



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO
(ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**IMPACTO DA CONSIDERAÇÃO DO COLAPSO PROGRESSIVO NO
PROJETO DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE
CASO DE UM EDIFÍCIO DE FOZ DO IGUAÇU/PR**

JOSÉ EDUARDO BAREIRO MONTIEL

FOZ DO IGUAÇU

2025



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO
(ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**IMPACTO DA CONSIDERAÇÃO DO COLAPSO PROGRESSIVO NO
PROJETO DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE
CASO DE UM EDIFÍCIO DE FOZ DO IGUAÇU/PR**

JOSÉ EDUARDO BAREIRO MONTIEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura

Orientador: Prof. Dr. Paulo Junges

FOZ DO IGUAÇU

2025

A000 MONTIEL, José E. B.

Impacto Da Consideração Do Colapso Progressivo No Projeto De Edifícios De Concreto Armado: Estudo De Caso De Um Edifício De Foz Do Iguaçu/PR. José Eduardo Bareiro Montiel. Foz do Iguaçu, 2025.

31 fls.

Orientador: Dr. Paulo Junges

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA)

1. Análise Estrutural. 2. Colapso Progressivo. 3. Concreto Armado. 4. Dimensionamento. 5. TQS.

CDU: 004

JOSÉ EDUARDO BAREIRO MONTIEL

**IMPACTO DA CONSIDERAÇÃO DO COLAPSO PROGRESSIVO NO
PROJETO DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE
CASO DE UM EDIFÍCIO DE FOZ DO IGUAÇU/PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Paulo Junges

UNILA

Prof. Dr. Aref Kalilo Lima Kzam

UNILA

Prof. Dr. Ulises Bobadilla Guadalupe

UNILA

Foz do Iguaçu, 28 de Abril de 2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela sabedoria, força e perseverança concedidas ao longo destes anos de estudo, fundamentais para cada etapa desta caminhada.

À minha família, especialmente ao meu pai José e à minha mãe Lourdes, expresso minha mais profunda gratidão por todo o apoio incondicional ao longo da minha formação. Sem o suporte, incentivo e amor de vocês, essa conquista não teria sido possível.

Ao meu orientador, professor Dr. Paulo Junges, agradeço pela paciência, disponibilidade e pelos valiosos conhecimentos compartilhados durante a realização deste trabalho. Sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo.

Aos membros da banca avaliadora, que também foram meus professores durante a graduação, agradeço pelos ensinamentos transmitidos ao longo do curso e por aceitarem participar deste momento tão significativo na minha trajetória acadêmica.

Aos meus colegas e amigos da faculdade, que me acolheram dentro e fora do ambiente universitário, dividindo seus lares, suas mesas, e sua companhia, deixo minha eterna gratidão. Cada gesto de apoio fez toda a diferença para que eu chegasse até aqui.

Por fim, agradeço à equipe da TQS Informática Ltda., pela disponibilização da versão completa do software de cálculo, ferramenta que foi essencial para a realização deste trabalho.

*“Projetar é prever falhas e, ainda assim,
garantir que a estrutura permaneça de pé.”*

- Autor desconhecido

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a influência da falha localizada de um elemento estrutural no comportamento global de uma edificação em concreto armado, com foco na simulação de um colapso progressivo. Para isso, foram desenvolvidos dois cenários distintos de modelagem no software CAD/TQS: no primeiro, realizou-se o dimensionamento padrão da estrutura com seções compatíveis com o projeto arquitetônico, atendendo às exigências de serviço segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023); no segundo, foi simulada a falha de um pilar de canto, com a consequente redistribuição de esforços estruturais e redimensionamento dos elementos afetados. A edificação analisada corresponde a uma torre de apartamentos dividida em duas partes simétricas e estruturalmente independentes, sendo modelado apenas um dos lados para efeito de estudo. A análise indicou que a viga V221 foi a mais impactada pela retirada do pilar P1, exigindo aumento significativo em sua seção e taxa de armadura. Também foi necessário o redimensionamento do pilar P8, localizado no meio da viga, para manter a rigidez e a estabilidade estrutural. Comparações entre os dois cenários revelaram variações pontuais nas seções dos elementos e no consumo de materiais. No total da edificação, houve um aumento de aproximadamente 2,83 m³ de concreto, o que representa uma variação inferior a 1% em relação ao projeto original. O consumo de fôrmas também aumentou levemente em 32,97 m². Por outro lado, o consumo total de aço apresentou uma redução de 1.393 kg, equivalente a aproximadamente 6,3% a menos em relação ao Caso 1. Esses ajustes foram suficientes para manter a segurança estrutural e evitar o colapso progressivo, mesmo diante da ausência de um pilar crítico, com impactos controlados no consumo de materiais. Isso reforça a importância de prever e testar cenários de falhas em projetos estruturais, utilizando ferramentas computacionais para garantir maior segurança e robustez às edificações.

Palavras-chaves: Análise Estrutural; Colapso Progressivo; Concreto Armado; Dimensionamento; TQS.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the influence of the localized failure of a structural element on the global behavior of a reinforced concrete building, focusing on the simulation of progressive collapse. Two different modeling scenarios were developed using the CAD/TQS software. In the first scenario, a standard structural design was carried out with sections compatible with the architectural layout, complying with serviceability requirements according to NBR 6118 (ABNT, 2023). In the second scenario, the failure of a corner column was simulated, resulting in the redistribution of internal forces and the redesign of the affected elements. The analyzed structure corresponded to one half of a symmetrical apartment tower, structurally independent from the other half. The analysis showed that beam V221 was the most impacted element by the removal of column P1, requiring a significant increase in both its cross-section and reinforcement ratio. Column P8, located at the midpoint of the same beam, also required resizing to maintain structural rigidity. A comparison between the two scenarios revealed variations in element dimensions and material consumption. For the entire building, there was an increase of approximately 2.83 m³ of concrete and 32.97 m² of formwork, both with changes of less than 1%. In contrast, there was a reduction of 1.393 kg in the total amount of reinforcement steel, equivalent to approximately 6.3% less compared to the original design. These adjustments were sufficient to maintain structural safety and prevent progressive collapse, even in the absence of a critical support element. The results reinforce the importance of considering failure scenarios during the design phase, using computational tools to ensure greater safety and robustness in reinforced concrete buildings.

Keywords: Structural Analysis; Progressive Collapse; Reinforced Concrete; Structural Design; TQS.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 – Colapso tipo panqueca, provocado por um terremoto (Islamabad, 2005). | 4 |
| Figura 2.2 – World Trade Center logo depois do impacto na segunda torre. | 4 |
| Figura 2.3 – Colapso parcial do edificio Ronan Point, (Londres, 1968). | 5 |
| Figura 2.4 – Colapso tipo zíper na ponte Tacoma Narrows (Washington, 1940). | 6 |
| Figura 2.5 – Colapso tipo dominó de torres de transmissão de energia. (Alemanha, 2005). | 7 |
| Figura 2.6 – Colapso tipo dominó de postes de energia (Foz Do Iguaçu, 2021). | 8 |
| Figura 3.1 – Fluxograma dos processos do trabalho | 11 |
| Figura 3.2 – Planta baixa do pavimento tipo. | 14 |
| Figura 3.3 – Lancamento inicial dos elementos estruturais no caso 1 | 15 |
| Figura 4.1 – Planta de formas do pavimento tipo - Caso 1. | 20 |
| Figura 4.2 – Modelagem 3D do edifício - Caso 1. | 20 |
| Figura 4.3 – Planta de formas do pavimento tipo - Caso 2. | 21 |
| Figura 4.4 – Modelagem 3D do edifício - Caso 2. | 22 |
| Figura 4.5 – Detalhamento da viga V201 - Caso 1. | 23 |
| Figura 4.6 – Detalhamento da viga V201 - Caso 2. | 24 |
| Figura 4.7 – Detalhamento da viga V206 - Caso 1. | 24 |
| Figura 4.8 – Detalhamento da viga V206 - Caso 2. | 25 |
| Figura 4.9 – Detalhamento da viga V221 - Caso 1. | 25 |
| Figura 4.10–Detalhamento da viga V221 - Caso 2. | 26 |
| Figura 4.11–Detalhamento da viga V225 - Caso 1. | 26 |
| Figura 4.12–Detalhamento da viga V225 - Caso 2. | 27 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 3.1 – Cobrimentos adotados nos elementos estruturais | 16 |
| Tabela 4.1 – Seções e taxas de aço para as vigas, nos casos 1 e 2. | 23 |
| Tabela 4.2 – Resumo do consumo e taxas (Caso 1). | 28 |
| Tabela 4.3 – Resumo do consumo e taxas (Caso 2). | 28 |
| Tabela 4.4 – Variação total no consumo de materiais (%) | 28 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------|--|
| ASCE | <i>American Society of Civil Engineers</i> |
| ELS | <i>Estado Limite de Serviço</i> |
| ELU | <i>Estado Limite Último</i> |
| GSA | <i>General Services Administration</i> |
| WTC | <i>World Trade Center</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Justificativa | 1 |
| 1.2 | Objetivos | 2 |
| 1.2.1 | Objetivo geral | 2 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos: | 2 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1 | Colapso Progressivo Em Estruturas | 3 |
| 2.1.1 | Colapso tipo panqueca | 3 |
| 2.1.2 | Colapso tipo zíper | 6 |
| 2.1.3 | Colapso tipo dominó | 6 |
| 2.2 | Estudos recentes sobre colapso progressivo no Brasil | 8 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 11 |
| 3.1 | Definição da estrutura analisada | 12 |
| 3.2 | Premissas do projeto | 15 |
| 3.3 | Modelagem da estrutura | 16 |
| 3.3.1 | CAD/TQS | 16 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 19 |
| 4.1 | Dimensionamento e modelagem estrutural | 19 |
| 4.1.1 | Caso 1 | 19 |
| 4.1.2 | Caso 2 | 21 |
| 4.2 | COMPARATIVO DE MATERIAIS | 22 |
| 4.2.1 | Variação nas seções das vigas | 23 |
| 4.2.2 | Comparativo do consumo de materiais | 27 |
| 5 | CONCLUSÃO | 29 |
| | REFERÊNCIAS | 31 |

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno do colapso progressivo vem sendo estudado há muitos anos. Alguns exemplos marcantes desse fenômeno incluem o desabamento parcial do edifício Ronan Point, em Londres (1968), e o colapso das Torres Gêmeas do World Trade Center, em Nova York (2001). Embora os fatores que desencadearam esses colapsos tenham sido distintos, ambos apresentaram um efeito dominó similar na propagação da falha estrutural. Depois do caso do edifício Ronan Point principalmente, foram tomadas medidas de prevenção em relação ao fenômeno de colapso progressivo, desde o planejamento, no dimensionamento e também na fase de construção (SILVEIRA; JR, 2011).

Diante dessa problemática, diversas normas, regulamentos e diretrizes foram estabelecidos para orientar o projeto estrutural e minimizar o risco de colapso progressivo. Entre essas diretrizes, destacam-se os Eurocódigos, os manuais de projetos para edifícios, como o *Minimum design loads for buildings and other structures* da *American Society of Civil Engineers* (ASCE), e o manual de projeto de estruturas para novos edifícios de escritórios federais para resistir ao colapso progressivo (*Progressive collapse analysis and design guidelines for new federal office buildings and major modernization projects*) da *General Services Administration* (GSA), entre outros (FERREIRA, 2016).

Com o avanço tecnológico, tornou-se possível utilizar softwares para realizar análises avançadas e simulações computacionais desse fenômeno. Essas ferramentas permitem compreender o comportamento das estruturas diante de eventos iniciais que possam desencadear o colapso progressivo, evidenciando esforços inesperados que não são contemplados em um dimensionamento estrutural convencional.

Entendendo então o comportamento da estrutura com uma simulação, é possível considerar algumas ações para mitigar o fenômeno de colapso progressivo, como o redimensionamento de alguns elementos estruturais, de forma que estes suportem os esforços que poderiam ser gerados por um evento inicial, tentando então evitar que ocorra um efeito dominó na estrutura. Podem também ser tomadas outras medidas de prevenção destes eventos iniciais, conhecendo os elementos mais importantes da estrutura.

1.1 JUSTIFICATIVA

Na fase de projeto de uma estrutura, diversos critérios de segurança devem ser considerados para garantir seu desempenho adequado. Esses critérios, estabelecidos por diferentes normas técnicas, buscam assegurar que as edificações atendam aos requisitos estruturais mínimos.

No entanto, algumas normas oferecem diretrizes mais abrangentes do que outras, especialmente no que se refere a eventos de baixa probabilidade, mas com alto potencial destrutivo, como o colapso progressivo.

Dessa forma, ainda que um projeto estrutural esteja em conformidade com as exigências mínimas normativas, isso não significa, necessariamente, que a estrutura esteja preparada para resistir a eventos raros. Assim, torna-se essencial investigar soluções alternativas de dimensionamento que possam mitigar os riscos associados ao colapso progressivo, garantindo maior robustez e segurança à edificação.

1.2 OBJETIVOS

Esta seção apresenta os objetivos deste trabalho, divididos entre objetivo geral, que define a finalidade principal da pesquisa, e objetivos específicos, que detalham as etapas necessárias para atingir o propósito central do estudo.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é uma avaliação inicial do impacto no consumo de materiais ao se considerar o colapso progressivo na fase de projeto de um edifício em concreto armado.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Investigar os conceitos teóricos e normativos relacionados ao colapso progressivo em estruturas de concreto armado;
- Identificar estratégias de projeto que permitam a mitigação dos efeitos de falhas localizadas em elementos estruturais;
- Analisar a redistribuição de esforços estruturais decorrente da remoção de um elemento crítico em um edifício;
- Comparar as seções estruturais e o consumo de materiais entre um dimensionamento convencional e um dimensionamento adaptado à ausência de um elemento crítico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para compreender os fundamentos deste estudo, é essencial abordar os conceitos relacionados ao colapso estrutural, bem como os diferentes tipos de colapso e seus impactos distintos nas diversas configurações estruturais.

2.1 COLAPSO PROGRESSIVO EM ESTRUTURAS

O colapso de uma estrutura é uma perda total ou parcial de sustentação que uma estrutura sofre, por algum motivo específico. Esse fenômeno pode ser consequência de diversas causas, incluindo falhas na fase de projeto, na execução e manutenção, ou por algum tipo de sobrecarga na estrutura. (OLIVEIRA; SILVEIRA; JUNIOR, 2011)

Quando o colapso ocorre de forma abrupta e inesperada, pode acarretar sérias consequências, incluindo perdas humanas e danos materiais irreparáveis.

De acordo com (ASCE, 2005) o colapso progressivo pode ser descrito como a propagação de uma falha local em uma estrutura de um elemento para outro, culminando no colapso total da estrutura ou de uma grande parte dela. Embora as normas e códigos estruturais apresentem definições ligeiramente distintas sobre esse fenômeno, há consenso de que ele se origina a partir de um dano inicial localizado, geralmente causado por cargas excepcionais, e que é caracterizado pela desproporção entre essa falha inicial, em relação a magnitude do colapso final.

A principal característica do fenômeno do colapso progressivo é a desproporção entre o evento inicial que funciona como um gatilho, e o resultado final, que pode levar até mesmo ao desabamento total da estrutura. No entanto, dependendo do tipo de estrutura e da forma como a falha se propaga, esse fenômeno pode ser classificado em diferentes tipologias. A seguir, são apresentados alguns dos principais tipos de colapso progressivo.

2.1.1 Colapso tipo panqueca

O colapso tipo panqueca recebe esse nome devido à disposição final dos pavimentos colapsados, que ficam empilhados uns sobre os outros, assemelhando-se a uma pilha de panquecas depois de colapsar. Como pode ser visto na Figura 2.1, esse tipo de colapso está principalmente relacionado a um sismo como seu evento inicial, mas também podem ser originados por outros motivos, como no caso do *World Trade Center* (WTC).

Figura 2.1 – Colapso tipo panqueca, provocado por um terremoto (Islamabad, 2005).



Fonte: Starossek (2009).

Além dos casos de sismos, (STAROSSEK, 2009) utiliza como exemplo o caso do WTC (Figura 2.2). O Autor explica que os impactos das aeronaves e os incêndios posteriores, levaram a falhas locais em alguns pavimentos, e esses danos se estenderam por toda a seção transversal da torre. A queda progressiva gerou um acúmulo de energia cinética, amplificando as forças de impacto e culminando no colapso total das edificações.

Figura 2.2 – World Trade Center logo depois do impacto na segunda torre.



Fonte: Yang et al. (2022).

O colapso do tipo panqueca não necessariamente implica na queda de toda a edificação. O primeiro caso de colapso progressivo a ganhar destaque mundialmente foi o colapso parcial do edifício Ronan Point, em Londres no ano de 1968 (Figura 2.3). Nesse conjunto habitacional, uma explosão ocorrida na cozinha de um apartamento localizado no 18º pavimento resultou na expulsão de uma das paredes externas do edifício, que sustentava outra no andar acima, desencadeando assim em um colapso primeiramente das lajes dos pavimentos acima, e logo em seguida de todos os pavimentos abaixo; devido ao peso acumulado dos pavimentos desabados inicialmente.

Segundo Yang et al. (2022), o colapso parcial do edifício de apartamentos Ronan Point, ocorrido em 1968, levou engenheiros e pesquisadores britânicos a compreenderem a importância da resistência das estruturas à ocorrência de colapso progressivo.

Figura 2.3 – Colapso parcial do edifício Ronan Point, (Londres, 1968).



Fonte: Yang et al. (2022).

2.1.2 Colapso tipo zíper

No colapso tipo zíper, a falha inicial de um elemento estrutural sobrecarrega os elementos adjacentes, propagando progressivamente a instabilidade ao longo da estrutura. O exemplo mais claro onde isso pode acontecer é em uma ponte estaiada, onde a ruptura de um único cabo pode causar a sobrecarga dos demais, levando ao colapso da estrutura inteira. A Figura 2.4 traz um exemplo desse tipo de colapso, na qual a ponte Tacoma Narrows caiu devido ao efeito de ressonância com vento.

Conforme Starossek (2009, p.14) existem recomendações de algumas instituições que requerem que na concepção deste tipo de pontes sejam consideradas na análise estrutural a perda de um dos cabos, isso com o intuito de prever um colapso do tipo zíper.

Figura 2.4 – Colapso tipo zíper na ponte Tacoma Narrows (Washington, 1940).



Fonte: Starossek (2009).

2.1.3 Colapso tipo dominó

O colapso tipo dominó é caracterizado pela propagação horizontal da falha, semelhante ao efeito de peças de dominó caindo sucessivamente, como pode ocorrer por exemplo em sistemas de transmissão de energia. Se assemelha com o colapso do tipo panqueca pois existe em parte a acumulação de energia cinética durante a falha. Por outro lado, como destaca (STA-

ROSSEK, 2009), as principais forças nos elementos que falham, são ortogonais a direção de progressão da falha.

Este tipo de acontecimento é bastante comum, principalmente por ações da natureza. Um exemplo notável ocorreu em 1998, na cidade de Campina da Lagoa (PR), quando um vendaval derrubou sete torres de transmissão da Usina Hidrelétrica de Itaipu (FOLHA DE S. PAULO, 1998). A queda da primeira torre provavelmente desencadeou um efeito dominó, resultando na falha sucessiva das demais.

Figura 2.5 – Colapso tipo dominó de torres de transmissão de energia. (Alemanha, 2005).



Fonte: Starossek (2009).

Na cidade de Foz Do Iguaçu também ocorreu um evento similar, onde um temporal causou estragos em Outubro de 2021 (Figura 2.6). Na ocasião, a tempestade derrubou 21 postes da Avenida Tarquínio Joslin dos Santos, região norte de Foz do Iguaçu, os postes caíram todos em sequência com a força do vento, que passou dos 70 quilômetros por hora na região (RADIO CULTURA FOZ, 2021).

Figura 2.6 – Colapso tipo dominó de postes de energia (Foz Do Iguaçu, 2021).



Fonte: RADIO CULTURA FOZ (2021).

2.2 ESTUDOS RECENTES SOBRE COLAPSO PROGRESSIVO NO BRASIL

Embora o colapso progressivo seja amplamente discutido em publicações internacionais, ainda há uma escassez de trabalhos técnicos e acadêmicos dedicados ao tema no contexto nacional. No entanto, algumas pesquisas recentes desenvolvidas em instituições brasileiras têm buscado aprofundar o entendimento sobre esse fenômeno estrutural, especialmente no que diz respeito às edificações em concreto armado.

Um exemplo é o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Estudo do Colapso Progressivo em Estruturas de Concreto Armado”, apresentado na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) em setembro de 2019, de autoria de Lutainer Junio Castro Lino Coelho, (COELHO, 2019). O estudo propôs uma abordagem abrangente do tema por meio de revisão bibliográfica, pesquisa de campo e aplicação prática em um modelo de edificação.

A pesquisa de campo realizada com escritórios de projetos estruturais revelou que apenas 35% dos profissionais entrevistados conheciam o fenômeno, e destes, somente 40% afirmavam adotar alguma medida preventiva em seus projetos (COELHO, 2019).

Outro trabalho relevante é o artigo intitulado “Métodos e Parâmetros da Análise do Colapso Progressivo de Edifícios”, de autoria de Cláudio E. M. Oliveira, Ricardo A. M. Silveira e João B. M. Sousa Jr. (OLIVEIRA; SILVEIRA; JUNIOR, 2011), que apresenta um estudo a análise do colapso progressivo de edifícios. Publicado no Brasil, o artigo destaca-se por compilar e discutir os principais métodos de análise utilizados para a simulação desse fenômeno, bem como os parâmetros e hipóteses adotados na modelagem computacional.

Os autores ressaltam a necessidade de se incentivar o estudo do colapso progressivo no meio técnico e acadêmico brasileiro, uma vez que o tema ainda é pouco abordado pela comunidade científica brasileira. É destacado que a carência de literatura nacional e de diretrizes normativas sobre o assunto torna fundamental a divulgação de estudos técnicos que apresentem as diferentes formas de análise do colapso, como forma de promover maior entendimento e interesse sobre o tema.

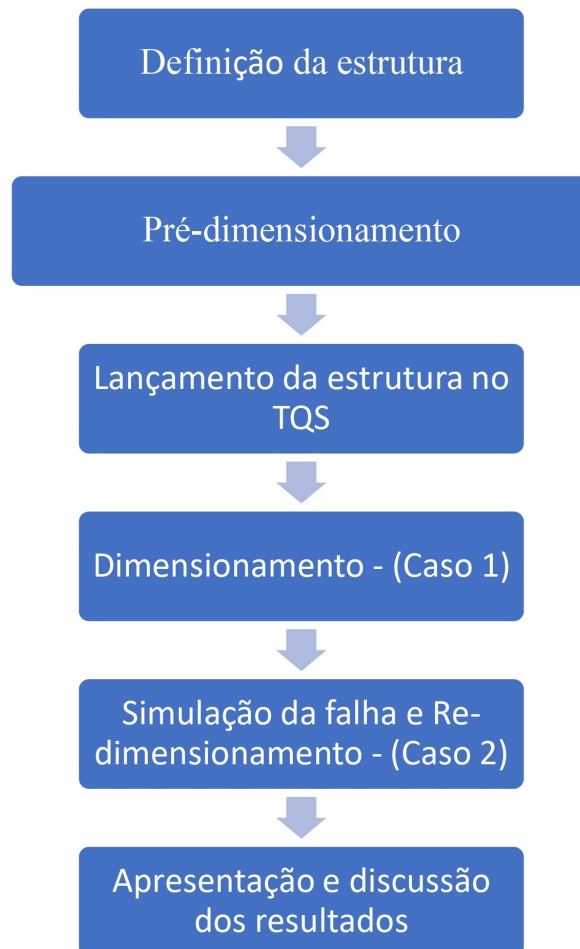
Os autores mencionam que "a justificativa maior deste incentivo é o fato de que o Brasil ainda não possui nenhuma recomendação ou regulamentação para análise do colapso progressivo de edifícios. (OLIVEIRA; SILVEIRA; JUNIOR, 2011). Por esse motivo, profissionais e empresas que precisam realizar esse tipo de análise ainda dependem de documentos internacionais, cuja aplicação direta é dificultada por diferenças contextuais e técnicas, como sistemas de unidades, hipóteses estruturais e critérios de segurança.

O artigo, portanto, contribui significativamente ao oferecer uma compilação de métodos e parâmetros de análise, além de refletir sobre as limitações e os desafios enfrentados por pesquisadores e engenheiros brasileiros. Ao propor uma abordagem técnica consistente e atualizada, os autores reforçam a urgência de incorporar o colapso progressivo como uma preocupação concreta no processo de projeto estrutural no país.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma do método utilizado durante a presente pesquisa. desenvolvimento do projeto estrutural de um edifício de concreto armado, composto por nove pavimentos (térreo e oito pavimentos-tipo).

Figura 3.1 – Fluxograma dos processos do trabalho



Fonte: O autor (2025).

Inicialmente, foi realizado o dimensionamento padrão da estrutura conforme as diretrizes da NBR 6118 ABNT (2023). A modelagem estrutural foi efetuada no software TQS (TQS, 2023), garantindo que as dimensões dos elementos estivessem de acordo com os cálculos preliminares.

Em seguida, foi realizada a simulação de uma falha estrutural específica, com a remoção de um pilar crítico, com o objetivo de analisar o comportamento da estrutura diante dessa falha inicial.

Após a análise do comportamento da edificação, caso tenha sido identificado potencial

de colapso, procedeu-se ao redimensionamento dos elementos estruturais necessários, repetindo-se as etapas anteriores até que o colapso fosse evitado.

Por fim, os resultados foram compilados e analisados, permitindo a comparação das soluções de dimensionamento em relação a variação nas seções transversais dos elementos e ao consumo de materiais.

3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA ANALISADA

O projeto considerado neste estudo consistiu em uma parcela de uma torre de apartamentos do tipo unifamiliar, localizada no município de Foz do Iguaçu, e pensada inicialmente para ser construída em alvenaria estrutural, uma vez que a edificação original era composta por uma torre com oito apartamentos por pavimento, dividida em duas partes espelhadas e separadas por uma junta de dilatação, como pode ser visto na Figura 3.2, tornando as duas partes da estrutura independentes do ponto de vista estrutural.

Considerando que a análise deste trabalho focou na simulação de uma falha estrutural localizada, e que o comportamento da estrutura diante dessa falha seria idêntico em ambos os lados da torre, optou-se por modelar apenas um dos lados da edificação. Dessa forma, a modelagem considerou uma configuração com quatro apartamentos por pavimento, excluindo a escada, uma vez que, no projeto original, ela estava localizada no lado direito da edificação, sem interferência na parte da estrutura analisada neste estudo.

De forma a cumprir os objetivos do projeto, foram desenvolvidos dois cenários distintos. No primeiro cenário foi realizado o dimensionamento convencional da estrutura, adotando seções padrões conforme os critérios estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2023). Nessa etapa, priorizou-se a manutenção da concepção arquitetônica original, buscando integrar os pilares dentro das paredes e ajustar a largura das vigas à espessura das divisórias, sempre respeitando os requisitos normativos referentes às dimensões mínimas dos elementos estruturais. A Figura 3.3 apresenta um lançamento inicial dos elementos estruturais desse cenário.

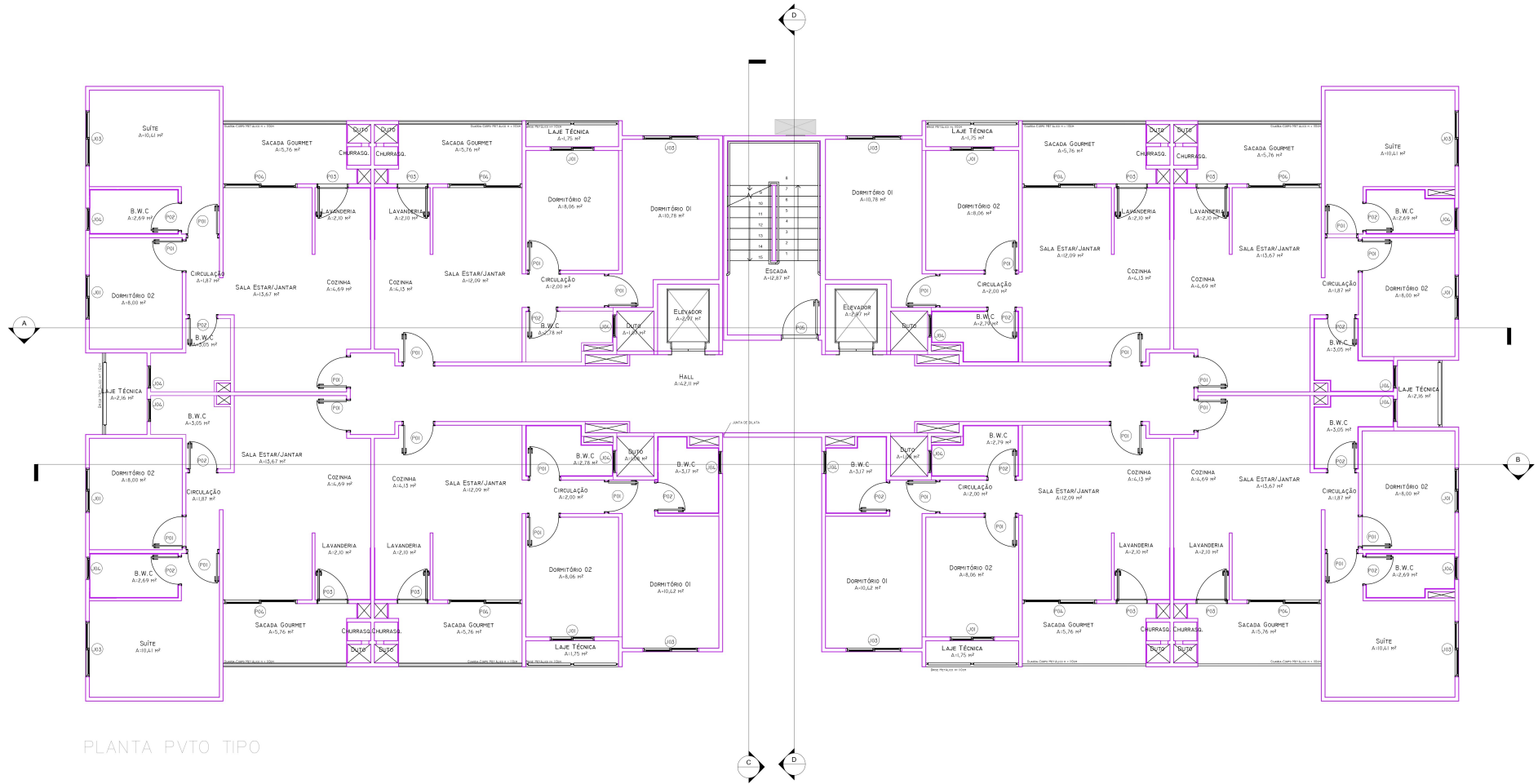
No segundo cenário, foi removido um pilar de canto do projeto inicial, simulando uma falha estrutural localizada. Essa remoção tinha o objetivo de avaliar a resposta da estrutura à ausência desse elemento essencial, especialmente no que diz respeito à redistribuição de esforços e ao comportamento das lajes adjacentes. O pilar escolhido para essa análise foi o P1, cuja falha poderia resultar no colapso parcial da laje diretamente apoiada nesse pilar, com potencial para desencadear um colapso progressivo nas lajes inferiores, caso não fossem implementadas estratégias de redimensionamento.

Este pilar escolhido para remoção está localizado em uma região crítica da edificação, onde, devido à assimetria da estrutura, já existia um trecho da laje em balanço. Essa escolha

permitiu analisar a situação mais desfavorável possível dentro do modelo estrutural, garantindo que a simulação representasse um cenário de maior vulnerabilidade à propagação da falha estrutural.

Na Figura 3.2 é apresentada a planta baixa do projeto arquitetônico considerado no projeto.

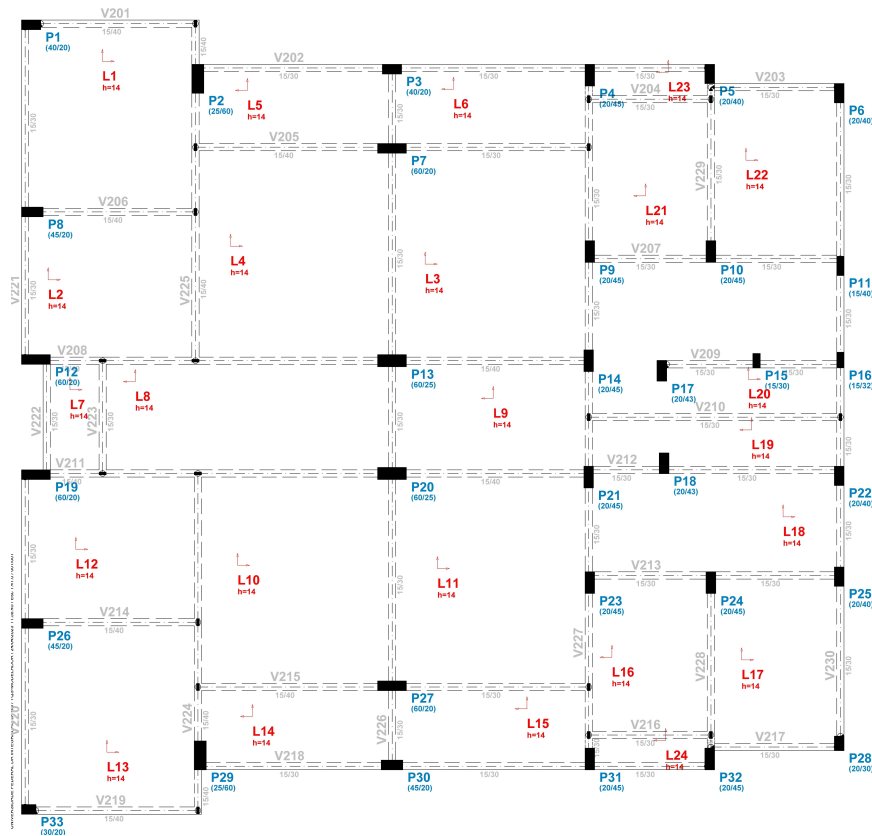
Figura 3.2 – Planta baixa do pavimento tipo.



PLANTA PVTO TIPO

Fonte: O Autor (Modificado).

Figura 3.3 – Lancamento inicial dos elementos estruturais no caso 1



Fonte: TQS, (2025).

A edificação possui no total 10 pavimentos, composto pelo pavimento térreo e 9 pavimentos tipo. A área construída total da edificação é de 2.595,9 m², o pé direito adotado foi de 2,8 m, chegando assim numa altura total do prédio de 28,6 metros.

3.2 PREMISSAS DO PROJETO

Na modelagem estrutural do edifício, foram adotados os critérios estabelecidos na norma NBR 6118 (ABNT, 2023), garantindo que o dimensionamento estivesse em conformidade com as exigências normativas vigentes. Os materiais utilizados na análise foram, concreto armado com resistência característica à compressão (f_{ck}) de 25 MPa e aços CA-50 e CA-60 para as armaduras. Os cobrimentos adotados nos elementos estão definidos na tabela Tabela 3.1, isso, considerando uma Classe de agressividade ambiental do tipo II (Moderada – Urbana) e como fator atenuante; que existe um rígido controle de qualidade e de tolerância de medidas na obra.

Tabela 3.1 – Cobrimentos adotados nos elementos estruturais

| Elemento Estrutural | Cobrimento (cm) |
|----------------------------|------------------------|
| Lajes | 2 |
| Vigas | 2,5 |
| Pilares | 2,5 |

Fonte: O Autor (2025)

Para a análise estrutural, foi adotado no software TQS o Modelo IV, que, conforme a definição do próprio programa, representa a estrutura por meio de um pórtico composto exclusivamente por barras, simulando as vigas e pilares, com o efeito de diafragma rígido das lajes devidamente incorporado.

Por se tratar de um projeto acadêmico, cujo objetivo principal é a comparação entre dois cenários distintos de um mesmo projeto, optou-se por utilizar o dimensionamento automático de armaduras fornecido pelo software. No entanto, vale destacar que, em projetos estruturais voltados para aplicação prática, o dimensionamento das armaduras deve ser realizado e revisado por um engenheiro calculista responsável, a fim de garantir conformidade com critérios de desempenho, segurança e economia para na execução de obras reais.

Na consideração de cargas foram definidos valores alfanuméricos de carregamentos, respeitando os valores mínimos definidos na norma NBR 6118 (ABNT, 2023) para esse tipo de edificação, essas cargas consideradas foram incorporadas da seguinte maneira:

- Lajes: Carga permanente de 0,100 tf/m² e carga acidental de 0,100 tf/m²;
- Vigas: Foi utilizada carga linear alfanumérica já catalogada no software para paredes de tijolo furado de 15cm (0,18 tf/m²), variando essa carga conforme a altura de cada parede;
- Pilares: Com o processamento de esforços da estrutura no TQS, os carregamentos nos pilares foram determinados automaticamente.

3.3 MODELAGEM DA ESTRUTURA

3.3.1 CAD/TQS

Entre os diversos programas disponíveis no mercado, o CAD/TQS se destaca como uma das ferramentas mais completas para cálculo, dimensionamento e detalhamento de estruturas de concreto armado, protendido e pré-moldado. Desenvolvido pela TQS Informática Ltda., o software é amplamente utilizado por profissionais e acadêmicos da área, consolidando-se como referência no Brasil. Uma de suas principais vantagens é sua integração com as normas técnicas brasileiras, como a NBR 6118 ABNT (2023), garantindo que os projetos estruturais estejam

sempre em conformidade com os requisitos normativos vigentes. O TQS também se diferencia pela sua interface intuitiva, que permite a modelagem eficiente das estruturas.

Sua capacidade de realizar simulações avançadas contribui significativamente para a análise estrutural, permitindo identificar pontos críticos na edificação e prever seu comportamento sob diferentes condições de carregamento.

Por esse motivo, o software CAD/TQS foi escolhido para a realização deste trabalho, garantindo que as análises realizadas sejam precisas e estejam em conformidade com as normas brasileiras vigentes de projetos estruturais.

Na modelagem da estrutura no software TQS, foram analisados dois cenários distintos para a mesma edificação. No Caso 1, foi realizado o dimensionamento padrão, adotando seções de elementos estruturais que atendessem às solicitações de *Estado Limite de Serviço* (ELS), conforme estabelecido na NBR 6118 (ABNT, 2023). Além disso, buscou-se respeitar ao máximo o projeto arquitetônico, definindo as dimensões dos elementos de forma a manter a compatibilidade entre as vigas e as paredes, bem como alinhando a largura dos pilares com as divisórias, garantindo uma melhor integração estética e funcional da estrutura.

No Caso 2, para simular a falha de um elemento estrutural, foi removido um trecho de um pilar de canto no último pavimento. Após essa remoção, a estrutura foi redimensionada para suportar as novas solicitações estruturais geradas pela ausência do pilar. Diferentemente do Caso 1, no qual o dimensionamento foi conduzido para atender tanto às solicitações de ELS quanto às de *Estado Limite Último* (ELU), no Caso 2 o redimensionamento focou exclusivamente no atendimento às solicitações de ELU, garantindo que a estrutura permanecesse estável e evitasse o colapso progressivo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados do dimensionamento estrutural para os dois casos, de forma a comparar o efeito da simulação da falha local no modelo inicialmente proposto, principalmente em relação á mudança nas seções transversais dos elementos e como isso afeta no consumo final de materiais.

4.1 DIMENSIONAMENTO E MODELAGEM ESTRUTURAL

O processo de dimensionamento e modelagem do edifício para os dois casos foi realizado inteiramente no software CAD/TQS (TQS, 2023). A seguir, são apresentados os modelos estruturais e as plantas resultantes de cada caso.

4.1.1 Caso 1

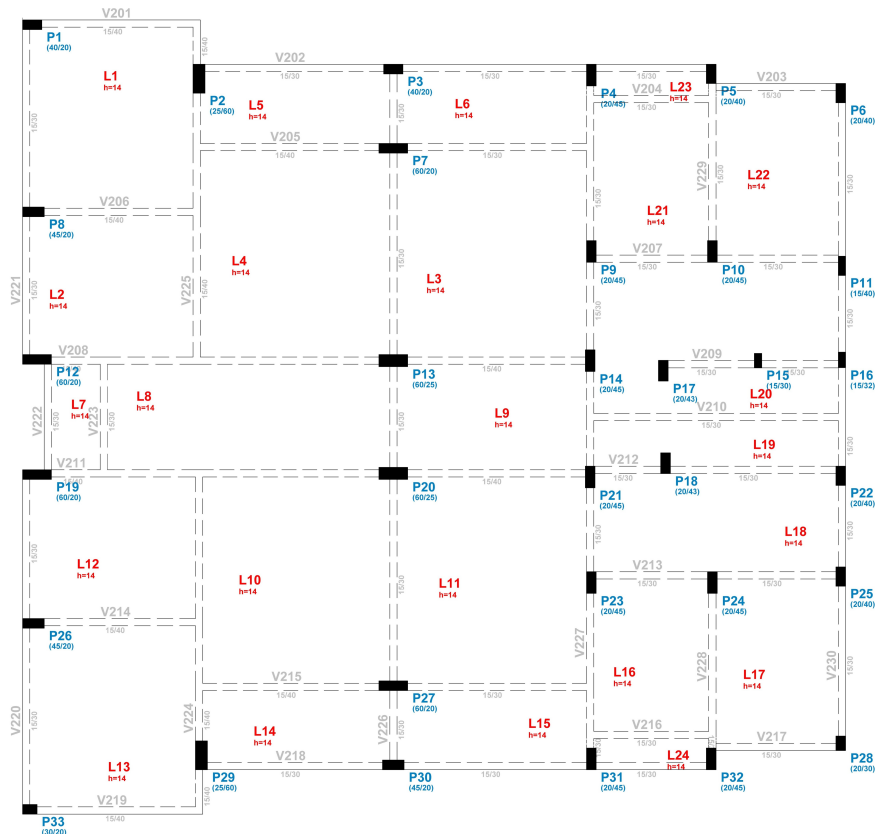
Na Figura 4.1 é exibida a planta de formas do pavimento tipo referente ao Caso 1, no qual foi realizado um dimensionamento padrão, garantindo que os elementos estruturais atendessem às solicitações de ELS, conforme as diretrizes da NBR 6118 (ABNT, 2023). Além disso, conforme mencionado anteriormente, buscou-se respeitar ao máximo o projeto arquitetônico, mantendo a integração das vigas e pilares com as paredes do edifício.

O pavimento tipo dimensionado é composto por 33 pilares com seções que variam entre 15x30cm e 25x65cm ajustadas conforme as necessidades estruturais de cada região do pavimento, e por 30 vigas, com seções que variam entre 15x30cm e 15x40cm.

As lajes utilizadas em ambos os casos são do tipo maciça, apresentando uma espessura uniforme de 14 cm.

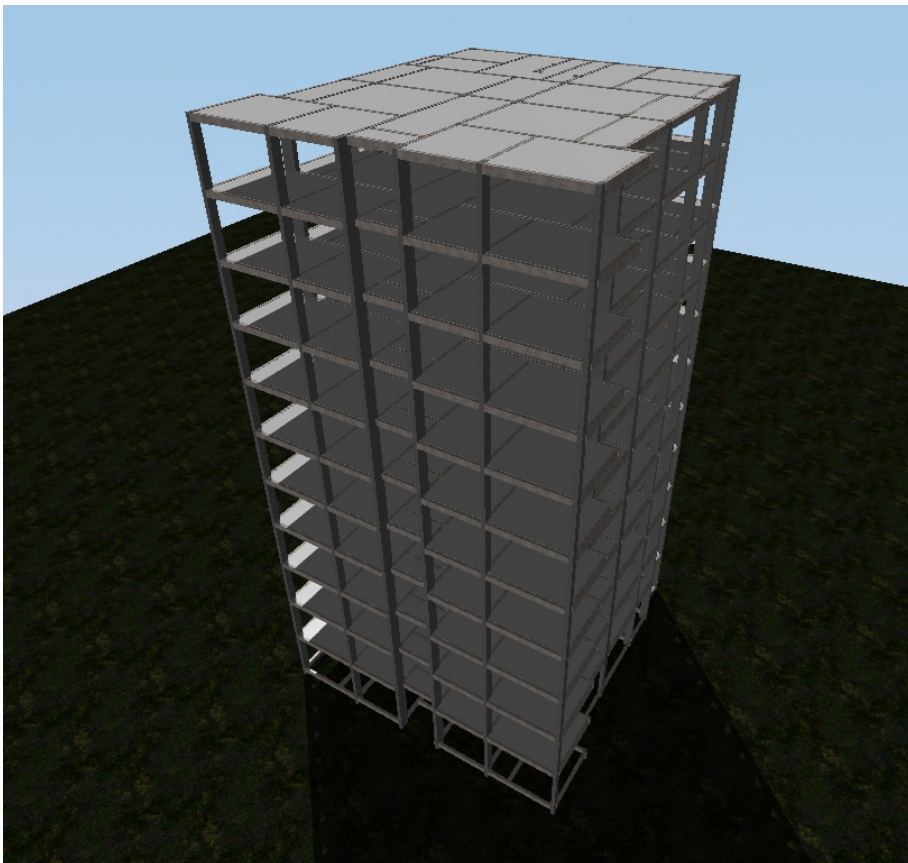
Na figura Figura 4.2 é apresentada a modelagem 3D da edificação para o Caso 1, onde é possível observar o padrão de dimensionamento adotado nos pavimentos tipo, com as dimensões mínimas que atendem as solicitações de serviço para este tipo de edificação.

Figura 4.1 – Planta de formas do pavimento tipo - Caso 1.



Fonte: TQS, 2025.

Figura 4.2 – Modelagem 3D do edifício - Caso 1.

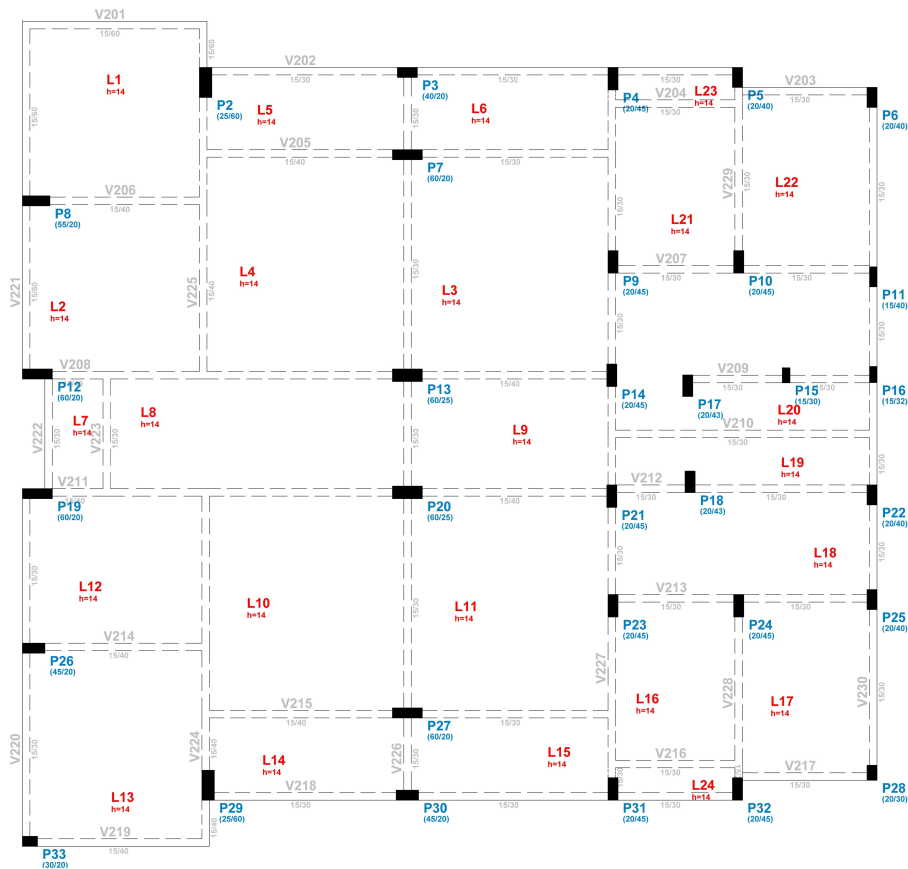


Fonte: TQS, 2025.

4.1.2 Caso 2

No caso 2, foi removido o pilar P1, localizado no canto superior esquerdo da Laje L1 do modelo original. Essa remoção exigiu o redimensionamento dos elementos estruturais para garantir que a laje afetada permanecesse estável, evitando seu colapso e, conseqüentemente, impedindo a propagação de falhas que pudessem comprometer a estrutura como um todo. Após a remoção do pilar e o redimensionamento dos elementos a planta de formas para o caso 2 ficou da seguinte forma:

Figura 4.3 – Planta de formas do pavimento tipo - Caso 2.



Fonte: TQS, 2025.

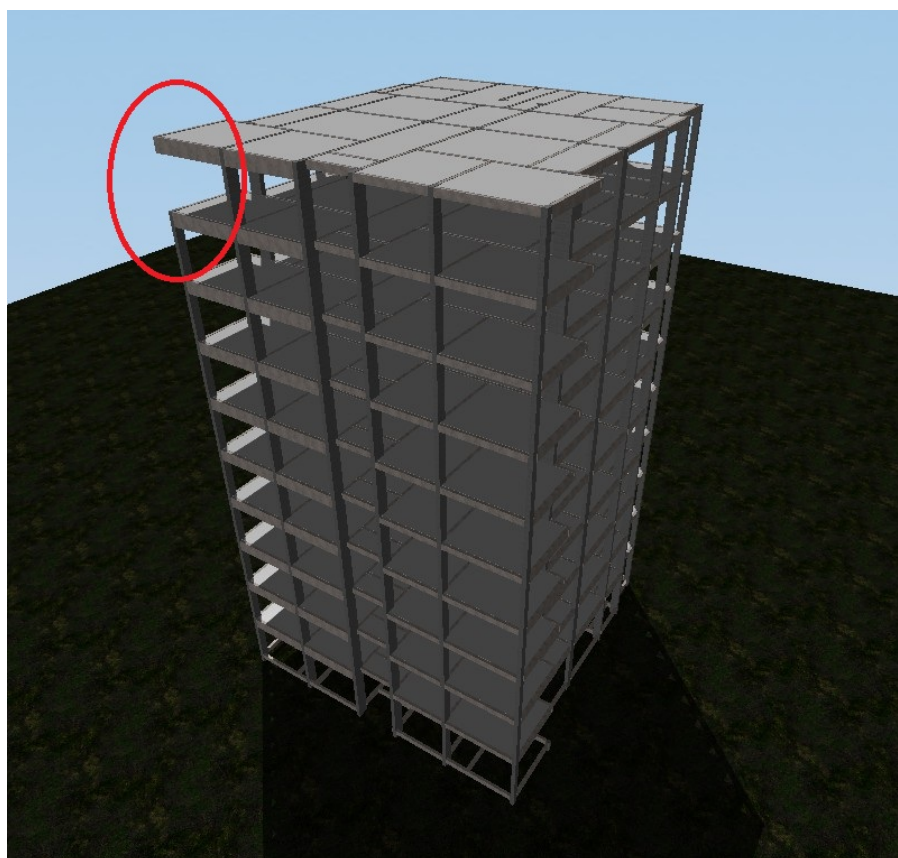
Com a ausência do pilar P1, a redistribuição dos esforços na estrutura exigiu ajustes na configuração de alguns elementos estruturais. Especificamente, o pilar P8, localizado no meio da viga contínua V221, teve sua seção aumentada de 45×20 cm para 20×55 cm.

No caso das vigas, o impacto foi ainda mais significativo. Elementos como as vigas: V201, V206, V221 e V225, que desempenhavam um papel fundamental no suporte da laje L1, tiveram um aumento considerável em suas seções. Destaca-se que a viga contínua V221 sofreu aumento de seção ao longo de toda sua extensão, ainda que apenas o segundo trecho estivesse diretamente envolvido no suporte da laje L1. Esse ajuste foi adotado para incrementar

sua rigidez global, otimizando a redistribuição das cargas para a laje adjacente. Já para a viga V225, o aumento de seção foi aplicado apenas no último trecho, que já suportava o pequeno balanço da laje antes da remoção do pilar de canto do lado oposto.

Na Figura 4.4, é apresentada a modelagem 3D da edificação para o Caso 2, já considerando a remoção do último trecho do pilar de canto no último pavimento.

Figura 4.4 – Modelagem 3D do edifício - Caso 2.



Fonte: TQS, 2025.

4.2 COMPARATIVO DE MATERIAIS

Com a remoção do pilar P1 na região da laje L1, foi necessário realizar o redimensionamento dos elementos. Como consequência, houve um aumento significativo nas seções das vigas e pilares, o que impactou diretamente no consumo de materiais necessário para atender essas novas solicitações, evitando o colapso da laje, mesmo com a falha do pilar mencionado anteriormente.

4.2.1 Variação nas seções das vigas

A seguir, são apresentadas as variações nas seções das vigas entre o Caso 1 e o Caso 2, destacando as modificações realizadas nas vigas que suportam a laje afetada pela remoção do pilar P1. A Tabela 4.1 compara as dimensões dessas vigas e suas respectivas taxas de aço, permitindo uma análise detalhada do impacto do redimensionamento na redistribuição de esforços e no consumo de materiais.

Tabela 4.1 – Seções e taxas de aço para as vigas, nos casos 1 e 2.

| Viga | Caso 1 | | Caso 2 | |
|-----------------|------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|
| | Seção (cm) | Taxa de aço (kg/m ³) | Seção (cm) | Taxa de aço (kg/m ³) |
| V201 | 15X40 | 56,1 | 15X60 | 46,1 |
| V206 | 15X40 | 141,9 | 15X40 | 142,5 |
| V221 | 15X30 | 87,9 | 15X60 | 108,9 |
| V225 (Trecho 2) | 15X40 | 270,8 | 15X60 | 242,2 |

Fonte: O Autor (2025)

A viga V201, que originalmente possuía uma seção de 15×40 cm, foi aumentada para 15×60 cm, refletindo um acréscimo de 50% na altura da seção. Entretanto, a taxa de aço reduziu de 56,1 kg/m³ para 46,1 kg/m³, indicando que o aumento da seção possibilitou uma melhor distribuição dos esforços, reduzindo a necessidade de reforço com armaduras.

Figura 4.5 – Detalhamento da viga V201 - Caso 1.

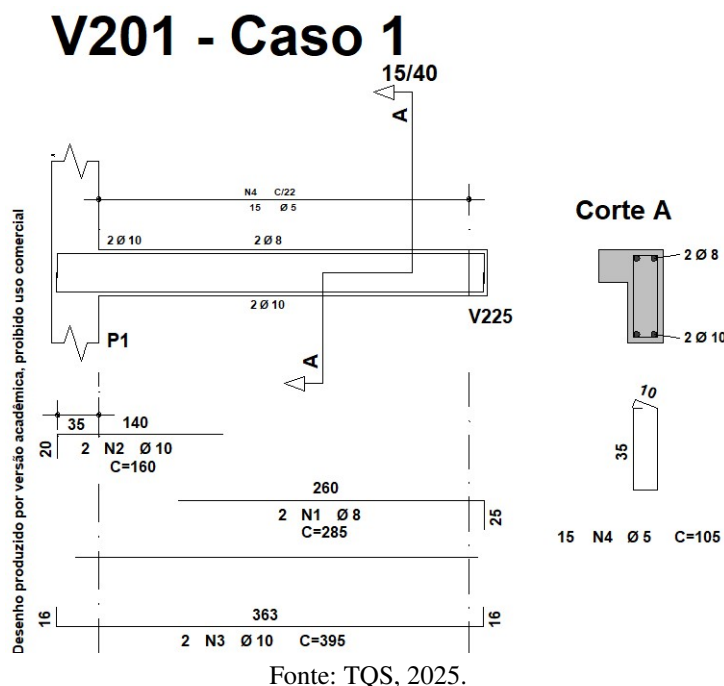
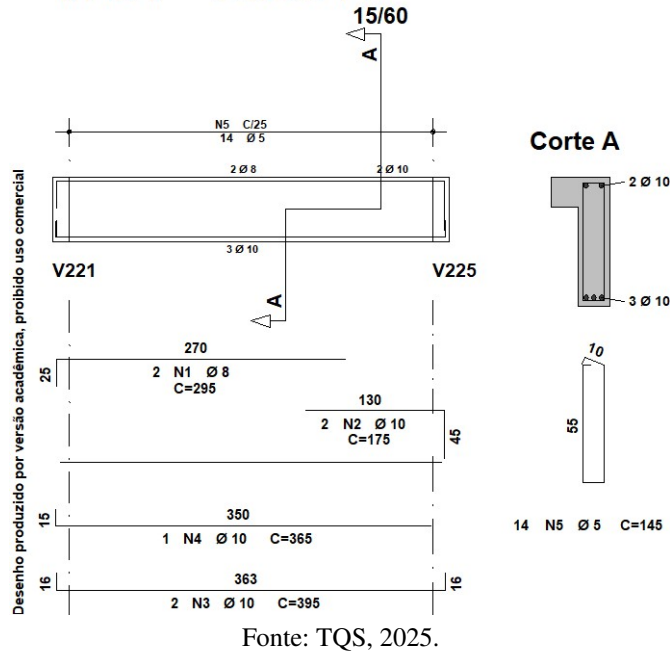


Figura 4.6 – Detalhamento da viga V201 - Caso 2.



A viga V206 manteve a mesma seção de 15×40 cm, porém apresentou um pequeno aumento na taxa de aço, passando de 141,9 kg/m³ para 142,5 kg/m³. Esse acréscimo, embora discreto, indica que a redistribuição de esforços resultante da remoção do pilar P1 também exigiu reforço adicional nessa viga, ainda que sua seção geométrica não tenha sido alterada.

Figura 4.7 – Detalhamento da viga V206 - Caso 1.

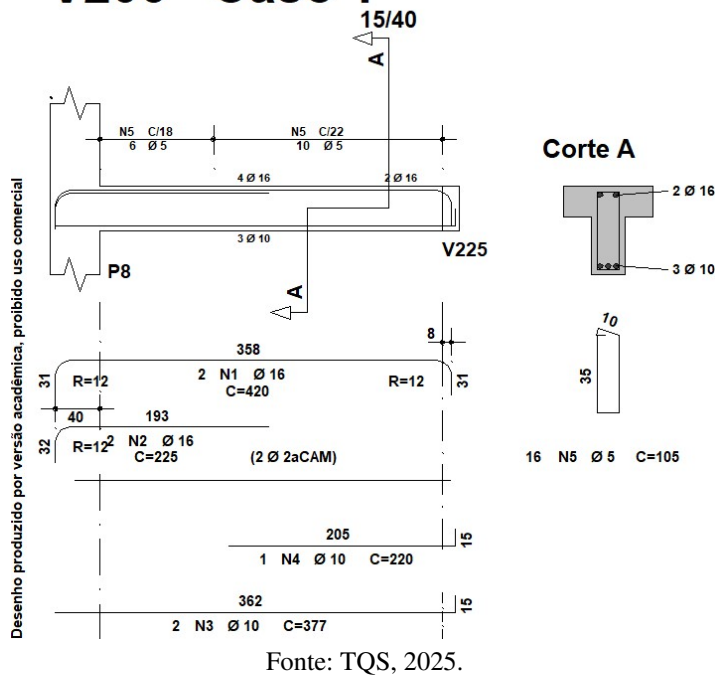
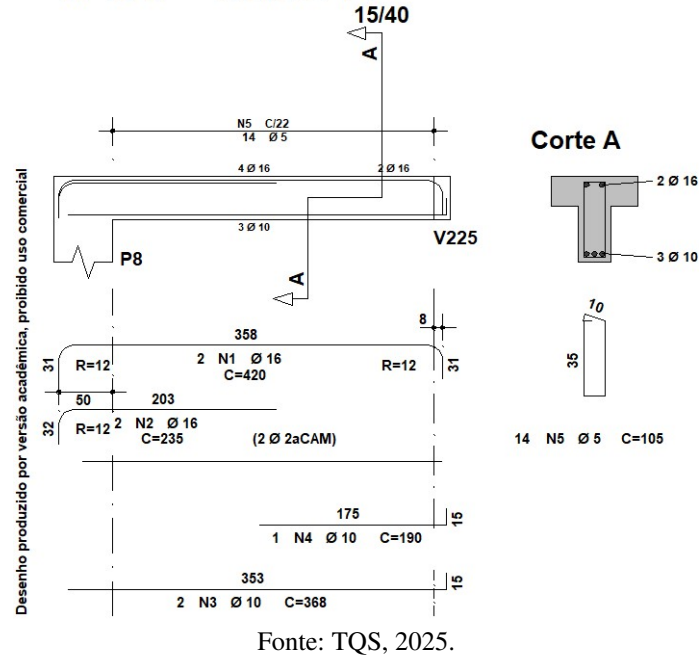


Figura 4.8 – Detalhamento da viga V206 - Caso 2.



A viga V221, que inicialmente possuía uma seção de 15×30 cm, foi aumentada para 15×60 cm, resultando em um aumento de 100% na altura. No entanto, diferentemente de outras vigas onde o aumento da seção resultou em uma redução na taxa de aço, neste caso, a taxa de armadura aumentou de 87,9 kg/m³ para 108,9 kg/m³. Isso indica que, além do acréscimo no volume de concreto, também foi necessário um aumento considerável na quantidade de aço utilizado na viga.

Figura 4.9 – Detalhamento da viga V221 - Caso 1.

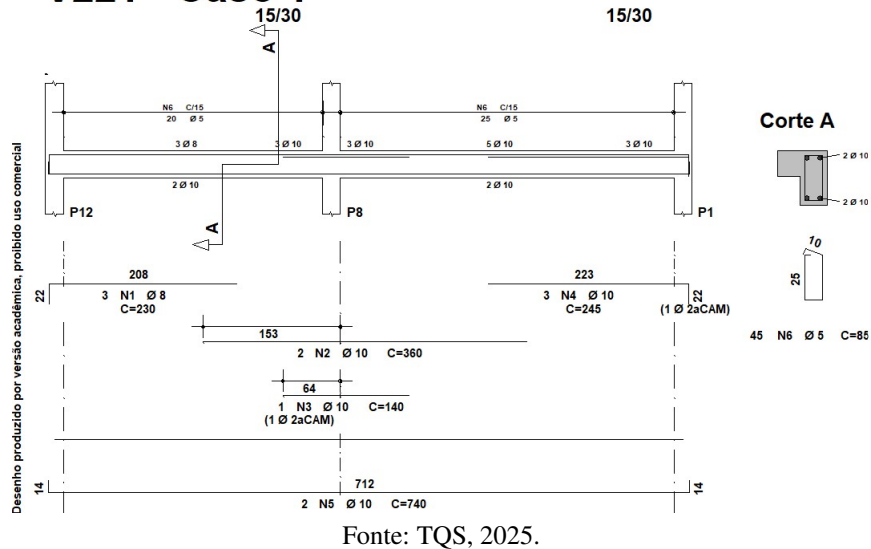


Tabela 4.2 – Resumo do consumo e taxas (Caso 1).

| Pavimento | Concreto | | Fôrmas | | Aço | | |
|-----------|------------------------------|---|------------------------------|---|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| | Consumo (m ³) | Taxa (m ³ /m ²) | Consumo (m ²) | Taxa (m ² /m ²) | Consumo (kg) | Taxa (kg/m ²) | Taxa (kg/m ³) |
| PAV TIPO | 49,029 | 0,019 | 451,278 | 1,764 | 2034,2 | 7,95 | 41,49 |
| TÉRREO | 10,66 | 0,34 | 172,65 | 5,476 | 1691 | 53,65 | 158,73 |
| TOTAL | 500,95 | 0,19 | 4685,43 | 1,809 | 22034 | 8,51 | 43,98 |

Fonte: O Autor (2025)

Tabela 4.3 – Resumo do consumo e taxas (Caso 2).

| Pavimento | Concreto | | Fôrmas | | Aço | | |
|-----------|------------------------------|---|------------------------------|---|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| | Consumo (m ³) | Taxa (m ³ /m ²) | Consumo (m ²) | Taxa (m ² /m ²) | Consumo (kg) | Taxa (kg/m ²) | Taxa (kg/m ³) |
| PAV TIPO | 49,3 | 0,19 | 454,35 | 1,776 | 1890 | 7,39 | 38,34 |
| TÉRREO | 10,66 | 0,34 | 172,65 | 5,476 | 1691 | 53,65 | 158,73 |
| TOTAL | 503,78 | 0,18 | 4718,4 | 1,81 | 20641 | 7,93 | 43,58 |

Fonte: O Autor (2025)

Tabela 4.4 – Variação total no consumo de materiais (%)

| | Concreto | | Fôrmas | | Aço | |
|---------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | Consumo (m ³) | Variação no consumo (%) | Consumo (m ²) | Variação no consumo (%) | Consumo (kg) | Variação no consumo (%) |
| Caso 1 | 500,95 | – | 4685,43 | – | 22034 | – |
| Caso 2 | 503,78 | + 0,56% | 4718,4 | + 0,70% | 20641 | – 6,34% |

Fonte: O Autor (2025)

Quando analisado o consumo total de materiais para todo o edifício, considerando os dez pavimentos tipo e o pavimento térreo, verifica-se que o consumo total de concreto passou de 500,95 m³ no Caso 1 para 503,66 m³ no Caso 2, um acréscimo pouco expressivo, que representa uma variação de aproximadamente 0,56%.

O consumo total de fôrmas também aumentou de 4685,43 m² para 4718,4 m², refletindo o maior volume de fôrmas exigido para acomodar as novas seções dos elementos estruturais modificados. Esse aumento de cerca de 0,7% também foi relativamente pequeno em relação ao volume total da edificação.

Já no consumo total de aço, observa-se uma redução de 22034 kg no Caso 1 para 20641 kg no Caso 2, o que representa uma redução de aproximadamente 6,3% no total de armaduras utilizadas no edifício. Essa redução confirma que, apesar do aumento das seções das vigas e pilares, a redistribuição de esforços tornou possível otimizar o consumo de aço na estrutura.

Os resultados indicam que o redimensionamento da estrutura teve um impacto moderado no consumo de concreto e fôrmas, mas afetou mais significativamente a distribuição das armaduras. A redução do peso total de aço sugere que o novo modelo estrutural conseguiu redistribuir os esforços de maneira mais eficiente, reduzindo a necessidade de reforço excessivo.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento estrutural de uma edificação em concreto armado diante da falha localizada de um pilar, simulando um possível cenário de colapso progressivo. Para isso, foram desenvolvidos dois modelos no software CAD/TQS: o primeiro baseado em um dimensionamento convencional, atendendo às exigências da norma ABNT NBR 6118:2023; e o segundo com a remoção de um pilar de canto, exigindo o redimensionamento de vigas e pilares para evitar o colapso da laje associada.

A ferramenta TQS mostrou-se eficiente para a modelagem estrutural, especialmente por já incorporar as normas brasileiras e por permitir análises rápidas e precisas das consequências estruturais causadas por alterações no sistema. O software foi fundamental para visualizar a redistribuição dos esforços e testar as soluções adotadas no segundo cenário.

Os resultados mostraram que foi possível garantir a estabilidade da estrutura mesmo com a retirada de um pilar crítico, por meio do redimensionamento pontual de alguns elementos, como a viga V221 e o pilar P8. Houve variações nas seções dos elementos estruturais e no consumo de materiais, com um pequeno aumento no volume de concreto e fôrmas e uma leve redução no total de aço empregado. Esses ajustes foram suficientes para manter a segurança estrutural e evitar o colapso progressivo da edificação.

O estudo contribui para a formação acadêmica e prática ao demonstrar a importância de considerar cenários de falha em projetos estruturais, promovendo uma abordagem mais preventiva e segura. Além disso, reforça a relevância do uso de ferramentas computacionais no dimensionamento moderno de estruturas, permitindo análises mais realistas e decisões mais fundamentadas.

Com base nos resultados obtidos e no embasamento teórico adotado, conclui-se que o objetivo proposto foi plenamente alcançado, validando a metodologia aplicada e demonstrando a viabilidade de soluções estruturais para mitigar os efeitos do colapso progressivo.

Para trabalhos futuros, é sugerido realizar análises de outros projetos considerando a falha em diferentes elementos estruturais, como vigas intermediárias ou pilares centrais, para avaliar a influência da posição do elemento na redistribuição de esforços e também no consumo de materiais.

REFERÊNCIAS

- ASCE, A. S. of C. E. **Minimum design loads for buildings and other structures**. American Society of Civil Engineers, 2005. 1-330 p. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784408094>>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, 2023. 242 p.
- COELHO, L. J. C. L. **Estudo do colapso progressivo em estruturas de concreto armado**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF.
- FERREIRA, D. **Dimensionamento de edifícios de betão armado resistentes ao colapso progressivo**. 1-78 p., 11 2016. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/19811/1/Ferreira_2016.pdf>.
- FOLHA DE S. PAULO. **Vendaval derruba 7 torres de Itaipu**. 1998. Publicado em: 08 abr. 1998. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff08049801.htm>>.
- OLIVEIRA, C. E. M.; SILVEIRA, R. A. M.; JUNIOR, J. B. M. S. Eventos envolvendo colapso progressivo e suas implicações. In: **32º Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering (CILAMCE 2011)**. Ouro Preto-MG: Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, 2011. p. 2–13. Ouro Preto-MG, 2011.
- RADIO CULTURA FOZ. **Temporal derrubou 21 postes na Avenida Tarquínio Joslin dos Santos, região norte de Foz do Iguaçu**. 2021. Publicado em: 24 out. 2021. Disponível em: <<https://www.radioculturafoz.com.br/2021/10/24/temporal-derrubou-21-postes-na-avenida-tarquinio-joslin-dos-santos-regiao-norte-de-foz-do-iguacu/>>.
- SILVEIRA, R. A. M.; JR, J. B. M. S. Métodos e parâmetros da análise do colapso progressivo de edifícios. **XXXII CILAMCE-Congresso Ibero Latino Americano de Métodos Computacionais em Engenharia**, v. 1, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/296193623_METODOS_E_PARAMETROS_DA_ANALISE_DO_COLAPSO_PROGRESSIVO_DE_EDIFICIOS>.
- STAROSSEK, U. **Progressive Collapse of Structures**. First edit. [S.l.]: Thomas Telford, 2009. 1-153 p.
- TQS. **TQS Informática Ltda. Sistemas TQS: Projetos de estruturas de concreto**. São Paulo, 2023. Software de cálculo estrutural, versão utilizada: 23.8.
- YANG, B. et al. **Behaviour of Building Structures Subjected to Progressive Collapse**. Woodhead Publishing, 2022. 1-380 p. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128222676000097>>.