

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LUCAS DANIEL BIANCHESI**

**INFLUÊNCIA DA CONSIDERAÇÃO DE SITUAÇÃO DE INCÊNDIO NO  
DIMENSIONAMENTO DE PILARES DE UMA EDIFICAÇÃO**

**TOLEDO**

**2022**

**LUCAS DANIEL BIANCHESI**

**INFLUÊNCIA DA CONSIDERAÇÃO DE SITUAÇÃO DE INCÊNDIO NO  
DIMENSIONAMENTO DE PILARES DE UMA EDIFICAÇÃO**

**INFLUENCE OF CONSIDERATION OF FIRE SITUATION ON THE SIZING OF A  
PILLARS OF A BUILDING**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Rodnny Jesus Mendoza Fakhye

**TOLEDO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es).

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LUCAS DANIEL BIANCHESSI**

**INFLUÊNCIA DA CONSIDERAÇÃO DE SITUAÇÃO DE INCÊNDIO NO  
DIMENSIONAMENTO DE PILARES DE UMA EDIFICAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Rodnny Jesus Mendoza Fakhye

Data de aprovação: 10/Junho/2022

---

Rodnny Jesus Mendoza Fakhye  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Lucas Boabaid Ibrahim  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Gustavo Savaris  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**TOLEDO**

**2022**

## RESUMO

A análise de estruturas submetidas a situação de incêndio ainda é relativamente recente no Brasil e no mundo. É um campo que envolve diversas áreas de estudos, sendo elas a de detecção da situação de incêndio, do dimensionamento dos elementos estruturais e comportamento dos materiais quando submetidos a altas temperaturas. Sabe-se que quando há a ocorrência de incêndio, os elementos submetidos as altas temperaturas sofrem a perda da sua resistência e rigidez, fazendo com que seja possível a perda da estabilidade estrutural e consequentemente o colapso parcial ou total da edificação. Por esse motivo, há o risco da perda recursos humanos e patrimoniais. Assim, devida a importância do tema, neste trabalho é apresentado a análise do dimensionamento de uma edificação submetida a incêndio, o comportamento dos materiais que compõem o concreto armado submetidos as altas temperaturas, a apresentação dos Métodos Tabular, Tabular Geral e Analítico para a análise de pilares numa edificação de baixa altura quando submetido a situação de incêndio, seguindo NBR 15200 (ABNT, 2012). Assim, os pilares foram dimensionados através da NBR 6118 (ABNT, 2014) utilizando o software TQS®, em seguida, através dos Métodos Tabular, Tabular Geral e Analítico, verificados quanto sua segurança estrutural para a situação de incêndio, sendo posteriormente avaliada a necessidade ou não de alteração de suas características, como dimensões, cobrimentos ou materiais para o atendimento da NBR 15200 (ABNT, 2012) e a variação no consumo de materiais. Foi verificada, então, a necessidade da alteração da menor dimensão dos pilares fazendo com que houvesse uma variação de +0,95% no consumo de concreto e -0,30% no consumo de aço da edificação, sendo viável a verificação da situação de incêndio e sua implementação.

**Palavras-chave:** pilares de concreto armado; incêndio; método tabular; dimensionamento em situação de incêndio.

## ABSTRACT

The analysis of structures subjected to fire is still relatively recent in Brazil and in the world. It is a field that involves several areas of study, including fire detection, design of structural elements and behavior of materials when subjected to high temperatures. It is known that when there is a fire, the elements subjected to high temperatures suffer the loss of their strength and rigidity, making it possible to lose structural stability and consequently the partial or total collapse of the building. For this reason, there is a risk of losing human and property resources. Thus, due to the importance of the subject, this work presents the analysis of the design of a building subjected to fire, the behavior of the materials that make up the reinforced concrete subjected to high temperatures, the presentation of the Tabular, Tabular General and Analytical Methods for the analysis of pillars in a low height building when subjected to a fire situation, following NBR 15200 (ABNT, 2012). Thus, the columns were dimensioned through NBR 6118 (ABNT, 2014) using the TQS® software, then through the Tabular, General Tabular and Analytical Methods, verified for their structural safety for the fire situation, and the need to be evaluated later. Whether or not to change its characteristics, such as dimensions, coverings or materials to comply with NBR 15200 (ABNT, 2012) and the variation in material consumption. It was then verified the need to change the smallest dimension of the columns, causing a variation of +0.95% in the consumption of concrete and -0.30% in the consumption of steel in the building, making it feasible to verify the situation of fire and its implementation.

**Keywords:** reinforced concrete pillars; fire; tabular method; dimensioning in fire situation.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Concreto Armado .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Pilares.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Incêndio.....</b>	<b>14</b>
2.3.1	Modelo de incêndio natural .....	15
2.3.2	Modelo de incêndio padrão .....	17
2.3.3	Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) .....	18
2.3.4	Tempo de resistência ao fogo (TRF) .....	19
<b>2.4</b>	<b>Métodos de dimensionamento para situação de incêndio .....</b>	<b>19</b>
2.4.1	Ações e solicitações .....	20
2.4.2	Método Tabular para pilares.....	21
2.4.3	Método analítico para pilares .....	23
<b>2.5</b>	<b>Propriedades mecânicas dos materiais expostos a altas temperaturas.....</b>	<b>25</b>
2.5.1	Concreto.....	25
2.5.2	Spalling.....	29
2.5.3	Aço .....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>TQS® .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2</b>	<b>Passos para o dimensionamento e verificação de incêndio .....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Verificação de pilares em situação de incêndio através do Método Tabular .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Verificação de pilares em situação de incêndio através do Método Tabular Geral .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3</b>	<b>Verificação de pilares em situação de incêndio através do Método Analítico .....</b>	<b>48</b>
<b>4.4</b>	<b>Lançamento das novas dimensões dos Pilares .....</b>	<b>51</b>

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE A – DISPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS NO SOFTWARE TQS® COM SUAS DIMENSÕES. ....</b>	<b>58</b>
	<b>APÊNDICE B – DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS TOTAIS E ENTRE PAVIMENTOS ATRAVÉS DO SOFTWARE TQS®.....</b>	<b>60</b>
	<b>APÊNDICE C – DIAGRAMA DE FORÇA NORMAL, MOMENTOS FLETORES E DESLOCAMENTOS COM USO DAS CARGAS PERMANENTES E ACIDENTAIS ATRAVÉS DO VISUALIZADOR DE PÓRTICO DO SOFTWARE TQS®. ....</b>	<b>61</b>
	<b>APÊNDICE D – MEMORIAL DE CÁLCULO DO PILAR 5 REALIZADO PELO TQS®.....</b>	<b>63</b>
	<b>APÊNDICE E – DETALHAMENTO DA ARMADURA DOS PILARES P1 A P9 EM SITUAÇÃO NORMAL REALIZADO PELO SOFTWARE TQS®. ....</b>	<b>65</b>
	<b>APÊNDICE F – DETALHAMENTO DA ARMADURA REALIZADO PELO SOFTWARE TQS® DOS PILARES P1 = P2 = P3 = P4 = P6 =P7 = P8 = P9, APÓS A VERIFICAÇÃO DE INCÊNDIO. ....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a escassez de território em grandes centros urbanos e devido ao aumento da concentração de pessoas, a verticalização das cidades tem sido notada com a construção de edifícios cada vez maiores, que apresentam múltiplos pavimentos, visto a dificuldade da expansão horizontal (INSON, 2021). Porém, essa verticalização exige cuidados para que esses edifícios sejam seguros devido às várias ações que podem estar expostos, sendo uma delas a ação do fogo na sua estrutura, haja vista os vários incidentes que por ele foram gerados ao longo da história, sendo responsável por diversos desastres na construção civil.

Por mais que a probabilidade de colapso estrutural em edifícios de múltiplos pavimentos de concreto armado seja pequena quando projetado corretamente, há a possibilidade que isto ocorra, ainda mais quando existe uma situação de incêndio. Devido a falha localizada de um elemento estrutural, seja pilar, laje ou vigas, pertencentes a um pórtico, esta ação pode desencadear uma ruptura generalizada, levando ao colapso sucessivo da estrutura, ocasionando seu parcial ou completo desabamento (COSTA, 2008). Como exemplo é possível citar o sinistro do Edifício Wilton Paes de Almeida, que era composto por 24 andares, construído em concreto armado, onde após um incêndio que se iniciou no 5º andar por volta das 1h30 da madrugada do dia 1 de maio de 2018, desabou aproximada 1h20 minutos após o início das chamas, no centro da cidade de São Paulo, levando a morte de 7 pessoas e deixando 372 pessoas desabrigadas (G1, 2018).

Antes que o sinistro citado tivesse ocorrido já estava em vigência a ABNT NBR 14432 (2001). Esta norma aponta as exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações em situação de incêndio, para que seja assegurado que edifícios tenham seus elementos estruturais e de compartimentação dimensionados, evitando o colapso estrutural. O objetivo principal da norma é de preservar a vida dos usuários, possibilitar a execução de maneira segura o combate ao incêndio e atenuar os danos as edificações vizinhas.

Para que uma edificação seja projetada de modo a ser segura contra incêndio, ela deve levar em conta a utilização de métodos ativos e passivos que combatem o incêndio (SOUSA; SILVA, 2015).

A ABNT NBR 14432 (2001), define que a proteção ativa é: “um tipo de proteção contra incêndio que é ativada manual ou automaticamente em resposta aos



estímulos provocados pelo fogo”. Ela é constituída basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndio.

A proteção passiva consiste em medidas que são incorporadas nos elementos construtivos da edificação, as quais funcionam de acordo com o uso normal e que reagem de maneira passiva ao desenvolvimento do incêndio, evitando que as condições sejam propícias para seu crescimento e propagação. Exemplos desse tipo de proteção é a implementação de elementos resistentes as chamas, compartimentação horizontal e vertical e as rotas de fuga (SOUSA; SILVA, 2015).

Posto isso, a implantação de métodos que proporcionem segurança às pessoas e à estrutura, aumentando o tempo de fuga e estabilidade estrutural devem ser analisados por projetistas levando em consideração as características do empreendimento.

Essas implementações e análises, hoje, com a advento da informática, têm sido facilitadas, pois novas tecnologias são introduzidas a cada dia no mercado, causando uma evolução na engenharia de estruturas, como é o caso do software TQS®. Ele e outros programas têm influenciado de forma direta como edifícios de concreto armado são elaborados, fazendo com que diversas contas, sejam elas simples ou complexas sejam desenvolvidas em alguns poucos minutos. Dessa forma, todas as etapas presentes no projeto de um edifício, desde o lançamento de dados, análise estrutural, como é o caso da situação de incêndio, dimensionamento e detalhamento dos elementos são influenciados pela velocidade e precisão que a informática proporciona (KIMURA, 2007).

Diante disso, indaga-se: o dimensionamento de pilares levando em conta a norma de projeto de estruturas em situação de incêndio, ABNT NBR 15200 (2012) é economicamente viável quando comparado ao dimensionamento convencional numa edificação de baixa altura, seguindo a NBR 6118 (ABNT,2014).

## **1.1 Justificativa**

Segundo o Instituto Sprinkler Brasil (2020), que realizou um levantamento de dados de janeiro a dezembro de 2020, ocorreram no Brasil 1244 casos de incêndios estruturais, sendo levantados apenas os noticiados através de diversos meios de comunicação. Destas 1244 ocorrências, 20,5% foram em comércios, 17,7% em

depósitos, 15,4% em indústrias e 12,3% em locais de reunião de público. Estimasse, a partir de um estudo geral realizado pelo mesmo Instituto, entre 2012 e 2020, exceto 2016, que estes números sejam apenas 3% da quantidade real de incidentes.

Assim, considerando o volume de incêndio e considerando a relação das edificações com à área da construção civil e a necessidade de garantir a segurança das pessoas, e evitar a perda de bens patrimoniais, e a necessidade de maior discernimento sobre o assunto, resultou na motivação da realização do presente trabalho.

## **1.2 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência no dimensionamento da seção transversal dos pilares de uma estrutura de baixa altura considerando a situação de incêndio.

## **1.3 Objetivos específicos**

Isto posto, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar o dimensionamento dos pilares de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) utilizando como ferramenta o software TQS®, sem consideração de incêndio;
- b) Dimensionar os pilares em situação de incêndio segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012) com Método Tabular, Tabular Geral e Analítico.
- c) Avaliar a influência no consumo de materiais da estrutura do dimensionamento considerando situação de incêndio.

## **1.4 Metodologia**

Foi elaborada a planta baixa de uma edificação de baixa altura, sendo lançada sua estrutura e realizado o dimensionamento através do software TQS® que segue a NBR 6118 (ABNT, 2014). Após o dimensionamento, foi verificada a necessidade da avaliação dos pilares em situação de incêndio, para que a estrutura fosse segura contra esse tipo de evento, atendendo aos critérios estabelecidos pelas NBR 15200

(ABNT, 2012) e NBR 14432 (ABNT,2001). Com isso, foi realizado a comparação entre o consumo de concreto e aço para ambas as situações.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Buscando a melhor compreensão do tema, é necessário que haja uma análise dos materiais que constituem uma edificação e o comportamento na situação de incêndio. Devido a ação térmica gerada pelo fogo, esta será responsável por alterar as características dos materiais que serão dimensionados para a situação de incêndio.

### **2.1 Concreto Armado**

Segundo Araújo (2010), o concreto é um material composto pela mistura de agregados (naturais ou britados) com cimento e água. As barras de aço, comumente chamadas de vergalhões, imersas no concreto endurecido possuem saliências, também chamadas de mossas, que tem a função de provocar a aderência entre concreto e aço. Esta ação em conjunto, faz com que os materiais funcionem como um elemento homogêneo em temperatura ambiente (COSTA, 2008), chamado de concreto armado.

### **2.2 Pilares**

Define-se pilares, de acordo com ABNT NBR 6118 (2014), como sendo peças lineares de eixo reto, os quais são dispostos corriqueiramente na vertical, onde os esforços normalmente predominantes são devidos as forças normais de compressão. Além disso, os pilares, quando armados, além do concreto, sua seção transversal apresenta armaduras longitudinais e transversais de aço, as quais fazem com que a falta de resistência a tração do concreto sejam compensadas. Elas são necessárias, pois na estrutura e nos pilares, os esforços atuantes não são exclusivamente de compressão (FREIRE, 2020).

A ABNT NBR 6118 (2014), é a norma que regulamenta os requisitos para a concepção de projetos de concreto simples, armado e protendido. A concepção deve partir do ponto de vista de que o projeto prese pela qualidade da estrutura garantido que a mesma possua capacidade de resistir aos esforços, tendo segurança à ruptura; tenha desempenho em serviço, isto é, que a estrutura desempenhe o papel a qual foi destinada sem que problemas gerados comprometam seu uso parcial ou total e; que

a estrutura apresente durabilidade no que diz respeito de resistir aos efeitos climáticos e ambientais ao qual estará exposta.

Ainda, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), a análise estrutural deve ser feita englobando todas as ações que sejam capazes de gerar efeitos relevantes para a preservação da estrutura, onde devem ser levados em conta os estados-limites últimos e de serviço. Essas ações são classificadas em permanentes (diretas ou indiretas), variáveis (diretas e indiretas), e excepcionais, de acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2004).

As ações permanentes são aquelas que estarão presentes ao longo da vida útil da estrutura e serão constantes, podendo ser diretas: peso próprio da estrutura, elementos construtivos fixo, instalações permanentes e empuxos permanentes. As ações permanentes indiretas serão aquelas causadas por: deformações impostas devido a retração e fluência do concreto, deslocamento de apoios, imperfeições geométricas e protensão (ABNT NBR 6118, 2014).

As ações variáveis diretas são referentes: as cargas acidentais previstas no uso da edificação, ação do vento e água. Já as ações variáveis indiretas são ocasionadas por: variações uniformes e não uniformes de temperatura e ações dinâmicas.

As ações de natureza excepcionais, segundo a ABNT NBR 8681 (2004), são aquelas que apresentam uma probabilidade de ocorrer muito remota, e ainda são muito curtas em relação a vida da construção, sendo necessária a consideração em projetos de certas estruturas. Elas podem ser causadas devido a explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes e sismos. Além disso, a mesma norma indica que os incêndios podem ser tratados como uma redução da resistência dos materiais construtivos na estrutura.

Posto isso, conforme a NBR 6120 (ABNT, 2019), são apresentadas quais devem ser as ações mínimas a serem adotadas na concepção de projetos estruturais de edificações, independentemente de sua finalidade. Contudo, para ações não apresentadas pela mesma, e que apresentam normas específicas, deve-se recorrer a elas, como é o caso da situação de incêndio, apresentada pelas normas NBR 15200 (ABNT, 2012) e NBR 14432 (ABNT, 2001) e para cálculo das forças horizontais devido ao vento conforme a ABNT NBR 6123 (1988).

## 2.3 Incêndio

O fogo é um elemento conhecido desde o período neolítico, a cerca de 7000 anos antes de Cristo, sendo amplamente empregado em diversas áreas da humanidade ao longo dos anos. Contudo, ainda hoje os efeitos de altas temperaturas nos materiais são motivos de estudo (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016).

Gerado pela combustão, que envolve um combustível e um comburente, o fogo libera luz e calor, sendo uma reação exotérmica, que só irá ocorrer e se manter na relação de quatro elementos, conhecido como tetraedro do fogo, que é composto por combustível, comburente, calor e uma reação em cadeia. O combustível, é toda a substância capaz de queimar e promover a propagação do fogo, sendo eles encontrados nos estados sólidos, líquidos e gasosos. Já os comburentes são aqueles responsáveis para dar vida as chamas, tornando-as mais intensas e luminosas. Esse elemento faz com que seja possível a ocorrência da combustão e o consecutivo aumento de temperatura, sendo o oxigênio o mais comum dos comburentes.

O calor é a energia capaz de iniciar, conservar e multiplicar a reação entre comburente e combustível. Faz com que haja a troca de energia entre os ambientes, objetos e outros elementos presentes nas edificações visto a diferença de temperatura entre eles (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016).

A reação em cadeia, sendo o último elemento do tetraedro do fogo, é ocasionada pelo fato de haver a decomposição dos combustíveis em elementos menores, que ainda assim, na presença de calor e combinadas com o comburente iniciam novamente o ciclo, gerando uma reação em cadeia (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016).

O fogo se alastra por objetos com temperaturas menores, de modo a buscar um equilíbrio térmico e pode ocorrer de maneiras diferentes: por condução, radiação ou convecção.

A convecção se dá pelo movimento de baixo para cima de elementos fluídos, que aquecidos são mais leves do que fluídos não aquecidos, sejam eles gases ou líquidos devido a suas diferenças de densidades, tendendo a subir e descer.

Já a condução, acontece nos elementos sólidos, que de molécula por molécula conduzem o calor através de um objeto contínuo até chegar na outra face, sendo um exemplo simples uma chapa de ferro que quando aquecida em uma ponta, apresenta após algum tempo a outra ponta aquecida.

A radiação é o aquecimento gerado por ondas eletromagnéticas (chamadas também de ondas de calor) que se deslocam com certa velocidade, se propagando em todas as direções, sendo que os objetos mais atingidos são os mais próximos ao gerador de ondas de calor (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016).

Alguns métodos foram criados para conter a propagação do fogo de maneira descontrolada, porém, estes métodos ainda podem falhar, resultando em danos à vida, bens e serviços.

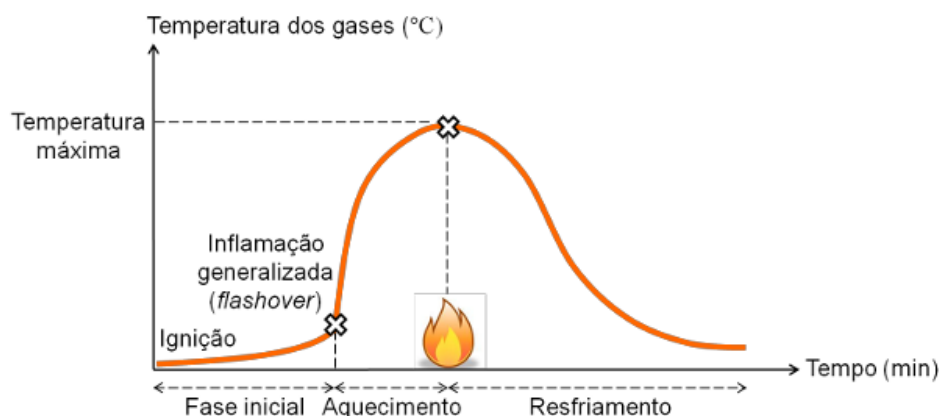
Sendo assim, o principal objetivo da existência do dimensionamento de estruturas para a situação de incêndio é reduzir os riscos quanto ao colapso da mesma, bem como proporcionar tempo suficiente para que usuários abandonem o local em segurança, de modo a conservar a vida. Outro sim, é que o projeto que apresenta dimensionamento para situação de incêndio, tem oneração menor do que gastos advindos da recuperação da obra onde ocorrer o sinistro. A ABNT NBR 14432 (2001), apresenta as estruturas que estão ou não isentas deste tipo de dimensionamento.

Para as edificações que necessitam de verificações da ação do fogo nas estruturas, o modelo de incêndio é representado através de curvas do tipo temperatura-tempo, onde são relacionadas a temperatura média dos gases no ambiente em função do tempo decorrido. Através delas, é possível obter a temperatura máxima dos gases e dados para o dimensionamento das estruturas (ALBUQUERQUE, 2012). Posteriormente, são apresentados os modelos de incêndio natural e padrão

### 2.3.1 Modelo de incêndio natural

Na Figura 1, é apresentado um modelo de curva temperatura-tempo de um incêndio natural, onde composta por três fases bem definidas, simulando uma situação real.

**Figura 1 – Curva temperatura-tempo – incêndio natural**



**Fonte: (ALBUQUERQUE, 2012).**

Na fase inicial, é onde ocorre a combustão do material, que libera calor e transmite para os outros de maneira lenta. Nesse ponto, as temperaturas permanecem baixas e onde as proteções ativas (alarmes de incêndio, chuveiros automáticos, hidrantes, detectores de fumaça e outros) podem interromper o sinistro, que nessa fase não apresentará danos a estrutura (SILVA, 1997). Contudo, pode haver a liberação de fumaça e gases tóxicos que pode acarretar em vítimas.

Caso o incêndio não seja controlado na fase inicial, como é visto na Figura 1, inicia-se o *flashover* ou inflamação generalizada, que é onde todo o material passa a queimar tomando o ambiente por completo. Nesta fase, não há mais como a ação das proteções ativas, ou bombeiros combaterem o incêndio. Essa fase é a mais crítica para as estruturas que irão apresentar avarias. Após o *flashover*, o incêndio entrará na fase de aquecimento, onde as temperaturas aumentam de maneira rápida. Após todo material combustível queimar, há uma redução gradual na temperatura, fazendo com que se entre na fase de resfriamento (ALBUQUERQUE, 2012).

Contudo, esse modelo de curva não é usual para a verificação de estruturas por ser muito complexo sua aplicação. Se faz necessário a existência de ensaios e equações para determinar essa curva, incluindo variáveis que levam em conta as particularidades de cada situação a ser estudada, sendo a geometria do ambiente, grau de ventilação, os materiais combustíveis que compõem a carga de incêndio, entre outros. E ainda, se o mesmo grau de realismo no modelo de incêndio for implementado no projeto, deverá se usar o mesmo grau de complexidade para análise e dimensionamento estrutural.



Segundo Albuquerque (2012), essa tarefa é tão árdua que, até hoje, nenhum edifício de concreto armado foi completamente projetado para situação de incêndio, devido à falta de materiais, pois os estudos nessa área são recentes.

### 2.3.2 Modelo de incêndio padrão

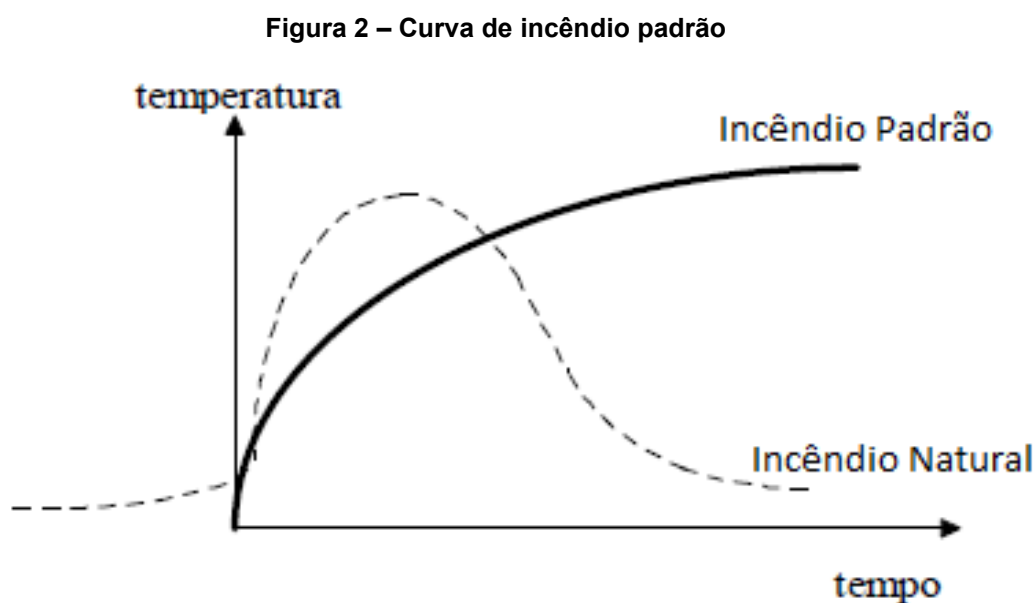
Tendo em vista a alta complexidade apresentada pelo modelo de incêndio natural, convencionou-se adotar uma curva padronizada de temperatura-tempo dos gases como modelo para a análise de estruturas, que foi estudada em fornos de institutos de pesquisa (SILVA, 1997).

Essa curva de incêndio padronizada se caracteriza por considerar que a temperatura dos gases sempre estará se elevando, em função do tempo

Desse modo, essa curva apresenta apenas um ramo ascendente, equivalente a fase de aquecimento, diferentemente da curva natural, não representando um incêndio real, somente sendo utilizada como um modelo prático e seguro para efeitos de projeto.

Com a utilização da curva padrão, não é necessário determinar as características da carga de incêndio ou do ambiente.

A Figura 2 apresenta uma curva de incêndio padrão.



Fonte: SILVA(1997).

A norma NBR 14432 (ABNT, 2001), apresenta a Equação 1 para determinar a temperatura dos gases em um certo instante de tempo de acordo com o modelo de incêndio padrão.

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

Onde:

$t$  é o tempo [minutos];

$\theta_0$  é a temperatura do ambiente antes do início da fase de aquecimento[°C];

$\theta_g$  é a temperatura dos gases no instante  $t$ [°C];

Admite-se que a temperatura ambiente, é usualmente de 20°C.

### 2.3.3 Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF)

Os critérios estabelecidos e apresentados na NBR 14432 (ABNT, 2001) se baseiam na resistência ao fogo dos elementos construtivos como lajes, vigas e pilares, considerando a exposição ao incêndio padrão, tendo em vista a simplicidade da sua aplicação e o estágio dos estudos nessa área, sendo assim o meio utilizado para o dimensionamento de estruturas para situação de incêndio.

O tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) é um parâmetro que delimita o tempo mínimo que um elemento construtivo deve resistir quando exposto ao incêndio padrão (ABNT NBR14432, 2001). Esse valor de TRRF a que os elementos construtivos serão dimensionados depende em especial das características da edificação, sendo eles: tipo de ocupação, divisão e altura da edificação. Na Tabela 1 é apresentada essa divisão:

**Tabela 1 - Tempo requerido de resistência ao fogo(min)**

Ocupação	Divisão	Altura da edificação				
		Classe P1 h≤6m	Classe P2 6m<h≤12m	Classe P3 12<h≤23m	Classe P4 23m<h≤30m	Classe P5 h>30m
Residencial	A-1 a A-3	30	30	60	90	120
Hospedagem	B-1 e B-2	30	60(30)	60	90	120
Comercial	C-1 a C-3	60(30)	60(30)	60	90	120
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	30	60(30)	60	90	90
Educacional	E-1 a E-6	30	30	60	90	120
Depósito	J-1	30	30	30	30	60
	J-2	60	60	90(60)	120(90)	120

Fonte: Adaptado de NBR 14432 (ABNT, 2001).

Assim, o TRRF, é tratado como um valor, não de desocupação do incêndio, tempo de sua duração, ou outras medidas a serem tomadas para controlar as chamas, mas sim o tempo para evitar uma falha generalizada da estrutura que leva ao seu colapso (COSTA, 2008).

#### 2.3.4 Tempo de resistência ao fogo (TRF)

O tempo TRF (tempo de resistência ao fogo) é a quantidade de tempo em que o elemento estrutural pode resistir as ações submetidos, garantindo resistência ao fogo, estabilidade estrutural ou compartimentação, desde a exposição ao incêndio até seu colapso (Costa, 2008). Ainda segundo o mesmo autor, quando a estrutura apresenta  $TRF > TRRF$ , ai sim, ela satisfará as exigências de segurança em situação de incêndio.

#### 2.4 Métodos de dimensionamento para situação de incêndio

Segundo a ABNT NBR 15200 (2012) é possível a utilização dos método tabular e analítico para a verificação em situação de incêndio das lajes, vigas e pilares. Ela ainda apresenta outros dois métodos: método simplificado e método avançado.

Para pilares de concreto armado, o Método Tabular, Tabular Geral para pilares de seção retangular e circular e o método analítico para pilares são os mais adequados para estruturas de nós fixos de acordo com a ABNT NBR 15200 (2012). Contudo, podem ser aplicados em estruturas em situação de incêndio, onde os

deslocamentos lineares de primeira ordem devido ao desaparecimento possam ser desprezados.

Contudo, em qualquer situação, em temperatura ambiente, os efeitos globais de segunda ordem não podem superar em 30% os esforços de primeira ordem, sendo assim, o parâmetro de estabilidade global gama Z deve ser menor que 1,3 ( $\gamma_z < 1,3$ ).

#### 2.4.1 Ações e solicitações

A verificação em situação de incêndio para estruturas, segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012) deve ser feita apenas no estado-limite último (ELU) e atender a combinação excepcional apresentada através da Equação 2.

$$S_{d,fi} = \left( \gamma_g * F_{gk} + \gamma_q * \sum_2^n \psi_{2j} * F_{qjk} \right) \leq R_{di} \quad (2)$$

Onde:

$S_{d,fi}$  é a solicitação de cálculo em situação de incêndio;

$\gamma_g$  é o coeficiente de ponderação das ações permanentes;

$F_{gk}$  é a ação permanente com seu valor característico;

$\gamma_q$  é o coeficiente de ponderação das ações variáveis

$\psi_{2j}$  é o fator de redução de combinação quase permanente para estado-limite de serviço (ELS);

$F_{qjk}$  é a ação variável com seu valor característico;

Ainda, segundo a mesma norma, normalmente, nessa verificação desprezam-se todos os esforços decorrentes de deformações impostas, devido as grandes deformações plásticas frente a situação de incêndio. Logo, a ação do incêndio, passa a ser tomada como uma redução da resistência dos materiais e na capacidade dos elementos estruturais. Assim, a verificação de estruturas em situação de incêndio se reduz, normalmente, ao atendimento da Equação 2.

Na falta de qualquer solicitação gerada pelas deformações impostas pela situação de incêndio, como outra opção, as solicitações de cálculo em situação de incêndio ( $S_{d,fi}$ ), podem ser admitidas como iguais a 70% das solicitações de cálculo à

temperatura ambiente ( $S_d$ ), fazendo uso das combinações de ações que não incluem o vento, sendo assim, a solicitação de cálculo em situação de incêndio pode ser:  $S_{d,fi} = 0,70 S_d$ .

#### 2.4.2 Método Tabular para pilares

Conforme a NBR 15200 (ABNT, 2012), ensaios realizados indicam que em situação de incêndio os elementos de concreto falham usualmente por flexão e flexo-compressão e não por cisalhamento. Assim o presente método considera apenas armaduras longitudinais.

De acordo com a mesma norma, os elementos dimensionados devem apenas atender as dimensões mínimas que são apresentadas pela norma em suas tabelas, em função do tipo do elemento estrutural e do TRRF, respeitando a ABNT NBR 6118 (2014) e limitações indicadas.

Segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012), em pilares de apenas uma face exposta ao fogo são apresentadas a dimensão mínima da seção transversal do pilar ( $b_{min}$ ) e os valores da distância mínima entre o eixo da armadura longitudinal e a face de concreto exposta ao fogo ( $c_1$ ) de acordo com o TRRF apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2 - Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta ao fogo**

TRRF min	Combinação de $b_{min}/c_1$ mm/mm
30	155/25
60	155/25
90	155/25
120	175/35
180	230/55

Fonte: adaptado de NBR 15200 (ABNT, 2012).

Para o dimensionamento de pilares com seção retangular e mais de uma face exposta ao fogo ou circulares, faz-se o uso das tabelas que apresentam as dimensões mínimas presentes no Anexo E da NBR 15200 (ABNT, 2012) através do Método Tabular Geral.

Segundo NBR 15200 (ABNT, 2012), é determinado a taxa mecânica de armadura ( $\omega$ ) e  $v_{fi}$ , utilizando as Equações 3 e 4, respectivamente:

$$\omega = \frac{(A_s * F_{yd})}{A_c * F_{cd}} \quad (3)$$

$$v_{fi} = \frac{N_{0sd,fi}}{0,7 * (A_c * F_{cd} + A_s * F_{yd})} \quad (4)$$

Onde:

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

$A_c$  é a área da seção de concreto;

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

$F_{yd}$  é o valor de cálculo da resistência do aço à temperatura ambiente, com  $\gamma_c = 1,0$ ;

Ainda, conforme a NBR 15200 (ABNT, 2012), o cálculo da excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio se dá pela Equação 5:

$$e = \frac{M_{0sd,fi}}{N_{0sd,fi}} \quad (5)$$

Onde:

$N_{0sd,fi}$  é o valor de cálculo de esforço normal a compressão de primeira ordem em situação de incêndio, que pode ser assumido igual a 70% do valor de cálculo do esforço normal de compressão de primeira ordem em temperatura ambiente ( $N_{0sd}$ ) sendo desconsiderado os efeitos da força do vento.

$M_{0sd,fi}$  é o valor de cálculo do momento fletor de primeira ordem em situação de incêndio, que pode ser assumido igual a 70% do valor de cálculo do momento fletor de primeira ordem em temperatura ambiente ( $M_{0sd}$ ) sendo desconsiderado os efeitos da força do vento.

Por último, de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012), também é necessário o cálculo do índice de esbeltez em situação de incêndio, sendo calculado pela Equação 6:

$$\lambda_{fi} = \frac{l_{ef,fi}}{r} \quad (6)$$

Onde, o  $l_{ef,fi}$  é o comprimento equivalente do pilar em situação de incêndio. Pode sempre ser considerada igual ao comprimento equivalente para situação normal, conforme a norma NBR 6118 (ABNT, 2014). O raio de giração ( $r$ ) é obtido através da Equação 7, definida pela NBR 15200 (ABNT, 2012):

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_c}} \quad (7)$$

Onde:

$I$  é o momento de inércia da seção de concreto;

$A_c$  é a área de concreto;

#### 2.4.3 Método analítico para pilares

Segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012) pode-se calcular o TRF através do método analítico para pilares com mais de uma face exposta ao fogo. O TRF do elemento estrutural deve ser maior que o TRRF requerido, para a peça dimensionada satisfaça as exigências de segurança quanto a situação de incêndio. O tempo de resistência ao fogo determina-se pelas Equações 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14:

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

$$R_\mu = 83(1 - \mu fi) \quad (9)$$

$$R_a = 1,60(c1 - 30), c1 \text{ em mm} \quad (10)$$

$$R_l = 9,6(5 - l_{ef,fi}) \quad (11)$$

$$b' = \frac{2 * A_c}{(b + h)}, \text{ para } h \leq 1,5 b \text{ ou } b' = 1,2 * b, \text{ para } h > 1,5 * b \quad (12)$$

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

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

$h$  é a maior dimensão da seção transversal do pilar em milímetros;

$$R_b = \begin{cases} 0,09 b' & \text{para } 190 \text{ mm} \leq b' \leq 450 \text{ mm} \\ 40,5 & \text{para } b' > 450 \end{cases} \quad (13)$$

$$R_n = \begin{cases} 0 & \text{para } n = 4, \text{ sendo } n \text{ o número de barras longitudinais} \\ 12 & \text{para } n > 4 \end{cases} \quad (14)$$

A NBR 15200 (ABNT, 2012), não permite que os valores de revestimento de pilares e lajes lisas ou cogumelos sejam considerados no cálculo de  $c_1$ .

De acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012), para determinar o valor de  $\mu_{fi}$  que é a relação entre os esforços solicitantes de cálculo em situação de incêndio ( $N_{Sd,fi}$ ) e os esforços resistentes de cálculo à temperatura ambiente ( $N_{Rd}$ ), utiliza-se a Equação 15:

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Sd,fi}}{N_{Rd}} \quad (15)$$

Segundo a ABNT 15200 (ABNT, 2012), para pilares de andares intermediários de edifícios de múltiplos pavimentos compartimentados verticalmente e com efeitos globais de segunda ordem à temperatura ambiente inferiores a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem, pode-se adotar que  $l_{ef,fi} = 0,5l_e$  e para pavimentos mais altos  $l_{ef,fi} = 0,7l_e$ .

Para o uso da Equação 8, a NBR 15200 (ABNT, 2012) determina que as seguintes restrições devem ser respeitadas:

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

Onde:

$e$  é a excentricidade de primeira ordem da força normal que atua em situação de incêndio, podendo ser assumida como igual a excentricidade de primeira ordem

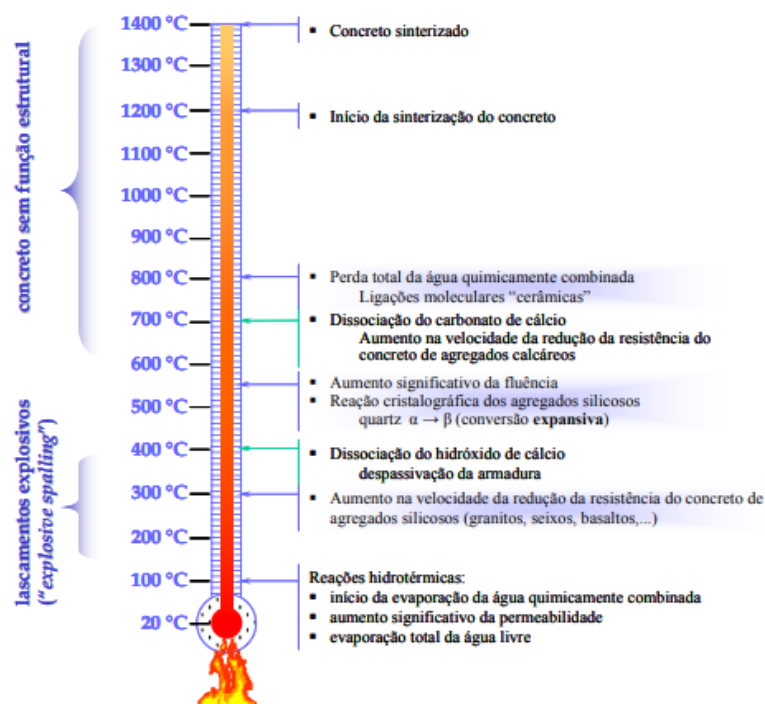


em situação normal a temperatura ambiente, desconsiderando o efeito da força do vento.

## 2.5 Propriedades mecânicas dos materiais expostos a altas temperaturas

Quando o concreto armado é posto a temperaturas elevadas, a partir de 100°C, a heterogeneidade dele começa a ser realçada. Devido a este aumento de temperatura, há a ocorrência de transformações químicas, físicas e mineralógicas entre seus elementos constituintes (COSTA, 2008), como apresentado na Figura 3:

Figura 3 – Transformações físico-químicas do concreto endurecido em altas temperaturas



Fonte: KHOURY (2000).

Sendo assim, as propriedades mecânicas devem ser estudadas para análise estrutural, sendo as principais: resistências a compressão e tração, módulo de elasticidade e as relações de tensão-deformação dos materiais.

### 2.5.1 Concreto

O concreto, quando submetido a altas temperaturas apresenta uma resistência elevada ao fogo devido ao fato de ser incombustível (KHOURY, 2000),

fazendo com que elementos que tenham esse material na sua concepção possam, por mais que haja aumento das temperaturas, suportar por mais tempo as solicitações geradas devido a carga de incêndio, funcionando com um isolante térmico e ainda uma proteção passiva das armaduras e outros elementos (LIMA et al., 2004).

### 2.5.1.1 Resistência à compressão

A resistência a compressão do concreto, segundo a NBR 15200 (ABNT, 2012), decresce e pode ser obtida segundo a Equação 16:

$$f_{c,\theta} = k_{c,\theta} * f_{ck} \quad (16)$$

Onde:

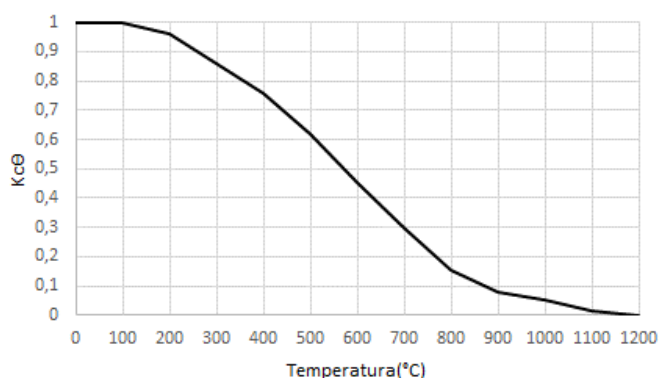
$f_{c,\theta}$  é a resistência característica à compressão à temperatura elevada  $\Theta$ ;

$f_{ck}$  é a resistência característica à compressão do concreto à temperatura ambiente [MPa];

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

Na Figura 4 é apresentado o fator de redução de resistência em função da temperatura.

**Figura 4 – Fator de redução de resistência do concreto silicioso em função da temperatura**



**Fonte: Adaptado NBR 15200 (ABNT, 2012).**

### 2.5.1.2 Módulo de elasticidade

Segundo Costa (2008), o módulo de elasticidade também é reduzido em altas temperaturas, sendo apresentado na Figura 5, onde a redução se dá por meio de um coeficiente redutor  $K_{cE,\theta}$ .

A equação para obter o módulo de elasticidade do concreto submetido a altas temperaturas é dado pela seguinte Equação 17, fornecida pelo Euro code 2 (CEN, 2004 apud SOUSA e SILVA, 2015).

$$E_{c,\theta} = K_{cE,\theta} \times E_c \quad (17)$$

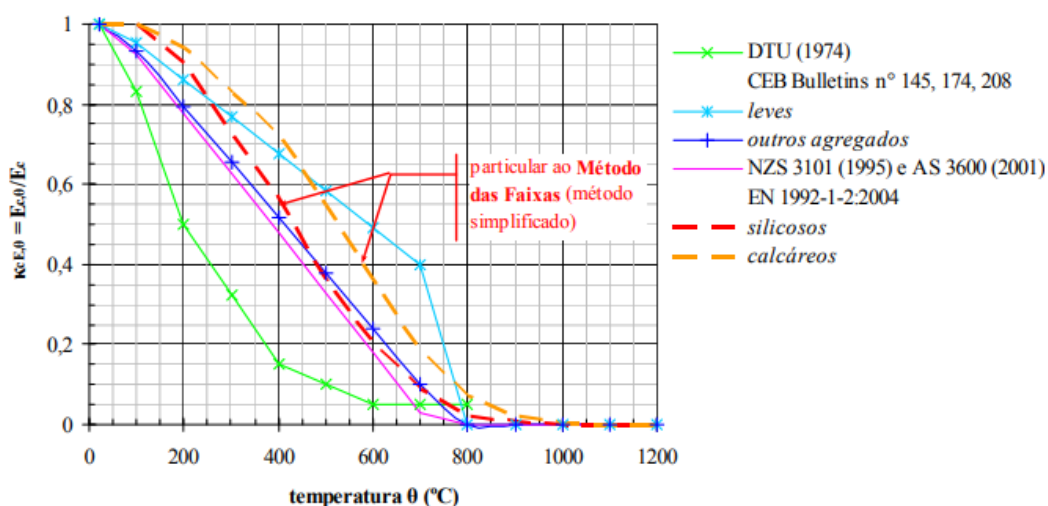
Onde:

$E_{c,\theta}$  é o módulo de elasticidade do concreto à temperatura elevada  $\theta$  [MPa];

$K_{cE,\theta}$  é o coeficiente de redução do módulo de elasticidade do concreto em função da temperatura  $\theta$  [adimensional], sendo calculado como:  $K_{cE,\theta} = (K_{c,\theta})^2$ ;

$E_c$  é o módulo de elasticidade do concreto em temperatura ambiente;

**Figura 5 - Coeficiente de redução do módulo de elasticidade do concreto endurecido à temperatura elevada**



Fonte: COSTA(2008).

### 2.5.1.3 Tensão-deformação

A relação tensão-deformação interfere nas resistências do concreto a compressão, alteração do módulo de elasticidade, das tensões de compressão máxima (COSTA,2008).

Segundo a NBR 15200 (ABNT,2012) é possível representar o diagrama de tensão-deformação do concreto a temperaturas elevadas, segundo a Equação 18:

$$\sigma_{c,\theta} = f_{c,\theta} \times \frac{3 * \left(\frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta}}\right)}{2 + \left(\frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta}}\right)^3} \quad (18)$$

Onde:

$\sigma_{c,\theta}$  é o valor de tensão à compressão do concreto à temperatura elevada a  $\Theta$  [Mpa];

$f_{c,\theta}$  é valor de resistência à compressão do concreto a temperatura elevada  $\Theta$  [Mpa];

$\varepsilon_{c,\theta}$  é a deformação linear específica do concreto em função da temperatura elevada  $\Theta$  [adimensional];

$\varepsilon_{c1,\theta}$  é a deformação linear específica correspondente à resistência à compressão do concreto em função da temperatura elevada  $\Theta$  [adimensional];

Os valores apresentados pela NBR 15200 (ABNT, 2012) estão apresentados na Tabela 3:

**Tabela 3 – Deformação específica do concreto em função da temperatura elevada**

$\Theta$ (°C)	$\varepsilon_{c1,0}$ (%)	$\varepsilon_{cu,\Theta}$ (%)
20	0,25	2,00
100	0,35	2,25
200	0,45	2,50
300	0,6	2,75
400	0,75	3,00
500	0,95	3,25
600	1,25	3,50
700	1,4	3,75
800	1,45	4,00
900	1,5	4,25
1000	1,5	4,50
1100	1,5	4,75
1200	1,5	-

Fonte: Adaptado de NBR 15200(ABNT, 2012).

## 2.5.2 Spalling

*Spalling* ou lascamento é um fenômeno imprevisível, onde o concreto das camadas mais externas se desprende instantaneamente expondo as camadas mais internas (COSTA, 2008). O fenômeno ocorre devido a evaporação da água que estão presente nos poros do concreto, ocasionando um aumento de pressões, que são intensificados pelo gradiente de deformações térmicas (LIMA et al., 2004).

O *Spalling* faz com que a armadura e a região interna da seção dos pilares fiquem desprotegidos das altas temperaturas (COSTA, 2008), fazendo com que a ação direta do fluxo de calor reduza a resistência dos elementos que constituem a peça estrutural, além causar a redução da seção de concreto do pilar (KHOURY, 2000).

## 2.5.3 Aço

Devido à baixa resistência a tração do concreto, sendo sua principal características resistir aos esforços de compressão, as barras de aço são adicionadas para que a estrutura suporte os esforços de tração (FREIRE, 2020).

### 2.5.3.1 Resistência a tração

A resistência a tração, de maneira semelhante ao concreto, apresenta redução em função da temperatura elevada. A NBR 15200 (ABNT, 2012) apresenta a Equação 19, para que seja encontrado o valor característico de resistência do aço de armadura passiva em função da temperatura elevada, sendo determinada por um coeficiente redutor  $K_{s,\theta}$ .

$$f_{y,\theta} = K_{s,\theta} * f_{yk} \quad (19)$$

Onde:

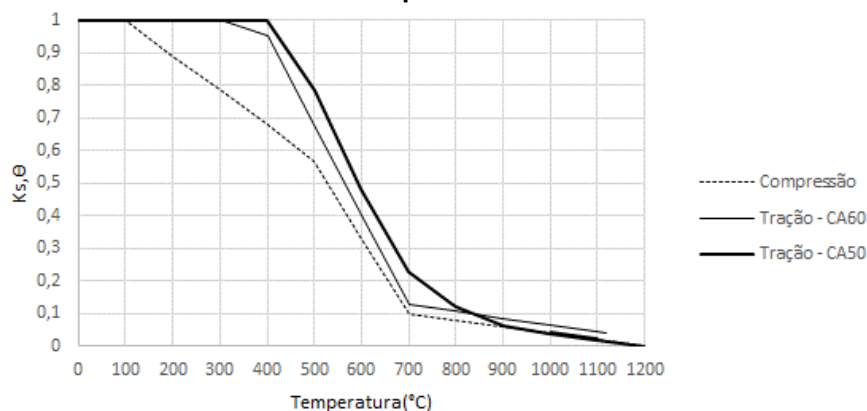
$f_{y,\theta}$  é a resistência característica do aço de armadura passiva à temperatura elevada  $\theta$  [MPa];

$K_{s,\theta}$  é o coeficiente de redução da resistência em função da temperatura  $\theta$  [adimensional];

$F_{yk}$  é a resistência característico do aço em temperatura ambiente [Mpa].

A Figura 6 apresenta o fator de redução em função da temperatura:

**Figura 6 – Fator de redução da resistência do aço de armadura passiva em função da temperatura**



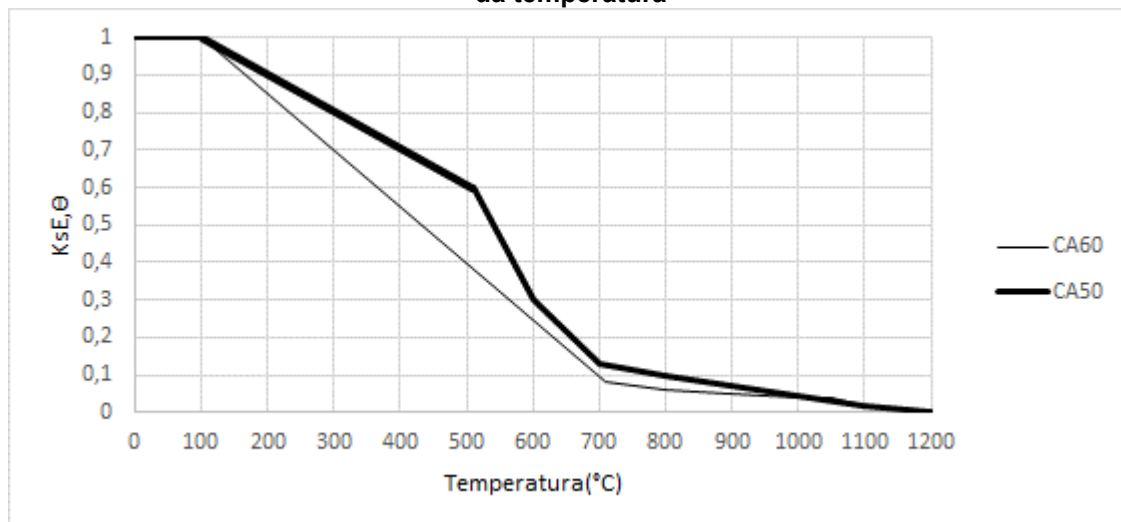
**Fonte: Adaptado NBR 15200(ABNT, 2012).**

As barras de aço que estão localizadas próximas da camada de cobrimento da seção de pilares aquecem-se rapidamente. O aço apresenta uma resposta mecânica devido à alta temperatura do pilar, sendo ela através de uma deformação plástica que excede  $\varepsilon_{s,\theta} = 0,2\%$  nos primeiros 30 minutos do incêndio. Assim, quando o carregamento a compressão é o principal esforço solicitante, a ruptura da seção ocorre em seguida (ANDERBERG, 1978 apud COSTA, 2008).

### 2.5.3.2 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade do aço, segundo NBR 15200 (ABNT, 2021) decresce, sendo apresentado na Figura 7 a relação do fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura passiva em relação a temperatura.

**Figura 7 – Fator de redução do módulo de elasticidade do aço de armadura passiva em função da temperatura**



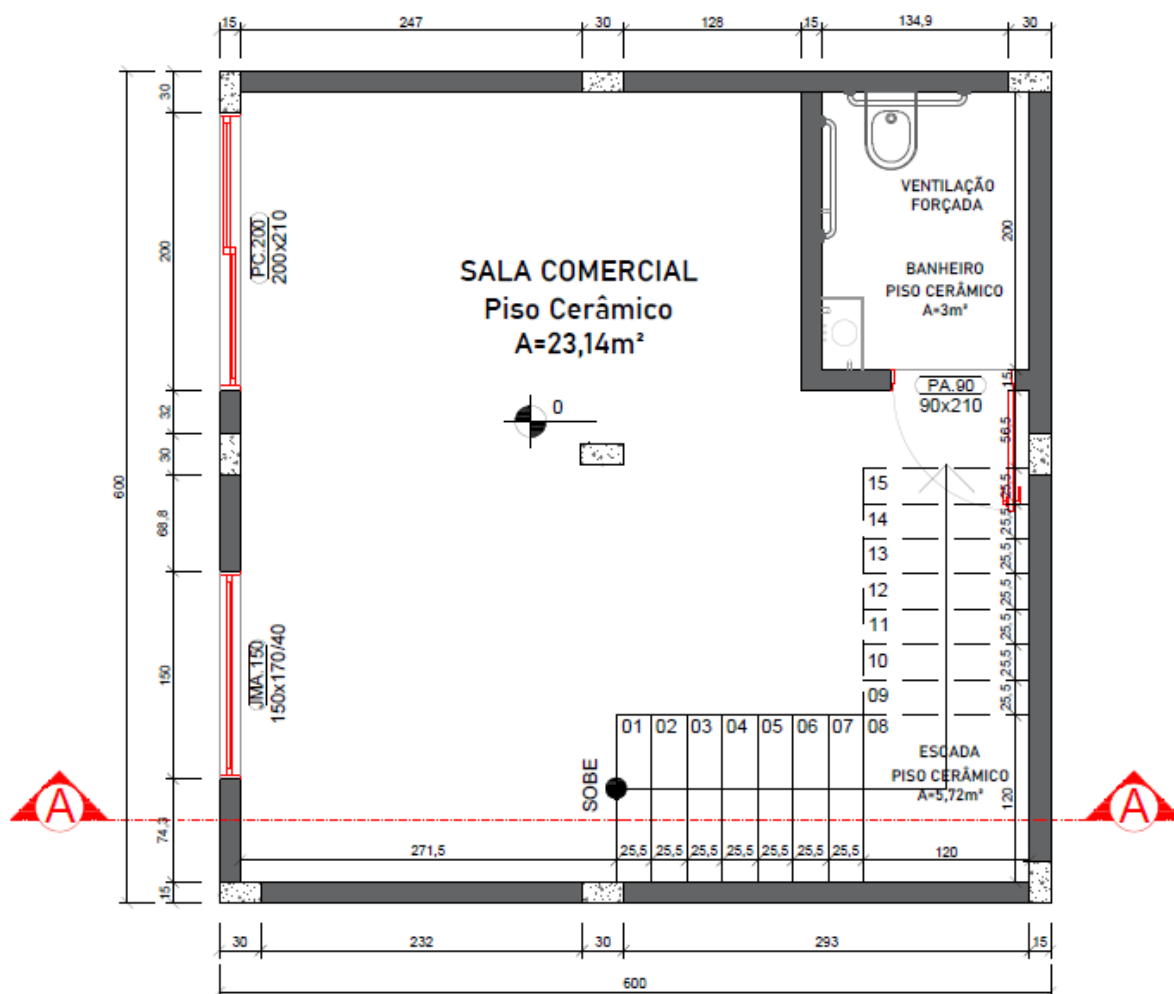
**Fonte: Adaptado NBR 15200(ABNT, 2012).**

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração da planta baixa da edificação e corte lateral foi necessário o uso do software AutoCad, versão estudante. Ele é um software de computador tipo CAD (Computer Aided Design), que em português significa desenho auxiliado por computador, sendo possível a elaboração de projetos e desenhos em duas ou três dimensões (PETRIN, 2015).

Para realizar a comparação proposta, foi elaborado uma edificação fictícia, na cidade de Toledo-PR. Sendo ela um edifício comercial composto de 2 pavimentos, com área edificada de 72 m<sup>2</sup>, que apresenta as dimensões: 6 metros de comprimento, 6 metros de largura com pé esquerdo de 3 metros entre pavimentos, contando com 9 pilares. A planta baixa da edificação é apresentada na Figura 8 e no Apêndice A é apresentado a disposição de pilares, vigas e lajes com suas dimensões.

Figura 8 - Planta baixa da edificação

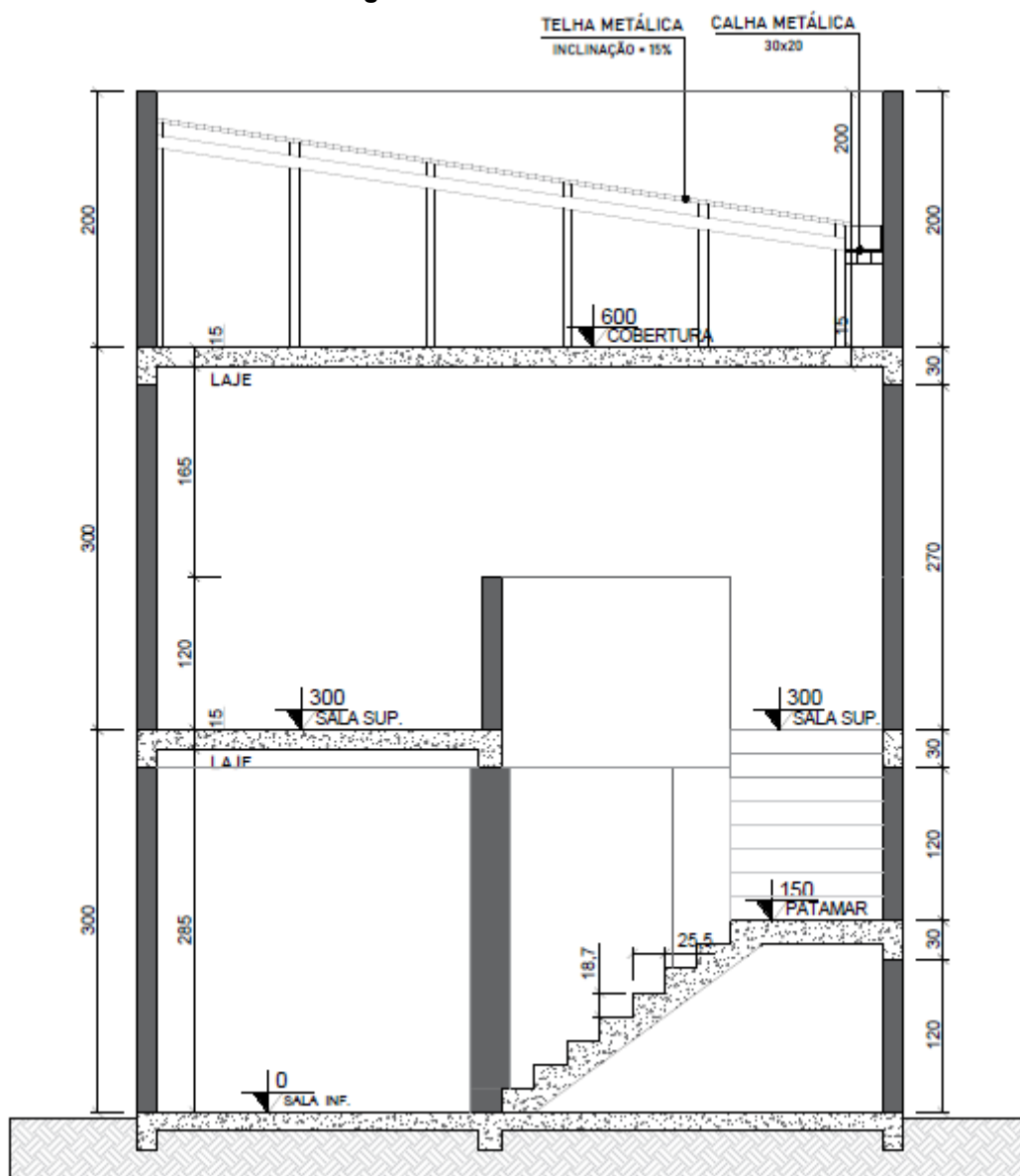


Fonte: Do Autor(2021).



O edifício projetado apresenta uma forma simples. É composto por laje maciça de piso e cobertura, platibanda em todo seu perímetro, alvenaria de tijolo cerâmico e telhado constituído de telhas de alumínio e estrutura metálica. É possível verificar a edificação através de um corte lateral, que é apresentado na Figura 9, a seguir:

**Figura 9 - Corte Lateral AA**



Fonte: Do Autor(2021).

### 3.1 TQS®

A TQS é uma empresa referência no campo da engenharia civil, seja no Brasil ou em alguns países do exterior. Fundada por engenheiros civis, no ano de 1986, a empresa cria, desenvolve e comercializa softwares voltados para a concepção de projetos de estruturas e fundações de edificações, atuando a mais de 30 anos no

mercado. Possui mais de 10.000 clientes e 30.000 instalações e uma grande comunidade no país (TQS®).

O lançamento da estrutura, dimensionamento e verificações dos pilares foi realizado através do software TQS® Estudante, através da licença de versão educacional que possui praticamente todos os principais recursos dos demais pacotes destinados ao uso comercial profissional, tendo apenas algumas limitações como número máximo de pavimentos, pilares e vigas e outros que são apresentados no site da empresa (TQS®).

É um software designado para a elaboração de projetos estruturais de concreto armado. Nele é possível a realizar a concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento, detalhamento de armaduras, geração de desenhos e emissão de plantas atendendo aos requisitos da NBR 6118 (ABNT, 2014) (TQS®).

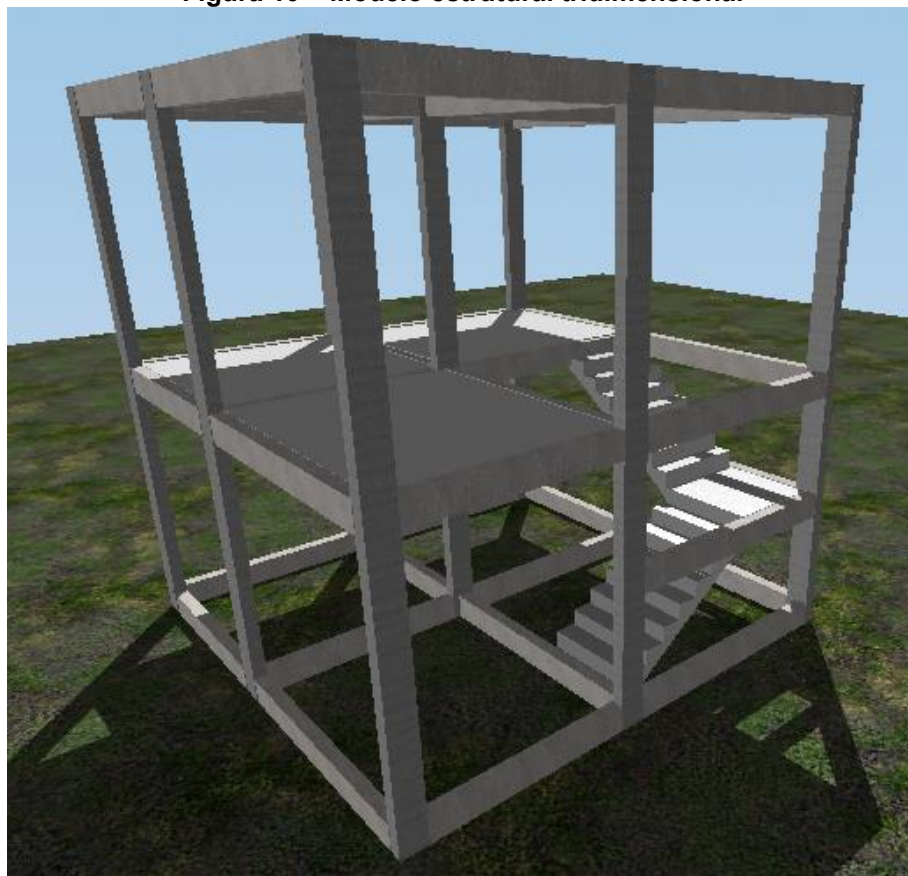
Além do dimensionamento segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), o TQS® realiza a verificação dos elementos estruturais expostos a situação de incêndio seguindo a NBR 15200 (ABNT, 2012), pelo método analítico para pilares apresentados nos itens 2.4.1 e 2.4.3.

### **3.2 Passos para o dimensionamento e verificação de incêndio**

O primeiro passo para o dimensionamento dos pilares foi determinar o TRRF da edificação através da Tabela 1, referente a NBR 14432 (ABNT, 2001), visto que se trata de uma edificação comercial. Caso a estrutura não se enquadre nos critérios estabelecidos pela norma NBR 14432 (ABNT, 2001), a edificação estará isenta dos requisitos de resistência estabelecidos.

Com posse da planta baixa da edificação foi feito o lançamento dos elementos estruturais no software TQS®, para assim, dar início ao dimensionamento. A modelagem tridimensional da estrutura, obtida através do TQS® é apresentada na Figura 10, a seguir:

**Figura 10 – Modelo estrutural tridimensional**

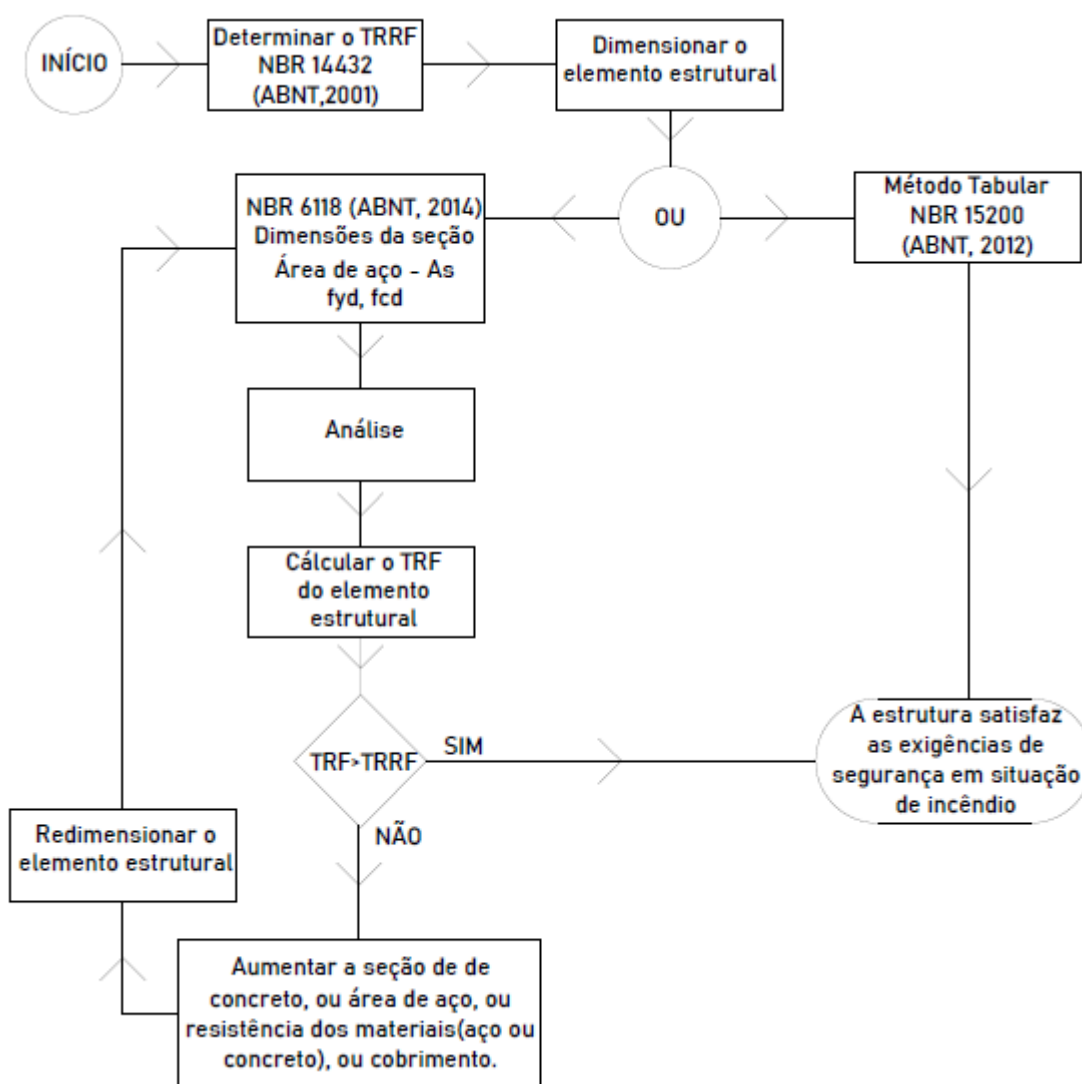


**Fonte: Do Autor(2021).**

Com a modelagem pronta, o projeto da edificação foi dimensionado para a situação normal, seguindo NBR 6118 (ABNT, 2014) e posteriormente feita a análise dos pilares para a situação de incêndio, através do Método Tabular, Tabular Geral e Analítico.

Posto isso, foi realizado um diagrama, apresentado na Figura 11, demonstrando os passos do dimensionamento de estruturas em situação de incêndio, representando o Método Tabular e Analítico, para facilitar a compreensão do desenvolvimento do trabalho.

Figura 11 – Dimensionamento elemento estrutural em situação de incêndio



Fonte: Do Autor(2021).

Logo após o dimensionamento e a definição da seção do pilar e área de aço, foi realizado o levantamento do consumo de materiais para os pilares dimensionados de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) e os pilares dimensionados em situação de incêndio de acordo com a NBR 15200 (ABNT, 2012) para fazer a comparativo de consumos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os parâmetros iniciais do projeto levados em consideração foram os seguintes: concreto com resistência de 25 MPa, aço CA-50, velocidade básica do vento de 45 m/s, cobrimentos de 3 cm (classe de agressividade ambiental II) e agregado de 2,5 cm.

Para os cálculos dos parâmetros de força normal adimensional ( $\nu$ ) e taxa mecânica de armadura ( $\omega$ ), foram utilizados os valor de coeficientes de ponderação de resistência do concreto e aço como  $\gamma_c = 1,4$  e  $\gamma_s = 1,15$ .

As cargas atuantes na estrutura, além do peso próprio para análise dos pilares são as cargas permanentes e variáveis conforme apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4 - Cargas atuantes na estrutura**

Local	Permanente(KN/m <sup>2</sup> )	Variável(KN/m <sup>2</sup> )
Laje Cobertura	1,5	1
Laje Térreo	2	3
Escada	1	3
Alvenaria	1,8	-

Fonte: Do Autor (2022).

Ainda de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) é ressaltada a necessidade do cálculo das ações horizontais devida ao vento, seguindo a NBR 6123 (1988). Neste, edifício a única ação horizontal aplicada é o vento. Assim, é apresentado os dados definidos e a carga total aplicada em todas direções de vento na Tabela 5.

**Tabela 5 – Dados do vento e carga aplicada em ambas as direções**

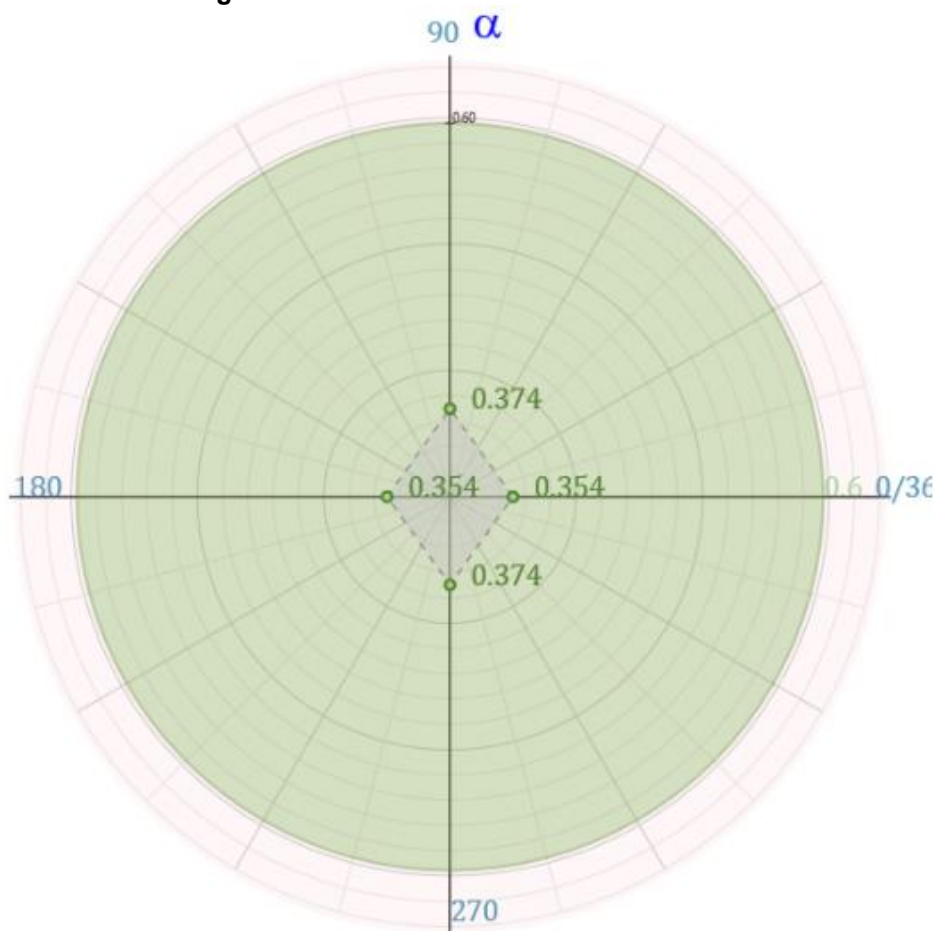
<b>Velocidade Básica(m/s)</b>		45,0		
<b>Fator Topográfico(S1)</b>		1,00		
<b>Categoria de Rugosidade(S2)</b>		IV		
<b>Classe da Edificação(S2)</b>		A		
<b>Fator Estatístico(S3)</b>		1,00		
<b>Ângulo (°)</b>	<b>Coef.Arrasto</b>	<b>Área(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pressão(KN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Força(KN)</b>
0	1.14	36	0,78	28,08
90	1.14	36	0,78	28,08
180	1.14	36	0,78	28,08
270	1.14	36	0,78	28,08

Fonte: Do Autor (2022).

Como se trata de uma edificação simétrica, é possível notar que em ambas as direções a força do vento é a mesma, contudo pode-se notar que um valor de força significativo. No Apêndice B são apresentados os valores de deslocamentos horizontais totais e entre pavimentos, obtidos através do software TQS®.

O edifício, através do parâmetro de instabilidade alfa, foi classificado como de nós fixos, onde o parâmetro alfa apresentou  $\alpha = 0,354$  para as direções de ângulo  $0^\circ$  e  $180^\circ$  e  $\alpha = 0,374$  para as direções de ângulo  $90^\circ$  e  $270^\circ$ , onde o limite era de 0,4 para a edificação, como é apresentado através da Figura 12, obtido pelo TQS®.

**Figura 12 – Parâmetro de instabilidade alfa**

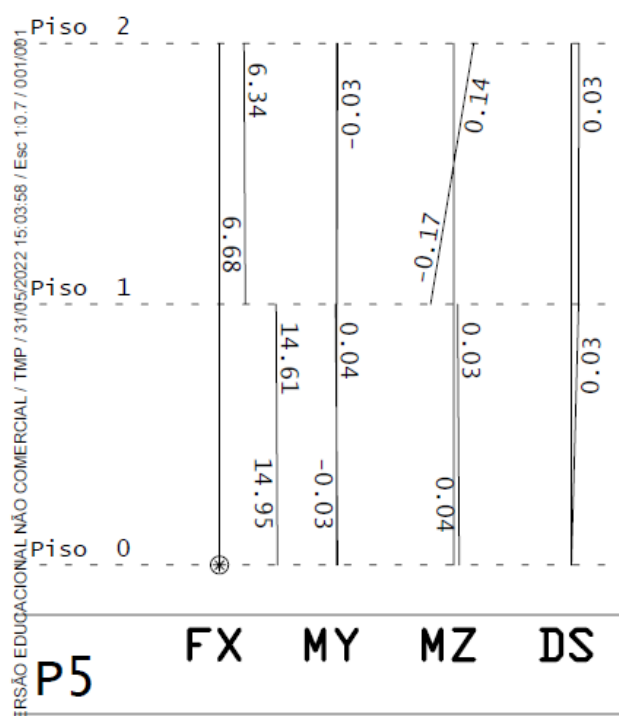


**Fonte: Do Autor (2022).**

A partir das informações apresentadas anteriormente, o edifício foi processado globalmente, e o dimensionamento do sistema estrutural foi realizado, sendo obtido um valor para a seção transversal para todos os pilares de 15x30 centímetros. Através do visualizador de pórticos do software TQS® no estado limite último (ELU) foi possível gerar digramas de interação dos pilares sendo apresentado os valores de força normal, momentos fletores e deslocamento através de todas as

cargas permanentes e acidentais, sendo possível a escolha de outras combinações. É válido ressaltar que os valores de deslocamento deve ser visualizados no estado limite de serviço (ELS), não servindo de comparação com os valores da NBR 6118 (ABNT, 2014). Assim, é apresentado na Figura 13 os valores obtidos para o pilar 5, sendo o mais solicitado por forças de compressão. No Apêndice C os demais pilares são apresentados.

**Figura 13 - Pórtico Espacial (ELU) – Pilar P5 em elevação**



Fonte: Do Autor (2022).

Onde:

$F_x$  é a força normal de compressão (tf);

$M_y$  é o momento em torno do eixo y (tf\*m);

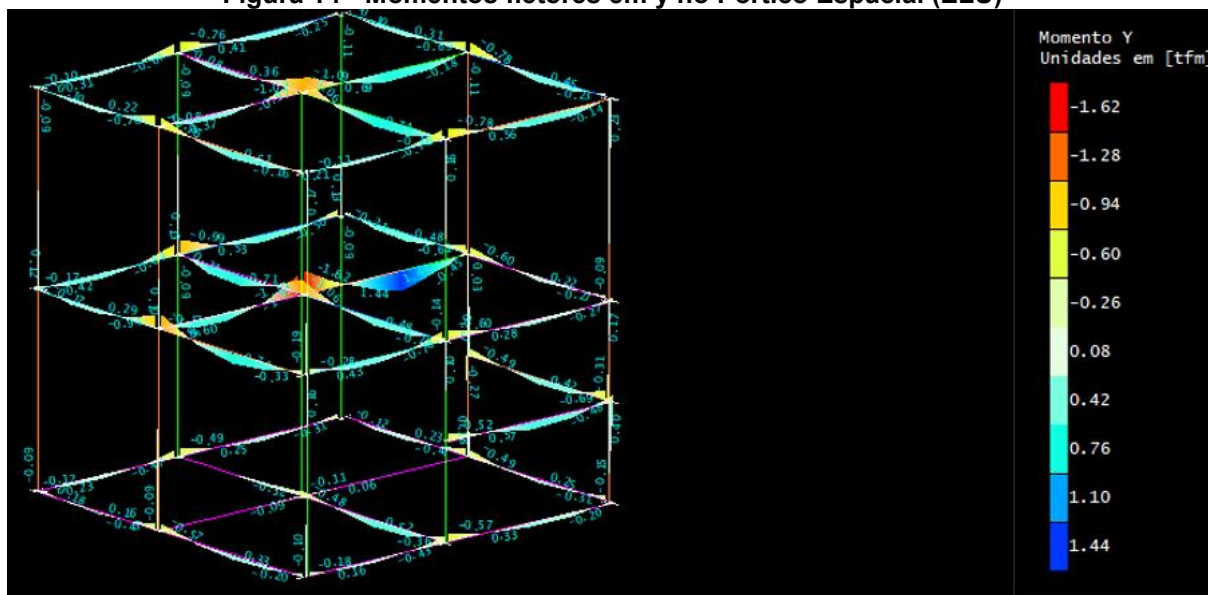
$M_z$  é o momento em torno do eixo z (tf\*m);

$D_s$  é o deslocamento (cm);

Ainda, no mesmo visualizador de pórtico espacial foi possível fazer a verificação do modelo de maneira tridimensional, sendo possível visualizar várias combinações e carregamentos. Assim, foram analisados os momentos fletores, esforços normais e cortante em toda a estrutura. Na Figura 14, é apresentado o esquema do pórtico espacial, com a escolha do caso de todas as cargas permanentes e acidentais atuantes na estrutura, apresentando os momentos fletores em torno do

eixo y, a fim de demonstrar o resultado obtido, sendo possível verificar um momento máximo negativo de  $-1.62 \text{ tf}\cdot\text{m}$  e um momento máximo positivo de  $1,44 \text{ tf}\cdot\text{m}$  para este caso.

Figura 14 - Momentos fletores em y no Pórtico Espacial (ELU)



Fonte: Do Autor (2022).

Neste edifício, não houve o processamento e dimensionamento das fundações, visto que não faziam parte do estudo.

Através do TQS®, foi obtido o relatório dos pilares dimensionados, sendo apresentado na Figura 15 o do Pilar 5.

Figura 15 - Relatório de dimensionamento do pilar 5

Flexão

Lance	Pavimento	Seção		Armadura longitudinal					v	$\sigma$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Esbeltez		$f_{ck}$ (MPa)	c (cm)	2ª Ordem
		Formato (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	n	$\varnothing$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho$ (%)	$\rho_{Tras}$ (%)			$\lambda_x$	$\lambda_y$			
2	Cobertura	15X30	450.00	4	10	3.10	0.7	1.4	0.14	25	69	35	25	3	PP c/ k aprox.
1	Terreo	15X30	450.00	4	10	3.10	0.7	1.4	0.314	56	69	35	25	3	PP c/ k aprox.

Fonte: Do Autor (2022).

Nele foi possível verificar a seção do pilar, número de barras longitudinais e seus diâmetros, área de aço, taxa geométrica de armadura, esforço normal adimensional, tensão de cálculo, índice de esbeltez, a resistência característica do concreto, cobrimento e o método utilizado para o cálculo dos efeitos de segunda ordem, sendo padrão no TQS® para pilares com índice de esbeltez menor que noventa, o do pilar padrão com k aproximado.



Também foi possível através deste relatório obter por lance, as combinações as quais levaram a maior solicitação dos pilares. Na Figura 16, é apresentado os valores das combinações de estado limite último (ELU) do lance do térreo, as quais levaram a maior solicitação do pilar 5.

**Figura 16 – Solicitações no estado limite último do pilar 5**

Combinação	Seção	$N_{sd}$ (tf)	$M_{sdx}$ (tfm)	$M_{sdy}$ (tfm)	$S_d/R_d$ (%)
<a href="#">19: ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.7ACID+VENT2</a>	Topo	23.44	-0.34	0.06	-
	Meio	23.44	0.92	0.06	0.6 
	Base	23.44	0.42	0.04	-
<a href="#">30: ELU1/ACIDCOMB/PP V+PERM V+0.7ACID V+VENT2</a>	Topo	23.37	-0.34	0.06	-
	Meio	23.37	0.92	0.06	0.6 
	Base	23.37	0.42	0.04	-

Fonte: Do Autor (2022).

Onde:

$N_{sd}$  é a força normal solicitante de cálculo;

$M_{sdx}$  é o momento fletor solicitante de cálculo em torno do eixo x;

$M_{sdy}$  é o momento fletor solicitante de cálculo em torno do eixo y;

$S_d/R_d(\%)$  é a relação solicitação por resistência;

No Apêndice D, é apresentado o memorial de cálculo simplificado realizado pelo TQS® para o pilar 5, onde são apresentadas as solicitações na base, meio e topo do pilar, através da combinação 19, apresentada na Figura 16.

Através do visualizador de efeitos locais de 2ª ordem do software TQS®, pode-se obter os valores de solicitações geradas pelos casos de combinações, casos mais favoráveis e desfavoráveis, sendo apresentado a situação, onde o pilar passa ou não no dimensionamento. A Figura 17 apresenta a tela de seleção do caso a ser analisado para efeitos globais de 2ª ordem.

**Figura 17 – Apresentação da tela de seleção do caso para análise de efeitos locais de 2ª ordem**

Selecione o caso atual

Faixa do pilar-parede:

Caso	Título	Status	NSd (tf)	MSdz (tfm)	MSdy (tfm)	Sd/Rd
18	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.7ACID+VENT1	Passou	23.29	0.00	0.95	0,60
19	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.7ACID+VENT2	Passou	23.44	0.00	-1.06	0,67
20	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.7ACID+VENT3	Passou	23.49	1.29	-0.00	0,45
21	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.7ACID+VENT4	Passou	23.24	-1.18	-0.00	0,43
24	ELU1/PERMACID/PP_V+PERM_V+ACID_V	Passou	25.12	0.00	0.00	0,31
25	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1	Passou	25.08	0.00	0.75	0,53
26	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2	Passou	25.17	0.00	-0.89	0,60
27	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3	Passou	25.20	0.80	-0.00	0,40
28	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4	Passou	25.05	-0.68	-0.00	0,39
29	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.7ACID_V+VENT1	Passou	23.23	0.00	0.94	0,60
30	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.7ACID_V+VENT2	Passou	23.37	0.00	-1.06	0,67
31	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.7ACID_V+VENT3	Passou	23.42	1.29	-0.00	0,45
32	ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.7ACID_V+VENT4	Passou	23.18	-1.18	-0.00	0,43

Envoltória de esforços de 1a. ordem:

Esforço	Mínimo		Máximo	
	Valor	Caso	Valor	Caso
Nd (tf)	22.89	32	24.99	16
Mzd (tfm)	-1.18	32	1.29	31
Myd (tfm)	-0.42	19	0.34	30

Máximo no topo:

Máximo no meio:

Máximo na base:

[Exportar tabela](#)

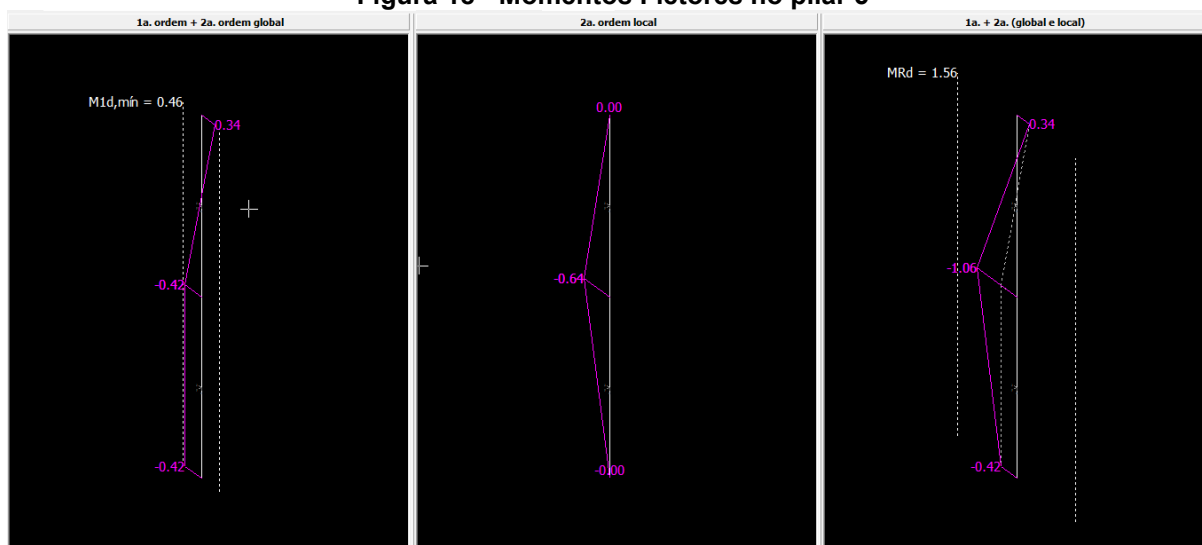
OK Cancelar

Fonte: Do Autor (2022).

Selecionado o caso 30 para o pilar 5, no tramo do térreo, que apresentou maior solicitação em função da resistência, foi possível fazer a verificação dos esforços força normal, força cortante e momentos fletores, além da envoltória de momentos mínimos e momentos resistentes.

Na Figura 18, é apresentado o momento fletor em torno da seção com menor rigidez do pilar 5, no tramo do térreo, o qual apresenta o menor momento resistente, assim como os valores de momento mínimos de 1ª ordem local, 2ª ordem local e a soma de ambos.

**Figura 18 - Momentos Fletores no pilar 5**

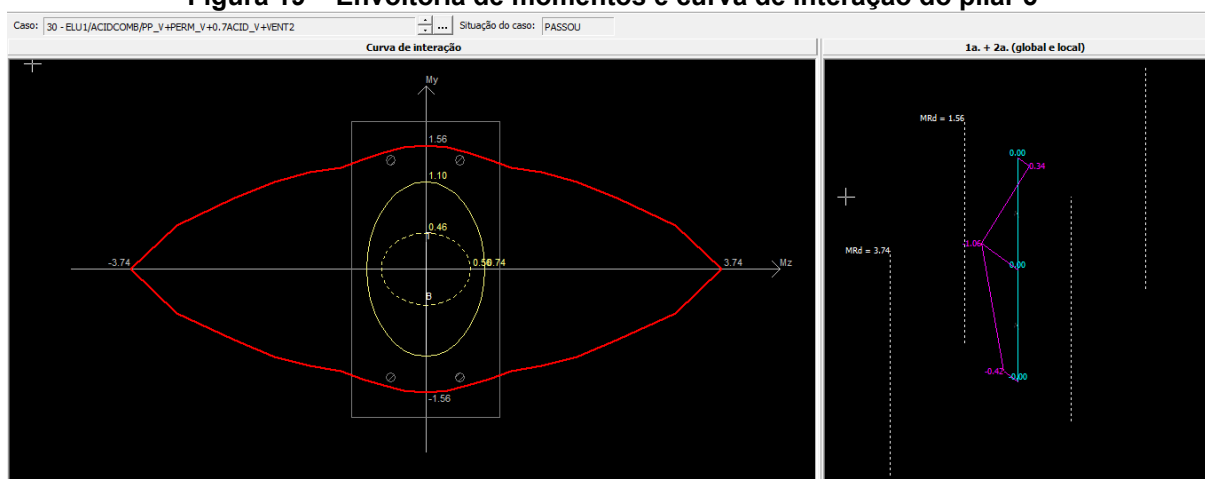


Fonte: Do Autor (2022).

Na Figura 19 é apresentada a envoltória de momentos mínimos e curva de interação do pilar 5, tramo do térreo. Nele a linha amarela tracejada é a envoltória de momentos mínimos de 1ª ordem. A linha amarela cheia, é a envoltória de momentos mínimos considerando os efeitos de 2ª ordem locais. O valor de T e B, são os momentos na base e topo do pilar. A linha vermelha, é a envoltória de momento resistente, onde todos os esforços devem estar contidos.

Caso algum ponto estivesse fora da envoltória resistente, indicaria que há uma carga vertical acentuada para a atual geometria do pilar, devendo ser aumentada a seção do pilar ou mudar. Aumentando uma dimensão do pilar, isso significaria que os efeitos de 2ª ordem locais diminuiriam e aumentaria a envoltória de momento resistente. Como o pilar 5 teve sua situação como passou, não foi necessário fazer alterações.

**Figura 19 – Envoltória de momentos e curva de interação do pilar 5**



Fonte: Do Autor (2022).

Desse modo, foi realizado um relatório simplificado dos demais pilares na obtidos através do dimensionamento realizado pelo software TQS®, apresentado na Tabela 6 a seguir:

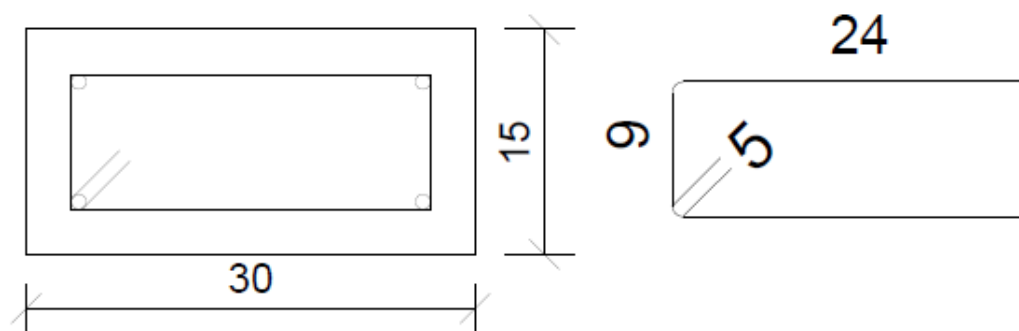
Tabela 6 - Relatório do dimensionamento para situação normal

Pilar P1													
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v	
2	Cobertura	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,0375	
1	Térreo	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,0863	
Pilar P2													
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v	
2	Cobertura	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,0745	
1	Térreo	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,1774	
Pilar P3													
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v	
2	Cobertura	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,0438	
1	Térreo	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,1048	
Pilar P4													
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v	
2	Cobertura	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,0757	
1	Térreo	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,1789	
Pilar P5													
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v	
2	Cobertura	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,1401	
1	Térreo	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,3136	
Pilar P6													
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v	
2	Cobertura	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,0846	
1	Térreo	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,2064	
Pilar P7													
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v	
2	Cobertura	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,0424	
1	Térreo	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,1042	
Pilar P8													
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v	
2	Cobertura	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,0866	
1	Térreo	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,1872	
Pilar P9													
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v	
2	Cobertura	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,0496	
1	Térreo	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,1472	

Fonte: Do Autor (2022)

Como é possível visualizar na Tabela 6, todas as seções apresentaram um número de 4 barras longitudinais de 10 mm de diâmetro, estribos de 5 mm de diâmetro espaçados a cada 12 cm com cobrimento de 3 cm. O detalhamento realizado pelo software TQS® é apresentado no Apêndice B de forma mais detalhada. A Figura 20 apresenta a seção transversal do pilar e o detalhamento do estribo.

Figura 20 - Seção transversal e detalhamento do estribo para pilar em situação normal



Fonte: Do Autor (2022).

Desse modo, com o detalhamento a quantidade de aço e concreto necessária para a elaboração de todos os pilares é apresentada na Tabela 7 a seguir:

**Tabela 7 - Quantidade de aço e concreto para dimensionamento em situação normal**

<b>Aço</b>		
<b>Diâmetro do Aço (mm)</b>	<b>Comprimento total (m)</b>	<b>Total (Kg)</b>
<b>CA-50 <math>\phi</math> 10,0</b>	279,72	172,6
<b>CA-60 <math>\phi</math> 5</b>	428,4	66,0
<b>Total de Aço (Kg)</b>		238,6
<b>Concreto</b>		
<b>Área Total (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Comprimento Total (m)</b>	<b>Total (m<sup>3</sup>)</b>
4050	54	21,87

**Fonte: Do Autor (2022).**

O consumo de aço foi relativamente baixo, devido as características dos pilares. Suas dimensões, fazem que sua classificação fosse de pilares de esbeltes média e seus esforços majorados em 20% através do coeficiente ( $\gamma_n$ ) devido a menor dimensão dos pilares serem de 15 cm. Isso fez com que houvesse momentos de segunda ordem, aumentando o momento total. Ainda assim, os pilares apresentaram uma força normal adimensional baixa, sendo no máximo de 0,313 no pilar 5, no tramo do térreo, apresentado na Tabela 6. Desse modo, a área de aço da armadura longitudinal é composta pela bitola mínima exigida em pilares segundo NBR 6118 (ABNT,2014), sendo de 10 mm, atendendo as solicitações dos esforços de compressão e flexão.

Após o dimensionamento para a situação normal concluído, o mesmo sistema estrutural lançado, foi verificado para a situação de incêndio, no software TQS®. Todas as características iniciais do projeto foram mantidas, até mesmo as armaduras longitudinais e transversais, visto que não se trata de uma nova concepção estrutural. Os processos de verificação foram realizados através do Método Tabular, Tabular Geral e Analítico para pilares que estão presentes na NBR 15200 (ABNT, 2012).

#### **4.1 Verificação de pilares em situação de incêndio através do Método Tabular**

Antes da verificação para incêndio, foi realizado a definição do Tempo de Resistência ao Fogo (TRRF) da Estrutura. Seguindo a NBR 14432 (ABNT, 2001), a edificação foi caracterizada como uma edificação comercial de serviços profissionais,

peçoais e técnicos, apresentando altura inferior a 6 metros, sendo exigido um TRRF de 30 minutos.

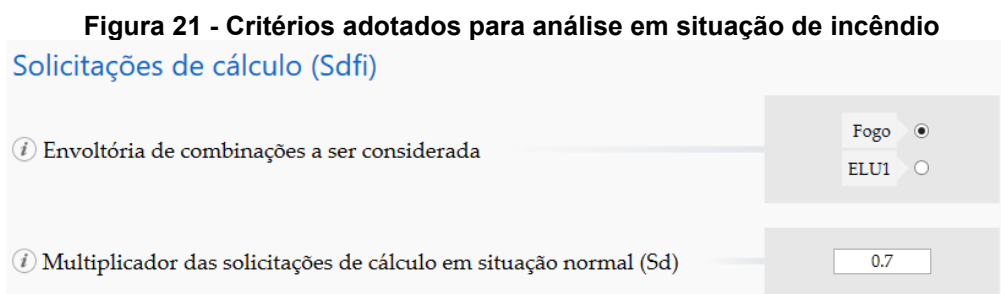
Para a verificação através do método Tabular, os pilares P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8 e P9 apresentaram apenas uma face exposta ao fogo. Sua verificação foi feita através da Tabela 12 da NBR 15200 (ABNT, 2012), como apresentado na Tabela 2 deste trabalho. Desse modo, foi verificado que os mesmos não atenderam ao valor da dimensão mínima ( $b_{min}$ ), visto que o valor de  $c1$  foi atendido. Assim, houve a necessidade de que sua menor dimensão fosse aumentada para 16 cm, para que os mesmos atendam a situação de incêndio. Consequentemente, houve o aumento no consumo de concreto e maior resistência a solicitação de compressão.

Para o pilar P5, que apresentou mais que uma face exposta ao fogo, foi realizado a verificação através do Método Tabular Geral, através do uso das Tabelas dispostas no Anexo E da NBR 15200 (ABNT, 2012) e do Método Analítico.

#### 4.2 Verificação de pilares em situação de incêndio através do Método Tabular Geral

Para a realização da análise no software TQS®, foi definido o Tempo de Resistência ao Fogo (TRRF), como sendo de 30 minutos, a edição de critérios, o processamento da verificação e a visualização dos resultados.

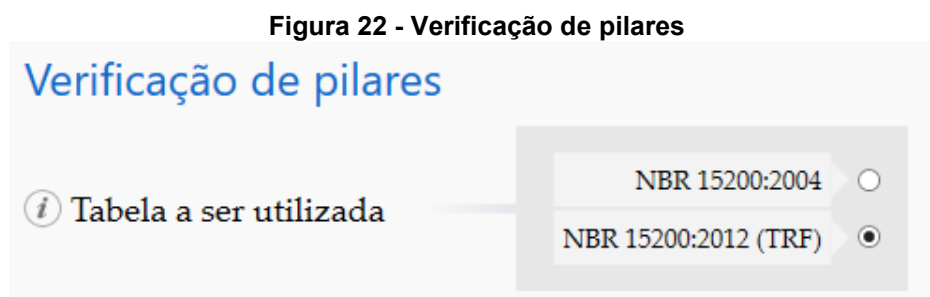
A edição de critérios, teve como primeiro item a ser escolhido a envoltória de combinações a ser considerada, sendo ela a envoltória de “Fogo”, como é apresentado na Figura 21.



Fonte: Do Autor (2022).

Através dela, foi obtido o valor das solicitações de cálculo em situação de incêndio ( $S_{d,fi}$ ), calculado automaticamente pelo software, baseando-se na Equação 2.

Para a verificação da segurança estrutural de pilares em situação de incêndio através do software TQS®, foi escolhido o critério da Tabela da ABNT NBR 15200 (2012), como apresentado na Figura 22.



Fonte: Do Autor (2022).

Como é previsto, pela norma os valores de coeficientes de ponderação de resistência do concreto e aço como  $\gamma_c = 1,4$  e  $\gamma_s = 1,15$  podem ser alterados para respectivamente  $\gamma_c = 1,0$  e  $\gamma_s = 1,0$ . Assim, foi adotado os valores que apresentaram um resultado mais brando para o cálculo da força normal adimensional ( $v_{fi}$ ) e taxa mecânica de armadura ( $\omega$ ).

Definidos os critérios apresentados anteriormente, foi feito o processamento da estrutura para verificação de incêndio. Os resultados apresentados pelo TQS®, podem ser visualizados na Tabela 8, sendo referentes ao Pilar P5.

**Tabela 8 - Valores de Cálculo para o Método Tabular Geral**

Pilar P5													
Lance	Título	Seção	Área	As(cm <sup>2</sup> )	As/Ac	Fck(Mpa)	Cobrimento	v <sub>fi</sub>	Nsdfi (tf)	ω	e(mm)	c1(mm)	Nsdfi/Nrd
2	Cobertura	15x30	450	3,1	0,007	25	3	0,06	5,91	0,138	5	40	0,07
1	Térreo	15x30	450	3,1	0,007	25	3	0,14	12,56	0,138	2	40	0,16

Fonte: Do Autor (2022).

Com esses valores, foi utilizado os valor de taxa mecânica de armadura ( $\omega$ ) e excentricidade (e) para escolha das tabelas E.1 a E.12 da NBR 15200 (ABNT, 2012). Escolhido a tabela mais adequada, os parâmetros usados para análise, foi o TRF, o valor de força normal adimensional para situação de incêndio ( $v_{fi}$ ) e o índice de esbeltes para situação de incêndio ( $\lambda_{fi}$ ), sendo respectivamente 30 minutos, 0,14, e 69 para a pior situação.

A tabela utilizada para a verificação do pilar P5 foi a E.1 da NBR 15200 (ABNT,2012), apresentada e adaptada na Tabela 9 a seguir:

**Tabela 9 – Dimensões es mínimas para pilares com  $\omega = 0,1$  e  $e_{máx} = 10$  mm (para  $b \leq 400$  mm) e  $e_{máx} = 0,025 \times b$  (para  $b > 400$  mm)**

TRRF	$\lambda_{fi}$	b <sub>mín</sub> / c <sub>1</sub>			
		v <sub>fi</sub> = 0,15	v <sub>fi</sub> = 0,30	v <sub>fi</sub> = 0,5	v <sub>fi</sub> = 0,7
30	30	150/25	150/25	150/25	150/25
	40	150/25	150/25	150/25	150/25
	50	150/25	150/25	150/25	200/25
	60	150/25	150/25	200/25	250/25
	70	150/25	150/25	250/25	300/25
	80	150/25	200/25	200/30: 300/25	350/25

Fonte: Adaptado NBR 15200(ABNT, 2012).

Com essa verificação, foi possível avaliar os valores de  $b_{min}$  e  $c1_{min}$  exigidos pela norma e fazer a comparação com os valores de dimensionamento para situação normal. Dessa maneira, foi possível afirmar que o pilar P5 atende aos requisitos da norma, sendo  $b \geq b_{min}$  e  $c1 \geq c1_{min}$ , não sendo necessário alterar suas dimensões. Os valores são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 - Situação da verificação de pilares em situação de incêndio**

Pilar	Pavimento	b(mm)	c1(mm)	Tabela	b <sub>mín</sub>	c <sub>1, mín</sub>	Situação
P5	Térreo	150	40	E.1	150	25	Ok

Fonte: Do Autor (2022)

#### 4.3 Verificação de pilares em situação de incêndio através do Método Analítico

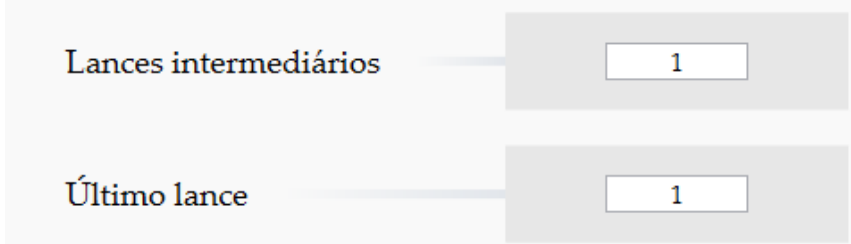
O tempo de resistência ao fogo (TRRF) para esta análise permaneceu inalterado, sendo ele no valor de 30 minutos.

Para a análise do pilar P5, e cálculo do seu TRF, outro critério a ser inserido, foi a respeito da maneira de avaliar o comprimento equivalente em situação de incêndio ( $l_{e,fi}$ ), apresentado na Figura 23. Foram seguidos os valores apresentados e que são sugeridos pela NBR 15200 (ABNT, 2012), onde sempre é possível ser considerado o comprimento equivalente em situação de incêndio ( $l_{e,fi}$ ) igual ao comprimento equivalente em situação normal ( $l_e$ ).



Figura 23 - Critério para comprimento equivalente em situação de incêndio

### Multiplicadores para cálculo de $l_{e,fi}$



Fonte: Do Autor (2022).

A envoltória de combinações a ser considerada, foi a envoltória de “Fogo”, a mesma escolhida para o Método Tabular Geral. Com ela foi obtido o valor das solicitações de cálculo em situação de incêndio ( $S_{d,fi}$ ), calculado automaticamente pelo software.

Após a adoção dos critérios, o processamento da estrutura foi feito novamente para a verificação do pilar 5 em situação de incêndio. Os valores obtidos do TQS® são apresentados na Tabela 11 a seguir:

Tabela 11 – Valores de cálculo para situação de incêndio pelo Método Analítico

P5																
Lance	Título	Seção	Ac(cm <sup>2</sup> )	As(cm <sup>2</sup> )	As/Ac	Fck(Mpa)	Cob	vfi	Nsdfi (tf)	ω	e(mm)	c1(mm)	Nsdfi/Nrd	le=le,fi	NFE	NB
2	Cobertura	15x30	450	3,1	0,007	25	3	0,09	5,91	0,17	5	40	0,07	300	2	4
1	Térreo	15x30	450	3,1	0,007	25	3	0,14	12,56	0,17	2	40	0,16	300	2	4

Fonte: Do Autor (2022).

Onde:

$N_{Sdfi}/N_{Rd}$  é relação entre a força solicitante de cálculo em situação de incêndio (tf) e a força resistente de cálculo em situação normal (tf);

$NFE$  é número de faces expostas ao fogo. Vale ressaltar que é somente valor um adotado, visto que o Método Analítico é para pilares com mais de uma face exposta ao fogo;

$Cob$  é o Cobrimento (cm);

$As/Ac$  é a taxa geométrica de armadura (área de aço / área de concreto);

$NB$  é o número total de barras de armaduras longitudinais;

Com os valores obtidos, apresentados na Tabela 11 foi realizado o cálculo das fatores apresentados na Equação 8, para a obtenção do Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) do pilar P5. Os valor dos fatores são apresentados na Tabela 12, a seguir:

Tabela 12 - Cálculo Tempo de Resistência ao Fogo

TRF - Pilar 5			
Cobertura		Térreo	
b(mm)	150	b(mm)	150
R $\mu$	76,9	R $\mu$	70,1
Ra	16	Ra	16
RI	19,2	RI	19,2
b'	180	b'	180
Rb	0	Rb	0
Rn	0	Rn	0
TRF	106	TRF	95
Situação TRF>TRRF!		Situação TRF>TRRF!	

Fonte: Do Autor (2022)

Como, pode ser observado, a situação apresentada foi “TRF>TRRF!”. Isso indica que o TRF, mesmo valor obtido de TRF pelo TQS®, foi maior que o TRRF, porém, o pilar P5 não atendeu ao critérios mínimos exigidos pela NBR 15200 (ABNT, 2012). Desse modo, seria necessário que as características geométricas fossem alteradas. As verificações feitas para o atendimento desses critérios são apresentadas na Tabela 13, a seguir:

Tabela 13 - Verificação para o atendimento dos critérios do Método Analítico para pilares

Pilar P5			
Verificação	Cobertura	Térreo	Situação
$A_s/A_c \leq 0,04$	0,007	0,007	OK
$25 \leq c_1(\text{mm}) \leq 80$	40	40	OK
$b' \geq 190 \text{ mm}$	180	180	NÃO OK
$e \leq 0,15 b = 22,5\text{mm}$	2	5	OK
$l_{ef,fi} \leq 6 \text{ m}$	3	3	OK

Fonte: Do Autor (2022).

Analisando a Tabela 12 e 13, observou que o valor de  $R_b$  (fator que leva em consideração a menor dimensão do pilar), foi igual a zero. Isso se deve ao valor de  $b'$  não atender ao critério do Método Analítico. Assim, o software TQS®, admite que  $R_b$  seja zerado, e o TRF seja calculado da mesma forma. Então, para que o pilar P5

atendesse aos critérios do método, a dimensão mínima do pilar, seria de 158,33 mm, através da Equação 13. Sendo assim, o método mais econômico para o pilar P5 é o Método Tabular Geral, onde não houve a necessidade de alteração da seção do pilar, permanecendo 15 cm.

#### **4.4 Lançamento das novas dimensões dos Pilares**

Após a verificação de incêndio, todos os pilares, exceto o pilar P5, tiveram sua menor dimensão alterada para 16 centímetros por questões de execução, visto que a dimensão requerida foi de 15,5 cm para pilares com apenas uma face exposta ao fogo. Com o lançamento dessas novas dimensões, os pilares atenderam a todas as solicitações, sejam de compressão como de flexão. Devido ao aumento da menor dimensão, há um aumento da seção e conseqüentemente da rigidez do elemento estrutural, fazendo com que o mesmo apresentasse uma maior resistência a ambos os esforços. Caso os pilares apresentassem diâmetros de barras longitudinais maiores que as apresentadas para o dimensionamento apresentado, poderiam ocorrer a diminuição no consumo de aço.

Essa alteração também levou a variação do consumo de concreto devido a maior área de seção transversal, aço para os estribos, devido ao aumento da dimensão mínima. As solicitações também foram alteradas devido ao aumento do peso próprio e do coeficiente ( $\gamma_n$ ) que majora os esforços ter sido reduzido de 1,2 na situação normal, para 1,15 em função da menor dimensão do pilar ter aumentado, além das nova geometria dos pilares. Desse modo, foi realizado um novo relatório do dimensionamento dos pilares na nova situação, sendo apresentado na Tabela 14.

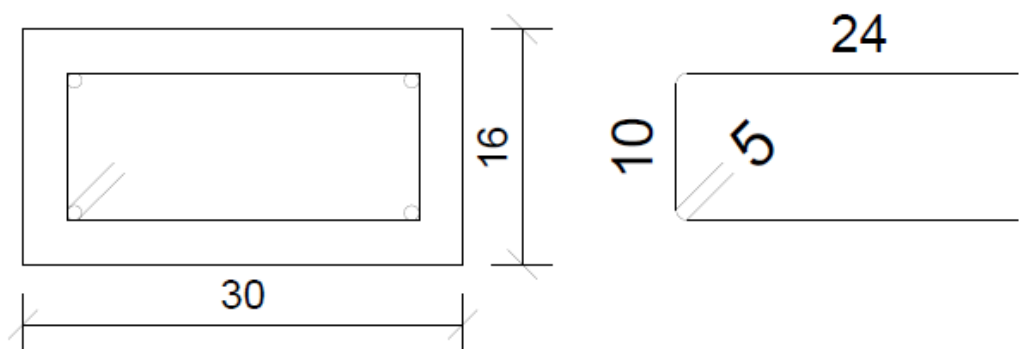
Tabela 14 - Relatório do dimensionamento após verificação de incêndio

Pilar P1												
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v
2	Cobertura	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,035
1	Térreo	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,079
Pilar P2												
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v
2	Cobertura	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,067
1	Térreo	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,160
Pilar P3												
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v
2	Cobertura	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,04
1	Térreo	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,096
Pilar P4												
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v
2	Cobertura	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,068
1	Térreo	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,161
Pilar P5												
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v
2	Cobertura	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,139
1	Térreo	15x30	450	4	10	3,1	0,7	5	12	25	3	0,309
Pilar P6												
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v
2	Cobertura	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,077
1	Térreo	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,186
Pilar P7												
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v
2	Cobertura	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,039
1	Térreo	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,096
Pilar P8												
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v
2	Cobertura	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,078
1	Térreo	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,168
Pilar P9												
Lance	Título	Seção	Área	Nº Barras	Bitola (mm)	As(cm <sup>2</sup> )	Taxa(%)	Estribos(mm)	Distância(cm)	Fck(Mpa)	Cobrimento	v
2	Cobertura	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,045
1	Térreo	16x30	480	4	10	3,1	0,65	5	12	25	3	0,133

Fonte: Do Autor (2022).

Como é possível visualizar na Tabela 14, todas as seções apresentaram um número de 4 barras longitudinais de 10 mm de diâmetro, estribos de 5 mm de diâmetro espaçados a cada 12 cm com cobrimento de 3 cm. O detalhamento para o pilar P5 foi o mesmo para a situação anterior, como foi apresentado no Apêndice E e Figura 12, já os demais pilares, o detalhamento realizado pelo TQS® é apresentado no Apêndice F. A Figura 24 apresenta a seção transversal e o detalhamento do estribo para os demais pilares.

**Figura 24 - Seção transversal e detalhamento do estribo**



Fonte: Do Autor (2022).

Em relação ao consumo de aço e concreto, observou-se através da Tabela 15, que houve um aumento no consumo de concreto devido a variação da seção transversal dos pilares alterados. Já o aço, teve alteração no consumo na parte dos estribos, devido ao aumento da largura mínima do pilar, sem alteração no consumo das armaduras longitudinais, que antes da seção ser aumentada, já atendiam as solicitações de compressão e flexão impostas.

**Tabela 15 - Quantidade de aço e concreto após a verificação de incêndio**

Aço		
Diâmetro do Aço (mm)	Comprimento total (m)	Total (Kg)
CA-50 $\phi$ 10,0	279,72	172,6
CA-60 $\phi$ 5	437,84	67,4
<b>Total de Aço (Kg)</b>		240,0
Concreto		
Área Total (cm <sup>2</sup> )	Comprimento Total (m)	Total (m <sup>3</sup> )
4290	54	23,166

Fonte: Do Autor (2022).

Após a exposição dos dados obtidos, foi realizado uma comparação no consumo de aço e concreto por pilar e alguns parâmetros, mostrando suas variações, como é apresentado na Tabela 16.

**Tabela 16 – Diferença entre situação normal e após a verificação para Pilares.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Situação Normal</b>	<b>Situação Verificada</b>	<b>Diferença (%)</b>
b (cm)	15	16	6,25
h (cm)	30	30	0,00
Área da seção transversal (cm <sup>2</sup> )	450	480	6,25
Volume de concreto (m <sup>3</sup> )	0,27	0,28	3,57
Consumo de aço CA-50(Kg)	19,18	19,18	0,00
Consumo de aço CA-60(Kg)	7,33	7,51	2,40

**Fonte: Do Autor (2022).**

Também foi elaborada a Tabela 17, que faz a comparação na alteração de consumo de concreto e aço em função de toda a edificação, sendo apresentada a seguir:

**Tabela 17 – Variação no consumo total de materiais**

	<b>Situação Normal</b>	<b>Situação Verificada</b>	<b>Diferença (%)</b>
<b>Concreto (m<sup>3</sup>)</b>	13,62	13,75	0,95
<b>Aço (Kg)</b>	1321	1317	-0,30

**Fonte: Do Autor (2022).**

Em resumo, para o atendimento da Norma NBR 15200 (ABNT, 2012), houve a necessidade da alteração da menor dimensão dos pilares da situação normal, exceto pilar P5. Esse aumento foi de 1 centímetro, através do Método Tabular, ocasionou o aumento da resistência do elemento quanto as solicitações normais, flexão e de incêndio. Contudo, também houve o aumento do consumo de materiais como no caso do concreto (+3,57%) e no consumo do Aço CA-60 (+2,4%) para cada pilar, como apresentado na Tabela 16.

Se tratando da edificação como um todo, houve um aumento insignificante no consumo total de concreto (+0,95%), e uma redução no consumo de aço (-0,30%). Essa variação de consumo é muito baixa, levando em consideração os benefícios que serão obtidos, sendo a proteção térmica e garantia da estabilidade estrutural dos pilares em uma situação de incêndio. Também, haverá maior segurança para os ocupantes do edifício, edificações vizinhas, equipes de combate e a segurança patrimonial, sendo validada a verificação da edificação para situações de incêndio.

## 5 CONCLUSÃO

Em estruturas de concreto armado a verificação da situação de incêndio é de grande importância, visto que com ela é possível resguardar a vida das pessoas que fazem uso e circundam a edificação. Também faz com que haja a segurança de bens patrimoniais e que os elementos construtivos garantam sua estabilidade estrutural quando expostos a situações de incêndio.

Por meio das verificações através dos Métodos Tabular, Tabular Geral e Analítico apresentados neste trabalho, foi possível fazer a análise dos pilares e fazer alterações para que estes elementos atendessem aos critérios estabelecidos pela norma NBR15200(ABNT, 2012). As alterações necessárias foram o aumento da menor dimensão dos pilares que não atendiam aos critérios de segurança contra situação de incêndio. Atendidos os critérios, as alterações levaram ao aumento no consumo de materiais, porém muito pequenas em comparação com a edificação em situação normal. A variação, foi menor ainda quando comparada em relação ao consumo global de concreto e aço da edificação.

Com isso, pode-se concluir que o dimensionamento de pilares cumprindo as normativas de ação de incêndio, pode levar ao aumento do consumo de materiais, contudo, havendo uma variação muito baixa, sendo viável sua avaliação e implementação em estruturas de concreto armado, respondendo a indagação inicial presente neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, G. B. M. L. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. doi: 10.11606/D.3.2012.tde-09022013-135226. Acesso em: 18-10-2021.
- ARAÚJO, G. Ministério público denuncia seis pessoas pelo desabamento de prédio no Largo do Paissandu. **g1**, São Paulo, 01 out. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/10/01/mp-denuncia-seis-pessoas-por-desabamento-de-predio-no-largo-do-paissandu.ghtml>. Acesso em: 12 out. 2021;
- ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8681**: Ação e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. doi:10.11606/T.3.2008.tde-04092008-155911. Acesso em: 04 out. 2021.
- FERREIRA, D. R. M.; FERNANDES, J. P. A. N.; SILVA, T. F. Análise comparativa de pilares de concreto armado dimensionados e não dimensionados para situação de incêndio. *In*: 62º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO. 62., 2020, Florianópolis. **Anais[...]** Florianópolis: IBRACON, 2020. p. 1-16.
- FLORES, B. C.; ORNELAS, É. A.; DIAS, L. E. **Fundamentos de combate a incêndio – Manual Bombeiros**. Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Goiânia-GO, 1ªed: 2016, 150p.



FREIRE, B. M. **Estudo comparativo de estruturas de concreto armado de múltiplos pavimentos**: dimensionado com e sem situação de incêndio. Trabalho de conclusão de curso (Título em Engenharia Civil) –Centro Universitário do Sul de Minas Gerais, Varginha, 2020.

INSON, N. Verticalização: o que é e quais os benefícios e impactos desse processo. **VivaDecoraPro**. 22 abr. 2021. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/verticalizacao/>. Acesso em: 12 out. 2021.

ISB (Instituto Sprinkler Brasil). **Estatística 2020**. 2021. Disponível em: <https://sprinklerbrasil.org.br/estatisticas-2020/>. Acesso em: 11 out. 2021.

ISB (Instituto Sprinkler Brasil). **Estatística Gerais**. 2021. Disponível em: <https://sprinklerbrasil.org.br/estatisticas-gerais/>. Acesso em: 11 out. 2021.

KHOURY, G. A. Effect off fire on concrete and concrete structures. Prog. Struct. Engng Mater. **Imperial Colege**, London, 2: 429-447, 2000. DOI:<https://doi.org/10.1002/pse.51>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pse.51>. Acesso em: 12 out. 2021.

KIMURA, A. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com uso de sistemas computacionais**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2007.

LIMA, R. C. A. *et al.* Efeitos de altas temperaturas no concreto. *In: II SEMINÁRIO DE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES*. 2., 2004, Porto Alegre. **Anais[...]** Porto Alegre: UFRGS, 2004. p. 1-15.

PETRIN, N. **AutoCAD**. Estudo Prático. 2015 Disponível em: <https://www.estudopratico.com.br/autocad/>. Acesso em: 26 out. 2021.

Prédio de 24 andares desaba após incêndio no Centro de SP. **g1**, São Paulo, 01 mai. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/incendio-atinge-predio-no-centro-de-sp.ghml>. Acesso em: 12 out. 2021;

SILVA, V. **Estruturas de aço em situação de incêndio**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SOUSA, D. A.; SILVA, G. P. **Estrutura de concreto em situação de incêndio**. Dissertação (Título em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

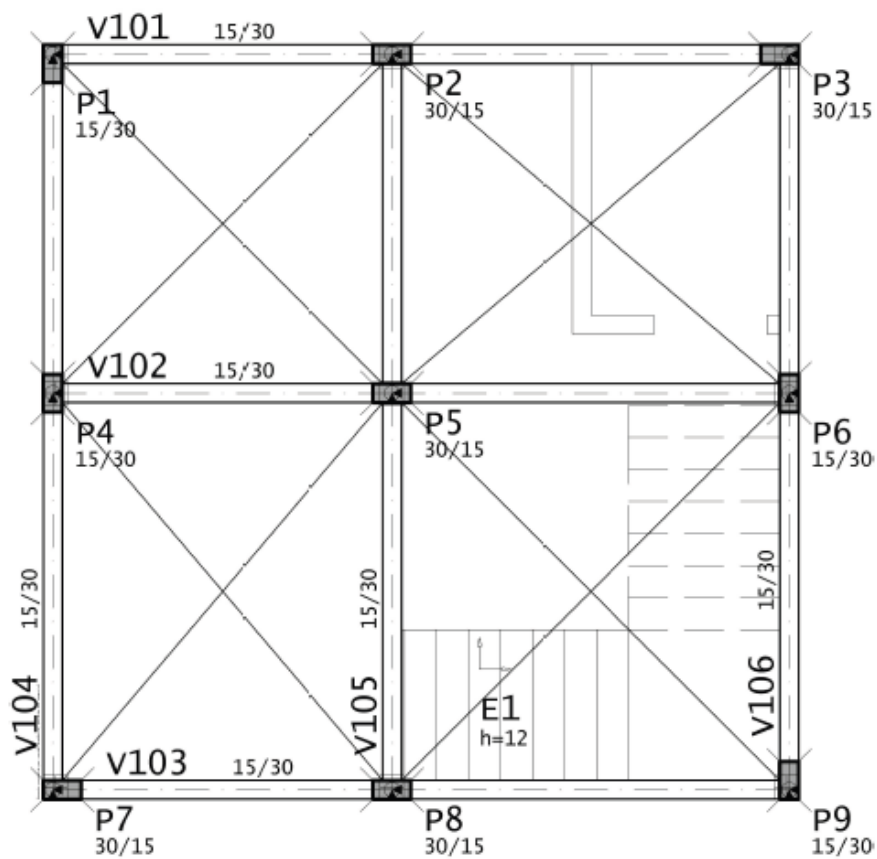
TQS INFORMÁTICA. TQS: Concreto Armado. **TQS**. Disponível em: <https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3124&language=pt-BR>. Acesso em: 02 mai. 2022.

TQS INFORMÁTICA. TQS: Quem somos. **TQS**. Disponível em: <https://www.tqs.com.br/tqsabout/company>. Acesso em: 02 mai. 2022.

TQS INFORMÁTICA. TQS: Estudante. **TQS**. Disponível em: <https://www.tqs.com.br/systems/tqs-estudante/kd04pfvhi1>. Acesso em: 02 mai. 2022.

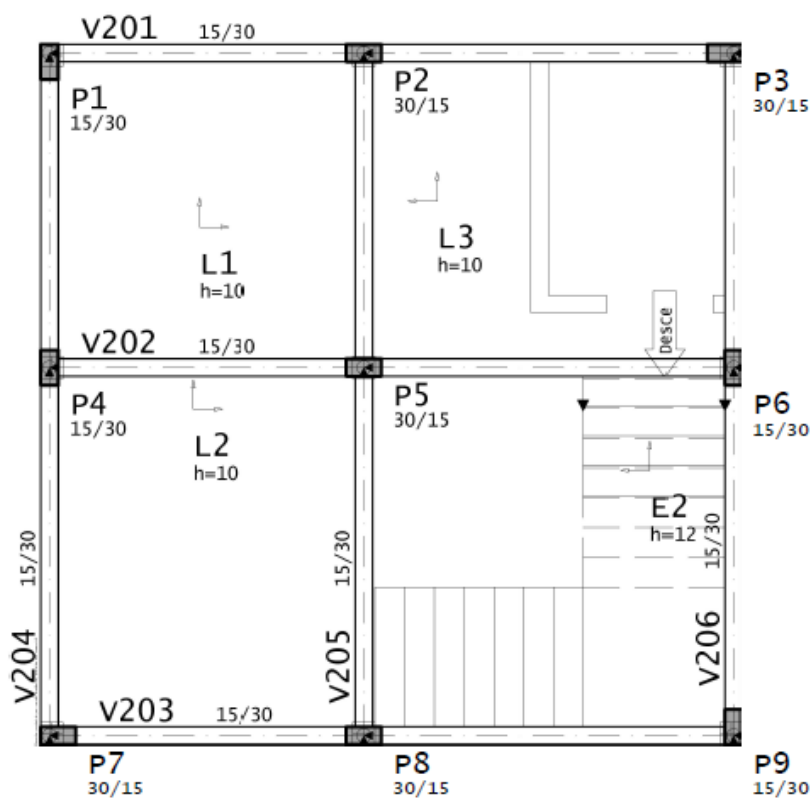
## APÊNDICE A – Disposição dos elementos estruturais no software TQS® com suas dimensões.

Figura A.1 - Disposição dos elementos estruturais e dimensões do nível fundação  
10



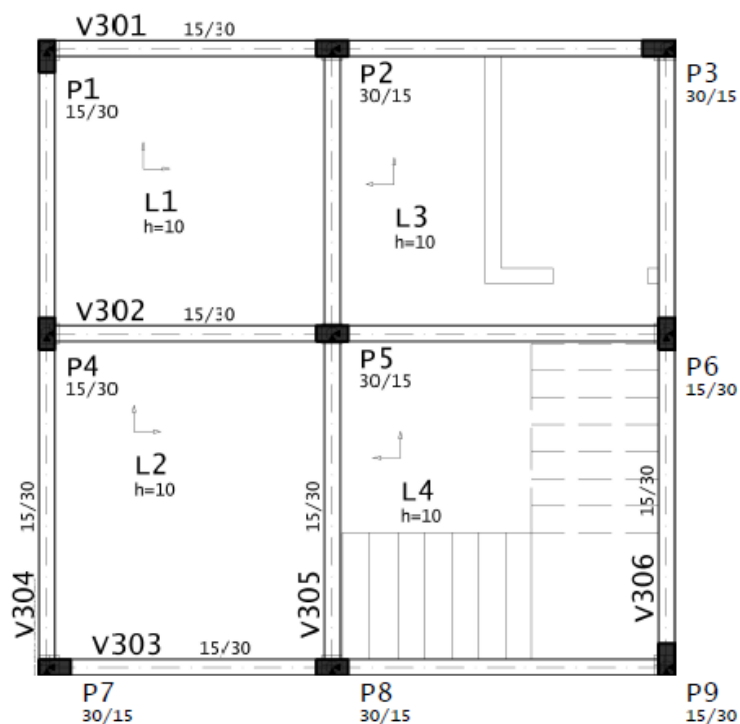
Fonte: Do Autor(2022).

Figura A.2 – Disposição dos elementos estruturais e dimensões do nível térreo



Fonte: Do Autor(2022).

Figura A.3 - Disposição dos elementos estruturais e dimensões do nível cobertura



Fonte: Do Autor(2022).

## APÊNDICE B – Deslocamentos horizontais totais e entre pavimentos através do software TQS®.

Figura B.1 - Valores máximo permitidos de deslocamento

Horizontal absoluto - NBR	H/ 1700.00
Altura do edifício ( m )	H= 6.0
Horizontal entre pavimentos	Hi/ 850.00

Fonte: Do Autor(2022).

Figura B.2 - Deslocamentos máximos

Deslocamentos máximos				
Caso	Ang	DeslH	Relat1	Obs
5	90.00	0.10	H/ 5835.8	D
6	270.00	0.10	H/ 5835.8	
7	0.00	0.09	H/ 6584.5	
8	180.00	0.09	H/ 6584.5	

Fonte: Do Autor(2022).

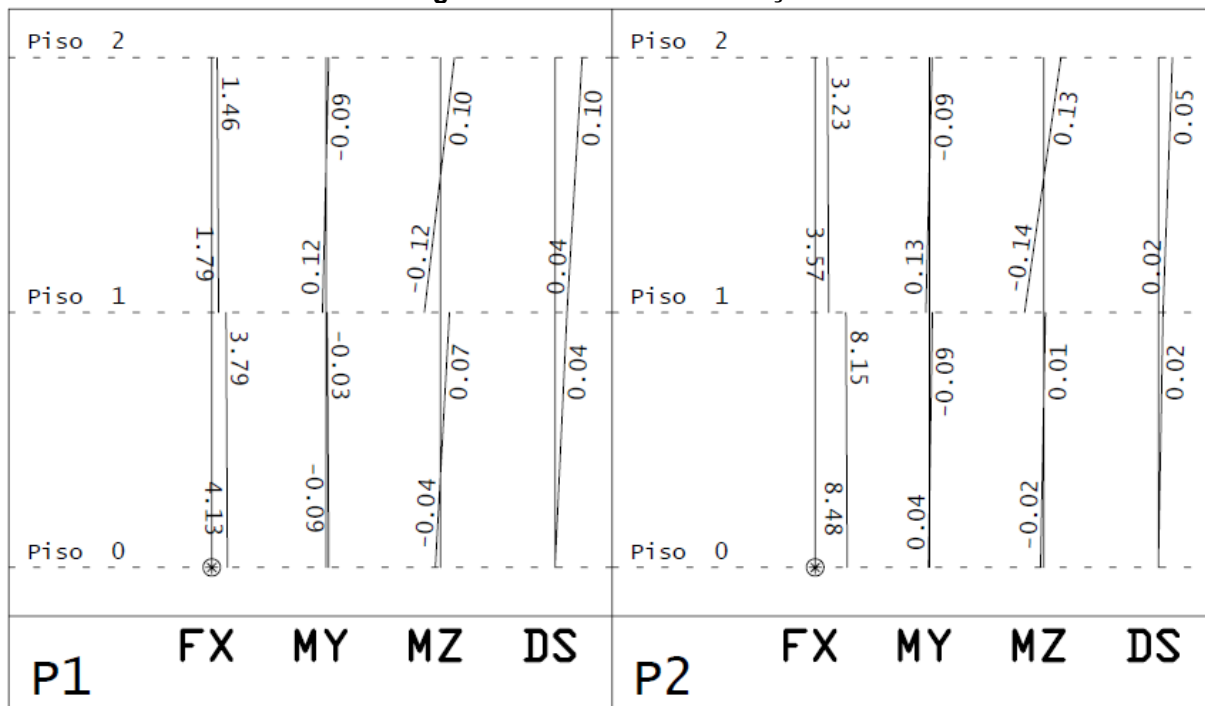
Figura B.3 - Deslocamentos máximos entre pisos

Deslocamentos máximos entre pisos					
Caso	Ang	Piso	DeslHp	Relat3	Obs
5	90.00	1	0.06	Hi/ 5256.0	DE
6	270.00	1	0.06	Hi/ 5256.0	
7	0.00	1	0.05	Hi/ 5887.2	
8	180.00	1	0.05	Hi/ 5887.2	

Fonte: Do Autor(2022).

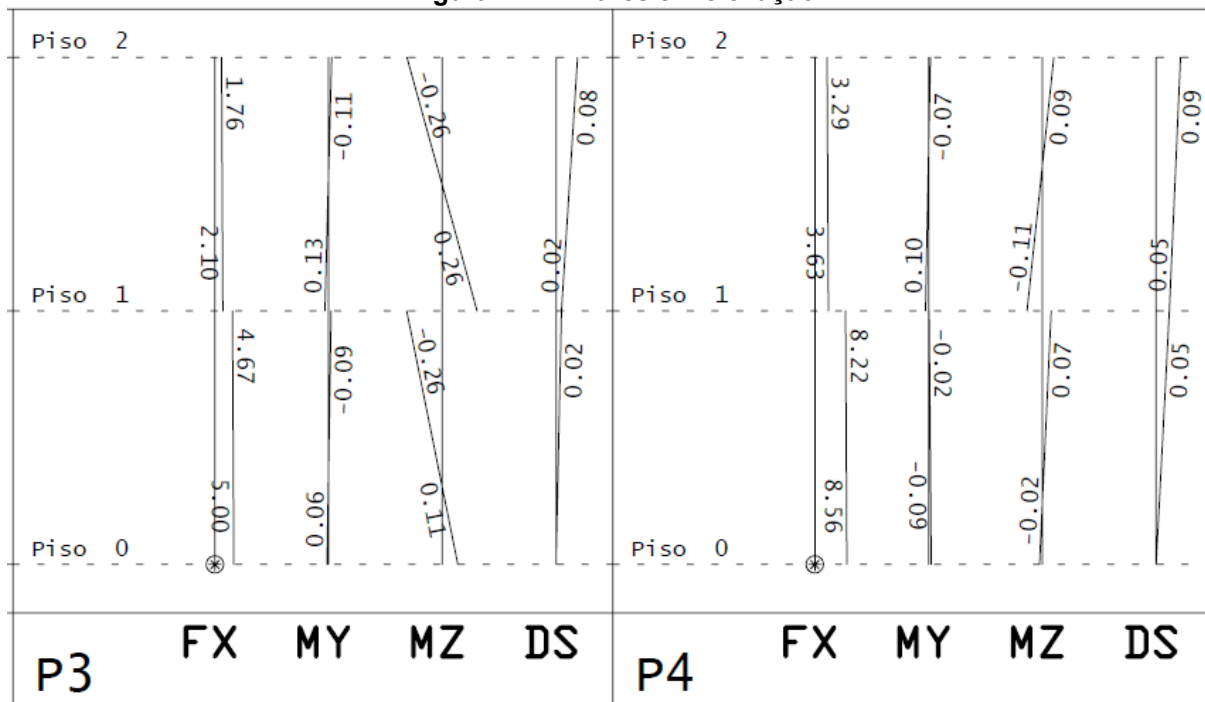
**APÊNDICE C – Diagrama de força normal, momentos fletores e deslocamentos com uso das cargas permanentes e acidentais através do visualizador de pórtico do software TQS®.**

**Figura C.1 - Pilares em elevação**



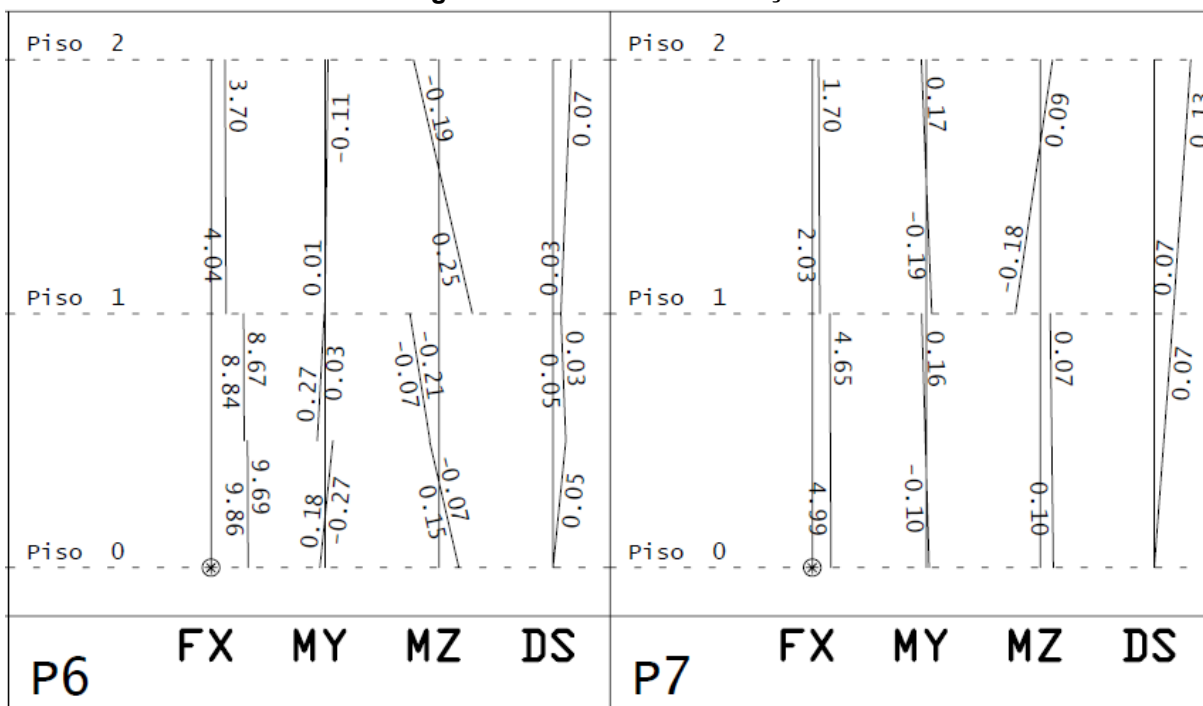
Fonte: Do Autor(2022).

**Figura C.2 - Pilares em elevação**



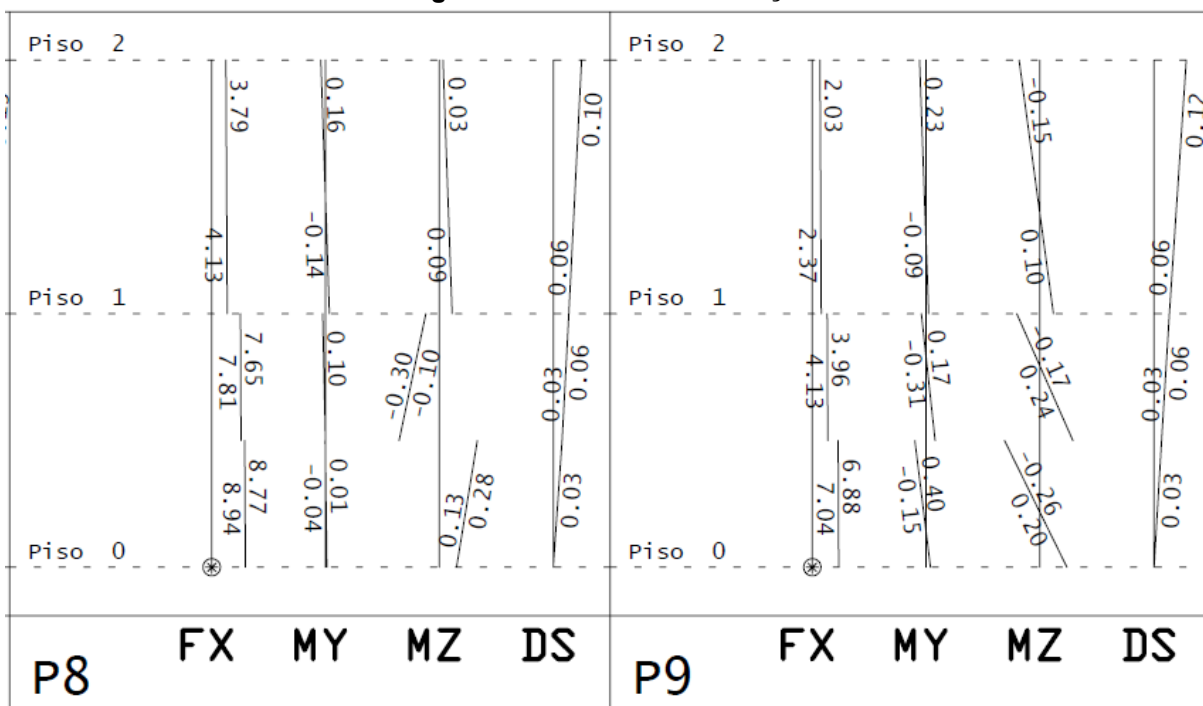
Fonte: Do Autor(2022).

Figura C.3 - Pilares em elevação



Fonte: Do Autor(2022).

Figura C.4 - Pilares em elevação



Fonte: Do Autor(2022).

## APÊNDICE D – Memorial de Cálculo do pilar 5 realizado pelo TQS®

Figura D.1 - Esforços atuantes no pilar 5

Ponderador adicional	
$\gamma_n = 1.2$	
<b>Seção do topo</b>	<b>Seção da base</b>
<b>Esforços iniciais</b>	<b>Esforços iniciais</b>
$N_{S_d,Int} = 23.44 \text{ tf}$	$N_{S_d,Int} = 23.44 \text{ tf}$
$M_{S_d,Int,x} = -0.34 \text{ tfm}$	$M_{S_d,Int,x} = 0.42 \text{ tfm}$
$M_{S_d,Int,y} = 0.06 \text{ tfm}$	$M_{S_d,Int,y} = 0.04 \text{ tfm}$
<b>Imperfeição geométrica local</b>	<b>Imperfeição geométrica local</b>
Momento mínimo verificado pela envoltória mínima	Momento mínimo verificado pela envoltória mínima
<b>Esforços finais</b>	<b>Esforços finais</b>
$N_{S_d} = 23.44 \text{ tf}$	$N_{S_d} = 23.44 \text{ tf}$
$M_{S_{dx}} = -0.34 \text{ tfm}$	$M_{S_{dx}} = 0.42 \text{ tfm}$
$M_{S_{dy}} = 0.06 \text{ tfm}$	$M_{S_{dy}} = 0.04 \text{ tfm}$

Fonte: Do Autor(2022).

Figura D.2 - Esforços atuantes no pilar 5

<b>Seção do meio</b>	
<b>Direção X</b>	<b>Direção Y</b>
<b>Esforços iniciais</b>	<b>Esforços iniciais</b>
$N_{S_d} = 23.44 \text{ tf}$	$N_{S_d} = 23.44 \text{ tf}$
$M_{1d,A} = 0.42 \text{ tfm}$	$M_{1d,A} = 0.06 \text{ tfm}$
$M_{1d,B} = -0.34 \text{ tfm}$	$M_{1d,B} = 0.04 \text{ tfm}$
$\alpha_p = 1$	$\alpha_p = 1$
$\lambda_1 = 35$	$\lambda_1 = 35$
<b>Imperfeição geométrica local</b>	<b>Imperfeição geométrica local</b>
Momento mínimo verificado pela envoltória mínima	Momento mínimo verificado pela envoltória mínima
<b>Efeitos de 2ª ordem</b>	<b>Efeitos de 2ª ordem</b>
$l_e = 300 \text{ cm}$	$l_e = 300 \text{ cm}$
$\lambda = 69$	$\lambda = 35$
$K_{aprox} = 21.5$	Não é necessário calcular os
$M_{d,tot} = 0.92 \text{ tfm}$	efeitos locais de 2ª ordem.
	$M_{d,tot} = 0.06 \text{ tfm}$

Fonte: Do Autor(2022).

**Figura D.3 - Esforços atuantes no pilar 5**

### Esforços finais na seção do meio

$$N_{Sd} = 23.44 \text{ tf}$$

$$M_{Sdx} = 0.92 \text{ tfm}$$

$$M_{Sdy} = 0.06 \text{ tfm}$$

$N_{Sd,ini}$ : Força normal solicitante de cálculo inicial

$M_{Sd,ini,x}$ : Momento fletor solicitante de cálculo inicial em relação ao eixo x

$M_{Sd,ini,y}$ : Momento fletor solicitante de cálculo inicial em relação ao eixo y

$N_{Sd}$ : Força normal solicitante de cálculo

$M_{Sdx}$ : Momento fletor solicitante de cálculo em relação ao eixo x

$M_{Sdy}$ : Momento fletor solicitante de cálculo em relação ao eixo y

$M_{1d,A}$ : Valor de cálculo de primeira ordem do momento MA

$M_{1d,B}$ : Valor de cálculo de primeira ordem do momento MB

$\alpha_b$ : Coeficiente ponderador

$\lambda_1$ : Valor limite do índice de esbeltez

$M_{1d,min}$ : Momento fletor mínimo

$M_{d,tot}$ : Momento total máximo no meio do lance do pilar

$\lambda$ : Índice de esbeltez

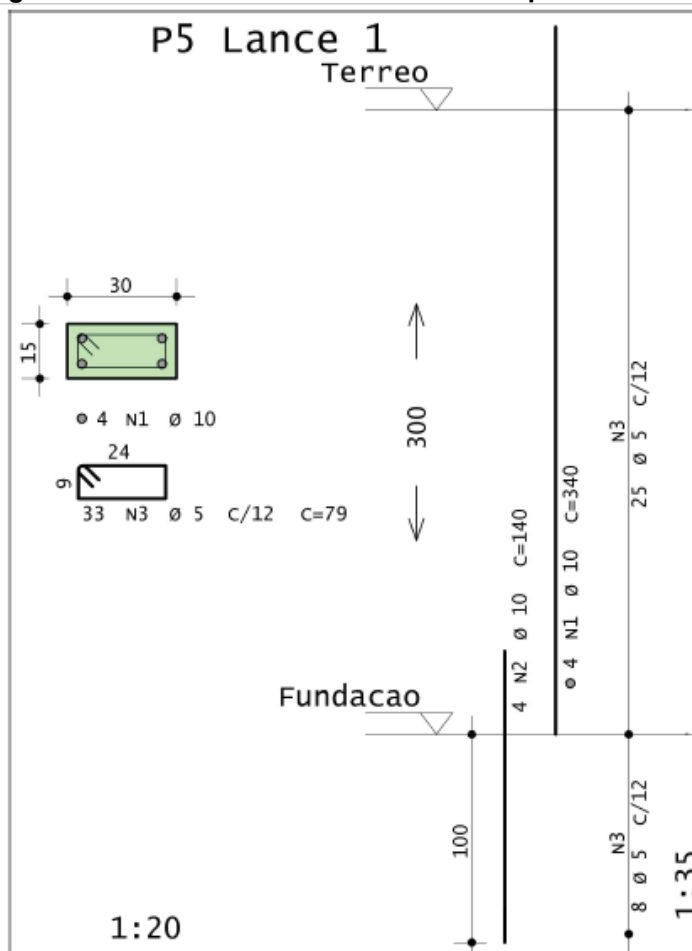
$\kappa$ : Coeficiente ponderador

**Fonte: Do Autor(2022).**



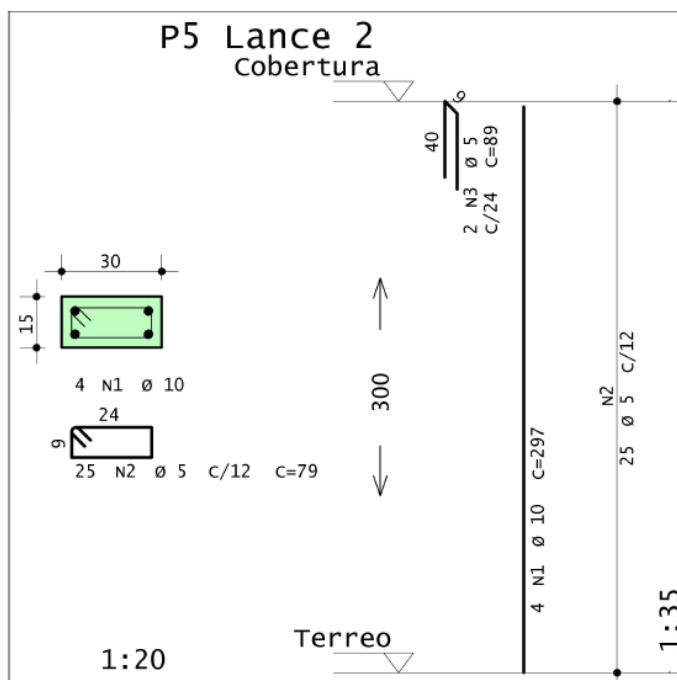
**APÊNDICE E – Detalhamento da armadura dos pilares P1 a P9 em situação normal realizado pelo software TQS®.**

**Figura E.1 - Detalhamento da armadura do pilar P5 - Térreo**



Fonte: Do Autor(2022).

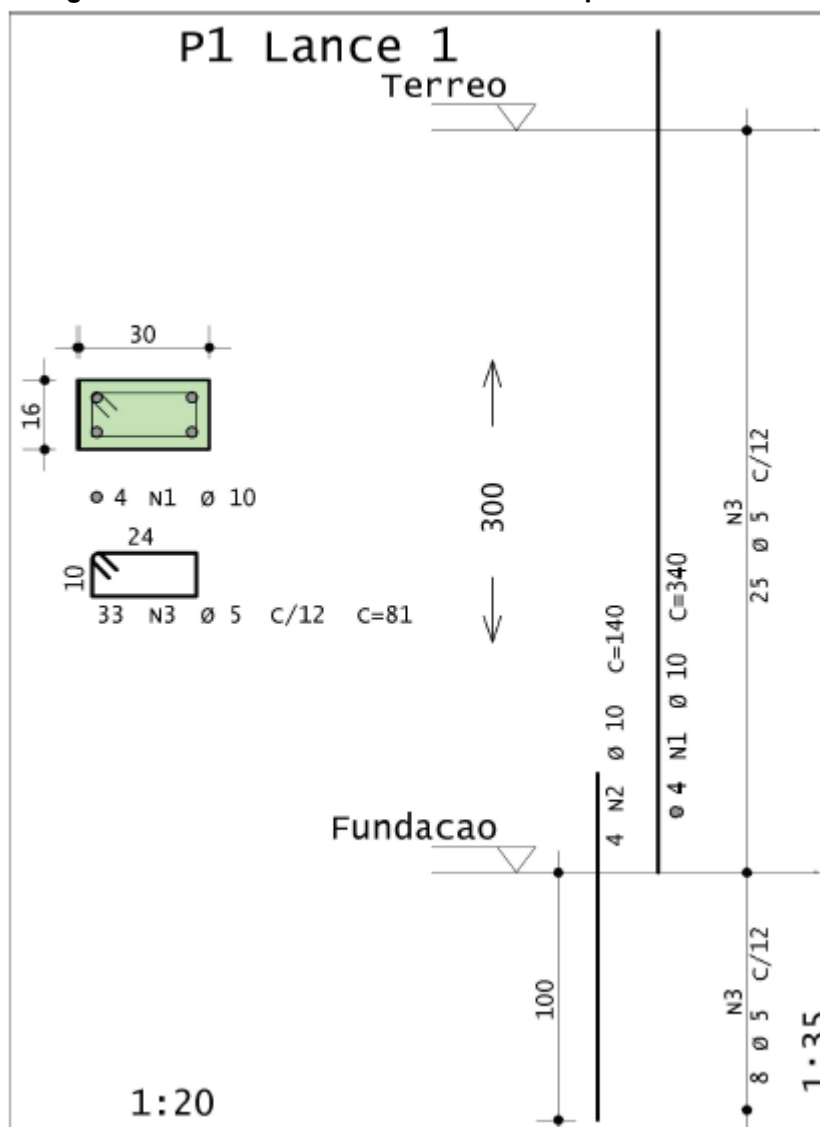
Figura E.2 - Detalhamento da armadura do pilar P5 - Cobertura



Fonte: Do Autor(2022).

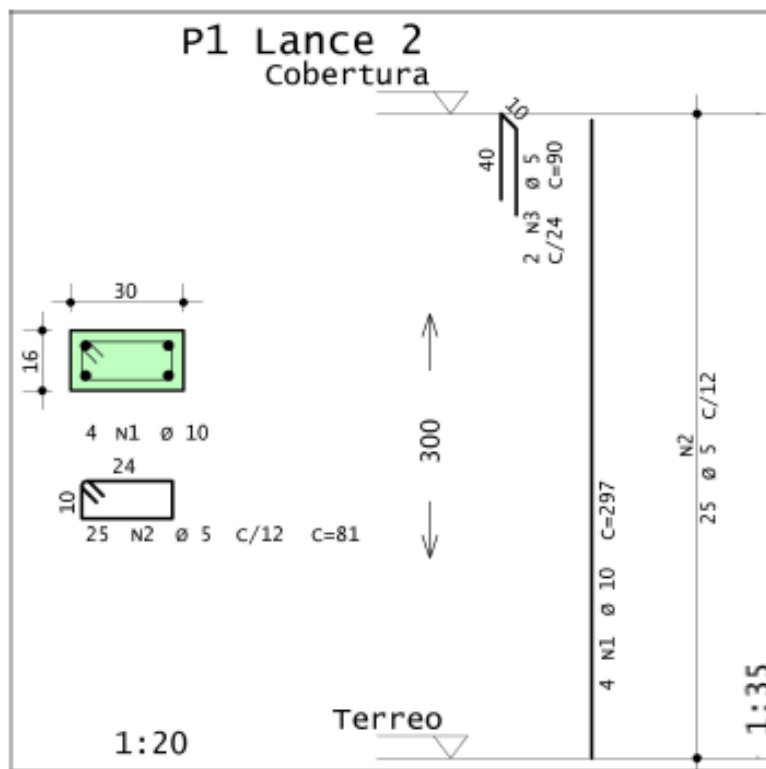
**APÊNDICE F – Detalhamento da armadura realizado pelo software TQS® dos pilares P1 = P2 = P3 = P4 = P6 =P7 = P8 = P9, após a verificação de incêndio.**

**Figura F.1 - Detalhamento da armadura do pilar P1 – Térreo.**



Fonte: Do Autor(2022).

Figura F.2 - Detalhamento da armadura do pilar P1 - Cobertura



Fonte: Do Autor(2022).