de 5,60 m e uma altura da edificação de 37,62. A profundidade do subsolo é a profundidade medida em relação ao nível de descarga da edificação, ou seja, nível no qual uma porta de saída conduz ao exterior do edifício, e a altura da edificação é medida entre a cota do piso térreo e do piso do último pavimento, portanto

exclui-se a altura do último pavimento até o telhado. Utilizando a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** no **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e considerando o edifício em estudo com tipo de ocupação residencial, o subsolo possui classe S1 e a altura da edificação possui classe P5, ou seja, o TRRF para o subsolo é de 60 e para a edificação é de 120. De acordo com Silva (2016), danos estruturais no subsolo podem causar colapso progressivo nas estruturas dos pavimentos acima, portanto o TRRF do subsolo não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo. Com isso, o TRRF de toda a edificação é 120.

4.2.1.19 Método analítico para pilares

Segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012), o método analítico é adequado a estruturas de nós fixos, porém pode ser empregado em casos de estruturas em que os deslocamentos não lineares (segunda ordem) decorrentes do desaprumo puderem ser desconsiderados em situação de incêndio. Portanto, em uma estrutura de nós móveis, com $1,1 < \gamma_z < 1,3$, será aceito que o desaprumo pode ser desconsiderado em situação de incêndio.

Além disso, de acordo com a mesma norma, uma das variáveis utilizadas para a aplicação do método é o comprimento equivalente do pilar. Para uma estrutura de nós fixos, o comprimento equivalente é 0,5 o comprimento real para pavimentos intermediários e 0,7 o comprimento real para o pavimento mais alto. No caso de nós móveis, será considerado uma ligação do pilar engastada-livre, ou seja, o comprimento equivalente é 2 vezes o comprimento real do pilar.

4.2.1.20 Esforços solicitantes e resistências em situação de incêndio

De acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012), como alternativa para calcular as solicitações em situação de incêndio, pode-se considerar 70% das solicitações de cálculo em situação normal. Para a utilização do método analítico em pilares, o TQS considera essa alternativa para calcular a solicitação normal em situação de incêndio.

Para fins de dimensionamento na prática, o TQS considera uma envoltória de combinações para ELU considerando e desconsiderando a ação do vento e a ação excepcional em situação de incêndio, utilizando os esforços mais críticos e calculando as áreas de aço necessárias para esses esforços. Na prática, esse método é o mais adequado, pois analisa as combinações mais críticas.

Pela própria alternativa considerada pela NBR 15200 (ABNT, 2012) e de acordo com Silva (2016), entende-se que os esforços solicitantes em situação de incêndio são menores em relação a situação normal de temperatura. Sendo assim, quando o TQS calcula a envoltória de

combinações para ELU, abrange-se os esforços em situação de incêndio. Na edificação estudada, será utilizado o método usado pelo programa, dimensionando para os esforços mais críticos, não sendo necessariamente os esforços na combinação excepcional de incêndio.

Para o método tabular proposto em vigas e lajes, nenhuma verificação de resistência em incêndio é efetivamente necessária, pois assume-se que a partir das dimensões mínimas adotadas, esteja-se realizando o dimensionamento de maneira correta (REINA, 2010). Para o método analítico usado em pilares, também não há necessidade de verificação da resistência em situação de incêndio, visto que a obediência ao TRRF mínimo exigido, garante a resistência à ação do fogo, mantendo sua segurança estrutural, estanqueidade e isolamento, onde aplicável (SILVA, 2016).

4.2.1.21 Preços considerados

Para a realização de um estudo básico comparativo de valores, em reais, de consumo de concreto e aço, foi utilizada a tabela fornecida pela SINAPI, para insumos desonerados no estado do Ceará (versão 09/2019), e a tabela da SIDUSCON para Setembro de 2019 com a composição de custo unitário básico CUB/m² (R\$/m²) com encargos sociais desonerados.

Portanto, para o concreto com fck C25, considerou-se um valor médio de R\$ 305,00/m³, para o aço considerou-se um valor médio de R\$ 5,00/Kg e para a composição CUB, utilizou-se um valor de R\$ 1.102,13/m².

4.2.2 Critérios e hipóteses por pavimento

4.2.2.1 Subsolo

- a) Para considerar o efeito das estacas broca, optou-se por inserir pilares que simulam a resistência dessas estacas. Foram alocados pilares circulares com diâmetro igual ao das estacas (25 mm), seguindo duas regras principais. A primeira é que tivesse um pilar em cada viga que se apoiasse na cortina de estacas e a segunda é que o intervalo entre um pilar circular e outro não fosse maior que 6 m. Essa distância é baseada na regra de pré-dimensionamento para vigas hiperestáticas, onde a altura da viga deve ser maior ou igual ao maior vão da viga dividido por 12. Considerando que esses pilares circulares servem de apoio para as vigas externas do pavimento térreo com dimensões de 12x50, o maior vão permitido a fim de se respeitar a regra de pré-dimensionamento seria 6 m. Para a modelagem, foi selecionado no TQS a opção de “o pilar simula cortina”, fazendo com que o programa dimensione esses pilares a parte do dimensionamento do prédio.

- b) Algumas lajes possuem um dos seus lados na cortina de estacas. Assim como os pilares simulados, alocou-se algumas vigas para simular o efeito do apoio da cortina de estacas, fazendo assim que as lajes se apoiem nessas vigas. Essas vigas com dimensão de 25x100 e configuradas como “a viga simula cortina” no TQS, foram alocadas apenas nos trechos onde houve necessidade de se garantir o apoio para as lajes. Além disso, não foi considerado possíveis cargas de parede em cima dessas vigas, visto que o efeito dessas cargas em cima da cortina de estacas não interessa para o estudo.

4.2.2.2 Caixa d'água

- a) O projeto original continha vigas paredes no contorno da caixa d'água. Entretanto, para fins de simplificação e análise, adotou-se vigas normais de 18x60 com uma carga linear de 9,2112 KN/m, considerando uma alvenaria de bloco de concreto com 19 cm, peso específico de 24 KN/m³ e uma altura de parede de 2,02 m.
- b) Para o cálculo da carga d'água sobre a laje de fundo, considerou-se o peso específico da água (10 KN/m³) e uma altura de 2,02 m, resultando em uma carga permanente de 20,2 KN/m². Somou-se uma carga permanente de 1 KN/m², prevendo uma possível impermeabilização da laje. Ou seja, a carga permanente da laje seria 21,2 KN/m² (desconsiderando o peso próprio).

4.2.2.3 Platô

- a) Alguns pilares que nascem sobre vigas foram colocados no platô, a fim de dar apoio às vigas desse pavimento. Entretanto, de acordo com o projeto original, esses pilares são de 12x12, não sendo mais aceito pela NBR 6118 (ABNT 2014), que exige uma dimensão mínima de pilares de 19 cm (podendo ir até 14 cm com a aplicação de um coeficiente adicional nas solicitações). Além disso, pela mesma norma é exigido que independente da dimensão, o pilar deve ter no mínimo 360 cm² de área. Portanto, foram utilizados pilares quadrados de 19x19.

Figura 36 - Coeficiente adicional para pilares e pilares-paredes

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

onde

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 b;$$

b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

4.2.2.4 Coberta

- a) De acordo com o projeto original, a V1 possui dimensão 12x60. Porém, para evitar problemas com tração elevada da viga, adotou-se uma dimensão de 20x60.

4.3 Dados de entrada no programa TQS

Utilizando o modelador estrutural do TQS, foi possível inserir todos os elementos estruturais necessários, como vigas, pilares e lajes. Todas as medidas necessárias foram retiradas das plantas de formas e arquiteturas obtidas. Para melhor visualização, as plantas de formas e cargas em cada pavimento encontram-se na seção de apêndices.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados Em Situação Normal de Temperatura

Como parâmetro de estabilidade global, é definido o γ_z de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014). O TQS forneceu o seguinte valor para esse parâmetro:

Tabela 3 - Parâmetro γ_z obtido

Parâmetro	Valor máximo
GamaZ	1.22

Fonte: Autor (2019)

Foi calculado o γ_z para cada ângulo de incidência do vento (0° , 90° , 180° e 270°) e o valor obtido foi o maior dentre eles. Como $1,3 > \gamma_z > 1,1$ a estrutura é considerada de nós móveis, ou seja, considerou-se os efeitos de 2ª ordem e adotou-se uma forma simplificada de obtenção dos efeitos de segunda ordem, majorando os efeitos de 1ª ordem em $0,95\gamma_z$.

Com a aplicação das cargas acidentais somando com o peso próprio dos elementos estruturais, obteve-se os seguintes valores característicos de carga por pavimento:

Tabela 4 - Cargas permanentes e acidentais por pavimento

Pavimento	Piso	Carga aplicada (tf)	Área (m ²)	Carga média (tf/m ²)	Soma de reações (tf)
Tampa Cx Dágua	19	19.8 - 2.3 = 17.5	34.3	0.58	16.6
Fundo Cx Dágua	18	111.3 - 2.0 = 109.3	34.3	3.24	108.1
Plato	17	9.2 - 2.2 = 7.0	9.7	0.95	6.7
Coberta	16	210.4 - 34.9 = 175.6	234.7	0.90	173.6
Cobertura	15	300.9 - 36.2 = 264.8	277.4	1.08	270.1
Pavimento Tipo 3 a 12	14	307.0 - 36.2 = 270.8	277.4	1.11	276.0
Pavimento Tipo 3 a 12	13	307.0 - 36.2 = 270.8	277.4	1.11	276.0
Pavimento Tipo 3 a 12	12	307.0 - 36.2 = 270.8	277.4	1.11	276.0
Pavimento Tipo 3 a 12	11	307.0 - 36.2 = 270.8	277.4	1.11	276.0
Pavimento Tipo 3 a 12	10	307.0 - 36.2 = 270.8	277.4	1.11	276.0
Pavimento Tipo 3 a 12	9	307.0 - 36.2 = 270.8	277.4	1.11	276.0
Pavimento Tipo 3 a 12	8	307.0 - 36.2 = 270.8	277.4	1.11	276.0
Pavimento Tipo 3 a 12	7	307.0 - 36.2 = 270.8	277.4	1.11	276.0
Pavimento Tipo 3 a 12	6	307.0 - 36.2 = 270.8	277.4	1.11	276.0
Pavimento Tipo 3 a 12	5	307.0 - 36.2 = 270.8	277.4	1.11	276.0
Pavimento Tipo 2	4	308.5 - 37.6 = 270.9	277.5	1.11	275.9
Pavimento Tipo 1	3	311.1 - 40.0 = 271.1	277.5	1.12	276.1
Térreo	2	632.8 - 48.2 = 584.6	742.6	0.85	592.3
Subsolo	1	599.4 - 48.2 = 551.2	695.1	0.86	556.3
		5573.0 - 613.1 = 4959.8	5357.1	1.04	5035.5

Fonte: Autor (2019)

Na coluna “carga aplicada”, o valor subtraído é referente ao peso próprio dos pilares. A coluna “soma de reações” apresenta os valores das reações encontrados nos apoios (pilares) pelo TQS utilizando o modelo de grelhas nas lajes.

De acordo com a modelagem feita a partir das plantas de formas, critérios adotados e dimensionamento das barras de aço, obteve-se o consumo de concreto por pavimento e tipo de elemento estrutural e o consumo de aço por pavimento e tipo de elemento estrutural também.

Tabela 5 - Consumo de concreto por pavimento

Pavimento	Concreto (m ³)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Tampa Cx Dágua	0,9	2,3	2,4
Fundo Cx Dágua	0,8	2,3	4,4
Plato	0,9	0,5	0,9
Coberta	13,6	10,6	20,3
Cobertura	14,5	9,7	28,7
Pavimento Tipo 3 a 12	144,6	96,7	287,4
Pavimento Tipo 2	15,1	9,6	28,7
Pavimento Tipo 1	16	9,7	28,7
Térreo	15,5	31,4	70,8
Subsolo	15,5	19,6	68
TOTAL	237,4	192,4	540,3

Fonte: Autor (2019)

Tabela 6 - Consumo de aço por pavimento

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Tampa Cx Dágua	192,9	97,5	314,3
Fundo Cx Dágua	39,5	295	840,5
Plato	263,2	38,4	52,3
Coberta	781,1	1006,2	1646,3
Cobertura	891	1049,2	2909,4
Pavimento Tipo 3 a 12	11113	15040,2	29674,2
Pavimento Tipo 2	1685,1	1443,6	2980,4
Pavimento Tipo 1	2038,5	1447	2976,8
Térreo	2081,7	2689,2	3647,9
Subsolo	3559,9	1892,3	3614,5
TOTAL	22645,9	24998,6	48656,6

Fonte: Autor (2019)

Além disso, foi possível obter algumas taxas de consumo desses materiais dividindo pela área de cada pavimento:

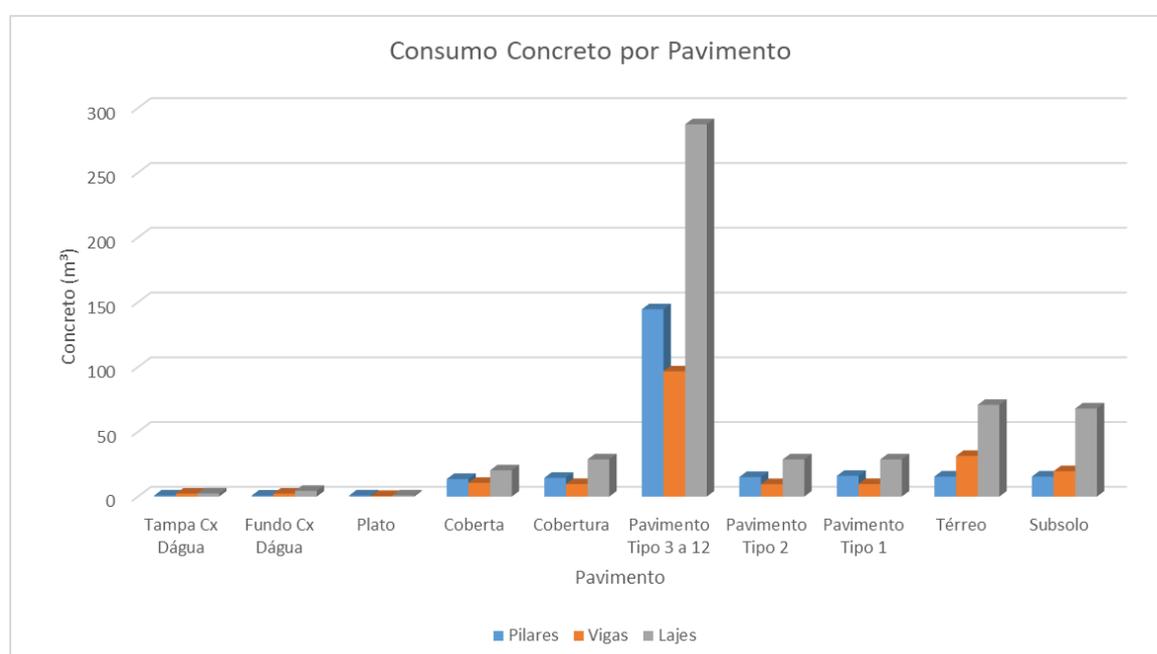
Tabela 7 - Taxas de aço e concreto por pavimento

Pavimento	Concreto		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
Tampa Cx Dágua	5,6	0,16	604,7	17,6	108,3
Fundo Cx Dágua	7,4	0,22	1175,1	34,2	157,8
Plato	2,3	0,24	354	36,5	154
Coberta	44,5	0,19	3433,6	14,6	77,1
Cobertura	52,9	0,19	4849,6	17,5	91,7
Pavimento Tipo 3 a 12	528,8	0,19	55827,4	20,1	105,6
Pavimento Tipo 2	53,4	0,19	6109,1	22	114,4
Pavimento Tipo 1	54,4	0,2	6462,2	23,3	118,8
Térreo	117,8	0,16	8418,8	11,3	71,5
Subsolo	103,1	0,15	9066,6	13	87,9
TOTAL	970,3	0,19	96301	18,3	99

Fonte: Autor (2019)

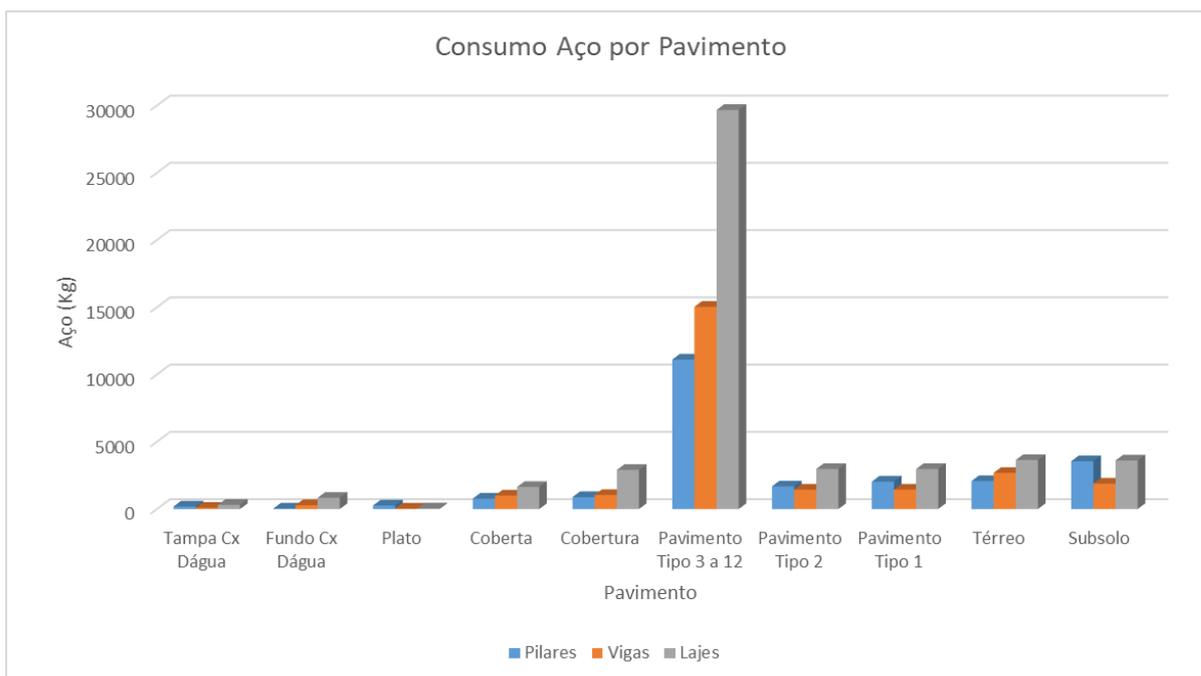
A partir desses valores, observa-se que as lajes são os elementos estruturais que mais consomem concreto e aço. Mesmo em um edifício como o em estudo que se utiliza de lajes nervuradas (com o intuito principal de reduzir o volume de concreto utilizado), observa-se nos gráficos a seguir um consumo que pode ser duas vezes maior que o de pilares ou vigas, mais evidenciado nos pavimentos subsolo e térreo.

Gráfico 1 - Consumo Concreto por Pavimento



Fonte: Autor (2019)

Gráfico 2 - Consumo Aço por Pavimento



Fonte: Autor (2019)

No “Pavimento Tipo 3 a 12”, existe um pico de consumo. Esse pico representa a soma dos consumos de concreto e aço em cada pavimento tipo, a partir do 3º até o 12º. Para o consumo de aço, observa-se que no subsolo, o valor em pilares equipara-se com o de lajes. Pode-se entender o alto valor de consumo de aço nos pilares do subsolo como o necessário para suportar os esforços solicitantes que são transferidos desde os pilares da tampa da caixa d’água (último pavimento) até os pilares deste pavimento.

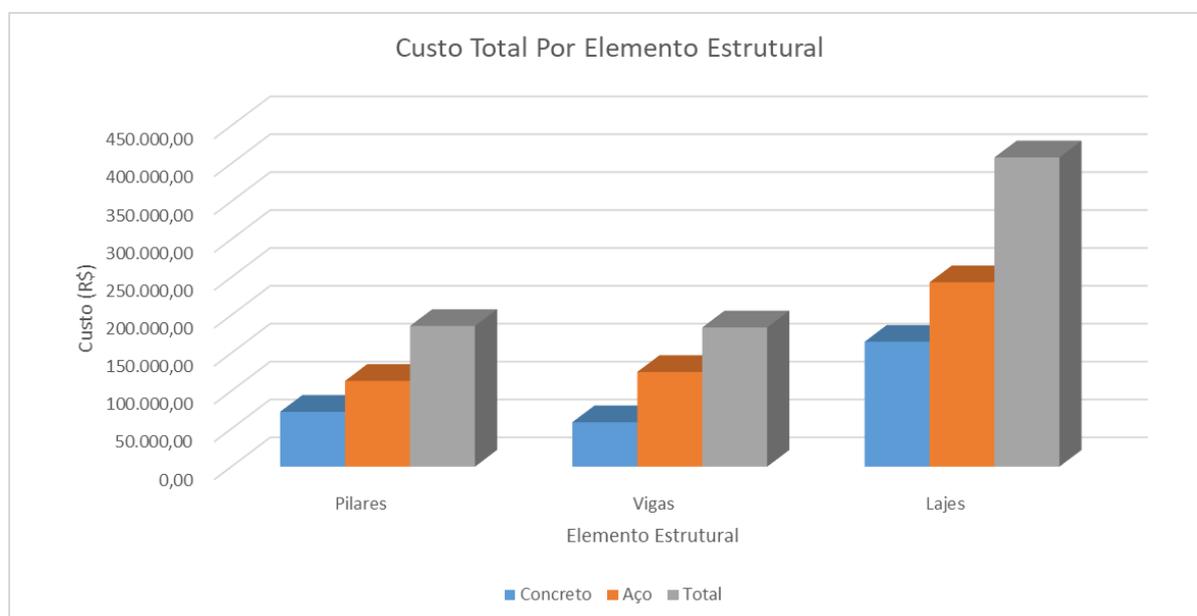
De acordo com os preços definidos, obteve-se os valores, em reais, de concreto e de aço gastos na edificação em estudo, para um dimensionamento em situação normal de temperatura.

Tabela 8 - Custos de concreto e aço em dimensionamento para situação normal de temperatura

Pavimento	Custo Concreto (R\$)			Custo Aço (R\$)			Total
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes	
Tampa Cx Dágua	274,50	701,50	732,00	964,50	487,50	1.571,50	4.731,50
Fundo Cx Dágua	244,00	701,50	1.342,00	197,50	1.475,00	4.202,50	8.162,50
Plato	274,50	152,50	274,50	1.316,00	192,00	261,50	2.471,00
Coberta	4.148,00	3.233,00	6.191,50	3.905,50	5.031,00	8.231,50	30.740,50
Cobertura	4.422,50	2.958,50	8.753,50	4.455,00	5.246,00	14.547,00	40.382,50
Pavimento Tipo 3 a 12	44.103,00	29.493,50	87.657,00	55.565,00	75.201,00	148.371,00	440.390,50
Pavimento Tipo 2	4.605,50	2.928,00	8.753,50	8.425,50	7.218,00	14.902,00	46.832,50
Pavimento Tipo 1	4.880,00	2.958,50	8.753,50	10.192,50	7.235,00	14.884,00	48.903,50
Térreo	4.727,50	9.577,00	21.594,00	10.408,50	13.446,00	18.239,50	77.992,50
Subsolo	4.727,50	5.978,00	20.740,00	17.799,50	9.461,50	18.072,50	76.779,00
TOTAL	72.407,00	58.682,00	164.791,50	113.229,50	124.993,00	243.283,00	777.386,00

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 3 - Custos totais de concreto e aço em dimensionamento para situação normal de temperatura por elemento estrutural



Fonte: Autor (2019)

Como esperado, os pavimentos que obtiveram os maiores consumos, tanto de concreto como de aço, são os que tem os maiores custos, visto que o preço é diretamente proporcional aos consumos. No Gráfico 3, é possível observar que as lajes possuem o maior custo, em relação aos outros elementos estruturais, consequência do alto consumo de materiais destes elementos.

5.2 Resultados Verificação de Incêndio e Comparações

Após processar os esforços e dimensionar os elementos estruturais, obteve-se a verificação de incêndio obtida pelo TQS. Nessa verificação, o programa indica quais elementos estruturais estão de acordo ou não com a NBR 15200 (ABNT, 2014), aplicando o método tabular para vigas e lajes, e o método analítico para os pilares. Os resultados obtidos são apresentados no 6APÊNDICE A:

Para as vigas:

- (a) b: largura da seção transversal (mm);
- (b) c1: Distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm).

Para as lajes:

- (a) Dir. As: armada em uma direção ou em duas;
- (b) L_y/L_x : relação entre as dimensões em planta;
- (c) h: altura total da laje (mm);
- (d) c1: distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm);
- (e) b: largura da nervura (mm);
- (f) h_c : altura da capa (mm)

Para os pilares

- (a) Tipo: comum, pilar-parede ou tirante
- (b) NSd/NRd : relação entre a força solicitante de cálculo em situação de incêndio (tf) e a força resistente de cálculo em situação normal (tf)
- (c) NFE: número de faces expostas ao fogo
- (d) e: excentricidade (mm)
- (e) A_s/A_c : taxa geométrica de armadura
- (f) w: taxa mecânica de armadura
- (g) n_i : força normal adimensional
- (h) l_e : pé-direito (m)
- (i) $l_{e,fi}$: comprimento efetivo em incêndio (m)
- (j) NB: número total de barras de armaduras
- (k) b x h: menor e maior dimensão do pilar (mm)
- (l) c1: distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo (mm)

Observa-se que para o TRRF de 120, praticamente todas as peças foram reprovadas em situação de incêndio, de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012). Para os pilares, é importante fazer algumas ressalvas. O TRF é um valor obtido a partir da aplicação do método analítico em pilares e esse valor dever ser maior ou igual ao TRRF da edificação. Em alguns elementos, é indicado um TRF igual ou maior que 120, porém com a observação “TRF>TRRF*”. Essa observação diz respeito às limitações impostas pela NBR 15200 (ABNT, 2012), como visto no tópico 3.4.7 onde:

(a) $A_s/A_c \leq 0,04$

(b) $25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm}$

(c) $b' \geq 190 \text{ mm}$

(d) $e \leq 0,15b$

(e) $l_e, f_i \leq 6 \text{ m}$

Essa observação indica que algum desses critérios não foram obedecidos, portanto o método aplicado não seria 100% adequado ao caso, pois é um método mais eficaz em pilares com excentricidade pequena, tornando a verificação de incêndio mais refinada e econômica. Mesmo assim, utilizou-se o método proposto nos objetivos deste trabalho, porém destacando um desvio de adequação do método com alguns pilares da edificação estudada.

Para o pilar parede da edificação, é previsto pela NBR 15200 (ABNT, 2012) o uso do método tabular com a utilização da tabela fornecida pela mesma norma, visto no tópico 3.4.5, portanto o TRF apresentado nesse caso foi 0 (zero).

Por fim, é importante destacar o resultado do pavimento tipo. O resultado apresentado é referente ao primeiro pavimento tipo, ou seja, o que apresenta uma maior carga normal acumulada. A análise foi feita para esse primeiro pavimento tipo, pois entende-se que ele representa o pavimento mais solicitado dentre os pavimentos tipos, replicando sua situação para os outros tipos e simplificando a análise. Além disso, destaca-se a altura do pilar mostrado nos resultados. O TQS considera como altura do pavimento (consequentemente a altura do pilar), a distância de piso a piso entre o pavimento inferior e o pavimento “atual”. Sendo assim, a altura utilizada foi o pé direito entre o térreo e o primeiro pavimento tipo.

Com esses resultados obtidos, aplicou-se o método tabular (para vigas e lajes) e o método analítico (para pilares), de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012). Aplicando esta norma, adotou-se os novos valores para lajes, vigas e pilares, expostos no 6APÊNDICE B.

Para os pilares, adotou-se um único cobrimento para a edificação, aplicando o maior dentre os valores de c_1 propostos. Para o cobrimento das vigas e pilares, adotou-se o maior valor de c_1 proposto em cada pavimento. Como o c_1 é a distância da face até o CG das armaduras, optou-se por reduzir os cobrimentos adotados em 0,9 cm (exceto nas lajes), o que representa essa distância. Em resumo, utilizou-se:

Tabela 9 - Valores de Cobrimento Adotados Para Situação de Incêndio

Elemento	Cobrimento
Viga	59
Laje	45
Laje Platô	40
Laje CX D'água	28
Pilar	55

Fonte: Autor (2019)

Além disso, foi necessário alterar algumas dimensões de pilares e vigas (além das alterações exigidas pela norma de incêndio) para garantir que o esforço resistido fosse maior que o solicitado, aumentado devido ao aumento da carga de peso próprio dos elementos:

Tabela 10 - Valores Adotados Para Alguns Elementos em Situação de Incêndio

Pavimento / Elemento	Título	Nova Dimensão (cm)
Subsolo	V4	30 Altura
	V20	30 Altura
	V22	30 Altura
Térreo	V5	30 Altura
	V25	30 Altura
	V27	30 Altura
Pavimento Tipo e Cobertura	V2	30 Altura
	V14	30 Altura
	V17	30 Altura
Coberta	V2	30 Altura
	V16	30 Altura
	V18	30 Altura
Pilar	P8	30 x 30
	P10	30 x 30
	P20	35 x 115
	P21	35 x 115
	P22	Contínuo 35 x 115
	PL1	25 x 25
	PL2	25 x 25
PL3	25 x 25	

Fonte: Autor (2019)

Após processar a edificação com os valores propostos, obteve-se um novo relatório de verificação em situação de incêndio (expostos no 6APÊNDICE C) e novos resultados estruturais.

Como esperado, todos os elementos ficaram de acordo com as exigências da NBR 15200 (ABNT, 2012). Faz-se apenas uma observação com relação aos pilares que estão destacados de vermelho na coluna “Situação”. Como explicado anteriormente, a legenda “TRF>TRRF*” significa que algum parâmetro não está 100% de acordo com o método proposto. Mesmo assim, como o dimensionamento de pilares em situação de incêndio foi feita considerando o pilar com maior c_1 proposto, ou seja, a favor da segurança, os pilares (principalmente a partir do pavimento cobertura) possuem um TRF bem maior que o mínimo de 120, garantindo uma margem de segurança que se distancia desse valor mínimo do TRRF.

Com as novas dimensões dos elementos estruturais da edificação, calculou-se novamente o γ_z para os 4 ângulos de incidência do vento (0° , 90° , 180° e 270°), utilizando o maior valor dentre eles.

Tabela 11 - Novo parâmetro γ_z obtido

Parâmetro	Valor máximo
GamaZ	1,18

Fonte: Autor (2019)

Nota-se que, apesar da estrutura ainda ser considerada de nós móveis ($\gamma_z > 1,1$), houve uma diminuição desse valor (3,28%) em relação ao valor obtido anteriormente para o dimensionamento em situação normal de temperatura. Mesmo com o aumento do peso próprio dos elementos estruturais e consequentemente o aumento da força vertical atuando no modelo de pórtico (considerado para a análise dessa edificação), houve um aumento de rigidez desses mesmos elementos estruturais, compensando esse aumento de carga e conferindo uma maior estabilidade global aos efeitos de 2ª ordem da edificação.

Com a aplicação das cargas acidentais somando com o peso próprio dos elementos estruturais, obteve-se os seguintes valores característicos de carga por pavimento:

Tabela 12 - Novos valores de cargas permanentes e acidentais por pavimento

Pavimento	Piso	Carga aplicada (tf)	Área (m ²)	Carga média (tf/m ²)	Soma de reações (tf)
Tampa Cx Dágua	19	23,3 - 2,3 = 21,0	34,3	0,68	19,8
Fundo Cx Dágua	18	121,4 - 2,0 = 119,4	34,3	3,54	114,3
Plato	17	9,9 - 2,5 = 7,4	9,7	1,02	7
Coberta	16	269,0 - 37,1 = 231,9	237,8	1,13	230
Cobertura	15	381,2 - 38,6 = 342,5	278,8	1,37	341,1
Pavimento Tipo 3 a 12	14	387,3 - 38,6 = 348,6	278,8	1,39	347
Pavimento Tipo 3 a 12	13	387,3 - 38,6 = 348,6	278,8	1,39	347
Pavimento Tipo 3 a 12	12	387,3 - 38,6 = 348,6	278,8	1,39	347
Pavimento Tipo 3 a 12	11	387,3 - 38,6 = 348,6	278,8	1,39	347
Pavimento Tipo 3 a 12	10	387,3 - 38,6 = 348,6	278,8	1,39	347
Pavimento Tipo 3 a 12	9	387,3 - 38,6 = 348,6	278,8	1,39	347
Pavimento Tipo 3 a 12	8	387,3 - 38,6 = 348,6	278,8	1,39	347
Pavimento Tipo 3 a 12	7	387,3 - 38,6 = 348,6	278,8	1,39	347
Pavimento Tipo 3 a 12	6	387,3 - 38,6 = 348,6	278,8	1,39	347
Pavimento Tipo 3 a 12	5	387,3 - 38,6 = 348,6	278,8	1,39	347
Pavimento Tipo 2	4	387,8 - 39,3 = 348,6	278,8	1,39	346,9
Pavimento Tipo 1	3	390,2 - 41,7 = 348,5	278,8	1,4	346,8
Térreo	2	855,0 - 50,5 = 804,5	752,2	1,14	797,2
Subsolo	1	806,5 - 50,5 = 756,0	696,7	1,16	746,5
		7117,3 - 651,1 = 6466,2	5389,2	1,32	6419,5

Fonte: Autor (2019)

Da mesma forma como na situação normal de temperatura, na coluna “carga aplicada”, o valor subtraído é referente ao peso próprio dos pilares. A coluna “soma de reações” apresenta os valores das reações encontrados nos apoios (pilares) pelo TQS utilizando o modelo de grelhas nas lajes.

Para fins de comparação, a tabela a seguir mostra qual foi a porcentagem de aumento da carga característica em cada pavimento:

Tabela 13 - Comparativo das cargas características por pavimento

Pavimento	Piso	% Aumento soma de reações (tf)
Tampa Cx D'água	19	19,28
Fundo Cx D'água	18	5,74
Plato	17	4,48
Coberta	16	32,49
Cobertura	15	26,29
Pavimento Tipo 3	14	25,72
Pavimento Tipo 3	13	25,72
Pavimento Tipo 3	12	25,72
Pavimento Tipo 3	11	25,72
Pavimento Tipo 3	10	25,72
Pavimento Tipo 3	9	25,72
Pavimento Tipo 3	8	25,72
Pavimento Tipo 3	7	25,72
Pavimento Tipo 3	6	25,72
Pavimento Tipo 3	5	25,72
Pavimento Tipo 2	4	25,73
Pavimento Tipo 1	3	25,61
Térreo	2	34,59
Subsolo	1	34,19
TOTAL		27,48

Fonte: Autor (2019)

Como a carga permanente de parede se manteve a mesma para o dimensionamento em situação normal e em situação de incêndio, e como praticamente não houve nenhuma alteração na área superficial das lajes (o que aumentaria o valor das cargas permanentes e acidentais por área) entende-se que esse aumento se deu principalmente pelo aumento do peso próprio dos elementos estruturais. Ou seja, no edifício estudado, essas porcentagens podem ser traduzidas como o aumento das cargas de peso próprio quando aplicado a NBR 15200 (ABNT, 2012).

Na tabela, observa-se que o pavimento platô e fundo da caixa d'água apresentaram os menores aumentos, enquanto os pavimentos subsolo e térreo apresentaram os maiores aumentos. Essa diferença é devido a quantidade de elementos estruturais nos pavimentos, onde o platô e o fundo da caixa d'água se resumem a 4 vigas e 1 laje e o subsolo e o térreo são os pavimentos que mais possuem vigas e lajes. Isso reforça a ideia de que o aumento dessas cargas é diretamente proporcional ao aumento do peso próprio dos elementos.

De acordo com a modelagem feita a partir das novas dimensões adotadas, obteve-se o consumo de concreto por pavimento e tipo de elemento estrutural e o consumo de aço por pavimento e tipo de elemento estrutural também.

Tabela 14 - Consumo de concreto por pavimento em situação de incêndio

Pavimento	Concreto (m³)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Tampa Cx Dágua	0,9	2,4	3,6
Fundo Cx Dágua	0,8	2,4	6,9
Plato	1	0,7	0,8
Coberta	14,3	16,3	37,7
Cobertura	15,5	15,8	51,9
Pavimento Tipo 3 a 12	154,6	157,7	518,7
Pavimento Tipo 2	15,7	15,7	51,9
Pavimento Tipo 1	16,7	15,7	51,9
Térreo	16,5	47,7	137,6
Subsolo	16,5	29,6	135,3
TOTAL	252,5	304	996,3

Fonte: Autor (2019)

Tabela 15 - Consumo de aço por pavimento em situação de incêndio

Pavimento	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Tampa Cx Dágua	262,1	105,3	223,7
Fundo Cx Dágua	46,4	368,5	584,7
Plato	330,8	52,4	47
Coberta	798,3	1368,7	2185,6
Cobertura	950,9	1429,4	3601,4
Pavimento Tipo 3 a 12	12305,6	19328,1	36287,1
Pavimento Tipo 2	2456,2	1908,5	3626,4
Pavimento Tipo 1	3156,3	1986,3	3620,6
Térreo	3289,8	3743,3	5669,5
Subsolo	5649,2	2691,9	5645,5
TOTAL	29245,6	32982,4	61491,5

Fonte: Autor (2019)

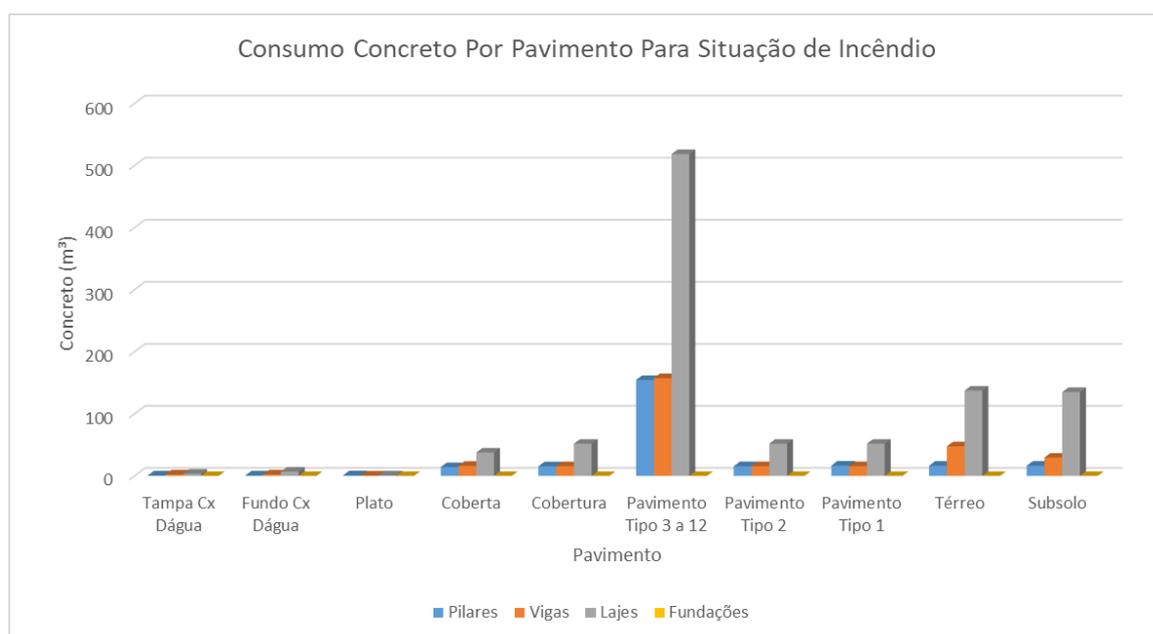
Tabela 16 - Taxas de aço e concreto por pavimento em situação de incêndio

Pavimento/Pasta	Concreto		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
Tampa Cx Dágua	6,9	0,2	591,1	17,2	85,8
Fundo Cx Dágua	10,1	0,29	999,6	29,1	98,9
Plato	2,6	0,27	430,2	44,4	165,8
Coberta	68,3	0,29	4352,6	18,3	63,8
Cobertura	83,1	0,3	5981,7	21,5	72
Pavimento Tipo 3 a 12	831	0,3	67920,8	24,4	81,7
Pavimento Tipo 1 e 2	83,3	0,3	7991,2	28,7	95,9
Pavimento Tipo 1	84,3	0,3	8763,3	31,4	103,9
Térreo	201,7	0,27	12702,6	16,9	63
Subsolo	181,3	0,26	13986,6	20,1	77,1
TOTAL	1552,6	0,29	123719,6	23,3	79,7

Fonte: Autor (2019)

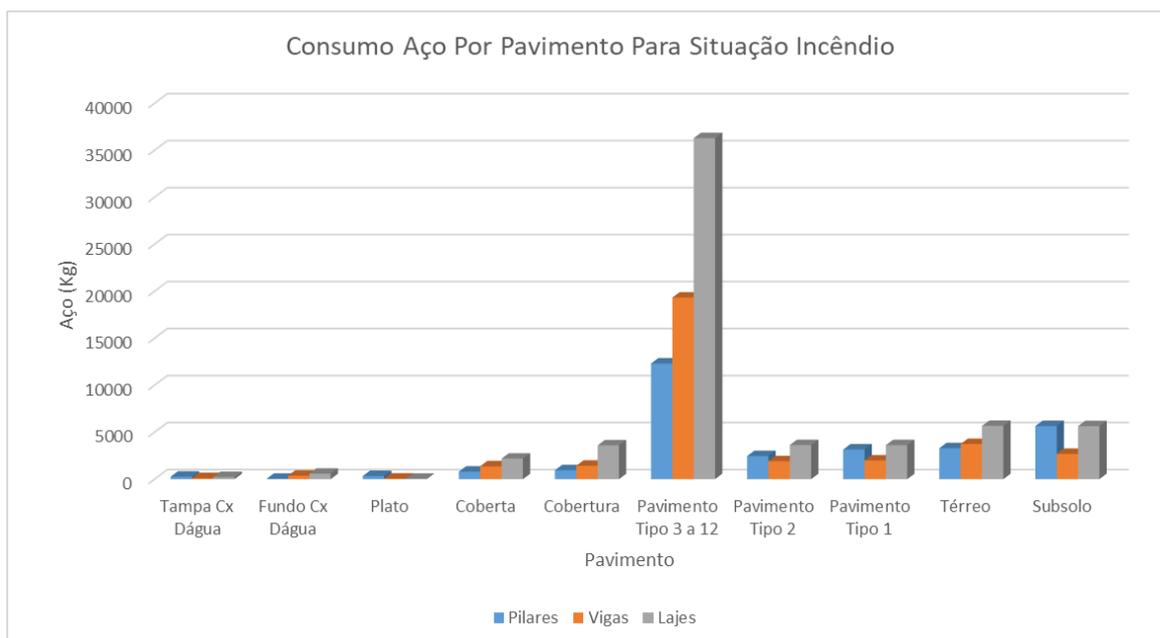
Da mesma maneira como em situação normal de temperatura, as lajes são os elementos que mais consomem aço e concreto, mesmo utilizando-se de lajes nervuradas, como se observa nos gráficos a seguir.

Gráfico 4 - Consumo Concreto por Pavimento em situação de incêndio



Fonte: Autor (2019)

Gráfico 5 - Consumo Concreto por Pavimento em situação de incêndio



Fonte: Autor (2019)

Em comparação com os volumes de concreto e massa de aço resultantes em situação normal de temperatura, obteve-se as seguintes tabelas e gráficos:

Tabela 17 - Comparativo consumo de concreto por pavimento

Pavimento	% Aumento de concreto (m ³)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Tampa Cx Dágua	0,00	4,35	50,00
Fundo Cx Dágua	0,00	4,35	56,82
Plato	11,11	40,00	-11,11
Coberta	5,15	53,77	85,71
Cobertura	6,90	62,89	80,84
Pavimento Tipo 3 a 12	6,92	63,08	80,48
Pavimento Tipo 2	3,97	63,54	80,84
Pavimento Tipo 1	4,38	61,86	80,84
Térreo	6,45	51,91	94,35
Subsolo	6,45	51,02	98,97
TOTAL	6,36	58,00	84,40

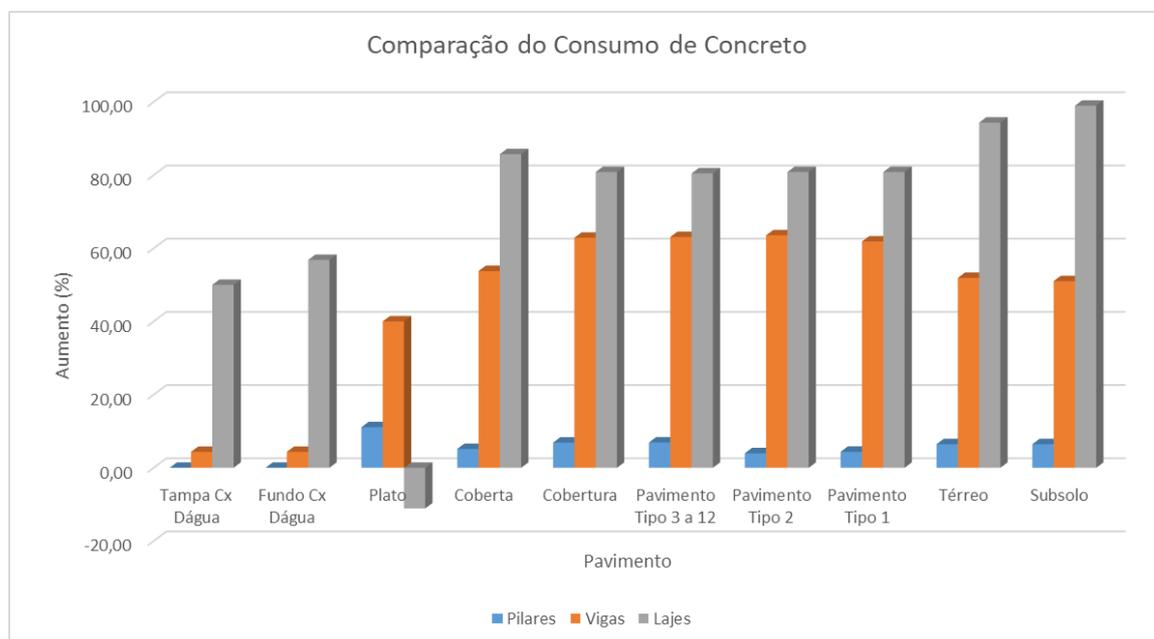
Fonte: Autor (2019)

Tabela 18 - Comparativo consumo de aço por pavimento

Pavimento	% Aumento de aço (Kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Tampa Cx Dágua	35,87	8,00	-28,83
Fundo Cx Dágua	17,47	24,92	-30,43
Plato	25,68	36,46	-10,13
Coberta	2,20	36,03	32,76
Cobertura	6,72	36,24	23,78
Pavimento Tipo 3 a 12	10,73	28,51	22,29
Pavimento Tipo 2	45,76	32,20	21,67
Pavimento Tipo 1	54,83	37,27	21,63
Térreo	58,03	39,20	55,42
Subsolo	58,69	42,26	56,19
TOTAL	29,14	31,94	26,38

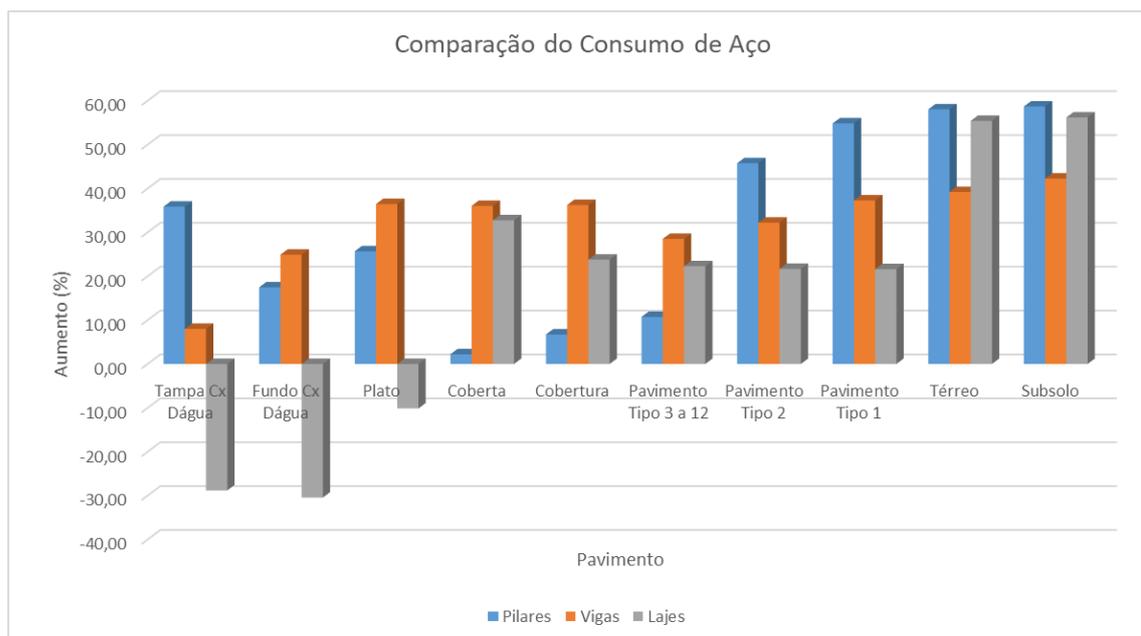
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 6 - Comparativo consumo de concreto por pavimento



Fonte: Autor (2019)

Gráfico 7 - Comparativo consumo de aço por pavimento



Fonte: Autor (2019)

Observa-se que no consumo de concreto, as lajes se destacam como maior aumento, seguido pelas vigas e depois pilares. O maior aumento nas lajes explica-se devido ao grande aumento da altura para adequar-se à norma de incêndio. Mesmo com o uso de lajes nervuradas, houve um aumento significativo na dimensão da capa, aumentando a altura total da nervura.

Tabela 19 - Comparação espessura média dos pavimentos

Pavimento	Espessura Média		
	Normal	Incêndio	% Aumento
Tampa Cx D'água	16,3	20,1	23,31
Fundo Cx D'água	21,7	29,4	35,48
Plato	23,7	26,7	12,66
Coberta	19	28,7	51,05
Cobertura	19,1	29,8	56,02
Pavimento Tipo 3 a 12	19,1	29,8	56,02
Pavimento Tipo 2	19,3	29,9	54,92
Pavimento Tipo 1	19,6	30,2	54,08
Térreo	15,9	26,8	68,55
Subsolo	14,8	26	75,68

Fonte: Autor (2019)

A espessura média pode ser definida como a divisão do volume total de concreto das lajes e vigas do piso pela área do mesmo. Os valores encontrados reforçam o aumento elevado (mais de 50%) das lajes, aumentando significativamente o volume de concreto.

Para as vigas, o aumento de concreto deu-se principalmente ao aumento das dimensões de base, a fim de adequar-se à norma de incêndio.

Os pilares tiveram o menor aumento de volume de concreto. Isso se explica, pois apenas algumas poucas mudanças foram realizadas nas dimensões dos pilares, mudando principalmente o cobrimento, o que não impacta significativamente no volume da peça de concreto.

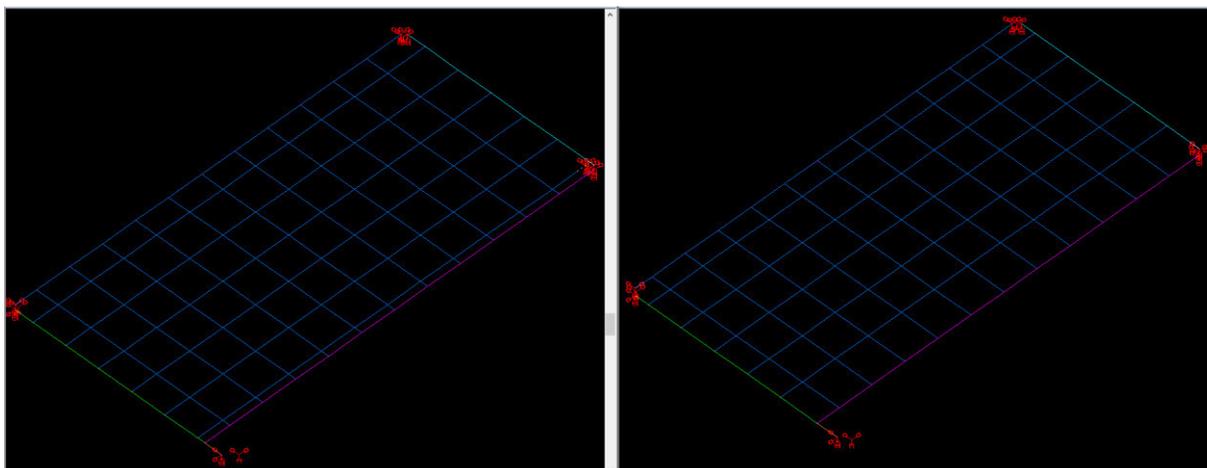
Além disso, é interessante observar uma diminuição no comparativo do consumo de concreto no pavimento platô (destacado em vermelho). Essa diminuição, deve-se ao aumento necessário para conformidade da NBR 15200 (ABNT, 2012) das dimensões dos pilares, “consumindo” o espaço da laje. Essa ideia é afirmada, quando se olha a porcentagem de aumento do volume de concreto, valor esse exatamente igual a perda da laje.

No consumo de aço, observa-se, no total, um aumento não tão expressivo como no consumo de concreto, exceto nos pavimentos subsolo, térreo e pavimento tipo 1, com aumentos de consumo maiores que 50%. Esse aumento no consumo de aço, pode ser entendido como o aumento necessário para resistir ao aumento da carga do peso próprio desses mesmo elementos, já que, como dito anteriormente, o aumento da carga nos elementos deu-se principalmente pelo aumento das dimensões de viga, laje e pilar.

Essa ideia se reforça quando observamos o aumento de aço nos pilares. Mesmo com nenhum aumento de consumo expressivo do concreto, ou seja, mesmo sem nenhum aumento expressivo nas dimensões dos pilares, o consumo de aço nesses elementos aumenta quase que na mesma porcentagem de vigas e lajes, devido a necessidade de resistir ao aumento de esforços.

Por fim, observa-se uma diminuição do consumo do aço nas lajes dos pavimentos platô, fundo da caixa d'água e tampa da caixa d'água. Alguns fatores podem explicar esse resultado, como o aumento da base das vigas, diminuindo a área total das lajes e conseqüentemente o tamanho das barras de aço, e a própria consideração do programa utilizado na geração das grelhas para análise. No TQS as grelhas possuem um espaçamento padronizado, porém podem ser distribuídas de formas diferentes, causando um pequena diferença nos esforços e nos dimensionamentos quando comparados a outro modelo igual.

Figura 37 - Exemplo de diferença na geração de grelhas para as lajes no pavimento platô



Fonte: Autor (2019)

A grelha apresentada na imagem à esquerda foi gerada na modelagem da edificação em estudo para situação normal de temperatura, enquanto a grelha à direita foi gerada na modelagem em situação de incêndio. Essa diferença não representa um erro, mas apenas causa uma distribuição de faixas de esforços diferentes, podendo gerar uma variação na quantidade de armaduras, por exemplo.

Além disso, no fundo da caixa d'água, a própria redistribuição das formas na laje nervurada em situação de incêndio pode ter causado uma diferença de distribuição de armaduras, quando comparado na laje em situação normal de temperatura. Essa diminuição do consumo do aço não significa um erro, já que esperava-se que houvesse um aumento em todos os pavimentos, e sim uma distribuição de armaduras diferentes mas que atendem aos esforços solicitantes. Como esses pavimentos são pequenos, qualquer mudança nas suas concepções e dimensionamentos podem causar grandes variações.

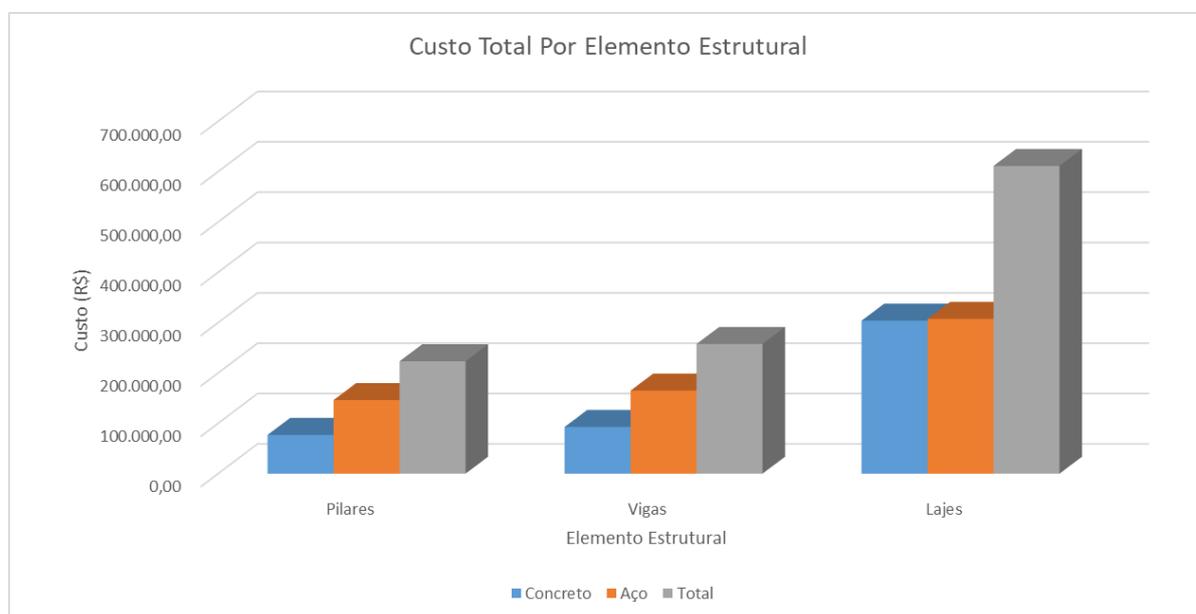
De acordo com os preços definidos, obteve-se os valores, em reais, de concreto e de aço gastos na edificação em estudo, para um dimensionamento em situação de incêndio.

Tabela 20 - Custos de concreto e aço em dimensionamento para situação de incêndio

Pavimento	Custo Concreto (R\$)			Custo Aço (R\$)			Total
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes	
Tampa Cx Dágua	274,50	732,00	1.098,00	1.310,50	526,50	1.118,50	5.060,00
Fundo Cx Dágua	244,00	732,00	2.104,50	232,00	1.842,50	2.923,50	8.078,50
Plato	305,00	213,50	244,00	1.654,00	262,00	235,00	2.913,50
Coberta	4.361,50	4.971,50	11.498,50	3.991,50	6.843,50	10.928,00	42.594,50
Cobertura	4.727,50	4.819,00	15.829,50	4.754,50	7.147,00	18.007,00	55.284,50
Pavimento Tipo 3 a 12	47.153,00	48.098,50	158.203,50	61.528,00	96.640,50	181.435,50	593.059,00
Pavimento Tipo 2	4.788,50	4.788,50	15.829,50	12.281,00	9.542,50	18.132,00	65.362,00
Pavimento Tipo 1	5.093,50	4.788,50	15.829,50	15.781,50	9.931,50	18.103,00	69.527,50
Térreo	5.032,50	14.548,50	41.968,00	16.449,00	18.716,50	28.347,50	125.062,00
Subsolo	5.032,50	9.028,00	41.266,50	28.246,00	13.459,50	28.227,50	125.260,00
TOTAL	77.012,50	92.720,00	303.871,50	146.228,00	164.912,00	307.457,50	1.092.201,50

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 8 - Custos totais de concreto e aço em dimensionamento para situação de incêndio por elemento estrutural



Fonte: Autor (2019)

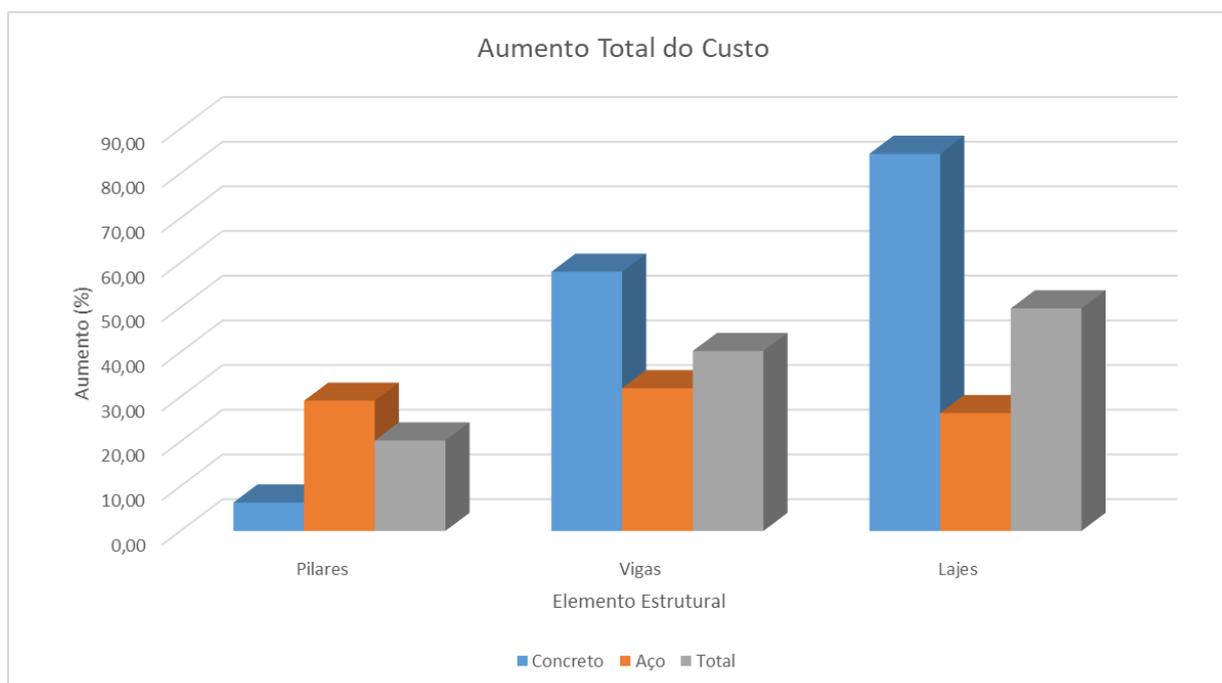
Como esperado, obteve-se custos mais altos de concreto e aço na edificação estudada quando dimensionada para situação de incêndio. Observa-se no Gráfico 8 que as lajes continuam com o maior custo dentre os elementos estruturais, custo esse que aumentou quando se olha o custo dos materiais em situação normal de temperatura (Tabela 8). Para o custo do concreto, as lajes chegam a ser quase o dobro do custo de concreto de pilares e vigas somados.

Tabela 21 - Comparação dos custos entre situação normal de temperatura e situação de incêndio

Pavimento	% Aumento Custo Concreto (R\$)			% Aumento Custo Aço (R\$)			% Aumento Total
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes	
Tampa Cx Dágua	0,00	4,35	50,00	35,87	8,00	-28,83	6,94
Fundo Cx Dágua	0,00	4,35	56,82	17,47	24,92	-30,43	-1,03
Plato	11,11	40,00	-11,11	25,68	36,46	-10,13	17,91
Coberta	5,15	53,77	85,71	2,20	36,03	32,76	38,56
Cobertura	6,90	62,89	80,84	6,72	36,24	23,78	36,90
Pavimento Tipo 3 a 12	6,92	63,08	80,48	10,73	28,51	22,29	34,67
Pavimento Tipo 2	3,97	63,54	80,84	45,76	32,20	21,67	39,57
Pavimento Tipo 1	4,38	61,86	80,84	54,83	37,27	21,63	42,17
Térreo	6,45	51,91	94,35	58,03	39,20	55,42	60,35
Subsolo	6,45	51,02	98,97	58,69	42,26	56,19	63,14
TOTAL	6,36	58,00	84,40	29,14	31,94	26,38	40,50

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 9 - Aumentos totais de custos de concreto e aço



Fonte: Autor (2019)

De forma geral, observa-se no Gráfico 9 que o maior aumento foi do custo de nas lajes. Como visto anteriormente, na Tabela 19, para o dimensionamento em situação de incêndio, houve um aumento de até 75% na altura média dos pavimentos quando comparado com um dimensionamento em situação normal de temperatura. Esse grande aumento, reforça o valor encontrado de 84,40% no custo de concreto, pois entende-se que as lajes foram os elementos estruturais que mais sofreram mudanças com a aplicação da NBR 15200 (ABNT, 2012).

Os valores negativos encontrados são condizentes com os valores obtidos na Tabela 17 e na Tabela 18, e possuem as mesmas justificativas citadas. Como o custo dos materiais é

diretamente proporcional a quantidade, era esperado que a diferença de custos tivesse as mesmas porcentagens encontradas na Tabela 17 e Tabela 18.

No total, obteve-se que para a edificação estudada, houve um aumento de 40,50% de custo quando dimensionada para situação de incêndio. Para se ter uma visão geral, comparou-se os custos de concreto e aço estruturais em relação ao custo total da edificação estudada, considerando os valores previstos no tópico 4.2.1.21.

Tabela 22 - Custo total da edificação

Pavimento	Área (m ²)	Custo (R\$)
Tampa Cx Dágua	34,30	37.803,06
Fundo Cx Dágua	34,30	37.803,06
Plato	9,70	10.690,66
Coberta	234,70	258.669,91
Cobertura	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 3 a 12	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 3 a 12	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 3 a 12	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 3 a 12	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 3 a 12	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 3 a 12	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 3 a 12	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 3 a 12	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 3 a 12	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 3 a 12	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 3 a 12	277,40	305.730,86
Pavimento Tipo 2	277,50	305.841,08
Pavimento Tipo 1	277,50	305.841,08
Térreo	742,60	818.441,74
Subsolo	695,10	766.090,56
TOTAL	5.357,10	5.904.220,62

Fonte: Autor (2019)

Para a edificação estudada, com um custo total estimado em R\$ 5.904.220,62, o custo de concreto e aço encontrado em situação normal de temperatura representaria 13,17% desse valor. Para o dimensionamento em situação de incêndio, esse valor aumenta para 18,50%, ou seja, uma variância de 5,33%.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo geral comparar a norma principal de dimensionamento para estruturas de concreto NBR 6118 (ABNT, 2014) com a norma de dimensionamento em situação de incêndio para estruturas de concreto armado NBR 15200 (ABNT, 2012), aplicando-as em um edifício residencial existente e discutindo os resultados. Para isso foi utilizado o programa TQS, aplicando o método tabular para vigas e lajes, e o método analítico para pilares, ambos para situação de incêndio.

As análises estruturais do edifício para a situação normal de temperatura e situação de incêndio, se resumiram à verificação do γ_z e as cargas atuantes em cada pavimento. Para esta última situação, mesmo com o aumento das cargas atuantes devido ao aumento das peças de concreto armado (e conseqüentemente o peso próprio), a edificação aproximou-se mais de uma estrutura de nós fixos, devido a redução do γ_z . No edifício estudado, a aplicação da NBR 15200 (ABNT, 2012) trouxe à estrutura uma maior rigidez aos efeitos globais de 2ª ordem, sendo um indicativo de possível solução para estruturas que possuem um $\gamma_z > 1,3$. Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se aplicar a norma de incêndio em outras edificações, analisar a estabilidade global dessas e verificar se o resultado obtido neste trabalho mostra-se como uma tendência.

Observando os consumos e custos para cada situação de dimensionamento, comprovou-se que, para o edifício estudado, a NBR 15200 (ABNT, 2012) causa um aumento desses fatores. Mesmo assim, levando em consideração o custo total da obra, o dimensionamento para situação de incêndio apresentou-se como um aumento de custo não tão expressivo (5,33%), indicando a viabilidade financeira da aplicação da norma. É válido ressaltar que as modelagens realizadas foram feitas de maneira a reproduzir as piores condições para a estrutura em incêndio, ou seja, esse valor encontrado poderia ser menor, aumentando a viabilidade financeira da aplicação da norma. Como sugestão para trabalhos futuros, algumas considerações e isenções previstas na própria NBR 15200 (ABNT, 2012) e na NBR 14432 (ABNT, 2001) podem ser aplicadas a fim de reduzir o TRRF ou desobrigar a análise em incêndio para alguns elementos estruturais, analisando assim o impacto disso na viabilidade estrutural e financeira de uma edificação.

Para o edifício analisado tanto em situação normal de temperatura como em situação de incêndio, observou-se que as lajes foram os elementos estruturais que apresentaram os maiores consumos de concreto e aço, e conseqüentemente os maiores custos desses materiais, ou seja, o impacto desses elementos no consumo e custo total da obra é representativo. Esse aumento entre as duas situações deu-se principalmente ao aumento das alturas nas lajes, previstas na

NBR 15200 (ABNT, 2012) para garantir a função corta fogo. Garantindo uma compartimentação adequada com outros materiais ou até mesmo considerando o revestimento como parte da altura da laje, a altura desse elemento pode ser considerada como na NBR 6118 (ABNT, 2014), reduzindo consideravelmente o consumo e custo de concreto e aço quando dimensionado em situação de incêndio.

Mesmo concluindo-se que o dimensionamento realizado é viável estruturalmente e financeiramente, é importante fazer uma breve observação do ponto de vista arquitetônico. Para enquadrar-se nos requisitos mínimos da NBR 15200 (ABNT, 2012), lajes, vigas e pilares tiveram dimensões alteradas, de forma que impactou diretamente no espaço original. Portanto, é importante que não só o Engenheiro Civil mas o Arquiteto leve em conta as alterações que a norma de incêndio pode causar, como mudança na altura do forro, mudança nas espessuras das paredes, mudança na área útil do ambiente etc.

Por fim, outros trabalhos futuros podem considerar o consumo e preço das formas para os elementos estruturais, não considerados neste trabalho, e fazer uma análise de flechas no ELS, as quais não são exigidas para análise em situação de incêndio, mas que podem sofrer grandes mudanças devido ao aumento e enrijecimento de lajes e vigas, por exemplo.

REFERÊNCIAS

AJALA, Grasiela Rocha *et al.* Estudo Comparativo da Utilização da ABNT NBR 15200:2012 e da ABNT NBR 6118:2014. **Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico - REINPEC**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 65-79, 2016.

ANDREAZZA, Daniela Lopes. **Concreto em Situação de Incêndio e Requisitos da Norma ABNT NBR 15200:2012**. Orientador: Larissa Degliuomini Kirchof. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200**: Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais: Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4ª. ed. São Carlos: EdUfsCar, 2014. 415 p. ISBN 978-85-7600-356-4.

CASTRO, Gleidismar das Graças Simão. **Um Método Geral de Cálculo Para Verificação de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**. Orientador: Ney Amorim Silva. 2005. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

COSTA, Carla Neves. **Dimensionamento de Elementos de Concreto Armado em Situação de Incêndio**. Orientador: Valdir Pignatta Silva. 2008. Tese (Doutora em Engenharia de Estruturas) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FLORES, Bráulio Cançado; ORNELAS, Éliton Ataíde; DIAS, Leônidas Eduardo. **Fundamentos de Combate a Incêndio**. 1ª. ed. rev. Goiânia: Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás, 2016. 150 p.

JÚNIOR, Odinir Klein. **Pilares de Concreto Armado em Situação de Incêndio Submetidos à Flexão Normal Composta**. Orientador: Ricardo Leopoldo e Silva França. 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MUNHOZ, Guilherme da Silva. Análise da ABNT NBR 15200:2012 para um edifício de 40 pavimentos em situação de incêndio estrutural. **Anais do 60º Congresso Brasileiro do Concreto**, Foz do Iguaçu, v. 1, n. 1, 2018.

REINA, Ana Gabriela Román. **Dimensionamento de Elementos de Concreto a Flexão Simples em Situação de Incêndio**. Orientador: Magnólia Maria Campelo Mota. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SEITO, Alexandre Itiu *et al.* **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. 1ª. ed. São Paulo: Projeto Editora, 2008. 496 p. ISBN 987-85-61295-00-4.

SILVA, Valdir Pignatta. **Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**. 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 2016. 240 p. ISBN 978-85-212-1128-0.

SOARES, Ecídia Maria Pinto. **Verificação de Peças Usuais de Concreto Armado em Situação de Incêndio**. Orientador: Ney Amorim Silva. 2003. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

SOUSA, Douglas Alves de; SILVA, Guilherme Pereira. **Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**. Orientador: Daniel de Lima Araújo. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

VARGAS, Mauri Resende; SILVA, Valdir Pignatta. **Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2005. 78 p. ISBN 85-89819-02-7.

**APÊNDICE A - TABELAS COM RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO DE INCÊNDIO
PARA EDIFÍCIO MODELADO EM SITUAÇÃO NORMAL DE TEMPERATURA**

Tabela 23 - Análise das vigas do Subsolo para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
	Contínua	3	120	34	Não passou
V2	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
	Contínua	3	120	34	Não passou
V3	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V4	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V5	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
V6	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V7	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
	Contínua	3	120	36	Não passou
V8	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V9	Contínua	1	120	34	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
	Contínua	3	120	34	Não passou
	Contínua	4	120	36	Não passou
	Contínua	5	120	36	Não passou
	Contínua	6	120	34	Não passou
	Contínua	7	120	36	Não passou
	Contínua	8	120	36	Não passou
V10	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V11	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
	Contínua	3	120	36	Não passou
	Contínua	4	120	35	Não passou
	Contínua	5	120	36	Não passou
	Contínua	6	120	36	Não passou
	Contínua	7	120	36	Não passou

Tabela 24 - Análise das vigas do Subsolo para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V12	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
V13	Biapoiada	1	250	36	Não passou
V14	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V15	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	38	Não passou
	Contínua	3	120	36	Não passou
	Contínua	4	120	34	Não passou
V16	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V17	Biapoiada	1	150	39	Não passou
V18	Biapoiada	1	150	36	Não passou
V19	Biapoiada	1	150	34	Não passou
V20	Biapoiada	1	100	34	Não passou
V21	Biapoiada	1	150	35	Não passou
V22	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V23	Contínua	1	120	35	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
V24	Contínua	1	150	34	Não passou
	Contínua	2	150	34	Não passou
V25	Biapoiada	1	150	38	Não passou
V26	Biapoiada	1	150	34	Não passou
V27	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V28	Contínua	1	150	38	Não passou
	Contínua	2	150	36	Não passou
	Contínua	3	150	34	Não passou
V29	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V30	Biapoiada	1	150	36	Não passou
V31	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
V32	Biapoiada	1	120	36	Não passou

Tabela 25 - Análise das vigas do Térreo para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Contínua	1	200	34	Não passou
	Contínua	2	200	36	Não passou
	Contínua	3	200	34	Não passou
	Contínua	4	200	36	Não passou
	Contínua	5	200	36	Não passou
	Contínua	6	200	34	Não passou
	Contínua	7	200	34	Não passou
	Contínua	8	200	36	Não passou
	Contínua	9	200	34	Não passou
V2	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
	Contínua	3	120	34	Não passou
V3	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
	Contínua	3	120	34	Não passou
V4	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V5	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V6	Biapoiada	1	100	34	Não passou
V7	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
V8	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V9	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
	Contínua	3	120	36	Não passou
V10	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V11	Contínua	1	120	34	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
	Contínua	3	120	35	Não passou
	Contínua	4	120	36	Não passou
	Contínua	5	120	36	Não passou
	Contínua	6	120	34	Não passou
	Contínua	7	120	36	Não passou
	Contínua	8	120	36	Não passou
V12	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V13	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
	Contínua	3	120	36	Não passou
	Contínua	4	120	35	Não passou
	Contínua	5	120	36	Não passou
	Contínua	6	120	36	Não passou
	Contínua	7	120	36	Não passou

Tabela 26 - Análise das vigas do Térreo para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V14	Contínua	1	200	34	Não passou
	Contínua	2	200	36	Não passou
	Contínua	3	200	36	Não passou
	Contínua	4	200	36	Não passou
V15	Contínua	1	200	34	Não passou
	Contínua	2	200	36	Não passou
	Contínua	3	200	36	Não passou
	Contínua	4	200	36	Não passou
	Contínua	5	200	34	Não passou
V16	Contínua	1	200	34	Não passou
	Contínua	2	200	34	Não passou
	Contínua	3	200	36	Não passou
	Contínua	4	200	34	Não passou
	Contínua	5	200	36	Não passou
V17	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
V18	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V19	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V20	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	38	Não passou
	Contínua	3	120	36	Não passou
	Contínua	4	120	36	Não passou
V21	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V22	Biapoiada	1	150	41	Não passou
V23	Biapoiada	1	150	36	Não passou
V24	Biapoiada	1	150	34	Não passou
V25	Biapoiada	1	100	34	Não passou
V26	Biapoiada	1	150	34	Não passou
V27	Biapoiada	1	120	34	Não passou

Tabela 27 - Análise das vigas do Térreo para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V28	Contínua	1	120	35	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
V29	Contínua	1	150	36	Não passou
	Contínua	2	150	35	Não passou
V30	Biapoiada	1	150	36	Não passou
V31	Biapoiada	1	150	34	Não passou
V32	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V33	Contínua	1	150	38	Não passou
	Contínua	2	150	36	Não passou
	Contínua	3	150	34	Não passou
V34	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V35	Biapoiada	1	150	36	Não passou
V36	Contínua	1	120	38	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
V37	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V38	Contínua	1	200	34	Não passou
	Contínua	2	200	34	Não passou
	Contínua	3	200	36	Não passou
	Contínua	4	200	34	Não passou
	Contínua	5	200	36	Não passou

Tabela 28 - Análise das vigas do Pavimento Tipo para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V2	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V3	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V4	Biapoiada	1	120	38	Não passou
V5	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V6	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
V7	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V8	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V9	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
	Contínua	3	120	36	Não passou
	Contínua	4	120	36	Não passou
	Contínua	5	120	36	Não passou
	Contínua	6	120	36	Não passou
V10	Biapoiada	1	120	38	Não passou
V11	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V12	Biapoiada	1	150	35	Não passou
V13	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V14	Biapoiada	1	100	34	Não passou
V15	Biapoiada	1	150	34	Não passou
V16	Biapoiada	1	150	34	Não passou
V17	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V18	Contínua	1	120	34	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
V19	Biapoiada	1	150	38	Não passou
V20	Biapoiada	1	200	39	Não passou
V21	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V22	Biapoiada	1	120	39	Não passou

Tabela 29 - Análise das vigas da Cobertura para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V2	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V3	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V4	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V5	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V6	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
V7	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V8	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V9	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
	Contínua	3	120	36	Não passou
	Contínua	4	120	34	Não passou
	Contínua	5	120	36	Não passou
	Contínua	6	120	36	Não passou
V10	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V11	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V12	Biapoiada	1	150	35	Não passou
V13	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V14	Biapoiada	1	100	34	Não passou
V15	Biapoiada	1	150	34	Não passou
V16	Biapoiada	1	150	34	Não passou
V17	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V18	Contínua	1	120	34	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
V19	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V20	Biapoiada	1	200	39	Não passou
V21	Biapoiada	1	120	38	Não passou
V22	Biapoiada	1	120	36	Não passou

Tabela 30 - Análise das vigas da Coberta para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	200	36	Não passou
V2	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V3	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V4	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V5	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V6	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
V7	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V8	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V9	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V10	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V11	Contínua	1	120	36	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
	Contínua	3	120	34	Não passou
	Contínua	4	120	36	Não passou
	Contínua	5	120	36	Não passou
V12	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V13	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V14	Biapoiada	1	120	39	Não passou
V15	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V16	Biapoiada	1	100	34	Não passou
V17	Biapoiada	1	150	34	Não passou
V18	Biapoiada	1	120	35	Não passou
V19	Contínua	1	120	35	Não passou
	Contínua	2	120	34	Não passou
V20	Contínua	1	120	34	Não passou
	Contínua	2	120	36	Não passou
V21	Contínua	1	120	36	Não passou
V22	Biapoiada	1	120	36	Não passou
V23	Biapoiada	1	150	39	Não passou
V24	Biapoiada	1	120	38	Não passou
V25	Biapoiada	1	120	36	Não passou

Tabela 31 - Análise das vigas do Platô para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V2	Biapoiada	1	120	34	Não passou
V3	Biapoiada	1	120	35	Não passou
V4	Biapoiada	1	120	34	Não passou

Tabela 32 - Análise das vigas do Fundo da Caixa D'água para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	180	41	Não passou
V2	Biapoiada	1	180	39	Não passou
V3	Biapoiada	1	180	38	Não passou
V4	Biapoiada	1	180	39	Não passou

Tabela 33 - Análise das vigas da Tampa da Caixa D'água para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	180	34	Não passou
V2	Biapoiada	1	180	34	Não passou
V3	Biapoiada	1	180	34	Não passou
V4	Biapoiada	1	180	34	Não passou

Tabela 34 - Análise das lajes do subsolo para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L2	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L3	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L4	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L5	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L6	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L7	Apoiada	2 dir.	1,9	80	28	---	---	Não passou
L8	Apoiada	2 dir.	1,5	80	28	---	---	Não passou
L9	Apoiada	2 dir.	1,6	80	28	---	---	Não passou
L10	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L11	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L12	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L13	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L14	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L15	Apoiada	1 dir.	2,7	80	28	---	---	Não passou
L16	Apoiada	2 dir.	1,1	120	28	---	---	OK
L17	Apoiada	1 dir.	2,1	120	28	---	---	Não passou
L18	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L19	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L20	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L21	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L22	Apoiada	1 dir.	2,1	120	28	---	---	Não passou
L23	Apoiada	2 dir.	1,8	120	28	---	---	OK
L24	Apoiada	2 dir.	1,8	120	28	---	---	OK
L25	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L26	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L27	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L28	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L29	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou

Tabela 35 - Análise das lajes do Térreo para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L2	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L3	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L4	Apoiada	2 dir.	1,1	80	28	---	---	Não passou
L5	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L6	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L7	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L8	Apoiada	2 dir.	1,5	80	28	---	---	Não passou
L9	Apoiada	2 dir.	1	80	28	---	---	Não passou
L10	Apoiada	2 dir.	1,6	80	28	---	---	Não passou
L11	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L12	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L13	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L14	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L15	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L16	Apoiada	1 dir.	2,7	80	28	---	---	Não passou
L17	Apoiada	2 dir.	1,1	120	28	---	---	OK
L18	Apoiada	1 dir.	2,1	120	28	---	---	Não passou
L19	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L20	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L21	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L22	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L23	Apoiada	1 dir.	2,1	120	28	---	---	Não passou
L24	Apoiada	2 dir.	1,8	120	28	---	---	OK
L25	Apoiada	2 dir.	1,2	120	28	---	---	OK
L26	Apoiada	2 dir.	1,7	120	28	---	---	OK
L27	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L28	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L29	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L30	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou
L31	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou

Tabela 36 - Análise das lajes do Pavimento Tipo para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Apoiada	2 dir.	1,9	80	28	---	---	Não passou
L2	Apoiada	2 dir.	1,5	80	28	---	---	Não passou
L3	Apoiada	2 dir.	1,6	80	28	---	---	Não passou
L4	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	50	Não passou
L5	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	50	Não passou
L6	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	50	Não passou
L7	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	50	Não passou
L8	Apoiada	1 dir.	2,7	80	28	---	---	Não passou
L9	Apoiada	1 dir.	2,7	80	28	---	---	Não passou

Tabela 37 - Análise das lajes da Cobertura para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Apoiada	2 dir.	1,9	80	28	---	---	Não passou
L2	Apoiada	2 dir.	1,5	80	28	---	---	Não passou
L3	Apoiada	2 dir.	1,5	80	28	---	---	Não passou
L4	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	50	Não passou
L5	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	50	Não passou
L6	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	50	Não passou
L7	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	50	Não passou
L8	Apoiada	1 dir.	2,7	80	28	---	---	Não passou
L9	Apoiada	1 dir.	2,7	80	28	---	---	Não passou

Tabela 38 - Análise das lajes da Coberta para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Apoiada	2 dir.	1,9	80	28	---	---	Não passou
L2	Apoiada	2 dir.	1,5	80	28	---	---	Não passou
L3	Apoiada	2 dir.	1,5	120	28	---	---	OK
L4	Apoiada	1 dir.	3,7	120	28	---	---	Não passou
L5	Apoiada	2 dir.	1,2	80	28	---	---	Não passou
L6	Apoiada	2 dir.	1,8	80	28	---	---	Não passou
L7	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	50	Não passou
L8	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	50	Não passou
L9	Apoiada	1 dir.	2,7	80	28	---	---	Não passou
L10	Apoiada	1 dir.	2,7	80	28	---	---	Não passou

Tabela 39 - Análise das lajes do Platô para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Apoiada	1 dir.	2,1	120	28	---	---	Não passou

Tabela 40 - Análise das lajes do Fundo da Caixa D'água para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Nervurada contínua	---	---	---	28	50	40	Não passou

Tabela 41 - Análise das lajes da Tampa da Caixa D'água para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Apoiada	2 dir.	1,2	80	28	---	---	Não passou

Tabela 42 - Análise dos pilares do subsolo para situação de incêndio

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	9,1/ 71,9 = 0,13	2	11	0,008	0,191	0,15	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 75
P2	Pilar	23,1/ 68,2 = 0,34	2	10	0,008	0,191	0,39	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 52
P3	Pilar	17,9/ 70,3 = 0,25	2	9	0,008	0,191	0,3	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 61
P4	Pilar	20,9/ 68,5 = 0,31	2	13	0,008	0,191	0,35	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 55
P5	Pilar	133,1/ 502,2 = 0,27	2	2	0,004	0,1	0,32	2,8	5,6	10	250x 1200	37	Não passou, TRF= 96
P6	Parede	155,4/ 421,3 = 0,37	2	1	0,006	0,149	0,45	2,8	5,6	12	200x 1200	37	OK, TRF= 0
P7	Pilar	14,8/ 72,5 = 0,20	2	4	0,008	0,191	0,25	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 66
P8	Pilar	34,7/ 108,5 = 0,32	2	5	0,031	0,765	0,39	2,8	5,6	4	200x 200	41	Não passou, TRF= 67
P9	Pilar	17,7/ 70,0 = 0,25	2	8	0,008	0,191	0,3	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 61
P10	Pilar	30,9/ 91,4 = 0,34	2	4	0,02	0,49	0,41	2,8	5,6	4	200x 200	39	Não passou, TRF= 61
P11	Pilar	502,8/ 994,3 = 0,51	2	1	0,018	0,442	0,62	2,8	5,6	26	300x 1500	41	Não passou, TRF= 83
P12	Pilar	352,4/ 724,0 = 0,49	2	2	0,023	0,561	0,6	2,8	5,6	22	250x 1200	41	Não passou, TRF= 77
P13	Pilar	409,6/ 822,8 = 0,50	2	5	0,009	0,218	0,6	2,8	5,6	20	300x 1500	39	Não passou, TRF= 79
P14	Pilar	377,7/ 755,5 = 0,50	2	1	0,007	0,165	0,6	2,8	5,6	24	300x 1450	37	Não passou, TRF= 75
P15	Pilar	343,6/ 714,2 = 0,48	2	4	0,005	0,11	0,57	2,8	5,6	16	300x 1450	37	Não passou, TRF= 77
P16	Pilar	100,1/ 406,8 = 0,25	2	6	0,005	0,122	0,29	2,8	5,6	10	250x 980	37	Não passou, TRF= 99
P17	Pilar	104,7/ 416,0 = 0,25	2	3	0,005	0,122	0,3	2,8	5,6	10	250x 980	37	Não passou, TRF= 98
P18	Pilar	119,5/ 475,3 = 0,25	2	4	0,004	0,104	0,3	2,8	5,6	10	250x 1150	37	Não passou, TRF= 98
P19	Pilar	283,6/ 604,3 = 0,47	2	3	0,015	0,375	0,57	2,8	5,6	22	250x 1150	39	Não passou, TRF= 75
P20	Pilar	323,6/ 702,1 = 0,46	2	3	0,024	0,585	0,57	2,8	5,6	22	250x 1150	41	Não passou, TRF= 80
P21	Pilar	362,5/ 784,1 = 0,46	2	4	0,031	0,748	0,58	2,8	5,6	18	250x 1150	45	Não passou, TRF= 91
P22	Pilar	523,9/ 1201,2 = 0,44	2	1	0,037	0,891	0,55	2,8	5,6	30	350x 1150	45	Não passou, TRF= 112
P23	Pilar	242,5/ 506,4 = 0,48	2	6	0,008	0,187	0,57	2,8	5,6	18	250x 1150	37	Não passou, TRF= 69
P24	Pilar	122,5/ 481,6 = 0,25	2	1	0,004	0,104	0,31	2,8	5,6	10	250x 1150	37	Não passou, TRF= 98

Tabela 43 - Análise dos pilares do Térreo para situação de incêndio

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/AC	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	4,8/ 72,1 = 0,07	2	17	0,008	0,191	0,08	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 83
P2	Pilar	11,7/ 66,7 = 0,18	2	28	0,008	0,191	0,2	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 70
P3	Pilar	10,4/ 69,6 = 0,15	2	17	0,008	0,191	0,17	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 73
P4	Pilar	12,3/ 66,9 = 0,18	2	27	0,008	0,191	0,21	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 69
P5	Pilar	120,5/ 491,4 = 0,25	2	8	0,004	0,1	0,29	2,8	5,6	10	250x 1200	37	Não passou, TRF= 99
P6	Parede	143,7/ 420,6 = 0,34	2	2	0,006	0,149	0,42	2,8	5,6	12	200x 1200	37	OK, TRF= 0
P7	Pilar	7,9/ 72,8 = 0,11	2	6	0,008	0,191	0,13	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 78
P8	Pilar	18,1/ 67,8 = 0,27	2	16	0,008	0,191	0,3	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 59
P9	Pilar	8,0/ 68,2 = 0,12	2	29	0,008	0,191	0,13	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 77
P10	Pilar	14,9/ 70,0 = 0,21	2	13	0,008	0,191	0,25	2,8	5,6	4	200x 200	35	Não passou, TRF= 65
P11	Pilar	475,7/ 992,1 = 0,48	2	1	0,018	0,442	0,59	2,8	5,6	26	300x 1500	41	Não passou, TRF= 86
P12	Pilar	331,3/ 718,7 = 0,46	2	2	0,023	0,561	0,57	2,8	5,6	22	250x 1200	41	Não passou, TRF= 80
P13	Pilar	388,7/ 754,5 = 0,52	2	6	0,005	0,133	0,61	2,8	5,6	20	300x 1500	37	Não passou, TRF= 73
P14	Pilar	358,0/ 731,5 = 0,49	2	1	0,005	0,124	0,59	2,8	5,6	18	300x 1450	37	Não passou, TRF= 76
P15	Pilar	324,6/ 708,6 = 0,46	2	5	0,005	0,11	0,54	2,8	5,6	16	300x 1450	37	Não passou, TRF= 80
P16	Pilar	89,3/ 400,8 = 0,22	2	14	0,005	0,122	0,26	2,8	5,6	10	250x 980	37	Não passou, TRF= 102
P17	Pilar	95,8/ 414,6 = 0,23	2	6	0,005	0,122	0,28	2,8	5,6	10	250x 980	37	Não passou, TRF= 101
P18	Pilar	106,4/ 460,9 = 0,23	2	16	0,004	0,104	0,27	2,8	5,6	10	250x 1150	37	Não passou, TRF= 101
P19	Pilar	262,4/ 583,0 = 0,45	2	5	0,014	0,341	0,54	2,8	5,6	20	250x 1150	39	Não passou, TRF= 77
P20	Pilar	305,1/ 675,4 = 0,45	2	5	0,024	0,585	0,54	2,8	5,6	22	250x 1150	41	Não passou, TRF= 82
P21	Pilar	346,0/ 776,1 = 0,45	2	5	0,031	0,748	0,55	2,8	5,6	18	250x 1150	45	Não passou, TRF= 93
P22	Pilar	496,8/ 960,8 = 0,52	2	3	0,023	0,57	0,63	2,8	5,6	30	350x 1150	41	Não passou, TRF= 90
P23	Pilar	225,6/ 490,9 = 0,46	2	8	0,007	0,166	0,54	2,8	5,6	16	250x 1150	37	Não passou, TRF= 72
P24	Pilar	110,7/ 478,2 = 0,23	2	3	0,004	0,104	0,28	2,8	5,6	10	250x 1150	37	Não passou, TRF= 101

Tabela 44 - Análise dos pilares do Pavimento Tipo para situação de incêndio

Título	Tipo	Nsdi/NRD	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P5	Pilar	107,0/ 499,4 = 0,21	2	4	0,004	0,1	0,26	3,1	6,1	10	250x 1200	37	Não passou, TRF= 95
P6	Parede	130,5/ 420,3 = 0,31	2	1	0,006	0,149	0,38	3,1	6,1	12	200x 1200	37	OK, TRF= 0
P11	Pilar	441,3/ 990,1 = 0,45	2	2	0,018	0,442	0,54	3,1	6,1	26	300x 1500	41	Não passou, TRF= 83
P12	Pilar	305,9/ 714,2 = 0,43	2	5	0,023	0,561	0,52	3,1	6,1	22	250x 1200	41	Não passou, TRF= 77
P13	Pilar	363,3/ 686,4 = 0,53	2	18	0,005	0,12	0,58	3,1	6,1	18	300x 1500	37	Não passou, TRF= 64
P14	Pilar	330,2/ 674,8 = 0,49	2	14	0,005	0,11	0,55	3,1	6,1	16	300x 1450	37	Não passou, TRF= 69
P15	Pilar	307,3/ 697,5 = 0,44	2	10	0,005	0,11	0,51	3,1	6,1	16	300x 1450	37	Não passou, TRF= 74
P16	Pilar	79,2/ 410,6 = 0,19	2	9	0,005	0,122	0,23	3,1	6,1	10	250x 980	37	Não passou, TRF= 98
P17	Pilar	87,3/ 414,8 = 0,21	2	1	0,005	0,122	0,25	3,1	6,1	10	250x 980	37	Não passou, TRF= 96
P18	Pilar	90,3/ 465,2 = 0,19	2	14	0,004	0,104	0,23	3,1	6,1	10	250x 1150	37	Não passou, TRF= 98
P19	Pilar	242,1/ 520,0 = 0,47	2	13	0,011	0,272	0,53	3,1	6,1	16	250x 1150	39	Não passou, TRF= 68
P20	Pilar	283,1/ 680,6 = 0,42	2	5	0,024	0,585	0,5	3,1	6,1	22	250x 1150	41	Não passou, TRF= 79
P21	Pilar	329,1/ 706,8 = 0,47	2	5	0,027	0,665	0,55	3,1	6,1	16	250x 1150	45	Não passou, TRF= 82
P22	Pilar	467,0/ 890,9 = 0,52	2	2	0,02	0,494	0,62	3,1	6,1	26	350x 1150	41	Não passou, TRF= 81
P23	Pilar	209,1/ 442,4 = 0,47	2	14	0,004	0,104	0,53	3,1	6,1	10	250x 1150	38	Não passou, TRF= 63
P24	Pilar	98,9/ 474,9 = 0,21	2	2	0,004	0,104	0,25	3,1	6,1	10	250x 1150	37	Não passou, TRF= 96

Tabela 45 - Análise dos pilares da Cobertura para situação de incêndio

Título	Tipo	NSdi/NRD	NFE	e	As/AC	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P5	Pilar	42,6/ 490,0 = 0,09	2	26	0,004	0,1	0,1	2,9	5,8	10	250x 1200	37	Não passou, TRF= 119
P6	Parede	45,9/ 388,6 = 0,12	2	13	0,004	0,096	0,14	2,9	5,8	12	200x 1200	35	OK, TRF= 0
P11	Pilar	87,6/ 550,6 = 0,16	2	19	0,004	0,1	0,18	2,9	5,8	12	300x 1200	37	Não passou, TRF= 118
P12	Pilar	72,9/ 468,3 = 0,16	2	33	0,004	0,1	0,18	2,9	5,8	10	250x 1200	37	Não passou, TRF= 109
P13	Pilar	43,3/ 636,4 = 0,07	2	242	0,004	0,106	0,07	2,9	5,8	16	300x 1500	37	TRF>TRRF*, TRF= 132
P14	Pilar	39,8/ 640,3 = 0,06	2	164	0,004	0,096	0,07	2,9	5,8	14	300x 1450	37	TRF>TRRF*, TRF= 133
P15	Pilar	37,6/ 654,4 = 0,06	2	133	0,004	0,096	0,06	2,9	5,8	14	300x 1450	37	TRF>TRRF*, TRF= 134
P16	Pilar	9,8/ 408,4 = 0,02	2	55	0,005	0,122	0,03	2,9	5,8	10	250x 980	37	TRF>TRRF*, TRF= 129
P17	Pilar	10,6/ 406,3 = 0,03	2	67	0,005	0,122	0,03	2,9	5,8	10	250x 980	37	TRF>TRRF*, TRF= 128
P18	Pilar	12,8/ 472,3 = 0,03	2	33	0,004	0,104	0,03	2,9	5,8	10	250x 1150	37	OK, TRF= 128
P19	Pilar	28,7/ 425,6 = 0,07	2	147	0,004	0,104	0,07	2,9	5,8	10	250x 1150	38	TRF>TRRF*, TRF= 122
P20	Pilar	39,6/ 448,2 = 0,09	2	48	0,004	0,104	0,1	2,9	5,8	10	250x 1150	37	Não passou, TRF= 119
P21	Pilar	22,1/ 406,6 = 0,05	2	106	0,005	0,125	0,05	2,9	5,8	12	250x 1150	37	TRF>TRRF*, TRF= 124
P22	Pilar	52,6/ 434,1 = 0,12	2	8	0,005	0,12	0,13	2,9	5,8	18	250x 1150	35	Não passou, TRF= 107
P23	Pilar	26,0/ 430,8 = 0,06	2	145	0,004	0,104	0,07	2,9	5,8	10	250x 1150	38	TRF>TRRF*, TRF= 123
P24	Pilar	13,6/ 472,0 = 0,03	2	60	0,004	0,104	0,03	2,9	5,8	10	250x 1150	37	TRF>TRRF*, TRF= 128

Tabela 46 - Análise dos pilares da Coberta para situação de incêndio

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P5	Pilar	37,1/ 465,1 = 0,08	2	21	0,004	0,1	0,09	2,9	5,8	10	250x 1200	37	OK, TRF= 120
P6	Parede	39,0/ 366,4 = 0,11	2	6	0,004	0,096	0,12	2,9	5,8	12	200x 1200	35	OK, TRF= 0
P11	Pilar	58,7/ 523,1 = 0,11	2	50	0,004	0,1	0,12	2,9	5,8	12	300x 1200	37	TRF>TRRF*, TRF= 125
P12	Pilar	54,0/ 444,0 = 0,12	2	32	0,004	0,1	0,13	2,9	5,8	10	250x 1200	37	Não passou, TRF= 114
P13	Pilar	16,0/ 668,8 = 0,02	2	500	0,004	0,106	0,03	2,9	5,8	16	300x 1500	37	TRF>TRRF*, TRF= 139
P14	Pilar	15,8/ 648,7 = 0,02	2	473	0,004	0,096	0,03	2,9	5,8	14	300x 1450	37	TRF>TRRF*, TRF= 139
P15	Pilar	15,3/ 663,5 = 0,02	2	387	0,004	0,096	0,03	2,9	5,8	14	300x 1450	37	TRF>TRRF*, TRF= 139
P16	Pilar	4,1/ 416,9 = 0,01	2	135	0,005	0,122	0,01	2,9	5,8	10	250x 980	37	TRF>TRRF*, TRF= 131
P17	Pilar	4,4/ 414,5 = 0,01	2	168	0,005	0,122	0,01	2,9	5,8	10	250x 980	37	TRF>TRRF*, TRF= 131
P18	Pilar	5,8/ 467,9 = 0,01	2	87	0,004	0,104	0,01	2,9	5,8	10	250x 1150	37	TRF>TRRF*, TRF= 130
P19	Pilar	10,9/ 426,2 = 0,03	2	380	0,004	0,104	0,03	2,9	5,8	10	250x 1150	38	TRF>TRRF*, TRF= 128
P20	Pilar	19,6/ 430,9 = 0,05	2	67	0,004	0,104	0,05	2,9	5,8	10	250x 1150	37	TRF>TRRF*, TRF= 125
P22	Pilar	19,6/ 423,4 = 0,05	2	92	0,005	0,12	0,05	2,9	5,8	18	250x 1150	35	Não passou, TRF= 118
P23	Pilar	10,4/ 430,3 = 0,02	2	371	0,004	0,104	0,03	2,9	5,8	10	250x 1150	38	TRF>TRRF*, TRF= 129
P24	Pilar	6,0/ 468,9 = 0,01	2	154	0,004	0,104	0,02	2,9	5,8	10	250x 1150	37	TRF>TRRF*, TRF= 130

Tabela 47 - Análise dos pilares do Platô para situação de incêndio

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c.l	Situação
P5	Pilar	30,3/ 156,9 = 0,19	2	47	0,007	0,179	0,21	3,4	6,9	6	250x 400	37	Não passou, TRF= 86
P6	Pilar	30,7/ 133,7 = 0,23	2	32	0,012	0,299	0,24	3,4	6,9	8	200x 400	38	Não passou, TRF= 74
PI1	Pilar	33,6/ 188,3 = 0,18	2	36	0,005	0,127	0,2	3,4	6,9	8	300x 400	35	Não passou, TRF= 88
PI2	Pilar	33,0/ 155,7 = 0,21	2	66	0,01	0,239	0,21	3,4	6,9	8	250x 400	37	Não passou, TRF= 84
PL1	Pilar	2,3/ 66,9 = 0,03	2	702	0,035	0,848	0,03	1,7	3,4	4	190x 190	41	TRF>TRRF*, TRF= 139
PL2	Pilar	1,6/ 57,1 = 0,03	2	385	0,009	0,212	0,03	1,7	3,4	4	190x 190	35	TRF>TRRF*, TRF= 121
PL3	Pilar	1,7/ 58,1 = 0,03	2	256	0,009	0,212	0,03	1,7	3,4	4	190x 190	35	TRF>TRRF*, TRF= 121

Tabela 48 - Análise dos pilares do Fundo da Caixa D'água para situação de incêndio

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P5	Pilar	29,8/ 114,8 = 0,26	2	75	0,007	0,179	0,2	2	4	6	250x 400	37	TRF>TRRF*, TRF= 124
P6	Pilar	30,3/ 92,2 = 0,33	2	50	0,012	0,299	0,23	2	4	8	200x 400	38	Não passou, TRF= 104
P11	Pilar	31,8/ 146,3 = 0,22	2	145	0,008	0,199	0,18	2	4	8	300x 400	37	TRF>TRRF*, TRF= 138
P12	Pilar	32,6/ 109,1 = 0,30	2	115	0,01	0,239	0,21	2	4	8	250x 400	37	Não passou, TRF= 118

Tabela 49 - Análise dos pilares da Tampa da Caixa D'água para situação de incêndio

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P5	Pilar	4,5/ 147,4 = 0,03	2	753	0,025	0,612	0,02	2,3	4,6	8	250x 400	41	TRF>TRRF*, TRF= 162
P6	Pilar	4,4/ 106,0 = 0,04	2	555	0,031	0,765	0,02	2,3	4,6	8	200x 400	41	TRF>TRRF*, TRF= 149
P11	Pilar	4,2/ 148,7 = 0,03	2	1480	0,016	0,382	0,02	2,3	4,6	6	300x 400	41	TRF>TRRF*, TRF= 170
P12	Pilar	4,4/ 120,3 = 0,04	2	1278	0,025	0,612	0,02	2,3	4,6	8	250x 400	41	TRF>TRRF*, TRF= 161

**APÊNDICE B - TABELAS COM VALORES PROPOSTOS PARA ADEQUAÇÃO DO
EDIFÍCIO MODELADO EM SITUAÇÃO NORMAL DE TEMPERATURA COM A
NBR 15200 (ABNT, 2012)**

Tabela 50 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Subsolo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	b	c1	Título	b	c1
V1	190	45	V16	190	68
	190	45	V17	240	68
	190	45	V18	190	68
V2	190	45	V19	190	68
	190	45	V20	190	68
	190	45	V21	190	68
V3	190	68	V22	190	68
V4	190	68	V23	190	45
V5	190	45		190	45
	190	45	V24	190	45
V6	190	68		190	45
V7	190	45	V25	190	68
	190	45	V26	190	68
	190	45	V27	190	68
V8	190	68	V28	190	45
V9	190	45		190	45
	190	45		190	45
	190	45	V29	190	68
	190	45	V30	190	68
	190	45	V31	190	45
	190	45		190	45
	190	45	V32	190	68
	190	45			
V10	190	68			
V11	190	45			
	190	45			
	190	45			
	190	45			
	190	45			
	190	45			
	190	45			
V12	190	45			
	190	45			
V13	300	55			
V14	190	68			
V15	190	45			
	190	45			
	190	45			
	190	45			

Tabela 51 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Térreo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	b	c1	Título	b	c1	
V1	300	35	V15	300	35	
	300	35		300	35	
	300	35		300	35	
	300	35		300	35	
	300	35		300	35	
	V2	190	45	V16	300	35
		190	45		300	35
		190	45		300	35
190	45	300	35			
V3	190	45	V17	190	45	
	190	45		190	45	
	190	45	V18	190	68	
V4	190	68	V19	190	68	
V5	190	68	V20	190	45	
V6	190	68		190	45	
	190	68		190	45	
V7	190	45		190	45	
	190	45	V21	190	68	
V8	190	68	V22	240	68	
	190	45	V23	190	68	
	190	45	V24	190	68	
V9	190	45	V25	190	68	
	190	45	V26	190	68	
	190	45	V27	190	68	
V10	190	68	V28	190	45	
V11	190	45		190	45	
	190	45	V29	190	45	
	190	45		190	45	
	190	45	V30	190	68	
	190	45	V31	190	68	
	190	45	V32	190	68	
	190	45	V33	190	45	
	190	45		190	45	
190	45	190		45		
V12	190	68	V34	190	68	
V13	190	45	V35	240	68	
	190	45	V36	190	45	
	190	45		190	45	
	190	45	V37	190	68	
	190	45	V38	300	35	
	190	45		300	35	
	300	35		300	35	
300	35	300		35		
300	35	300		35		

Tabela 52 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Tipo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	b	c1
V1	190	68
V2	190	68
V3	190	68
V4	190	68
V5	190	68
V6	190	45
	190	45
V7	190	68
V8	190	68
V9	190	45
	190	45
	190	45
	190	45
	190	45
	190	45
V10	190	68
V11	190	68
V12	300	68
V13	190	68
V14	190	68
V15	350	68
V16	190	68
V17	190	68
V18	190	45
	190	45
V19	190	68
V20	240	60
V21	190	68
V22	190	68

Tabela 53 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Cobertura de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	b	c1
V1	190	68
V2	190	68
V3	190	68
V4	190	68
V5	190	68
V6	190	45
	190	45
V7	190	68
V8	190	68
V9	190	45
	190	45
	190	45
	190	45
	190	45
	190	45
V10	190	68
V11	190	68
V12	300	68
V13	190	68
V14	190	68
V15	350	68
V16	190	68
V17	190	68
V18	190	45
	190	45
V19	190	68
V20	240	60
V21	190	68
V22	190	68

Tabela 54 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Coberta de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	b	c1
V1	240	60
V2	190	68
V3	190	68
V4	190	68
V5	190	68
V6	190	45
	190	45
V7	190	68
V8	190	68
V9	190	68
V10	190	68
V11	190	45
	190	45
	190	45
	190	45
	190	45
V12	190	68
V13	190	68
V14	190	68
V15	190	68
V16	190	68
V17	190	68
V18	190	68
V19	190	45
	190	45
V20	190	45
	190	45
V21	190	45
V22	190	68
V23	190	68
V24	190	68
V25	190	68

Tabela 55 - Valores Adotados Para Vigas do Pavimento Platô de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	b	cl
V1	190	68
V2	190	68
V3	190	68
V4	190	68

Tabela 56 - Valores Adotados Para Vigas do Fundo da Caixa D'água de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	b	cl
V1	190	68
V2	190	68
V3	190	68
V4	190	68

Tabela 57 - Valores Adotados Para Vigas da Tampa da Caixa D'água de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	b	cl
V1	190	68
V2	190	68
V3	190	68
V4	190	68

Tabela 58 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Subsolo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	h	c1	b	hc
L1	---	45	160	120
L2	---	45	160	120
L3	---	45	160	120
L4	---	45	160	120
L5	---	45	160	120
L6	---	45	160	120
L7	120	28	---	---
L8	120	28	---	---
L9	120	28	---	---
L10	---	45	160	120
L11	---	45	160	120
L12	---	45	160	120
L13	---	45	160	120
L14	---	45	160	120
L15	120	40	---	---
L16	120	28	---	---
L17	120	40	---	---
L18	---	45	160	120
L19	---	45	160	120
L20	---	45	160	120
L21	---	45	160	120
L22	120	40	---	---
L23	120	28	---	---
L24	120	28	---	---
L25	---	45	160	120
L26	---	45	160	120
L27	---	45	160	120
L28	---	45	160	120
L29	---	45	160	120

Tabela 59 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Térreo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	h	c1	b	hc
L1	---	45	160	120
L2	---	45	160	120
L3	---	45	160	120
L4	120	28	---	---
L5	---	45	160	120
L6	---	45	160	120
L7	---	45	160	120
L8	120	28	---	---
L9	120	28	---	---
L10	120	28	---	---
L11	---	45	160	120
L12	---	45	160	120
L13	---	45	160	120
L14	---	45	160	120
L15	---	45	160	120
L16	120	40	---	---
L17	120	28	---	---
L18	120	40	---	---
L19	---	45	160	120
L20	---	45	160	120
L21	---	45	160	120
L22	---	45	160	120
L23	120	40	---	---
L24	120	28	---	---
L25	120	28	---	---
L26	120	28	---	---
L27	---	45	160	120
L28	---	45	160	120
L29	---	45	160	120
L30	---	45	160	120
L31	---	45	160	120

Tabela 60 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Tipo de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	h	c1	b	hc
L1	120	28	---	---
L2	120	28	---	---
L3	120	28	---	---
L4	---	45	160	120
L5	---	45	160	120
L6	---	45	160	120
L7	---	45	160	120
L8	120	40	---	---
L9	120	40	---	---

Tabela 61 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Cobertura de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	h	c1	b	hc
L1	120	28	---	---
L2	120	28	---	---
L3	120	28	---	---
L4	---	45	160	120
L5	---	45	160	120
L6	---	45	160	120
L7	---	45	160	120
L8	120	40	---	---
L9	120	40	---	---

Tabela 62 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Coberta de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	h	c1	b	hc
L1	120	28	---	---
L2	120	28	---	---
L3	120	28	---	---
L4	120	40	---	---
L5	120	28	---	---
L6	120	28	---	---
L7	---	45	160	120
L8	---	45	160	120
L9	120	40	---	---
L10	120	40	---	---

Tabela 63 - Valores Adotados Para Lajes do Pavimento Platô de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	h	c1	b	hc
L1	120	40	---	---

Tabela 64 - Valores Adotados Para Lajes do Fundo da Caixa D'água de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	h	c1	b	hc
L1	---	45	160	120

Tabela 65 - Valores Adotados Para Lajes da Tampa da Caixa D'água de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	h	c1	b	hc
L1	120	28	---	---

Tabela 66 - Valores Adotados Para Pilares de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012)

Título	c1
P1	52,2187
P2	63,1125
P3	58,4438
P4	61,5562
P5	46,3562
P6	37
P7	55,85
P8	62,0748
P9	58,4438
P10	63,1125
P11	55,4312
P12	57,7687
P13	54,9125
P14	54,9124
P15	53,875
P16	45,3187
P17	45,3187
P18	45,3187
P19	56,7312
P20	56,2125
P21	56,2125
P22	48,425
P23	57,2498
P24	45,3187
PL1	34,3938
PL2	34,3938
PL3	34,3938

**APÊNDICE C - TABELAS COM NOVOS RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO DE
INCÊNDIO PARA EDIFÍCIO REMODELADO PARA SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Tabela 67 - Nova análise das vigas do subsolo para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	70	OK
		3	190	68	OK
V2	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	68	OK
		3	190	68	OK
V3	Biapoiada	1	190	72	OK
V4	Biapoiada	1	190	70	OK
V5	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	68	OK
V6	Biapoiada	1	190	68	OK
V7	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	68	OK
		3	190	72	OK
V8	Biapoiada	1	190	70	OK
V9	Contínua	1	190	68	OK
		2	190	70	OK
		3	190	69	OK
		4	190	70	OK
		5	190	70	OK
		6	190	68	OK
		7	190	70	OK
		8	190	70	OK
V10	Biapoiada	1	190	68	OK
V11	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	68	OK
		3	190	70	OK
		4	190	69	OK
		5	190	72	OK
		6	190	70	OK
		7	190	70	OK

Tabela 68 - Nova análise das vigas do subsolo para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V12	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	70	OK
V13	Biapoiada	1	300	72	OK
V14	Biapoiada	1	190	72	OK
V15	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	72	OK
		3	190	70	OK
		4	190	68	OK
V16	Biapoiada	1	190	70	OK
V17	Biapoiada	1	240	78	OK
V18	Biapoiada	1	190	72	OK
V19	Biapoiada	1	190	68	OK
V20	Biapoiada	1	190	69	OK
V21	Biapoiada	1	190	68	OK
V22	Biapoiada	1	190	69	OK
V23	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	70	OK
V24	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	70	OK
V25	Biapoiada	1	190	70	OK
V26	Biapoiada	1	190	68	OK
V27	Biapoiada	1	190	70	OK
V28	Contínua	1	190	69	OK
		2	190	70	OK
		3	190	68	OK
V29	Biapoiada	1	190	70	OK
V30	Biapoiada	1	190	73	OK
V31	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	69	OK
V32	Biapoiada	1	190	72	OK

Tabela 69 - Nova análise das vigas do térreo para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Contínua	1	300	69	OK
		2	300	70	OK
		3	300	69	OK
		4	300	70	OK
		5	300	70	OK
		6	300	69	OK
		7	300	69	OK
		8	300	70	OK
		9	300	69	OK
V2	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	70	OK
		3	190	68	OK
V3	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	68	OK
		3	190	68	OK
V4	Biapoiada	1	190	72	OK
V5	Biapoiada	1	190	70	OK
V6	Biapoiada	1	190	68	OK
V7	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	68	OK
V8	Biapoiada	1	190	68	OK
V9	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	68	OK
		3	190	72	OK
V10	Biapoiada	1	190	70	OK
V11	Contínua	1	190	68	OK
		2	190	70	OK
		3	190	69	OK
		4	190	70	OK
		5	190	70	OK
		6	190	68	OK
		7	190	70	OK
		8	190	70	OK
V12	Biapoiada	1	190	68	OK
V13	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	68	OK
		3	190	70	OK
		4	190	69	OK
		5	190	72	OK
		6	190	70	OK
		7	190	70	OK
V14	Contínua	1	300	69	OK
		2	300	70	OK
		3	300	69	OK
		4	300	70	OK

Tabela 70 - Nova análise das vigas do térreo para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V15	Contínua	1	300	69	OK
		2	300	70	OK
		3	300	70	OK
		4	300	70	OK
		5	300	69	OK
V16	Contínua	1	300	69	OK
		2	300	69	OK
		3	300	70	OK
		4	300	69	OK
		5	300	70	OK
V17	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	70	OK
V18	Biapoiada	1	190	70	OK
V19	Biapoiada	1	190	72	OK
V20	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	72	OK
		3	190	72	OK
		4	190	70	OK
V21	Biapoiada	1	190	70	OK
V22	Biapoiada	1	240	78	OK
V23	Biapoiada	1	190	72	OK
V24	Biapoiada	1	190	68	OK
V25	Biapoiada	1	190	69	OK
V26	Biapoiada	1	190	68	OK
V27	Biapoiada	1	190	69	OK
V28	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	70	OK
V29	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	70	OK
V30	Biapoiada	1	190	70	OK
V31	Biapoiada	1	190	68	OK
V32	Biapoiada	1	190	70	OK
V33	Contínua	1	190	69	OK
		2	190	70	OK
		3	190	68	OK
V34	Biapoiada	1	190	70	OK
V35	Biapoiada	1	240	72	OK
V36	Contínua	1	190	72	OK
		2	190	69	OK
V37	Biapoiada	1	190	72	OK
V38	Contínua	1	300	69	OK
		2	300	69	OK
		3	300	70	OK
		4	300	69	OK
		5	300	70	OK

Tabela 71 - Nova análise das vigas do pavimento tipo para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	190	70	OK
V2	Biapoiada	1	190	68	OK
V3	Biapoiada	1	190	68	OK
V4	Biapoiada	1	190	73	OK
V5	Biapoiada	1	190	73	OK
V6	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	72	OK
V7	Biapoiada	1	190	70	OK
V8	Biapoiada	1	190	70	OK
V9	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	68	OK
		3	190	70	OK
		4	190	70	OK
		5	190	70	OK
		6	190	70	OK
V10	Biapoiada	1	190	72	OK
V11	Biapoiada	1	190	68	OK
V12	Biapoiada	1	300	73	OK
V13	Biapoiada	1	190	72	OK
V14	Biapoiada	1	190	69	OK
V15	Biapoiada	1	350	68	OK
V16	Biapoiada	1	190	68	OK
V17	Biapoiada	1	190	69	OK
V18	Contínua	1	190	69	OK
		2	190	69	OK
V19	Biapoiada	1	190	73	OK
V20	Biapoiada	1	240	68	OK
V21	Biapoiada	1	190	68	OK
V22	Biapoiada	1	190	73	OK

Tabela 72 - Nova análise das vigas da cobertura para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	190	70	OK
V2	Biapoiada	1	190	68	OK
V3	Biapoiada	1	190	68	OK
V4	Biapoiada	1	190	72	OK
V5	Biapoiada	1	190	68	OK
V6	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	68	OK
V7	Biapoiada	1	190	70	OK
V8	Biapoiada	1	190	70	OK
V9	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	68	OK
		3	190	70	OK
		4	190	68	OK
		5	190	70	OK
		6	190	70	OK
V10	Biapoiada	1	190	70	OK
V11	Biapoiada	1	190	68	OK
V12	Biapoiada	1	300	69	OK
V13	Biapoiada	1	190	70	OK
V14	Biapoiada	1	190	69	OK
V15	Biapoiada	1	350	68	OK
V16	Biapoiada	1	190	68	OK
V17	Biapoiada	1	190	69	OK
V18	Contínua	1	190	69	OK
		2	190	69	OK
V19	Biapoiada	1	190	70	OK
V20	Biapoiada	1	240	68	OK
V21	Biapoiada	1	190	68	OK
V22	Biapoiada	1	190	70	OK

Tabela 73 - Nova análise das vigas da cobertura para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	240	70	OK
V2	Biapoiada	1	190	68	OK
V3	Biapoiada	1	190	68	OK
V4	Biapoiada	1	190	70	OK
V5	Biapoiada	1	190	68	OK
V6	Contínua	1	190	68	OK
		2	190	68	OK
V7	Biapoiada	1	190	70	OK
V8	Biapoiada	1	190	68	OK
V9	Biapoiada	1	190	70	OK
V10	Biapoiada	1	190	68	OK
V11	Contínua	1	190	70	OK
		2	190	72	OK
		3	190	68	OK
		4	190	72	OK
		5	190	70	OK
V12	Biapoiada	1	190	70	OK
V13	Biapoiada	1	190	68	OK
V14	Biapoiada	1	190	73	OK
V15	Biapoiada	1	190	70	OK
V16	Biapoiada	1	190	69	OK
V17	Biapoiada	1	190	69	OK
V18	Biapoiada	1	190	69	OK
V19	Contínua	1	190	69	OK
		2	190	69	OK
V20	Contínua	1	190	68	OK
		2	190	70	OK
V21	Contínua	1	190	69	OK
V22	Biapoiada	1	190	70	OK
V23	Biapoiada	1	190	69	OK
V24	Biapoiada	1	190	68	OK
V25	Biapoiada	1	190	70	OK

Tabela 74 - Nova análise das vigas do platô para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	190	70	OK
V2	Biapoiada	1	190	68	OK
V3	Biapoiada	1	190	69	OK
V4	Biapoiada	1	190	68	OK

Tabela 75 - Nova análise das vigas do fundo da caixa d'água para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	190	73	OK
V2	Biapoiada	1	190	75	OK
V3	Biapoiada	1	190	73	OK
V4	Biapoiada	1	190	73	OK

Tabela 76 - Nova análise das vigas da tampa da caixa d'água para situação de incêndio

Título	Tipo	Vão	b	c1	Situação
V1	Biapoiada	1	190	68	OK
V2	Biapoiada	1	190	68	OK
V3	Biapoiada	1	190	68	OK
V4	Biapoiada	1	190	68	OK

Tabela 77 - Nova análise das lajes do subsolo para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L2	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L3	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L4	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L5	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L6	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L7	Apoiada	2 dir.	1.9	120	48	---	---	OK
L8	Apoiada	2 dir.	1.5	120	48	---	---	OK
L9	Apoiada	2 dir.	1.6	120	48	---	---	OK
L10	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L11	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L12	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L13	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L14	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L15	Apoiada	1 dir.	2.7	120	48	---	---	OK
L16	Apoiada	2 dir.	1.1	120	48	---	---	OK
L17	Apoiada	1 dir.	2.1	120	48	---	---	OK
L18	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L19	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L20	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L21	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L22	Apoiada	1 dir.	2.2	120	48	---	---	OK
L23	Apoiada	2 dir.	1.8	120	48	---	---	OK
L24	Apoiada	2 dir.	1.8	120	48	---	---	OK
L25	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L26	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L27	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L28	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L29	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK

Tabela 78 - Nova análise das lajes do térreo para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L2	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L3	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L4	Apoiada	2 dir.	1.2	120	48	---	---	OK
L5	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L6	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L7	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L8	Apoiada	2 dir.	1.5	120	48	---	---	OK
L9	Apoiada	2 dir.	1.1	120	48	---	---	OK
L10	Apoiada	2 dir.	1.6	120	48	---	---	OK
L11	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L12	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L13	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L14	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L15	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L16	Apoiada	1 dir.	2.7	120	48	---	---	OK
L17	Apoiada	2 dir.	1.1	120	48	---	---	OK
L18	Apoiada	1 dir.	2.1	120	48	---	---	OK
L19	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L20	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L21	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L22	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L23	Apoiada	1 dir.	2.2	120	48	---	---	OK
L24	Apoiada	2 dir.	1.8	120	48	---	---	OK
L25	Apoiada	2 dir.	1.2	120	48	---	---	OK
L26	Apoiada	2 dir.	1.7	120	48	---	---	OK
L27	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L28	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L29	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L30	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L31	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK

Tabela 79 - Nova análise das lajes do pavimento tipo para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Apoiada	2 dir.	1.9	120	48	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.5	120	48	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.6	120	48	---	---	OK
L4	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L5	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L6	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L7	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L8	Apoiada	1 dir.	2.8	120	48	---	---	OK
L9	Apoiada	1 dir.	2.8	120	48	---	---	OK

Tabela 80 - Nova análise das lajes da cobertura para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Apoiada	2 dir.	1.9	120	48	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.5	120	48	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.6	120	48	---	---	OK
L4	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L5	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L6	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L7	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L8	Apoiada	1 dir.	2.8	120	48	---	---	OK
L9	Apoiada	1 dir.	2.8	120	48	---	---	OK

Tabela 81 - Nova análise das lajes da coberta para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Apoiada	2 dir.	1.9	120	48	---	---	OK
L2	Apoiada	2 dir.	1.6	120	48	---	---	OK
L3	Apoiada	2 dir.	1.6	120	48	---	---	OK
L4	Apoiada	1 dir.	3.8	120	48	---	---	OK
L5	Apoiada	2 dir.	1.2	120	48	---	---	OK
L6	Apoiada	2 dir.	1.9	120	48	---	---	OK
L7	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L8	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK
L9	Apoiada	1 dir.	2.8	120	48	---	---	OK
L10	Apoiada	1 dir.	2.8	120	48	---	---	OK

Tabela 82 - Nova análise das lajes do platô para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Apoiada	1 dir.	2.2	120	43	---	---	OK

Tabela 83 - Nova análise das lajes do fundo da caixa d'água para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Nervurada contínua	---	---	---	48	160	120	OK

Tabela 84 - Nova análise das lajes da tampa da caixa d'água para situação de incêndio

Título	Tipo	Dir. As	Ly/Lx	h	c1	b	hc	Situação
L1	Apoiada	2 dir.	1.2	120	31	---	---	OK

Tabela 85 - Nova análise dos pilares do subsolo para situação de incêndio

Título	Tipo	Nsdi/NRD	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P1	Pilar	12.0/ 71.6 = 0.17	2	7	0.008	0.191	0.20	2.8	5.6	4	200x 200	65	OK, TRF= 153
P2	Pilar	31.9/ 87.0 = 0.37	2	5	0.020	0.490	0.43	2.8	5.6	4	200x 200	69	OK, TRF= 134
P3	Pilar	25.2/ 69.4 = 0.36	2	7	0.008	0.191	0.42	2.8	5.6	4	200x 200	65	OK, TRF= 122
P4	Pilar	30.2/ 87.3 = 0.35	2	8	0.020	0.490	0.41	2.8	5.6	4	200x 200	69	OK, TRF= 138
P5	Pilar	159.5/ 500.9 = 0.32	2	2	0.004	0.100	0.39	2.8	5.6	10	250x 1200	67	OK, TRF= 179
P6	Parede	180.6/ 458.8 = 0.39	2	1	0.010	0.245	0.48	2.8	5.6	12	200x 1200	69	OK, TRF= 0
P7	Pilar	21.6/ 71.2 = 0.30	2	5	0.008	0.191	0.36	2.8	5.6	4	200x 200	65	OK, TRF= 131
P8	Pilar	59.5/ 147.1 = 0.40	2	11	0.005	0.133	0.47	2.8	5.6	4	300x 300	67	OK, TRF= 140
P9	Pilar	28.4/ 89.0 = 0.32	2	5	0.020	0.490	0.38	2.8	5.6	4	200x 200	69	OK, TRF= 142
P10	Pilar	54.6/ 150.9 = 0.36	2	8	0.005	0.133	0.43	2.8	5.6	4	300x 300	67	OK, TRF= 147
P11	Pilar	621.6/ 1205.5 = 0.52	2	1	0.031	0.744	0.63	2.8	5.6	28	300x 1500	75	OK, TRF= 183
P12	Pilar	446.7/ 948.6 = 0.47	2	2	0.043	1.036	0.59	2.8	5.6	26	250x 1200	75	TRF>TRRF*, TRF= 179
P13	Pilar	523.2/ 1032.8 = 0.51	2	5	0.021	0.510	0.62	2.8	5.6	30	300x 1500	71	OK, TRF= 170
P14	Pilar	500.3/ 981.8 = 0.51	2	2	0.020	0.492	0.62	2.8	5.6	28	300x 1450	71	OK, TRF= 170
P15	Pilar	456.4/ 963.2 = 0.47	2	0	0.019	0.457	0.58	2.8	5.6	26	300x 1450	71	OK, TRF= 176
P16	Pilar	115.2/ 395.8 = 0.29	2	5	0.004	0.098	0.34	2.8	5.6	8	250x 980	67	OK, TRF= 184
P17	Pilar	118.7/ 404.4 = 0.29	2	2	0.004	0.098	0.35	2.8	5.6	8	250x 980	67	OK, TRF= 183
P18	Pilar	141.4/ 471.0 = 0.30	2	3	0.004	0.104	0.36	2.8	5.6	10	250x 1150	67	OK, TRF= 182
P19	Pilar	353.7/ 774.7 = 0.46	2	3	0.031	0.748	0.56	2.8	5.6	18	250x 1150	75	OK, TRF= 182
P20	Pilar	407.5/ 791.5 = 0.51	2	5	0.012	0.304	0.62	2.8	5.6	16	350x 1150	71	OK, TRF= 180
P21	Pilar	600.6/ 1189.7 = 0.50	2	4	0.037	0.891	0.63	2.8	5.6	30	350x 1150	75	OK, TRF= 197
P22	Pilar	646.1/ 1275.3 = 0.51	2	1	0.041	1.010	0.64	2.8	5.6	34	350x 1150	75	TRF>TRRF*, TRF= 196
P23	Pilar	337.6/ 733.4 = 0.46	2	4	0.027	0.665	0.56	2.8	5.6	16	250x 1150	75	OK, TRF= 181
P24	Pilar	154.8/ 478.2 = 0.32	2	1	0.004	0.104	0.39	2.8	5.6	10	250x 1150	67	OK, TRF= 178

Tabela 86 - Nova análise dos pilares do térreo para situação de incêndio

Titulo	Tipo	Nsdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P1	Pilar	6.3/ 71.7 = 0.09	2	11	0.008	0.191	0.11	2.8	5.6	4	200x 200	65	OK, TRF= 166
P2	Pilar	15.9/ 67.0 = 0.24	2	15	0.008	0.191	0.27	2.8	5.6	4	200x 200	65	OK, TRF= 142
P3	Pilar	14.0/ 68.2 = 0.20	2	16	0.008	0.191	0.23	2.8	5.6	4	200x 200	65	OK, TRF= 147
P4	Pilar	16.8/ 65.8 = 0.26	2	21	0.008	0.191	0.28	2.8	5.6	4	200x 200	65	OK, TRF= 139
P5	Pilar	141.2/ 485.0 = 0.29	2	9	0.004	0.100	0.34	2.8	5.6	10	250x 1200	67	OK, TRF= 184
P6	Parede	164.4/ 414.5 = 0.40	2	2	0.006	0.149	0.48	2.8	5.6	12	200x 1200	67	OK, TRF= 0
P7	Pilar	11.3/ 70.5 = 0.16	2	11	0.008	0.191	0.19	2.8	5.6	4	200x 200	65	OK, TRF= 154
P8	Pilar	31.0/ 138.6 = 0.22	2	40	0.005	0.133	0.24	2.8	5.6	4	300x 300	67	OK, TRF= 170
P9	Pilar	13.4/ 67.8 = 0.20	2	18	0.008	0.191	0.23	2.8	5.6	4	200x 200	65	OK, TRF= 148
P10	Pilar	27.3/ 146.6 = 0.19	2	27	0.005	0.133	0.21	2.8	5.6	4	300x 300	67	OK, TRF= 177
P11	Pilar	581.1/ 1122.6 = 0.52	2	0	0.026	0.637	0.63	2.8	5.6	24	300x 1500	75	OK, TRF= 183
P12	Pilar	418.4/ 943.7 = 0.44	2	2	0.043	1.036	0.55	2.8	5.6	26	250x 1200	75	TRF>TRRF*, TRF= 184
P13	Pilar	488.1/ 1005.1 = 0.49	2	6	0.020	0.476	0.59	2.8	5.6	28	300x 1500	71	OK, TRF= 174
P14	Pilar	472.1/ 916.0 = 0.52	2	1	0.016	0.387	0.63	2.8	5.6	22	300x 1450	71	OK, TRF= 169
P15	Pilar	428.5/ 844.7 = 0.51	2	3	0.012	0.293	0.61	2.8	5.6	26	300x 1450	69	OK, TRF= 163
P16	Pilar	103.4/ 391.0 = 0.26	2	12	0.004	0.098	0.31	2.8	5.6	8	250x 980	67	OK, TRF= 189
P17	Pilar	109.7/ 404.2 = 0.27	2	5	0.004	0.098	0.33	2.8	5.6	8	250x 980	67	OK, TRF= 187
P18	Pilar	127.1/ 456.3 = 0.28	2	12	0.004	0.104	0.32	2.8	5.6	10	250x 1150	67	OK, TRF= 186
P19	Pilar	327.0/ 764.5 = 0.43	2	4	0.031	0.748	0.52	2.8	5.6	18	250x 1150	75	OK, TRF= 187
P20	Pilar	378.1/ 671.5 = 0.56	2	9	0.008	0.195	0.63	2.8	5.6	16	350x 1150	69	OK, TRF= 165
P21	Pilar	574.0/ 1089.0 = 0.53	2	6	0.032	0.772	0.64	2.8	5.6	26	350x 1150	75	OK, TRF= 193
P22	Pilar	603.9/ 1151.3 = 0.52	2	3	0.037	0.891	0.63	2.8	5.6	30	350x 1150	75	OK, TRF= 193
P23	Pilar	313.7/ 719.8 = 0.44	2	5	0.027	0.665	0.52	2.8	5.6	16	250x 1150	75	OK, TRF= 186
P24	Pilar	138.3/ 479.3 = 0.29	2	2	0.004	0.104	0.35	2.8	5.6	10	250x 1150	67	OK, TRF= 184

Tabela 87 - Nova análise dos pilares do pavimento tipo para situação de incêndio

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P5	Pilar	120.8/ 495.1 = 0.24	2	5	0.004	0.100	0.29	3.1	6.1	10	250x 1200	67	TRF>TRRF*, TRF= 181
P6	Parede	145.9/ 417.2 = 0.35	2	1	0.006	0.149	0.42	3.1	6.1	12	200x 1200	67	OK, TRF= 0
P11	Pilar	533.6/ 1084.4 = 0.49	2	1	0.024	0.584	0.60	3.1	6.1	22	300x 1500	75	TRF>TRRF*, TRF= 176
P12	Pilar	386.3/ 898.9 = 0.43	2	4	0.039	0.956	0.53	3.1	6.1	24	250x 1200	75	TRF>TRRF*, TRF= 176
P13	Pilar	448.3/ 961.8 = 0.47	2	12	0.020	0.476	0.54	3.1	6.1	28	300x 1500	71	TRF>TRRF*, TRF= 167
P14	Pilar	436.5/ 808.0 = 0.54	2	12	0.013	0.317	0.61	3.1	6.1	18	300x 1450	71	TRF>TRRF*, TRF= 154
P15	Pilar	402.8/ 761.6 = 0.53	2	7	0.008	0.203	0.62	3.1	6.1	18	300x 1450	69	TRF>TRRF*, TRF= 150
P16	Pilar	92.4/ 400.7 = 0.23	2	7	0.004	0.098	0.27	3.1	6.1	8	250x 980	67	TRF>TRRF*, TRF= 184
P17	Pilar	101.1/ 405.7 = 0.25	2	3	0.004	0.098	0.30	3.1	6.1	8	250x 980	67	TRF>TRRF*, TRF= 181
P18	Pilar	110.0/ 464.2 = 0.24	2	10	0.004	0.104	0.28	3.1	6.1	10	250x 1150	67	TRF>TRRF*, TRF= 183
P19	Pilar	301.2/ 740.5 = 0.41	2	9	0.031	0.748	0.48	3.1	6.1	18	250x 1150	75	TRF>TRRF*, TRF= 180
P20	Pilar	344.9/ 639.5 = 0.54	2	9	0.005	0.119	0.61	3.1	6.1	16	350x 1150	67	TRF>TRRF*, TRF= 153
P21	Pilar	546.3/ 1013.9 = 0.54	2	5	0.029	0.713	0.63	3.1	6.1	24	350x 1150	75	TRF>TRRF*, TRF= 180
P22	Pilar	559.2/ 1074.0 = 0.52	2	2	0.032	0.772	0.63	3.1	6.1	26	350x 1150	75	TRF>TRRF*, TRF= 183
P23	Pilar	289.8/ 651.6 = 0.44	2	12	0.024	0.582	0.51	3.1	6.1	14	250x 1150	75	TRF>TRRF*, TRF= 173
P24	Pilar	121.7/ 472.9 = 0.26	2	4	0.004	0.104	0.31	3.1	6.1	10	250x 1150	67	TRF>TRRF*, TRF= 179

Tabela 88 - Nova análise dos pilares da cobertura para situação de incêndio

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P5	Pilar	46.4/ 481.3 = 0.10	2	32	0.004	0.100	0.11	2.9	5.8	10	250x 1200	67	OK, TRF= 217
P6	Parede	49.4/ 381.5 = 0.13	2	18	0.004	0.096	0.15	2.9	5.8	12	200x 1200	65	OK, TRF= 0
P11	Pilar	104.2/ 552.7 = 0.19	2	9	0.005	0.116	0.21	2.9	5.8	14	300x 1200	67	OK, TRF= 212
P12	Pilar	84.1/ 461.0 = 0.18	2	32	0.004	0.100	0.20	2.9	5.8	10	250x 1200	67	OK, TRF= 200
P13	Pilar	55.2/ 666.0 = 0.08	2	152	0.005	0.120	0.09	2.9	5.8	18	300x 1500	67	TRF>TRRF*, TRF= 232
P14	Pilar	54.4/ 619.6 = 0.09	2	146	0.005	0.110	0.09	2.9	5.8	16	300x 1450	67	TRF>TRRF*, TRF= 231
P15	Pilar	50.5/ 641.6 = 0.08	2	105	0.004	0.096	0.08	2.9	5.8	14	300x 1450	67	TRF>TRRF*, TRF= 233
P16	Pilar	11.5/ 391.8 = 0.03	2	90	0.004	0.098	0.03	2.9	5.8	8	250x 980	67	TRF>TRRF*, TRF= 230
P17	Pilar	12.4/ 390.0 = 0.03	2	95	0.004	0.098	0.04	2.9	5.8	8	250x 980	67	TRF>TRRF*, TRF= 230
P18	Pilar	15.9/ 467.7 = 0.03	2	59	0.004	0.104	0.04	2.9	5.8	10	250x 1150	67	TRF>TRRF*, TRF= 229
P19	Pilar	37.7/ 433.4 = 0.09	2	87	0.004	0.104	0.10	2.9	5.8	10	250x 1150	68	TRF>TRRF*, TRF= 219
P20	Pilar	52.1/ 635.4 = 0.08	2	101	0.005	0.119	0.09	2.9	5.8	16	350x 1150	67	TRF>TRRF*, TRF= 246
P21	Pilar	38.4/ 550.3 = 0.07	2	102	0.006	0.148	0.07	2.9	5.8	20	350x 1150	67	TRF>TRRF*, TRF= 248
P22	Pilar	67.5/ 632.1 = 0.11	2	34	0.005	0.119	0.12	2.9	5.8	16	350x 1150	67	OK, TRF= 241
P23	Pilar	36.7/ 414.3 = 0.09	2	125	0.004	0.104	0.09	2.9	5.8	10	250x 1150	68	TRF>TRRF*, TRF= 218
P24	Pilar	17.2/ 462.8 = 0.04	2	84	0.004	0.104	0.04	2.9	5.8	10	250x 1150	67	TRF>TRRF*, TRF= 229

Tabela 89 - Nova análise dos pilares da cobertura para situação de incêndio

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P5	Pilar	39.9/ 464.2 = 0.09	2	19	0.004	0.100	0.10	2.9	5.8	10	250x 1200	67	OK, TRF= 219
P6	Parede	41.6/ 363.2 = 0.11	2	5	0.004	0.096	0.13	2.9	5.8	12	200x 1200	65	OK, TRF= 0
P11	Pilar	69.2/ 510.9 = 0.14	2	47	0.005	0.116	0.14	2.9	5.8	14	300x 1200	67	TRF>TRRF*, TRF= 222
P12	Pilar	59.4/ 427.3 = 0.14	2	39	0.004	0.100	0.14	2.9	5.8	10	250x 1200	67	TRF>TRRF*, TRF= 209
P13	Pilar	21.9/ 693.5 = 0.03	2	306	0.005	0.120	0.03	2.9	5.8	18	300x 1500	67	TRF>TRRF*, TRF= 243
P14	Pilar	22.9/ 627.2 = 0.04	2	391	0.005	0.110	0.04	2.9	5.8	16	300x 1450	67	TRF>TRRF*, TRF= 242
P15	Pilar	21.5/ 652.0 = 0.03	2	263	0.004	0.096	0.04	2.9	5.8	14	300x 1450	67	TRF>TRRF*, TRF= 242
P16	Pilar	4.8/ 398.9 = 0.01	2	253	0.004	0.098	0.01	2.9	5.8	8	250x 980	67	TRF>TRRF*, TRF= 234
P17	Pilar	5.2/ 396.0 = 0.01	2	267	0.004	0.098	0.02	2.9	5.8	8	250x 980	67	TRF>TRRF*, TRF= 233
P18	Pilar	7.2/ 460.9 = 0.02	2	145	0.004	0.104	0.02	2.9	5.8	10	250x 1150	67	TRF>TRRF*, TRF= 233
P19	Pilar	15.7/ 430.5 = 0.04	2	227	0.004	0.104	0.04	2.9	5.8	10	250x 1150	68	TRF>TRRF*, TRF= 229
P20	Pilar	27.6/ 612.8 = 0.04	2	93	0.005	0.119	0.05	2.9	5.8	16	350x 1150	67	TRF>TRRF*, TRF= 253
P22	Pilar	27.6/ 606.7 = 0.05	2	76	0.005	0.119	0.05	2.9	5.8	16	350x 1150	67	TRF>TRRF*, TRF= 253
P23	Pilar	15.4/ 417.5 = 0.04	2	267	0.004	0.104	0.04	2.9	5.8	10	250x 1150	68	TRF>TRRF*, TRF= 229
P24	Pilar	7.6/ 460.7 = 0.02	2	214	0.004	0.104	0.02	2.9	5.8	10	250x 1150	67	TRF>TRRF*, TRF= 233

Tabela 90 - Nova análise dos pilares do platô para situação de incêndio

Titulo	Tipo	Nsdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P5	Pilar	32.2/ 154.6 = 0.21	2	46	0.007	0.179	0.22	3.4	6.9	6	250x 400	67	TRF>TRRF*, TRF= 172
P6	Pilar	32.8/ 303.2 = 0.11	2	29	0.065	1.589	0.13	3.4	6.9	13	200x 400	69	TRF>TRRF*, TRF= 185
P11	Pilar	36.2/ 202.5 = 0.18	2	28	0.008	0.199	0.20	3.4	6.9	8	300x 400	67	TRF>TRRF*, TRF= 186
P12	Pilar	35.5/ 238.4 = 0.15	2	58	0.032	0.777	0.16	3.4	6.9	11	250x 400	67	TRF>TRRF*, TRF= 183
PL1	Pilar	2.9/ 98.3 = 0.03	2	845	0.020	0.490	0.02	1.7	3.4	4	250x 250	71	TRF>TRRF*, TRF= 259
PL2	Pilar	1.7/ 99.6 = 0.02	2	640	0.008	0.191	0.02	1.7	3.4	4	250x 250	67	TRF>TRRF*, TRF= 247
PL3	Pilar	1.9/ 101.9 = 0.02	2	337	0.008	0.191	0.02	1.7	3.4	4	250x 250	67	TRF>TRRF*, TRF= 246

Tabela 91 - Nova análise dos pilares do fundo da caixa d'água para situação de incêndio

Titulo	Tipo	NScii/NRcd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P5	Pilar	31.8/ 110.3 = 0.29	2	69	0.007	0.179	0.22	2.0	4.0	6	250x 400	67	TRF>TRRF*, TRF= 219
P6	Pilar	32.5/ 220.0 = 0.15	2	40	0.065	1.589	0.13	2.0	4.0	13	200x 400	69	TRF>TRRF*, TRF= 241
P11	Pilar	34.6/ 143.8 = 0.24	2	117	0.008	0.199	0.19	2.0	4.0	8	300x 400	67	TRF>TRRF*, TRF= 238
P12	Pilar	35.1/ 148.5 = 0.24	2	86	0.032	0.777	0.16	2.0	4.0	11	250x 400	67	TRF>TRRF*, TRF= 229

Tabela 92 - Nova análise dos pilares da tampa da caixa d'água para situação de incêndio

Titulo	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P5	Pilar	5.3/ 115.2 = 0.05	2	632	0.031	0.765	0.02	2.3	4.6	10	250x 400	71	TRF>TRRF*, TRF= 271
P6	Pilar	5.2/ 121.6 = 0.04	2	417	0.061	1.494	0.02	2.3	4.6	10	200x 400	75	TRF>TRRF*, TRF= 275
P11	Pilar	5.1/ 148.9 = 0.03	2	1087	0.021	0.510	0.02	2.3	4.6	8	300x 400	71	TRF>TRRF*, TRF= 283
P12	Pilar	5.2/ 124.4 = 0.04	2	881	0.029	0.717	0.02	2.3	4.6	6	250x 400	75	TRF>TRRF*, TRF= 289

APÊNDICE D - PLANTAS DE FORMAS UTILIZADAS PARA MODELAGEM NO PROGRAMA TQS

Figura 38 - Modelo laje nervurada utilizada no Subsolo e no Térreo

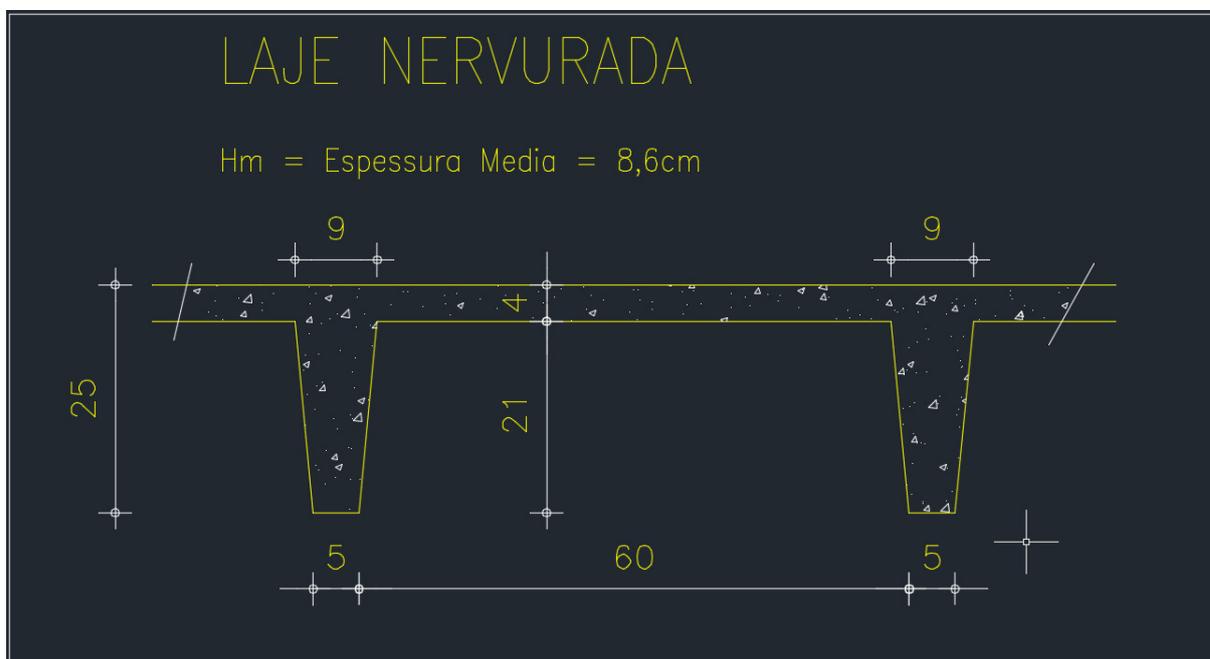
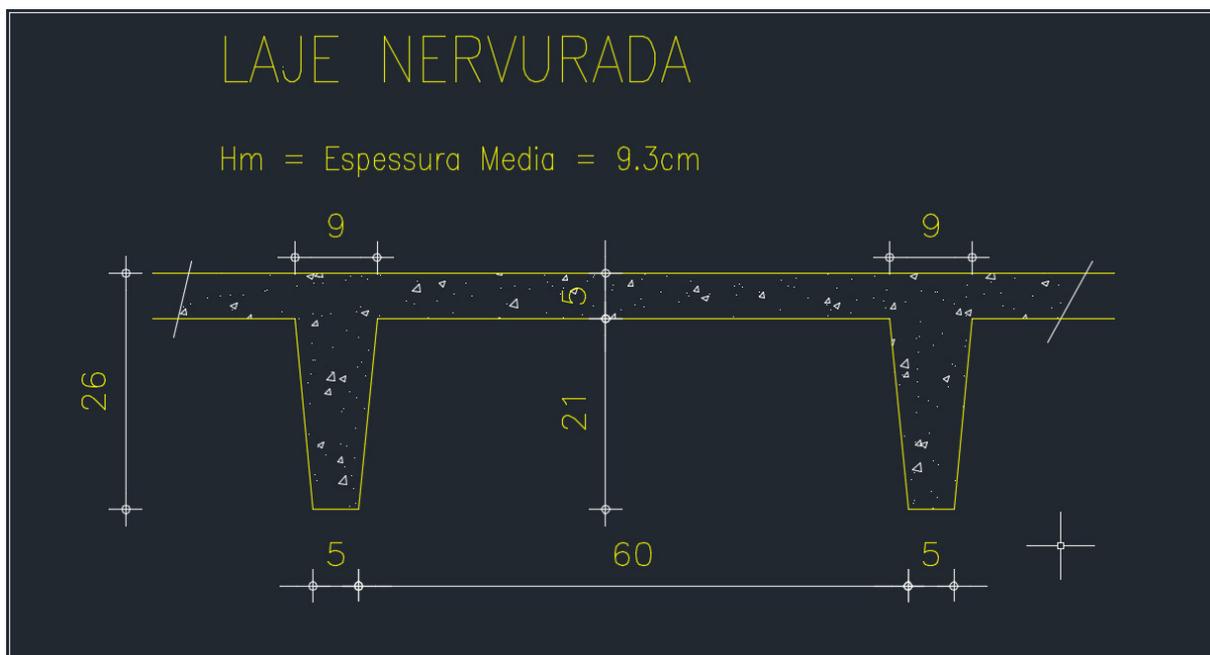
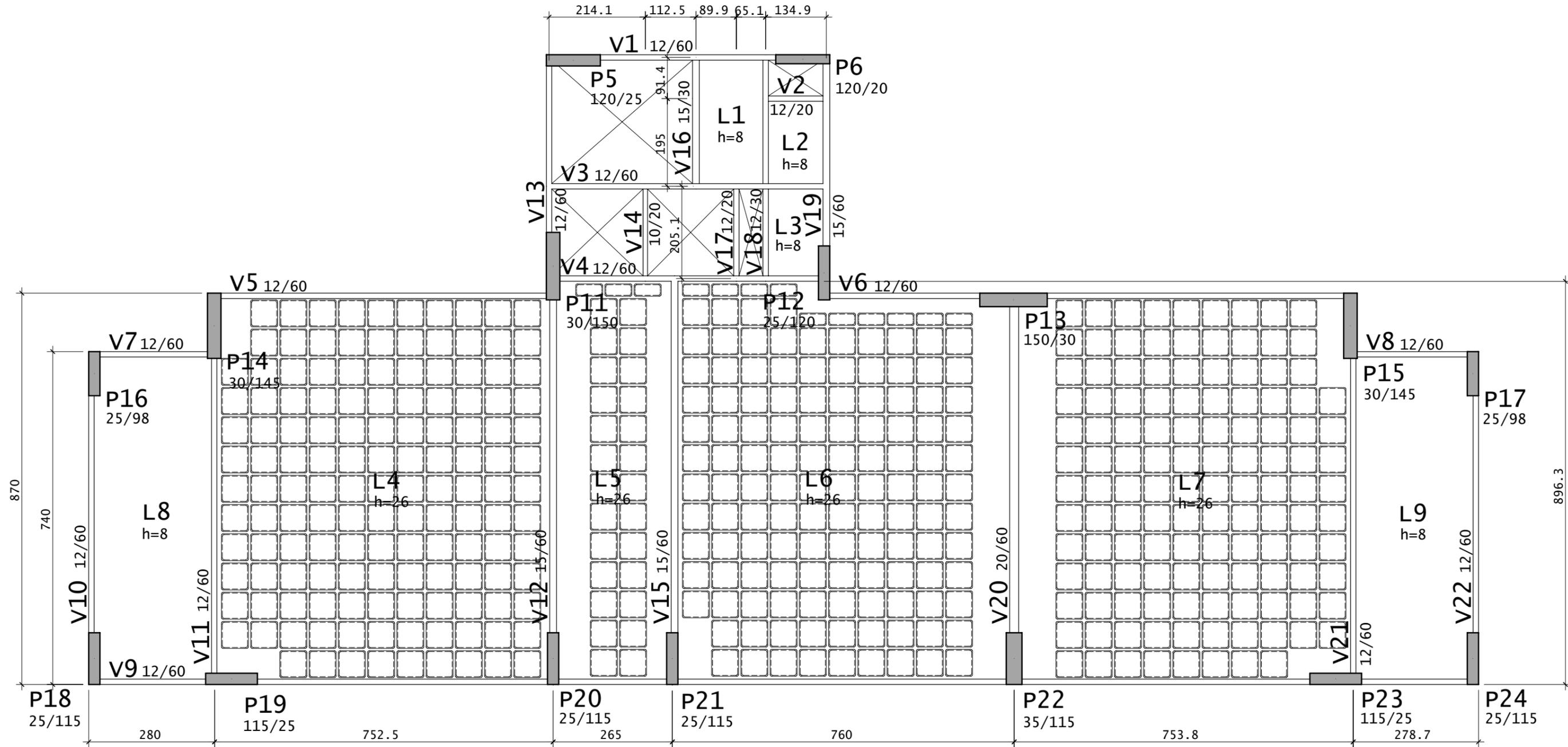


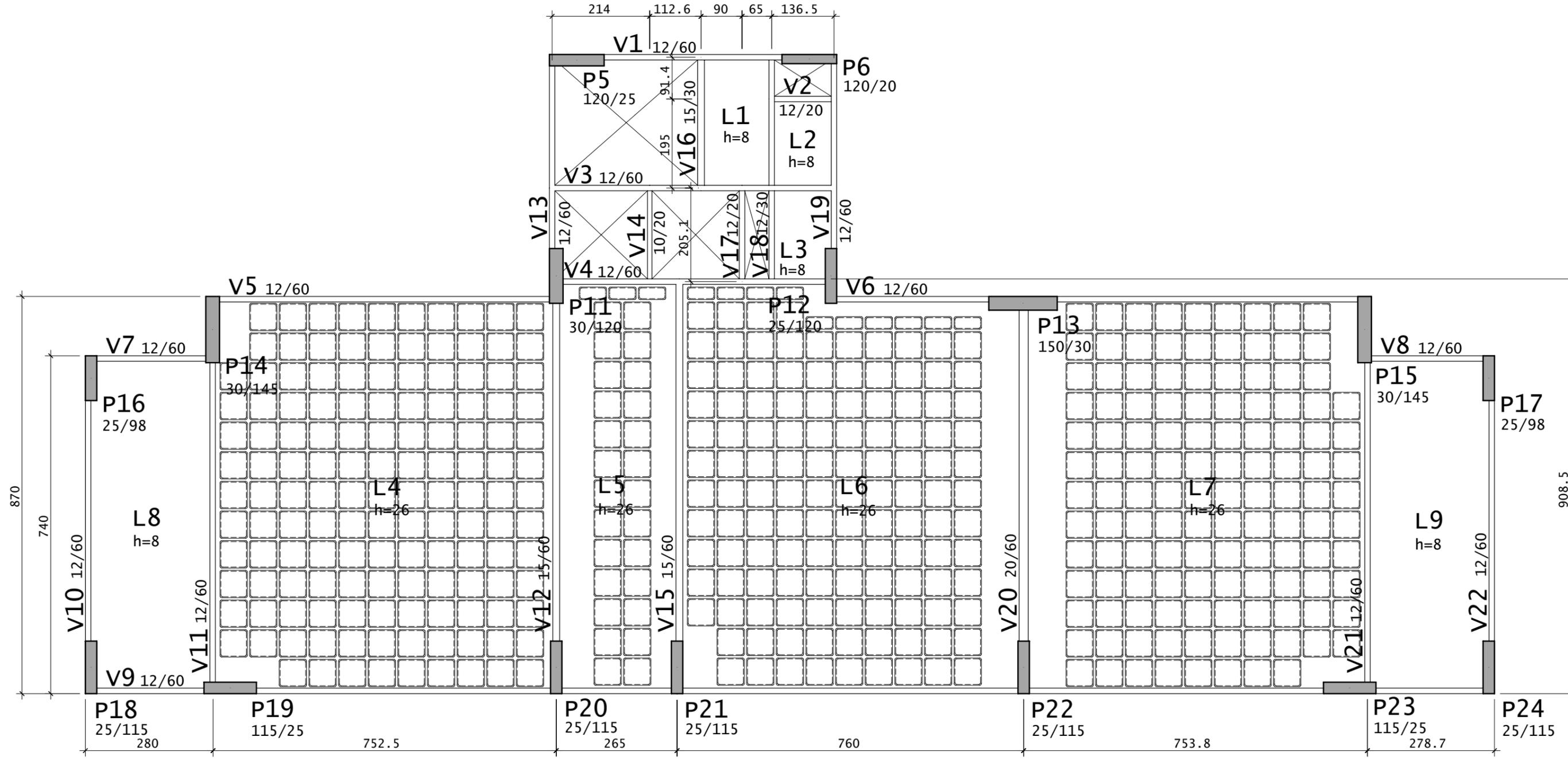
Figura 39 - Modelo laje nervurada utilizada nos pavimentos tipo, cobertura, coberta e fundo da caixa d'água



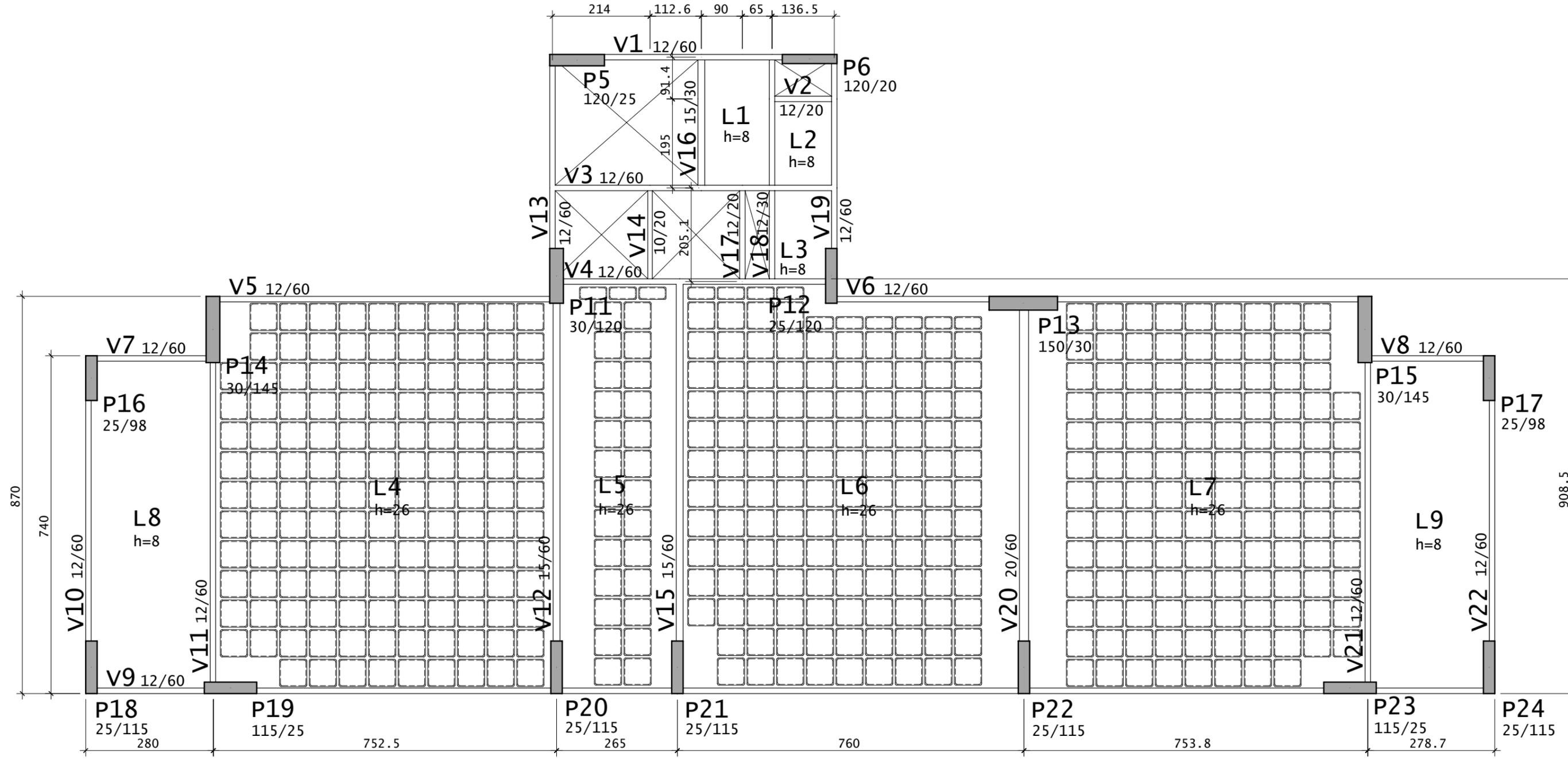
PLANTA DE FORMA
 PAVIMENTO TIPO 1 E 2
 (SEM ESCALA)



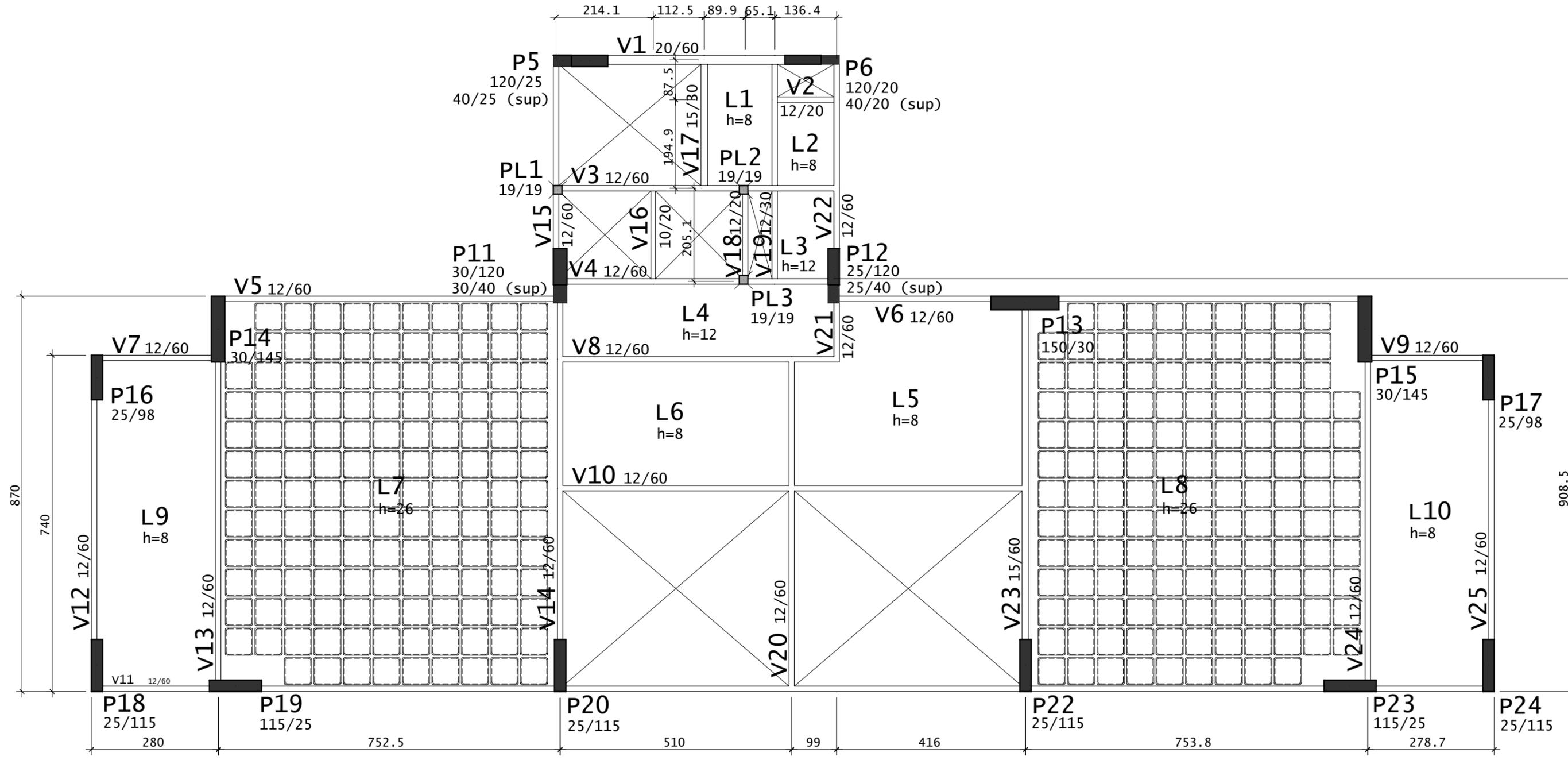
PLANTA DE FORMA
 PAVIMENTO TIPO 3 A 12
 (SEM ESCALA)



PLANTA DE FORMA
COBERTURA
(SEM ESCALA)



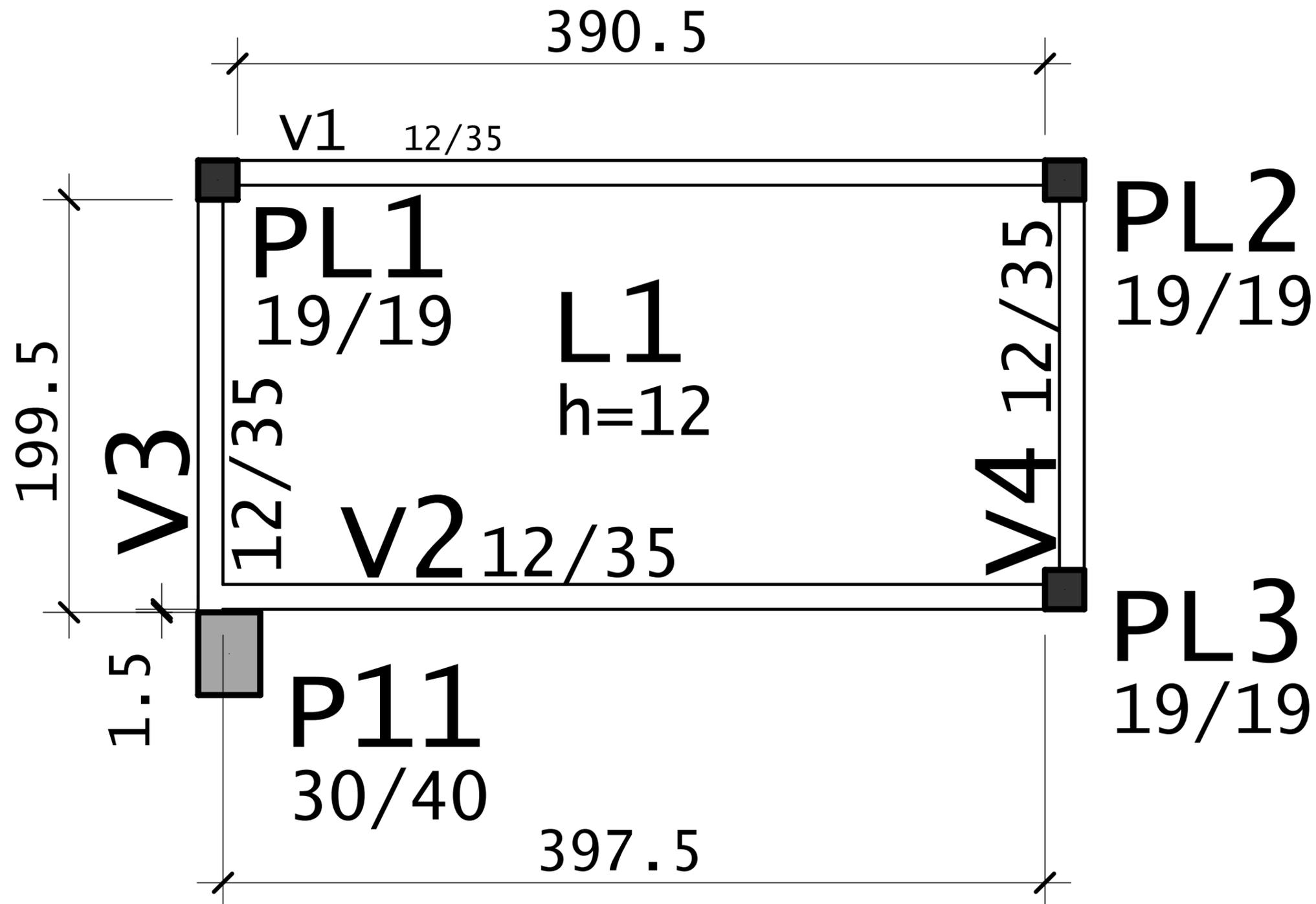
PLANTA DE FORMA
COBERTA
(SEM ESCALA)



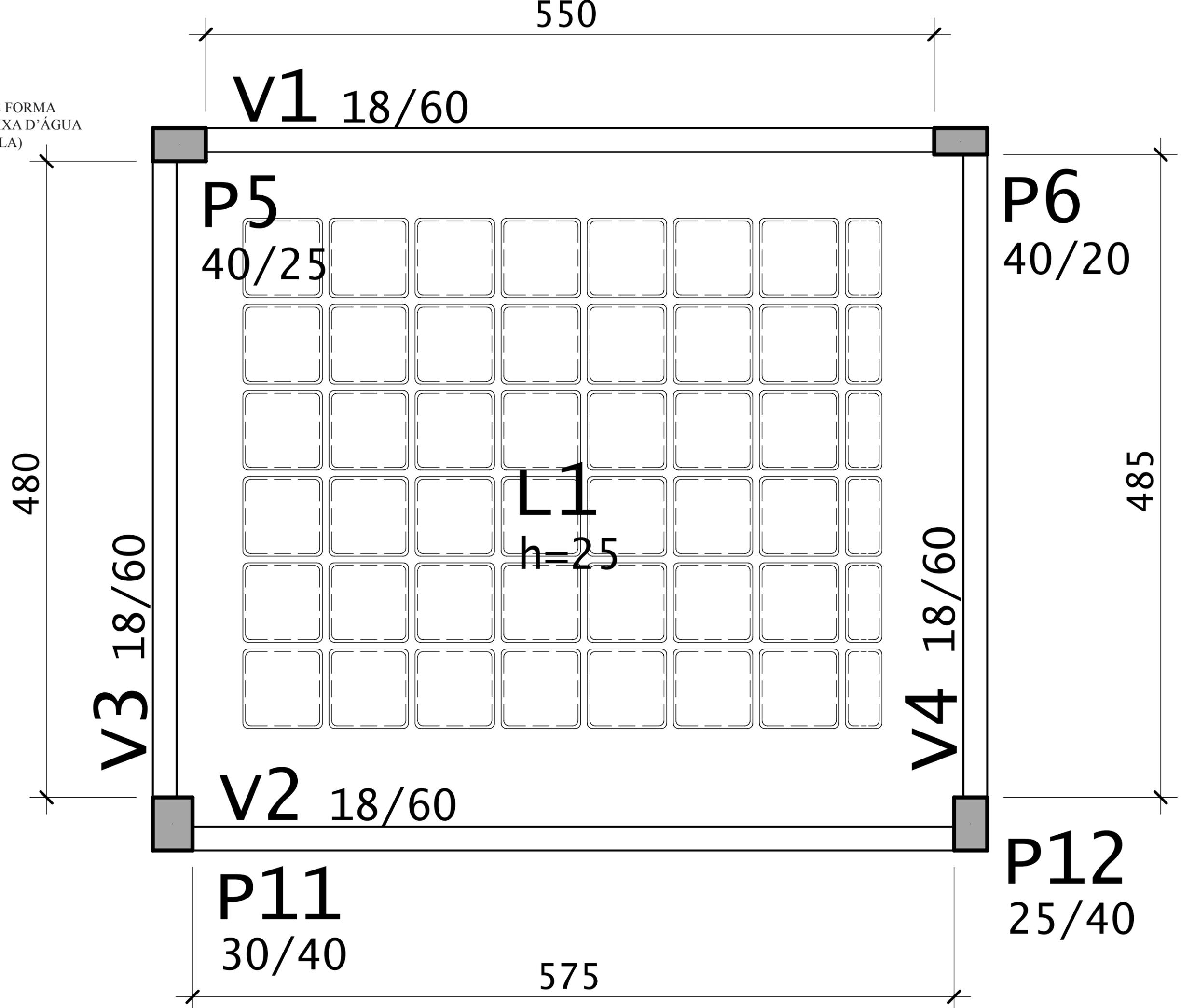
PLANTA DE FORMA
PLATÔ
(SEM ESCALA)

 **P5**
40/25

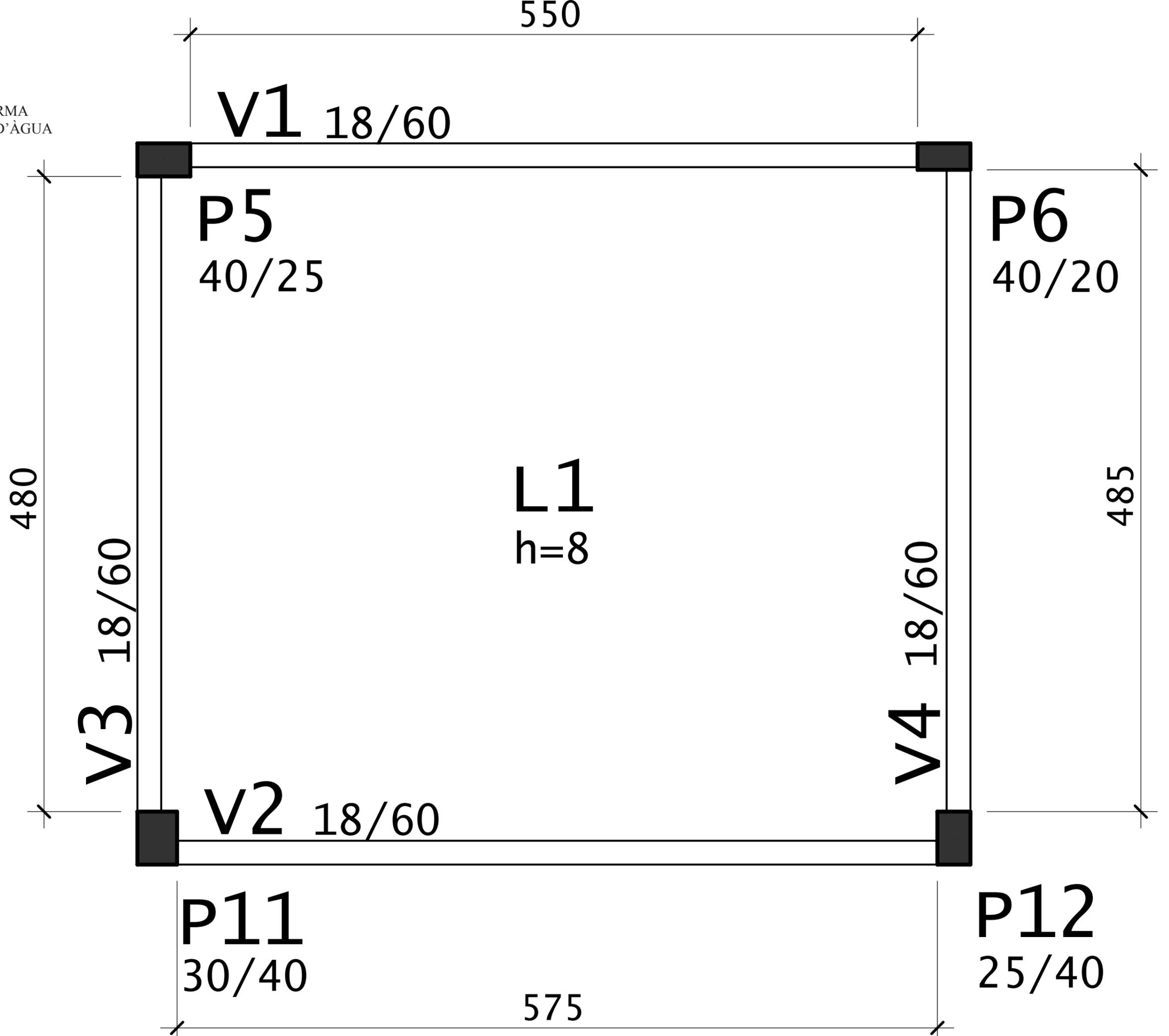
 **P6**
40/20



PLANTA DE FORMA
FUNDO CAIXA D'ÁGUA
(SEM ESCALA)



PLANTA DE FORMA
TAMPA CAIXA D'ÁGUA
(SEM ESCALA)



**ANEXO A - TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO E
CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES QUANTO A SUA OCUPAÇÃO DE ACORDO
COM A NBR 14432 (ABNT, 2001)**

Figura 40 - Tempos requeridos de resistência ao fogo

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _s > 10 m	Classe S ₁ h _s ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Figura 41 - Classificação das edificações quanto à sua ocupação

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitações unifamiliares	Casas térreas ou assobradadas, isoladas ou não
		A-2	Habitações multifamiliares	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitações coletivas	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos
B	Serviços de hospedagem	B-1	Hotéis e assemelhados	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, albergues, casas de cômodos
		B-2	Hotéis residenciais	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais)
C	Comercial varejista	C-1	Comércio em geral, de pequeno porte	Amarinhos, tabacarias, mercearias, fruteiras, butiques e outros
		C-2	Comércio de grande e médio portes	Edifícios de lojas, lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercado e outros
		C-3	Centros comerciais	Centro de compras em geral (<i>shopping centers</i>)
D	Serviços profissionais pessoais e técnicos	D-1	Locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, consultórios, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros laboratórios de análises clínicas sem internação, centro profissionais e outros
		D-2	Agências bancárias	Agencias bancárias e assemelhados
		D-3	Serviços de reparação (exceto os classificados em G e I)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros
E	Educativa e cultura física	E-1	Escolas em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e outros
		E-2	Escolas especiais	Escolas de artes e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira e outras
		E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou práticas de artes marciais ginástica (artística, dança musculação e outros) esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e outros
		E-4	Centros de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral
		E-5	Pré-escolas	Creches, escolas maternas, jardins-de-infância
		E-6	Escolas para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e outros
F	Locais de reunião pública	F-1	Locais onde há objetos de valor inestimável	Museus, centros de documentos históricos e outros
		F-2	Templos e auditórios	Igrejas, sinagogas, templos e auditórios em geral
		F-3	Centros esportivos	Estádios, ginásios e piscinas cobertas com arquibancadas, arenas em geral
		F-4	Estações e terminais de passageiros	Estações rodoferroviárias, aeroportos, estações de transbordo e outros
		F-5	Locais de produção e apresentação de artes cênicas	Teatros em geral cinemas, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão e outros

Fonte: ABNT NBR 14432 (2001)