

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOÃO CAETANO CASOTTI

DIFERENTES MODELOS DE TRANSIÇÃO APLICADOS EM UM MODELO  
SIMPLIFICADO DE EDIFÍCIO DE 20 ANDARES EM CONCRETO ARMADO E SUAS  
IMPLICAÇÕES NO CUSTO DA ESTRUTURA

Porto Alegre

Novembro 2020

JOÃO CAETANO CASOTTI

DIFERENTES MODELOS DE TRANSIÇÃO APLICADOS EM UM MODELO  
SIMPLIFICADO DE EDIFÍCIO DE 20 ANDARES EM CONCRETO ARMADO E SUAS  
IMPLICAÇÕES NO CUSTO DA ESTRUTURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de  
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. João Ricardo Masuero

Porto Alegre  
Novembro 2020

JOÃO CAETANO CASOTTI

DIFERENTES MODELOS DE TRANSIÇÃO APLICADOS EM UM MODELO  
SIMPLIFICADO DE EDIFÍCIO DE 20 ANDARES EM CONCRETO ARMADO E SUAS  
IMPLICAÇÕES NO CUSTO DA ESTRUTURA

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, novembro de 2020.

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. João Ricardo Masuero (UFRGS)**

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientador

**Prof. Jorge Luis Palomino Tamayo (UFRGS)**

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Roberto Domingos Rios (UFRGS)**

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## **AGRADECIMENTOS**

Meu primeiro agradecimento é ao meu orientador e professor, João Ricardo Masuero, por toda a ajuda prestada em cada mínima etapa deste trabalho, fazendo com que fosse possível chegar ao fim, e com a atenção e dedicação irreparáveis desde os tempos de Mecânica Estrutural II. Levarei todos seus ensinamentos pra minha vida profissional e pessoal.

À minha família, que sempre prezou pela minha educação e estiveram presentes para me ajudar da melhor maneira possível, me incentivando a dar o melhor de mim em todas as etapas da minha vida acadêmica.

À Júlia, minha namorada, por ser meu porto seguro nos momentos mais difíceis, quando tudo parece impossível, além do apoio incondicional para que eu alcance todos os meus objetivos.

Aos meus amigos Arthur, Pedro, Mateus, Rodrigo, Bernardo, Murilo, Fabrício e Augusto. Por serem as pessoas com quem eu mais me sinto feliz por estar perto, por serem quem mais ajudaram a me tornar quem eu sou hoje, por todas as histórias vividas e por tudo que ainda iremos viver juntos.

Aos professores que fazem parte desta Banca Examinadora e a todos os outros que tive na graduação e me ajudaram da melhor forma possível na minha formação profissional.

Você é o único representante do seu sonho na  
face da Terra. Se isso não fizer você correr, eu  
não sei o que vai.

*Emicida*

## RESUMO

Este trabalho versa sobre a existência de estruturas de transição em um edifício, e as suas implicações no custo total da estrutura, decorrentes das alterações provocadas nas solicitações e na rigidez horizontal do edifício, gerando acréscimos nos custos da estrutura em relação a uma estrutura semelhante sem transição. Inicialmente foi realizado um estudo inicial para identificar a influência da razão entre a inércia da seção transversal de vigas e de pilares na rigidez de pórticos planos, identificando a relação de máxima rigidez e que há uma faixa de valores para a razão das inércias que leva a pórticos com praticamente a mesma rigidez horizontal. Um segundo estudo exploratório foi feito com pórticos planos para identificar a influência das transições na rigidez horizontal. A existência de transição torna os pórticos mais flexíveis, mas pequenos aumentos na seção transversal das vigas de transição são muitas vezes suficientes para recuperar a rigidez perdida. Posteriormente foi feito, através do software CAD/TQS, um modelo padrão de análise, correspondente a um prédio de vinte pavimentos iguais entre si, com cinco vigas na direção do eixo X em planta, quatro vigas na direção do eixo Y em planta, com pilares dispostos regularmente com seção transversal constante das fundações à cobertura e todas as lajes maciças com mesmas alturas. A partir deste modelo padrão, foram gerados dez diferentes modelos com configurações diferentes de transição, para diferentes usos práticos e que implicaram em diferentes soluções de projeto no que diz respeito aos dimensionamentos. Após processamento dos modelos através do TQS, geraram-se tabelas de quantitativos de concreto, aço e fôrmas para todos os onze modelos, que foram orçados de acordo com os custos unitários obtidos em Matias (2019), tornando possível comparar os custos de cada solução com transição com o custo do modelo padrão de análise, sem transição. A presença de transições nos modelos analisados pode levar a um aumento de até aproximadamente 7% no custo da estrutura.

**Palavras-chave:** Estruturas de transição. Rigidez horizontal de pórticos. TQS. Custo da estrutura.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Desenho esquemático de aplicação de viga de transição.....	14
Figura 2- Modelo de pórtico com carga unitária aplicada no topo.....	26
Figura 3- Pórticos com deslocamento do pilar em 1m no térreo (à esquerda) e 1m no térreo e 2º pavimento (à direita).....	37
Figura 4- Pórtico com deslocamento do pilar em 1m no térreo, 2º e 3º pavimentos.....	37
Figura 5- Pórticos com deslocamento do pilar em 2m no térreo (à esquerda) e 2m no térreo e 2º pavimento (à direita).....	41
Figura 6- Pórtico com deslocamento do pilar em 1m no térreo, 2º e 3º pavimentos.....	41
Figura 7- Pórticos com remoção do pilar no térreo (à esquerda) e remoção no térreo e 2º pavimento (à direita).....	45
Figura 8- Pórtico com remoção do pilar no térreo, 2º e 3º pavimentos.....	45
Figura 9- Mapa de isopletas.....	52
Figura 10- Janela de cálculo do coeficiente de arrasto do software TQS.....	54
Figura 11 – Aba de carga de vento com todos fatores e coeficientes inseridos .....	54
Figura 12- Janelas de inserção de classe de concreto para estruturas do modelo .....	56
Figura 13- Corte esquemático do modelo padrão.....	57
Figura 14- Planta baixa do modelo de referência do estudo.....	58
Figura 15- Planta baixa das fôrmas do segundo pavimento do modelo 1 .....	63
Figura 16- Planta baixa das fôrmas do terceiro pavimento do modelo 2 .....	66
Figura 17- Planta baixa das fôrmas do segundo pavimento do modelo 3 .....	69
Figura 18- Planta baixa das fôrmas do segundo pavimento do modelo 4.....	72
Figura 19- Planta baixa das fôrmas do terceiro pavimento do modelo 5 .....	74
Figura 20- Planta baixa das fôrmas do terceiro pavimento do modelo 6 .....	77
Figura 21- Planta baixa das fôrmas do segundo pavimento do modelo 7 .....	80
Figura 22- Planta baixa das fôrmas do segundo pavimento do modelo 8 .....	83
Figura 23- Planta baixa das fôrmas do terceiro pavimento do modelo 9 .....	86
Figura 24- Planta baixa das fôrmas do terceiro pavimento do modelo 10 .....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados de deslocamento para pórticos de quatro metros de vão entre pilares ...	27
Tabela 2- Resultados de deslocamento para pórticos de quatro metros de vão entre pilares ...	28
Tabela 3- Resultados de deslocamento para pórticos de cinco metros de vão entre pilares ....	29
Tabela 4- Resultados de deslocamento para pórticos de seis metros de vão entre pilares .....	30
Tabela 5- Resultados de deslocamento para pórticos de seis metros de vão entre pilares .....	31
Tabela 6- Resultados de deslocamento para pórticos de sete metros de vão entre pilares .....	32
Tabela 7- Resultados de deslocamento para pórticos de oito metros de vão entre pilares .....	33
Tabela 8- Resultados de deslocamento para pórticos de seis metros de vão entre pilares .....	34
Tabela 9- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 1 metro .....	38
Tabela 10- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 1 metro .....	39
Tabela 11- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 1 metro .....	40
Tabela 12- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 2 metros .....	42
Tabela 13- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 2 metros .....	43
Tabela 14- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 2 metros .....	44
Tabela 15- Deslocamentos horizontais para pórticos com remoção dos pilares .....	46
Tabela 16- Deslocamentos horizontais para pórticos com remoção dos pilares .....	47
Tabela 17- Deslocamentos horizontais para pórticos com remoção dos pilares .....	48
Tabela 18- Cargas nas lajes .....	51
Tabela 19- Definição dos dez modelos de edifício com viga de transição abordados .....	59
Tabela 20- Planilha de orçamento do modelo padrão do estudo .....	93
Tabela 21- Planilha de orçamento do modelo 1 do estudo .....	94
Tabela 22- Planilha de orçamento do modelo 2 do estudo .....	95
Tabela 23- Custo total do modelo 2 com valores corrigidos pela proporção da área construída .....	96
Tabela 24- Planilha de orçamento do modelo 3 do estudo .....	97
Tabela 25- Planilha de orçamento do modelo 4 do estudo .....	98
Tabela 26- Planilha de orçamento do modelo 5 do estudo .....	99
Tabela 27- Planilha de orçamento do modelo 6 do estudo .....	100
Tabela 28- Planilha de orçamento do modelo 7 do estudo .....	101
Tabela 29- Planilha de orçamento do modelo 8 do estudo .....	102
Tabela 30- Planilha de orçamento do modelo 9 do estudo .....	104
Tabela 31- Planilha de correção do custo total orçado com porcentagem corrigida .....	105

Tabela 32- Planilha de orçamento do modelo 10 do estudo.....	106
Tabela 33- Planilha de correção do custo total orçado com porcentagem corrigida.....	107
Tabela 34- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos .....	107
Tabela 35- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos (continuação) .....	108
Tabela 36- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos (continuação) .....	109
Tabela 37- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos (continuação) .....	110
Tabela 38- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos (continuação) .....	111
Tabela 39- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos (conclusão).....	112

## **LISTA DE SIGLAS**

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Técnica Brasileira

TCPO – Tabela de Composições e Preços para Orçamentos

## LISTA DE SÍMBOLOS

$V_0$  – Velocidade básica do vento (m/s)

$S_1$  – Fator topográfico

$S_2$  – Fator que considera a rugosidade do terreno, as dimensões da edificação e a altura sobre o terreno

$S_3$  – Fator probabilístico

$f_{ck}$  – Resistência característica do concreto à compressão (MPa) concreto à compressão (MPa)

$\alpha$  – Parâmetro de instabilidade

$\gamma_z$  – Coeficiente de majoração dos esforços globais de 1ª ordem devidos aos carregamentos horizontais para obtenção dos esforços finais de 2ª ordem

$l_{b,mín}$  – Comprimento de ancoragem mínimo

$l_b$  – Comprimento de ancoragem

$l_{b,nec}$  – Comprimento de ancoragem necessário

$E_{ci}$ : módulo de elasticidade inicial

$E_{cs}$ : módulo de deformação secante

$\alpha_E$ : coeficiente do agregado graúdo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS .....	15
1.2 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES .....	16
1.3 DELINEAMENTO DO TRABALHO .....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1 ANCORAGEM DE PILARES QUE NASCEM DE UMA VIGA DE TRANSIÇÃO ..	18
2.2 ESTABILIDADE GLOBAL .....	19
2.2.1 Nós fixos e nós móveis .....	19
2.2.2 Parâmetro de instabilidade $\alpha$ e Coeficiente $\gamma z$ .....	20
<b>3 ESTUDO SOBRE A RIGIDEZ HORIZONTAL DE PÓRTICOS DE EDIFÍCIOS ....</b>	<b>23</b>
3.1 MODELAGEM DOS PÓRTICOS .....	23
3.1.1 Parâmetros iniciais .....	24
3.1.2 Metodologia.....	25
3.1.3 Vão de quatro metros.....	27
3.1.4 Vão de cinco metros .....	28
3.1.5 Vão de seis metros .....	30
3.1.6 Vão de sete metros.....	31
3.1.7 Vão de oito metros.....	33
3.1.8 Análise dos resultados .....	34
3.2 INFLUÊNCIA DE TRANSIÇÕES NO DESLOCAMENTO HORIZONTAL .....	35
3.2.1 Pilar deslocado de um metro .....	36
3.2.2 Pilar deslocado de dois metros .....	40
3.2.3 Remoção total dos tramos de pilares .....	44
3.2.4 Análise dos resultados.....	49
<b>4 MÉTODO DE ANÁLISE DOS EFEITOS DE TRANSIÇÕES SOBRE A ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO DE UM EDIFÍCIO.....</b>	<b>50</b>
4.1 PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO .....	50
4.1.1 Considerações iniciais .....	50
4.1.2 Cargas verticais .....	50
4.1.3 Cargas horizontais.....	51
4.2 MODELO DE REFERÊNCIA .....	55
4.3 MODELOS COM VIGA DE TRANSIÇÃO.....	59
<b>5 MODELOS DE TRANSIÇÃO .....</b>	<b>61</b>

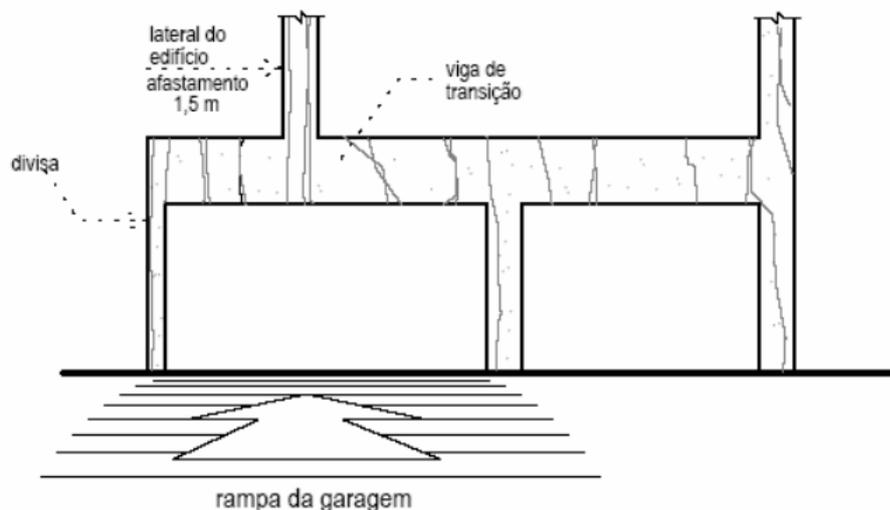
5.1 TRANSIÇÕES COM REMOÇÃO COMPLETA DO PILAR NOS PAVIMENTOS INFERIORES .....	61
<b>5.1.1 Modelo 1</b> .....	<b>61</b>
<b>5.1.2 Modelo 2</b> .....	<b>64</b>
5.2 TRANSIÇÕES COM DESLOCAMENTO DO PILAR .....	67
<b>5.2.1 Modelo 3</b> .....	<b>67</b>
<b>5.2.2 Modelo 4</b> .....	<b>70</b>
<b>5.2.3 Modelo 5</b> .....	<b>73</b>
<b>5.2.4 Modelo 6</b> .....	<b>75</b>
<b>5.2.5 Modelo 7</b> .....	<b>78</b>
<b>5.2.6 Modelo 8</b> .....	<b>81</b>
<b>5.2.7 Modelo 9</b> .....	<b>84</b>
<b>5.2.8 Modelo 10</b> .....	<b>87</b>
<b>6 ANÁLISE DOS CENÁRIOS</b> .....	<b>91</b>
6.1 RESULTADOS OBTIDOS NOS MODELOS .....	91
6.2 ORÇAMENTOS .....	92
<b>6.2.1 Modelo padrão</b> .....	<b>92</b>
<b>6.2.2 Modelo 1</b> .....	<b>94</b>
<b>6.2.3 Modelo 2</b> .....	<b>94</b>
<b>6.2.4 Modelo 3</b> .....	<b>96</b>
<b>6.2.5 Modelo 4</b> .....	<b>97</b>
<b>6.2.6 Modelo 5</b> .....	<b>98</b>
<b>6.2.7 Modelo 6</b> .....	<b>99</b>
<b>6.2.8 Modelo 7</b> .....	<b>101</b>
<b>6.2.9 Modelo 8</b> .....	<b>102</b>
<b>6.2.10 Modelo 9</b> .....	<b>103</b>
<b>6.2.11 Modelo 10</b> .....	<b>105</b>
6.3 QUADRO COMPARATIVO .....	107
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>113</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>116</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma prática muito utilizada na falta de uma alternativa viável para se conseguir um espaço previsto em projeto arquitetônico livre de pilares, ou numa incompatibilidade entre pavimentos, às vezes por haver diferentes usos de um pavimento para o outro, como edifícios residenciais com os pavimentos inferiores destinados a vagas de garagens, é a utilização de vigas de transição.

As vigas de transição são vigas que, além de receberem as cargas verticais oriundas das lajes e paredes do andar correspondente, recebem também as cargas geradas quando há a interrupção de continuidade de um pilar, que por alguma razão teve seu eixo deslocado, ou simplesmente nasceu na própria viga, sem os tramos inferiores desde as fundações, recebendo cargas de todos pavimentos acima do pavimento de transição. Portanto, são vigas que recebem cargas bem mais elevadas que o padrão de uma viga comum de pavimento, tendo que ser dimensionadas com seção bem robusta para que possam resistir às solicitações. Na imagem abaixo, um exemplo de viga de transição gerada por uma incompatibilidade entre pavimentos, que resultou na remoção de um tramo de pilar para a execução de uma rampa de garagem.

Figura 1- Desenho esquemático de aplicação de viga de transição



Fonte: Alva (2007)

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Além disso, as vigas de transição provocam concentração de cargas nos pilares nas quais ela se apoia, e a transição em si tem reflexos na rigidez horizontal do edifício, com implicações tanto na estabilidade global do edifício quanto nos deslocamentos horizontais máximos que a estrutura apresenta.

## 1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo fornecer subsídios para o entendimento dos efeitos de transições na estrutura de um edifício, considerando efeitos sobre os dimensionamentos dos diversos componentes, sobre a rigidez e estabilidade horizontal e sobre os custos.

Para isso, foi concebido um edifício padrão de referência, de planta simplificada e lançamento estrutural regular, que tem todos os pilares contínuos das fundações até o pavimento de cobertura. O edifício padrão de referência foi dimensionado de forma otimizada, com os menores tamanhos de seções transversais possíveis nas diversas peças estruturais para que todas as exigências da NBR 6118:2014 fossem atendidas (otimização do volume de concreto), fazendo com que os valores de Gama-z e deslocamento horizontal no topo do edifício ficassem perto do limite estabelecido na NBR 6118:2014.

O efeito da existência de transição foi mensurado modificando-se o edifício padrão de referência, ora pela remoção do tramo de um pilar selecionado em um ou dois dos pavimentos mais inferiores, ou pelo deslocamento (desaprumo) dos tramos de um pilar selecionado nas mesmas situações.

Ao todo, foram feitos dez modelos com diferentes tipos de estrutura de transição, todos eles modelados no software CAD/TQS, para que se pudessem avaliar os efeitos da transição no dimensionamento local de todos os elementos estruturais devido ao rearranjo das solicitações, e também os efeitos da transição estabilidade e rigidez horizontal do edifício. Dessa forma, redimensionamentos de elementos estruturais também tiveram de ser feitos para que se pudesse resistir aos efeitos das cargas de vento no deslocamento horizontal e no fator Gama-z dentro dos limites da NBR 6118:2014.

Após os dimensionamentos dos dez modelos, todos os modelos tiveram suas quantidades de aço e concreto extraídas em tabelas de quantitativos e orçadas segundo os valores unitários do trabalho de Matias (2019) para que enfim pudesse se estabelecer qual a mudança, no custo total da estrutura, que a inserção de uma transição gera.

Além disso, no capítulo 3 deste trabalho, foi feito um estudo paralelo ao principal, onde testou-se pórticos no Ftool a fim de, num primeiro momento, obter a relação inércia da seção

transversal da viga/inércia da seção transversal do pilar ideal para que se obtenha maior rigidez possível do pórtico com o menor consumo de concreto, e a influência, na resistência de um pórtico ao contraventamento, quando se remove um trecho de pilar ou se faz o deslocamento deste, gerando-se alterações na estabilidade horizontal do pórtico e a ocorrência de cargas de transição.

## 1.2 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES

O presente estudo apresenta o seguinte escopo:

Somente uma tipologia simplificada de edifício foi estudada, apresentando 20 andares e uma planta retangular de 15x24m com pórticos regularmente espaçados nas duas direções ortogonais em planta, com espaçamentos de pilares de 5m da direção da menor dimensão e 6m na maior. A estrutura de contraventamento é composta exclusivamente por pórticos, sem a presença de núcleos rígidos, pilares paredes ou outros elementos de rigidez. Em um modelo mais próximo à realidade, a utilização de núcleos rígidos para a estrutura de caixas de escada e poços de elevador, recomendado para edifícios dessa altura, amenizaria os efeitos da transição na estabilidade global dos modelos.

A seção transversal dos pilares foi mantida constante ao longo dos 20 pavimentos. A resistência característica a compressão do concreto variou de 50 MPa nos 3 pavimentos inferiores, 40 MPa para os 7 pavimentos seguintes e 25 MPa para os últimos 10 pavimentos. O aço utilizado foi o CA-50 para as armaduras principais e o CA-60 para os diâmetros mais finos.

A estrutura foi analisada e dimensionada para cargas estaticamente aplicadas, incluindo a ação do vento. Nenhum efeito dinâmico ou oscilatório foi considerado. Para fins de análise em regiões onde há a presença de atividade sísmica, este estudo não é o melhor parâmetro, uma vez que estruturas de transição podem sofrer consideravelmente com sismos.

Não foi feita a análise da interação solo estrutura nas fundações. As estruturas de edifícios analisadas foram consideradas como perfeitamente engastadas no nível da fundação.

Não foi feita nenhuma modificação sobre o detalhamento das armaduras proposto pelo programa de projeto utilizado, visando a padronização dos critérios entre os diversos modelos de forma a permitir uma comparação de custos com igualdade de parâmetros.

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Não foi considerada a existência de subsolos, cortinas, escadas ou reservatórios.

### 1.3 DELINEAMENTO DO TRABALHO

No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica sobre o tema de estruturas de transição.

No capítulo 3 foi feito um estudo no qual diversos pórticos foram simulados no Ftool a fim de, num primeiro momento, obter a relação inércia da seção transversal da viga/inércia da seção transversal do pilar ideal para que se obtenha maior rigidez possível do pórtico com o menor consumo de concreto, e a influência, na resistência de um pórtico ao contraventamento, quando se remove um trecho de pilar ou se faz o deslocamento deste, gerando-se alterações na estabilidade horizontal do pórtico e a ocorrência de cargas de transição.

No capítulo 4 é apresentado o modelo padrão do edifício, o layout da estrutura, e todas as escolhas referentes ao modelo padrão de análise no que diz respeito a sua estrutura. Além disso, são introduzidas as cargas que estarão em todos os modelos, como as verticais, oriundas de paredes de alvenaria e peso próprio da estrutura de concreto armado, e as cargas horizontais geradas pelo vento.

No capítulo 5 são apresentados todos os dez modelos de transição, com as dimensões de todas as estruturas de transição inseridas no modelo padrão, além de todos os redimensionamentos que tiveram de ser realizados nos elementos estruturais dos edifícios para que se pudesse resistir às novas solicitações de carga aplicadas.

No capítulo 6 é realizado o orçamento do modelo padrão de análise e de todos os modelos de transição, e a partir do modelo padrão, é realizada uma comparação no custo total da estrutura, que é composto dos materiais concreto, aço e fôrmas de madeira, e mão de obra para estes materiais. A partir da comparação, é apresentada a porcentagem de custo extra em material e mão de obra que as estruturas de transição geraram no custo total da estrutura.

Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões e as considerações finais do trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As estruturas de concreto armado são compostas por elementos que formam um sistema estrutural que age distribuindo as cargas atuantes na edificação e conduzindo-as às fundações. Os elementos básicos de concreto armado são: pilares, vigas e lajes. Comumente as lajes recebem o carregamento de paredes e da utilização da edificação, transferindo-o às vigas juntamente com seu peso próprio. As vigas transferem o carregamento de lajes, paredes e seu peso próprio aos pilares, que os conduzem às fundações (CARVALHO; FILHO, 2007). As edificações ditas com estrutura ou esqueleto independente não dependem dos fechamentos verticais para a transmissão de carga até as fundações, de forma que esses fechamentos têm apenas a função de vedação. Nessas estruturas, as vigas e lajes suportam apenas as cargas do respectivo andar. Apenas os pilares assumem a função de acumular as cargas de cada pavimento, levando-os às fundações

As vigas de transição, que são um exemplo não usual de vigas de concreto armado, diferem-se das demais porque estas recebem cargas verticais que vêm de um pilar que teve de ser interrompido em sua trajetória até às fundações. A interrupção da trajetória vertical das cargas faz com que as vigas de transição suportem não somente as cargas do seu respectivo pavimento, mas também as cargas de todos os pavimentos superiores. Essa interrupção se deve pelo fato de um lance do pilar ter sido removido, ou deslocado do eixo original. Quando ele é removido por inteiro em um lance, a viga de transição transmite as cargas do pilar para outro ou outros pilares que estejam próximos. E se for simplesmente deslocado em um lance, a transição serve para transmitir a carga do pilar do eixo original para o novo eixo deslocado e para um eventual pilar extra. Conforme a situação, tanto esforço de flexão como esforços de corte podem ser dominantes no dimensionamento da viga de transição.

### 2.1 ANCORAGEM DE PILARES QUE NASCEM DE UMA VIGA DE TRANSIÇÃO

Ao dimensionar uma viga de transição, é necessário atentar ao comprimento de ancoragem mínimo e ao comprimento de ancoragem necessário para a armadura do pilar que nascerá na viga. A seção 9.4.2.5 da NBR 6118:2014 especifica o comprimento mínimo e necessário de ancoragem para uma barra, que são:

$$\ell_{b,nec} - \alpha \ell_b \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \geq \ell_{b,mín} \quad (1)$$

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Onde:

$$l_b - \frac{\Phi f_{yd}}{4 f_{bd}} \leq 25\Phi \quad (2)$$

$l_{b,\text{mín}}$  - o maior valor entre  $0,3l_b$ ,  $10\phi$  e  $100\text{mm}$

$\alpha$  – valores iguais a 1,0, 0,7 ou 0,5 de acordo com as condições da barra segundo a seção 9.4.2.5 da NBR 6118:2014

No caso deste estudo, esse comprimento de ancoragem acabou não fazendo diferença no dimensionamento, porque como todas as vigas de transição receberam uma carga vertical bem elevada, de um pilar com no mínimo dezoito pavimentos de carga interrompido, as seções sempre foram bem robustas e supriram os comprimentos necessários de ancoragem.

## 2.2 ESTABILIDADE GLOBAL

As estruturas, mesmo as mais simples, estão sempre sujeitas, além das ações gravitacionais, às ações laterais decorrentes, principalmente, por efeito de ventos. No caso de estruturas esbeltas, cuja razão entre altura e maior dimensão em planta é grande, estes efeitos se tornam mais importantes e podem, inclusive, desencadear situações de instabilidade do edifício. Dessa forma, embora em algumas situações as estruturas tenham rigidez suficiente para que possam ser desprezados os efeitos de segunda ordem devidos à instabilidade global, ainda assim é preciso ao menos avaliar se as ações de vento são significativas e necessitam ser consideradas no cálculo (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

Para este estudo, além dos esforços locais gerados pelas estruturas de transição e que necessitaram o redimensionamento de diversos elementos estruturais, a avaliação dos efeitos globais que uma estrutura de transição gera foram fundamentais, trabalhando sempre com estrutura de nós móveis, conforme definição a seguir.

### 2.2.1 Nós fixos e nós móveis

Uma consideração importante a ser feita, para que possa se analisar os modelos que serão estudados neste trabalho, é a de estrutura de nós fixos e nós móveis.

Segundo a NBR 6118:2014, “As estruturas são consideradas, para efeito de cálculo, de nós fixos, quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis (inferiores a 10 % dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas, basta considerar os efeitos locais e localizados de 2ª ordem”.

Já para nós móveis, segundo a NBR 6118:2014, “As estruturas de nós móveis são aquelas onde os deslocamentos horizontais não são pequenos e, em decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são importantes (superiores a 10 % dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas devem ser considerados tanto os esforços de 2ª ordem globais como os locais e localizados.

Edifícios esbeltos frequentemente são estruturas de nós móveis, possuindo menor rigidez horizontal e acabam sendo mais afetadas por solicitações horizontais. Para se avaliar uma estrutura e definir se ela é de nós fixos ou móveis, dois parâmetros bem difundidos são utilizados, conforme será dissertado na seção a seguir.

## 2.2.2 Parâmetro de instabilidade $\alpha$ e Coeficiente $\gamma_z$

Para o parâmetro de instabilidade  $\alpha$  (alfa), a NBR 6118:2014 explica que para ser considerada estrutura de nós fixos, o valor de  $\alpha$  deve ser menor que o valor de  $\alpha_1$ , conforme expressões abaixo:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{Nk / (EcsIc)} \quad (3)$$

Onde

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1n \quad \text{se: } n \leq 3$$

$$\alpha_1 = 0,6 \quad \text{se: } n \geq 4$$

Onde

$n$  – é o número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

$H_{tot}$  – é a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

$N_k$  – é o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de  $H_{tot}$ ), com seu valor característico;

$E_{cs}I_c$  – representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórticos, de treliças ou mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão  $E_{cs}I_c$  de um pilar equivalente de seção constante.

Entretanto, este parâmetro de definição da estrutura de um edifício costuma ser mais confiável quando se trata de prédios com baixo número de pavimentos, usualmente até quatro ou cinco pavimentos, e somente pode ser utilizado em estruturas simétricas. Ao se tratar de edifícios mais altos, como no caso dos modelos utilizados neste estudo, é comum a adoção do Coeficiente  $\gamma_Z$  (Gama-Z), cujo valor se dá pela expressão abaixo, de acordo com a NBR 6118:2014:

$$\gamma_Z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (4)$$

Onde

$M_{1,tot,d}$  – é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$  – é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

Segundo a NBR 6118:2014, a estrutura é considerada de nós fixos quando o valor de  $\gamma_Z$  é menor ou igual a 1,1.

Entretanto, segundo a seção 15.7.2 da mesma norma, versa que “uma solução aproximada para a determinação dos esforços globais de 2ª ordem consiste na avaliação dos esforços finais (1ª ordem + 2ª ordem) a partir da majoração adicional dos esforços horizontais

da combinação de carregamento considerada por  $0,95 \gamma z$ . Esse processo só é válido para  $\gamma z \leq 1,3$ ".

Portanto, uma das premissas do projeto acabou sendo o valor do coeficiente  $\gamma z$ , que em nenhum modelo teve seu valor maior igual a 1,3.

### 3 ESTUDO SOBRE A RIGIDEZ HORIZONTAL DE PÓRTICOS DE EDIFÍCIOS

Quando se constrói um edifício, muitas vezes acontece de, pelo fato do prédio ser muito alto e/ou esbelto, depois de resolvidos os problemas de dimensionamento de todos os elementos estruturais para as solicitações atuantes decorrentes dos efeitos de primeira ordem e de segunda ordem locais, ainda assim a questão de deslocamento horizontal acima do limite permitido em norma ou fator gama-z com valores além dos permitidos para o tipo de análise estrutural utilizada permanecer não resolvida. Diante disso, em situações onde o único método de contraventamento do edifício é através de pórticos, é comum que se aumente as dimensões dos pilares com a intenção de aumentar a rigidez horizontal dos pórticos e assim trazer os parâmetros de instabilidade global e deslocamento horizontal máximo dentro dos limites preconizados pela NBR6118:2014, ignorando-se a influência das vigas na rigidez dos pórticos.

Este estudo preliminar tem como meta justamente verificar se para pórticos que necessitem ter sua rigidez aumentada para resolver problemas de instabilidade horizontal, aumentar as dimensões das vigas que compõem o pórtico é uma alternativa tão ou mais eficiente que se aumentar as dimensões da seção transversal dos pilares. Para isso, este estudo se dividiu em duas etapas, com dois objetivos distintos:

- a) a relação entre a inércia da seção transversal da viga e a inércia da seção transversal do pilar ideal para que se obtenha maior rigidez possível do pórtico com o menor consumo de concreto;
- b) a influência na rigidez de um pórtico, quando se remove um trecho de pilar ou se faz o deslocamento deste, gerando-se uma estrutura de de transição.

Este estudo foi feito a partir da análise do comportamento de pórticos planos.

#### 3.1 MODELAGEM DOS PÓRTICOS

Primeiramente definiu-se como seria a geometria do pórtico, e para que o modelo de estudo fosse similar ou equivalente ao usado no estudo posterior com as vigas de transição no software TQS, fez-se pórticos com vinte pavimentos e também com dez pavimentos de altura, pé direito fixo em três metros e quatro linhas de pilares por pórtico. Foram feitos testes com modelos com vãos de viga de quatro metros até oito metros, conferindo aos pórticos as larguras de doze a vinte e quatro metros. Todos os pórticos tiveram a base de seus pilares engastada, simulando as condições de uma fundação e o equilíbrio necessário para aplicação de cargas.

### 3.1.1 Parâmetros iniciais

O concreto utilizado para os modelos de pórtico foi classe C30, com  $f_{ck}$  igual a 30MPa. O módulo de elasticidade  $E_{ci}$  conforme seção 8.2.8 da NBR 6118:2014 é dado por:

$$E_{ci} = \alpha E \times 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (5)$$

Sendo:

$E_{ci}$ : módulo de elasticidade (MPa)

$\alpha E$ : coeficiente do agregado graúdo

$f_{ck}$ : resistência característica à compressão do concreto

Utilizando basalto como agregado graúdo, que é o agregado preponderante do estado do Rio Grande do Sul, o valor de  $\alpha E$  equivale a 1,2. Assim:

$$E_{ci} = 1,2 \times 5600 \sqrt{30} \quad (6)$$

$$E_{ci} = 36806,96 \text{ MPa} \quad (7)$$

Também se definiu o módulo de elasticidade secante  $E_{cs}$  segundo a seção 8.2.8 da NBR 6118:2014, segundo formulação abaixo:

$$E_{cs} = \alpha_i \times E_{ci} \quad (8)$$

Sendo  $\alpha_i = 0,88$  para concretos classe C30

Assim:

$$E_{cs} = 0,88 \times 36806,96 \quad (9)$$

$$E_{cs} = 32390,12 \text{ MPa} \quad (10)$$

Prédios nos quais sejam necessários redimensionamentos de elementos estruturais para que se possa adequar a estrutura aos limites normativos costumam ser estruturas de nós móveis, nas quais os efeitos de segunda ordem globais não podem ser ignorados.

Para que se simule uma estrutura de nós móveis nos pórticos deste estudo, os efeitos de não linearidade física são considerados de forma aproximada pela redução da rigidez de todos

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

os pilares e vigas dos modelos estudados conforme seção 15.7.3 da NBR 6118:2014, da seguinte forma:

$$-Pilares: E_{Isec} = 0,8 \times E_c \times I_c \quad (11)$$

$$-Vigas: E_{Isec} = 0,4 \times E_c \times I_c \quad (12)$$

Onde  $E_c$  pode ser considerado o valor do Módulo de deformação secante  $E_{cs}$  majorado de 10%, conforme 15.5.1 da NBR6118:2014. Tal redução pode ser feita na análise elástica de uma estrutura de barras pela redução do momento de inércia da seção brutas das barras ou pela redução do módulo de elasticidade empregado. A opção por se reduzir apenas o módulo de elasticidade se deu pela razão de ser mais conveniente, uma vez que a inércia estava sempre sendo alterada em cada modelo diferente para que se mantivesse o mesmo volume de concreto entre os diferentes modelos.

Aplicando o valor de  $E_{cs}$  igual a 32390,12 MPa calculado previamente, e a abordagem de redução do módulo de Elasticidade ao invés da redução da inércia, os valores do módulo de elasticidade para os elementos estruturais dos pórticos ficam iguais a:

$$-Pilares: E_{sec} = 25912,10 \text{ MPa} \quad (13)$$

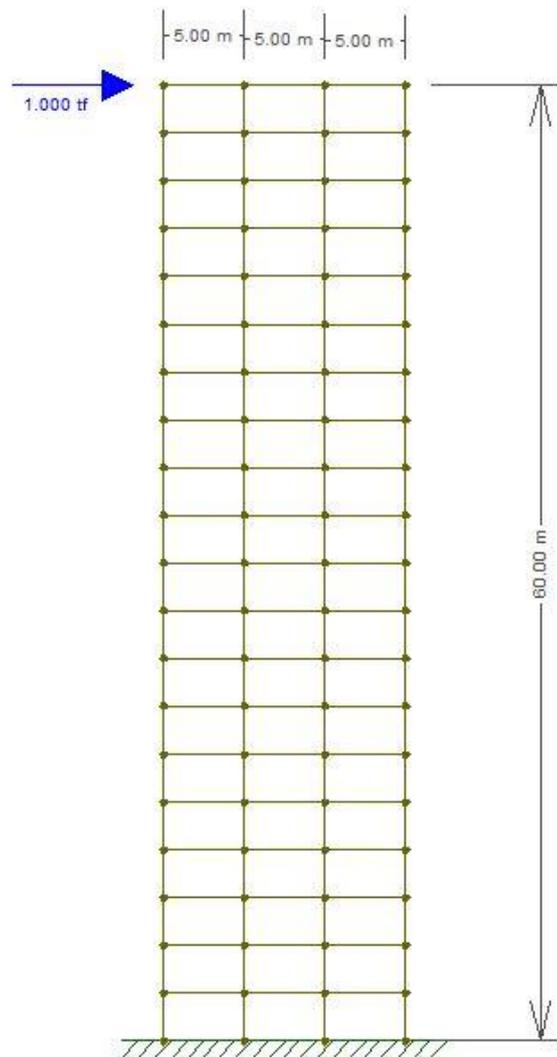
$$-Vigas: E_{sec} = 12956,05 \text{ MPa} \quad (14)$$

### 3.1.2 Metodologia

Para encontrar a melhor relação de altura de viga e altura de pilar que possibilite o menor deslocamento horizontal do pórtico, o primeiro passo é colocar uma carga pontual de 1tf no topo do edifício, que será sempre a mesma em todos modelos. A seguir, tiveram que ser escolhidas medidas padrões para vigas e pilares, a fim de se obter um primeiro valor de deslocamento horizontal. Estimou-se então dimensões de viga que fossem 1/10 do vão médio utilizado (6m), regra informal comumente utilizada em lançamento de estruturas. Assim, as vigas ficaram com dimensões de seção iguais a 20x60cm, e para os pilares foram escolhidas dimensões cujo valor da área de seção transversal ficasse parecida com a área da seção da viga, estipulando-se então uma dimensão padrão de 30x45cm para os pilares.

A partir desse modelo inicial, alterou-se para mais e para menos a altura das vigas, alterando-se também as dimensões dos pilares de modo a preservar o mesmo volume de concreto utilizado em todos os modelos de vinte pavimentos. Desta forma, é possível achar qual a relação entre as inércias de vigas e pilares que corresponde ao menor deslocamento horizontal do modelo em questão.

Figura 2- Modelo de pórtico com carga unitária aplicada no topo



Fonte: Própria do autor (2020)

### 3.1.3 Vão de quatro metros

Os primeiros modelos testados foram com o menor pórtico do estudo, com três vãos de quatro metros cada, totalizando doze metros de largura. Através de metodologia supracitada, é possível encontrar quais as dimensões de vigas e pilares que geraram o menor deslocamento horizontal para este modelo.

Os resultados dos deslocamentos obtidos nos testes encontram-se nas tabelas abaixo.

Tabela 1- Resultados de deslocamento para pórticos de quatro metros de vão entre pilares

Resultados		
Viga	Largura (cm)	20
	Altura (cm)	59
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	342298
	Vão (m)	4
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	28,32
Pilar	Largura (cm)	30
	Altura (cm)	45,667
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	238093
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	32,8802
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		61,2002
Rigidez Viga/Pilares		1,43766
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,773
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,294

Resultados		
Viga	Largura (cm)	20
	Altura (cm)	60
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	360000
	Vão (m)	4
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	28,8
Pilar	Largura (cm)	30
	Altura (cm)	45
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	227812,5
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	32,4
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		61,2
Rigidez Viga/Pilares		1,580247
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,766
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,29

Resultados		
Viga	Largura (cm)	20
	Altura (cm)	62
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	397213,3
	Vão (m)	4
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	29,76
Pilar	Largura (cm)	30
	Altura (cm)	43,667
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	208161,3
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	31,44024
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		61,20024
Rigidez Viga/Pilares		1,908199
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,759
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,286

Resultados		
Viga	Largura (cm)	20
	Altura (cm)	63
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	416745
	Vão (m)	4
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	30,24
Pilar	Largura (cm)	30
	Altura (cm)	43
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	198767,5
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	30,96
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		61,2
Rigidez Viga/Pilares		2,096646
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,755
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,282

Fonte: Própria do autor (2020)

Tabela 2- Resultados de deslocamento para pórticos de quatro metros de vão entre pilares

<b>Resultados</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>65</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>457708,3</b>
	Vão (m)	<b>4</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>31,2</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>61,20024</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,530883</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,748</b>
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,277</b>

<b>Resultados</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>66</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>479160</b>
	Vão (m)	<b>4</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>31,68</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>41</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>172302,5</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>29,52</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>61,2</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,780923</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,758</b>
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,28</b>

Fonte: Própria do autor (2020)

### 3.1.4 Vão de cinco metros

De maneira análoga ao modelo com vão de quatro metros, primeiro calculou-se através do Ftool o deslocamento horizontal para as dimensões padrões de vigas com seção iguais a 20x60cm e pilares com seção iguais a 30x45, e em seguida fizeram-se testes com dimensões de vigas e pilares menores e maiores para poder encontrar a relação ideal, sempre mantendo o volume total de concreto constante.

Os resultados dos deslocamentos obtidos nos testes encontram-se nas tabelas abaixo.

Tabela 3- Resultados de deslocamento para pórticos de cinco metros de vão entre pilares

Resultados			Resultados		
Viga	Largura (cm)	20	Viga	Largura (cm)	20
	Altura (cm)	59		Altura (cm)	60
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	342298		Inércia (cm <sup>4</sup> )	360000
	Vão (m)	5		Vão (m)	5
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	35,4		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	36
Pilar	Largura (cm)	30	Pilar	Largura (cm)	30
	Altura (cm)	46		Altura (cm)	45
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	243340		Inércia (cm <sup>4</sup> )	227813
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	33,12		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	32,4
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		68,52	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		68,4
Rigidez Viga/Pilares		1,40667	Rigidez Viga/Pilares		1,58025
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,781	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,773
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,325	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,321

Resultados			Resultados		
Viga	Largura (cm)	20	Viga	Largura (cm)	20
	Altura (cm)	62		Altura (cm)	63
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	397213		Inércia (cm <sup>4</sup> )	416745
	Vão (m)	5		Vão (m)	5
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	37,2		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	37,8
Pilar	Largura (cm)	30	Pilar	Largura (cm)	30
	Altura (cm)	44		Altura (cm)	43
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	212960		Inércia (cm <sup>4</sup> )	198768
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	31,68		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	30,96
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		68,88	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		68,76
Rigidez Viga/Pilares		1,8652	Rigidez Viga/Pilares		2,09665
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,749	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,747
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,308	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,307

Resultados			Resultados		
Viga	Largura (cm)	20	Viga	Largura (cm)	20
	Altura (cm)	64		Altura (cm)	65
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	436907		Inércia (cm <sup>4</sup> )	457708
	Vão (m)	5		Vão (m)	5
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	38,4		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	39
Pilar	Largura (cm)	30	Pilar	Largura (cm)	30
	Altura (cm)	42		Altura (cm)	41
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	185220		Inércia (cm <sup>4</sup> )	172303
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	30,24		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	29,52
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		68,64	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		68,52
Rigidez Viga/Pilares		2,35885	Rigidez Viga/Pilares		2,65642
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,749	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,753
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,307	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,308

Fonte: Própria do autor (2020)

### 3.1.5 Vão de seis metros

Para os modelos com vão de seis metros entre pilares, seguiu-se o mesmo procedimento aplicado nos modelos anteriores. Os resultados dos deslocamentos obtidos nos testes encontram-se nas tabelas abaixo.

Tabela 4- Resultados de deslocamento para pórticos de seis metros de vão entre pilares

<b>Resultados</b>			<b>Resultados</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>	<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>59</b>		Altura (cm)	<b>60</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>342298</b>		Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>360000</b>
	Vão (m)	<b>6</b>		Vão (m)	<b>6</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>42,48</b>		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>43,2</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>	<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>46</b>		Altura (cm)	<b>45</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>243340</b>		Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>227813</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>33,12</b>		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>32,4</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>75,6</b>	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>75,6</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>1,40667</b>	Rigidez Viga/Pilares		<b>1,58025</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,829</b>	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,817</b>
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,362</b>	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,356</b>
<b>Resultados</b>			<b>Resultados</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>	<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>61</b>		Altura (cm)	<b>63</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>378302</b>		Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>416745</b>
	Vão (m)	<b>6</b>		Vão (m)	<b>6</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>43,92</b>		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>45,36</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>	<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>44</b>		Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>212960</b>		Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>31,68</b>		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>75,6</b>	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>75,6</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>1,7764</b>	Rigidez Viga/Pilares		<b>2,25</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,807</b>	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,795</b>
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,351</b>	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,345</b>

Fonte: Própria do autor (2020)

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Tabela 5- Resultados de deslocamento para pórticos de seis metros de vão entre pilares

Resultados			Resultados		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>	<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>64</b>		Altura (cm)	<b>65</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>436907</b>		Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>457708</b>
	Vão (m)	<b>6</b>		Vão (m)	<b>6</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>46,08</b>		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>46,8</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>	<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>41</b>		Altura (cm)	<b>40</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>172303</b>		Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>160000</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>29,52</b>		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>28,8</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>75,6</b>	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>75,6</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,5357</b>	Rigidez Viga/Pilares		<b>2,86068</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,794</b>	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,796</b>
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,344</b>	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,344</b>

Fonte: Própria do autor (2020)

### 3.1.6 Vão de sete metros

Os resultados com os valores de deslocamento horizontal para os modelos de pórtico com vão entre pilares de sete metros encontram-se nas tabelas a seguir.

Tabela 6- Resultados de deslocamento para pórticos de sete metros de vão entre pilares

Resultados			Resultados		
Viga	Largura (cm)	20	Viga	Largura (cm)	20
	Altura (cm)	59		Altura (cm)	60
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	342298		Inércia (cm <sup>4</sup> )	360000
	Vão (m)	7		Vão (m)	7
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	49,56		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	50,4
Pilar	Largura (cm)	30	Pilar	Largura (cm)	30
	Altura (cm)	46,166		Altura (cm)	45
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	245984		Inércia (cm <sup>4</sup> )	227813
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	33,2395		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	32,4
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		82,7995	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		82,8
Rigidez Viga/Pilares		1,39155	Rigidez Viga/Pilares		1,58025
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,892	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,877
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,400	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,393

Resultados			Resultados		
Viga	Largura (cm)	20	Viga	Largura (cm)	20
	Altura (cm)	62		Altura (cm)	63
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	397213		Inércia (cm <sup>4</sup> )	416745
	Vão (m)	7		Vão (m)	7
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	52,08		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	52,92
Pilar	Largura (cm)	30	Pilar	Largura (cm)	30
	Altura (cm)	42,667		Altura (cm)	42
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	194185		Inércia (cm <sup>4</sup> )	185220
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	30,7202		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	30,24
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		82,8002	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		83,16
Rigidez Viga/Pilares		2,04554	Rigidez Viga/Pilares		2,25
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,856	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,842
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,384	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,377

Resultados			Resultados		
Viga	Largura (cm)	20	Viga	Largura (cm)	20
	Altura (cm)	64		Altura (cm)	65
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	436907		Inércia (cm <sup>4</sup> )	457708
	Vão (m)	7		Vão (m)	7
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	53,76		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	54,6
Pilar	Largura (cm)	30	Pilar	Largura (cm)	30
	Altura (cm)	40,334		Altura (cm)	39
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	164042		Inércia (cm <sup>4</sup> )	148298
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	29,0405		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	28,08
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		82,8005	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		82,68
Rigidez Viga/Pilares		2,66339	Rigidez Viga/Pilares		3,08642
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,850	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,853
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,381	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,382

Fonte: Própria do autor (2020)

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

### 3.1.7 Vão de oito metros

Por fim, foram testados os modelos com vão entre pilares de oito metros, que eram os pórticos com maior largura deste estudo, e cujos resultados dos deslocamentos horizontais estão listados nas tabelas a seguir.

Tabela 7- Resultados de deslocamento para pórticos de oito metros de vão entre pilares

<b>Resultados</b>			<b>Resultados</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>	<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>59</b>		Altura (cm)	<b>60</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>342298</b>		Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>360000</b>
	Vão (m)	<b>8</b>		Vão (m)	<b>8</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>56,64</b>		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>57,6</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>	<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>46</b>		Altura (cm)	<b>45</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>243340</b>		Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>227813</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>33,12</b>		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>32,4</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>89,76</b>	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>90</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>1,40667</b>	Rigidez Viga/Pilares		<b>1,58025</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,968</b>	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,946</b>
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,441</b>	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,431</b>
<b>Resultados</b>			<b>Resultados</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>	<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>61</b>		Altura (cm)	<b>62</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>378302</b>		Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>397213</b>
	Vão (m)	<b>8</b>		Vão (m)	<b>8</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>58,56</b>		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>59,52</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>	<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>44</b>		Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>212960</b>		Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>31,68</b>		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>90,24</b>	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>89,76</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>1,7764</b>	Rigidez Viga/Pilares		<b>2,14455</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,943</b>	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,928</b>
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,43</b>	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		<b>0,424</b>

Fonte: Própria do autor (2020)

Tabela 8- Resultados de deslocamento para pórticos de seis metros de vão entre pilares

Resultados			Resultados		
Viga	Largura (cm)	20	Viga	Largura (cm)	20
	Altura (cm)	63		Altura (cm)	64
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	416745		Inércia (cm <sup>4</sup> )	436907
	Vão (m)	8		Vão (m)	8
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	60,48		Volume vigas (m <sup>3</sup> )	61,44
Pilar	Largura (cm)	30	Pilar	Largura (cm)	30
	Altura (cm)	41		Altura (cm)	39,7
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	172303		Inércia (cm <sup>4</sup> )	156427
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	29,52		Volume pilares (m <sup>3</sup> )	28,584
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		90	Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		90,024
Rigidez Viga/Pilares		2,41868	Rigidez Viga/Pilares		2,79304
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,917	Desloc. 20 Pavimentos (cm)		0,921
Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,419	Desloc. 10 Pavimentos (cm)		0,423

Fonte: Própria do autor (2020)

### 3.1.8 Análise dos resultados

Nesta primeira parte, onde buscou se obter a relação ideal de rigidez de vigas e rigidez de pilares, demonstrou que, para um mesmo volume de concreto, existe uma relação de rigidez de viga e pilar onde há um patamar mínimo de deslocamento horizontal do pórtico. Essa relação foi obtida ao alterar o tamanho da seção das vigas em relação ao tamanho original, e compensando a seção dos pilares na mesma proporção, ou seja, mantendo o volume de concreto constante.

Portanto, na ocorrência de um problema de instabilidade global ao se projetar um edifício, é importante que não se atente somente ao aumento da rigidez dos pilares, porque como demonstrado no estudo, o aumento da rigidez das vigas que pertencem aos pórticos resistentes muitas vezes acaba sendo mais importante que o aumento da rigidez dos pilares, para que se possa chegar na relação ideal de deslocamento horizontal mínimo.

### 3.2 INFLUÊNCIA DE TRANSIÇÕES NO DESLOCAMENTO HORIZONTAL

Após ter se encontrado a relação ideal das dimensões dos pórticos do estudo, para cada comprimento de vão entre pilares, foram realizados testes para se determinar a influência de remoção e deslocamento de pilares no deslocamento horizontal do pórtico, com acréscimos ou não da altura da viga de transição gerada pela alteração do pilar.

Foram realizados modelos com deslocamento do segundo pilar de 1 e 2 metros no sentido barlavento à sotavento do pórtico. Estes deslocamentos foram realizados apenas no primeiro lance do pilar, em dois lances: térreo e segundo pavimento; e em três lances de pilar: térreo, segundo e terceiro pavimento. Além disso, para cada modelo de deslocamento, fez-se testes onde a altura da viga de transição permaneceu com as mesmas medidas das outras vigas, ou com acréscimos na altura da seção da viga de transição, de 10cm e 20cm, para analisar a influência de uma viga de transição mais robusta no deslocamento horizontal do pórtico. A inércia da seção mais alta testada é em torno de 2,2 vezes maior que a inércia da seção original. Assim, para os deslocamentos de 1 e 2 metros, foram testadas dezoito combinações diferentes de pórtico para cada comprimento de vão entre pilares diferente.

Por fim, foram testados também os modelos em que aconteceu a remoção total do segundo pilar do pórtico dos modelos, seguindo os mesmos moldes do deslocamento do pilar, onde se testaram combinações removendo o pilar apenas do primeiro lance do pórtico, removendo o pilar do térreo e segundo pavimento, e removendo totalmente o pilar em três lances do pórtico: térreo, segundo e terceiro pavimentos. Nos modelos em que houve remoção do pilar no térreo e segundo pavimento, as vigas do segundo pavimento, abaixo da transição, foram removidas também, gerando um vão duplo e pé direito duplo. E nos modelos em que houve remoção do pilar no térreo, segundo e terceiro pavimento, as vigas no segundo e terceiro pavimentos, abaixo do pavimento da viga de transição, foram também removidas, gerando um vão duplo e pé direito triplo.

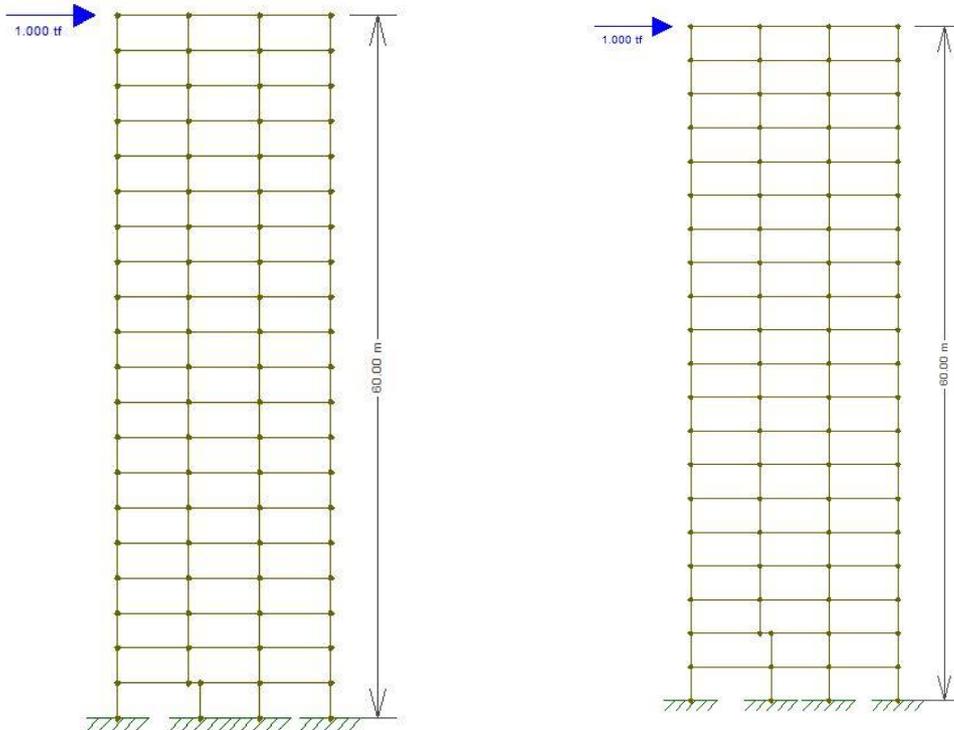
Combinando também com as alturas da viga de transição, onde se preservou a altura igual às outras vigas e também com os acréscimos de 10cm e 20cm, foram geradas mais nove combinações de pórtico diferente para cada comprimento de vão entre pilares diferente. Com todas essas combinações, foi possível ter uma base relativamente abrangente para se analisar a influência das mais variadas possibilidades de transições e os efeitos no deslocamento horizontal de um pórtico.

### 3.2.1 Pilar deslocado de um metro

Os primeiros modelos combinados foram com o segundo pilar do pórtico deslocado em 1 metro para a direita, na direção da largura do pórtico. São apresentadas todas as tabelas com os deslocamentos calculados pelo software para cada vão utilizado no modelo, onde primeiro são mostradas as dimensões e o deslocamento horizontal do modelo ideal para cada vão em relação à altura de viga e pilar, conforme testes realizados anteriormente, e abaixo os deslocamentos em centímetros obtidos para cada combinação, onde:

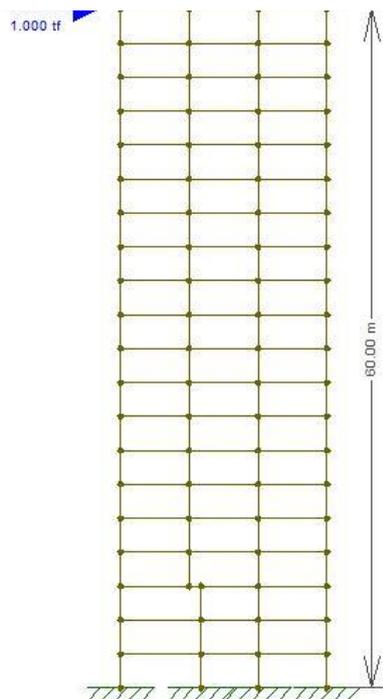
- a) somente no térreo: o segundo pilar só foi deslocado 1 metro no tramo do térreo;
- b) térreo e 2º Pav.: o segundo pilar foi deslocado 1 metro nos dois primeiros lances do pórtico, o térreo e o segundo pavimento;
- c) térreo, 2º e 3º Pav.: o segundo pilar foi deslocado 1 metro nos três primeiros lances do pórtico, o térreo, segundo e terceiro pavimentos;
- d) alturas normais: modelos testados com a altura da viga de transição igual a altura de todas as outras vigas do pórtico, obtidas nos testes da seção anterior;
- e) vigas de transição com +10cm de altura: a viga de transição do pórtico teve sua altura aumentada em 10cm;
- f) vigas de transição com +20cm de altura: a viga de transição do pórtico teve sua altura aumentada em 20cm;
- g) por fim, a porcentagem que está apresentada à direita do deslocamento de cada combinação, representa em números percentuais o acréscimo do deslocamento do pórtico com a combinação realizada, em comparação ao modelo padrão sem transição. Porcentagens negativas significam que o pórtico teve um deslocamento horizontal menor do que o deslocamento no modelo padrão sem transição.

Figura 3- Pórticos com deslocamento do pilar em 1m no térreo (à esquerda) e 1m no térreo e 2º pavimento (à direita)



Fonte: Própria do autor (2020)

Figura 4- Pórtico com deslocamento do pilar em 1m no térreo, 2º e 3º pavimentos



Fonte: Própria do autor (2020)

Tabela 9- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 1 metro

<b>VÃO DE 4 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>65</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>457708,3</b>
	Vão (m)	<b>4</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>31,2</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>61,44</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,47116</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,748</b>

<b>VÃO DE 5 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>64</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>436906,7</b>
	Vão (m)	<b>5</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>38,4</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>68,64</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,358853</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,749</b>

<b>Pilar deslocado 1m</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,751	0,40%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,751	0,40%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,750	0,27%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,747	-0,13%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,747	-0,13%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,746	-0,27%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,745	-0,40%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,744	-0,54%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,744	-0,54%

<b>Pilar deslocado 1m</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,749	0,00%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,749	0,00%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,748	-0,13%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,745	-0,54%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,744	-0,67%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,743	-0,81%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,742	-0,94%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,740	-1,22%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,740	-1,22%

Fonte: Própria do autor (2020)

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Tabela 10- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 1 metro

<b>VÃO DE 6 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>64</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>436906,7</b>
	Vão (m)	<b>6</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>46,08</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>41</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>172302,5</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>29,52</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>75,6</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,535695</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,794</b>

<b>VÃO DE 7 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>63</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>416745</b>
	Vão (m)	<b>7</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>52,92</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>83,16</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,25</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,842</b>

<b>Pilar deslocado 1m</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,793	-0,13%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,792	-0,25%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,792	-0,25%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,789	-0,63%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,787	-0,89%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,786	-1,02%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,786	-1,02%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,783	-1,40%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,782	-1,53%

<b>Pilar deslocado 1m</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,840	-0,24%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,839	-0,36%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,839	-0,36%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,836	-0,72%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,833	-1,08%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,832	-1,20%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,832	-1,20%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,828	-1,69%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,827	-1,81%

Fonte: Própria do autor (2020)

Tabela 11- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 1 metro

<b>VÃO DE 8 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>63</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>416745</b>
	Vão (m)	<b>8</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>60,48</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>41</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>172302,5</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>29,52</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>90</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,418682</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,917</b>

<b>Pilar deslocado 1m</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,915	-0,22%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,913	-0,44%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,913	-0,44%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,909	-0,88%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,906	-1,21%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,905	-1,33%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,905	-1,33%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,901	-1,78%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,899	-2,00%

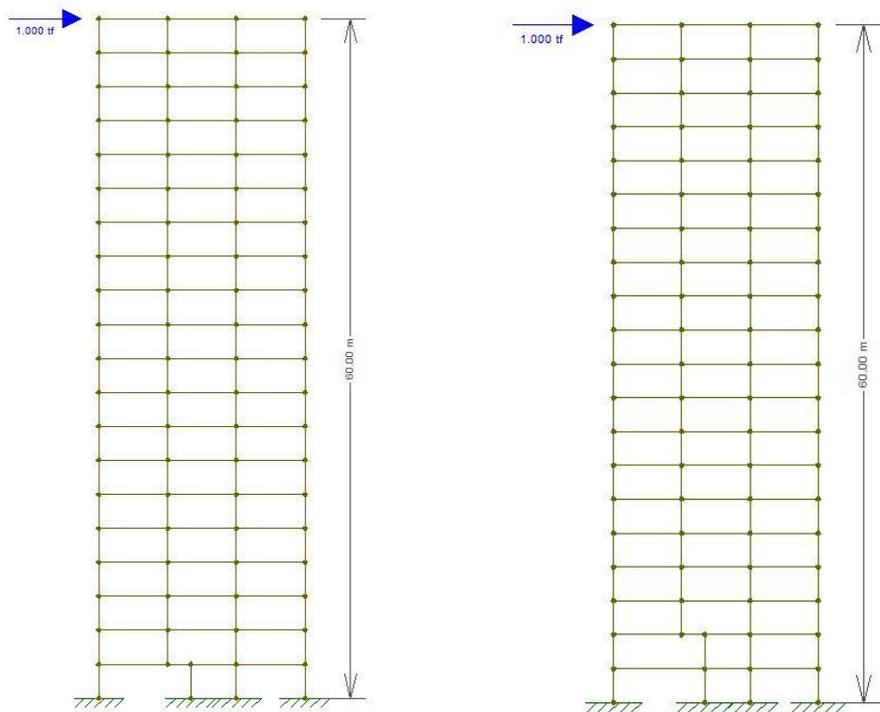
Fonte: Própria do autor (2020)

### 3.2.2 Pilar deslocado de dois metros

Para estas combinações, a única diferença em relação às combinações anteriores, foi a distância de deslocamento do segundo pilar à barlavento do pórtico, que ao invés de ter sido deslocado em 1 metro, foi deslocado 2 metros na direção de sotavento. As premissas e legendas das tabelas seguiram as mesmas das anteriores, e os resultados podem ser vistos a seguir nas tabelas, além das figuras contendo os desenhos dos modelos de pórticos testados.

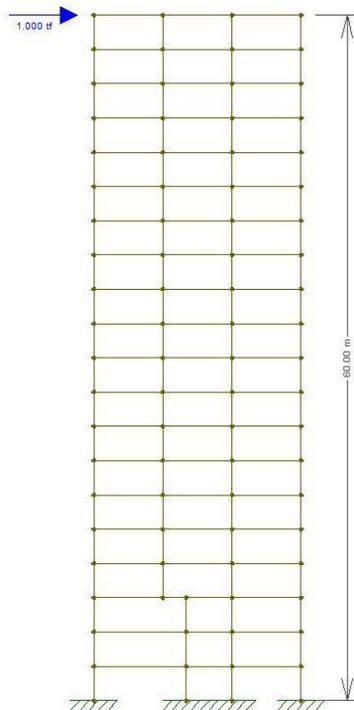
Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Figura 5- Pórticos com deslocamento do pilar em 2m no térreo (à esquerda) e 2m no térreo e 2º pavimento (à direita)



Fonte: Própria do autor (2020)

Figura 6- Pórtico com deslocamento do pilar em 1m no térreo, 2º e 3º pavimentos



Fonte: Própria do autor (2020)

Tabela 12- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 2 metros

<b>VÃO DE 4 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>65</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>457708</b>
	Vão (m)	<b>4</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>31,2</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>61,44</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,47116</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,748</b>

<b>VÃO DE 5 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>64</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>436907</b>
	Vão (m)	<b>5</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>38,4</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>68,64</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,35885</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,749</b>

<b>Pilar deslocado 2m</b>			
<b>Alturas Normais</b>			
Somente no Térreo (cm)	0,750	0,27%	
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,750	0,27%	
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,750	0,27%	
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>			
Somente no Térreo (cm)	0,747	-0,13%	
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,746	-0,27%	
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,747	-0,13%	
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>			
Somente no Térreo (cm)	0,745	-0,40%	
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,744	-0,54%	
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,745	-0,40%	

<b>Pilar deslocado 2m</b>			
<b>Alturas Normais</b>			
Somente no Térreo (cm)	0,748	-0,13%	
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,746	-0,40%	
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,745	-0,54%	
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>			
Somente no Térreo (cm)	0,745	-0,54%	
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,742	-0,94%	
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,741	-1,08%	
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>			
Somente no Térreo (cm)	0,742	-0,94%	
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,739	-1,35%	
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,738	-1,49%	

Fonte: Própria do autor (2020)

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Tabela 13- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 2 metros

<b>VÃO DE 6 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>64</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>436907</b>
	Vão (m)	<b>6</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>46,08</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>41</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>172303</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>29,52</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>75,6</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,5357</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,794</b>

<b>VÃO DE 7 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>63</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>416745</b>
	Vão (m)	<b>7</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>52,92</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>83,16</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,25</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,842</b>

<b>Pilar deslocado 2m</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,791	-0,38%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,789	-0,63%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,788	-0,76%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,788	-0,76%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,785	-1,15%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,783	-1,40%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,785	-1,15%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,781	-1,66%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,780	-1,79%

<b>Pilar deslocado 2m</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,838	-0,48%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,835	-0,84%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,834	-0,96%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,834	-0,96%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,830	-1,45%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,828	-1,69%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,831	-1,32%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,826	-1,94%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,824	-2,18%

Fonte: Própria do autor (2020)

Tabela 14- Deslocamentos horizontais para pilar deslocado em 2 metros

<b>VÃO DE 8 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>63</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>416745</b>
	Vão (m)	<b>8</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>60,48</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>41</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>172303</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>29,52</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>90</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,41868</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,917</b>

<b>VÃO DE 8 METROS</b>		
<b>Pilar deslocado 2m</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,912	-0,55%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,909	-0,88%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,908	-0,99%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,908	-0,99%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,903	-1,55%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,901	-1,78%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,904	-1,44%
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,898	-2,12%
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,896	-2,34%

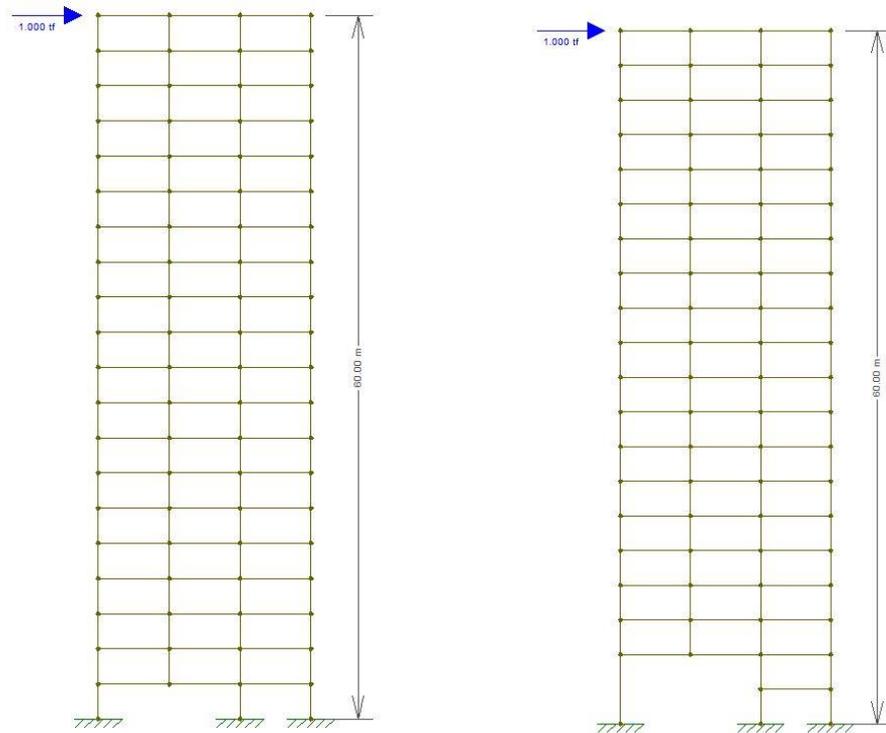
Fonte: Própria do autor (2020)

### 3.2.3 Remoção total dos tramos de pilares

Estes modelos são os que mais foram afetados em relação a deslocamento horizontal, pois houve remoção total do segundo pilar, somente no térreo, no térreo e segundo pavimento e do térreo ao terceiro pavimento, como explanado previamente. Os modelos de cada pórtico estão mostrados nas figuras abaixo, assim como as tabelas contendo os valores referentes aos deslocamentos horizontais calculados pelo software Ftool, para cada vão entre pilares.

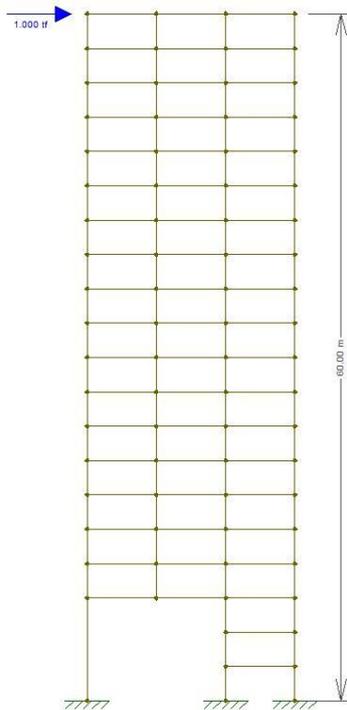
Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Figura 7- Pórticos com remoção do pilar no térreo (à esquerda) e remoção no térreo e 2º pavimento (à direita)



Fonte: Própria do autor (2020)

Figura 8- Pórtico com remoção do pilar no térreo, 2º e 3º pavimentos



Fonte: Própria do autor (2020)

Tabela 15- Deslocamentos horizontais para pórticos com remoção dos pilares

<b>VÃO DE 4 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>65</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>457708,3</b>
	Vão (m)	<b>4</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>31,2</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>61,44</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,47116</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,748</b>

<b>VÃO DE 5 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>64</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>436907</b>
	Vão (m)	<b>5</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>38,4</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>68,64</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,35885</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,749</b>

<b>Transição sem pilar no térreo</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,760	1,58%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,757	1,19%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,754	0,80%

<b>Transição sem pilar no térreo</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,758	1,19%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,754	0,66%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,752	0,40%

<b>Transição sem pilar e vigas: Térreo e 2º Pav.</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,791	5,44%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,787	4,96%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,784	4,59%

<b>Transição sem pilar e vigas: Térreo e 2º Pav.</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,792	5,43%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,787	4,83%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,783	4,34%

<b>Transição sem pilar e vigas: Térreo, 2º Pav. e 3º Pav.</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,833	10,20%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,829	9,77%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,826	9,44%

<b>Transição sem pilar e vigas: Térreo, 2º Pav. e 3º Pav.</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,839	10,73%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,834	10,19%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,830	9,76%

Fonte: Própria do autor (2020)

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Tabela 16- Deslocamentos horizontais para pórticos com remoção dos pilares

<b>VÃO DE 6 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>64</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>436907</b>
	Vão (m)	<b>6</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>46,08</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>41</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>172303</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>29,52</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>75,6</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,5357</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,794</b>

<b>VÃO DE 7 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>63</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>416745</b>
	Vão (m)	<b>7</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>52,92</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>42</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>185220</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>30,24</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>83,16</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,25</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,842</b>

<b>Transição sem pilar no térreo</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,802	1,00%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,798	0,50%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,795	0,13%

<b>Transição sem pilar no térreo</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,850	0,94%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,845	0,36%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,841	-0,12%

<b>Transição sem pilar e vigas: Térreo e 2º Pav.</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,840	5,48%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,834	4,80%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,829	4,22%

<b>Transição sem pilar e vigas: Térreo e 2º Pav.</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,889	5,29%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,881	4,43%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,875	3,77%

<b>Transição sem pilar e vigas: Térreo, 2º Pav. e 3º Pav.</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,893	11,09%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,887	10,48%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,882	9,98%

<b>Transição sem pilar e vigas: Térreo, 2º Pav. e 3º Pav.</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,947	11,09%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,939	10,33%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	0,932	9,66%

Fonte: Própria do autor (2020)

Tabela 17- Deslocamentos horizontais para pórticos com remoção dos pilares

<b>VÃO DE 8 METROS</b>		
<b>Deslocamento padrão</b>		
<b>Viga</b>	Largura (cm)	<b>20</b>
	Altura (cm)	<b>63</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>416745</b>
	Vão (m)	<b>8</b>
	Volume vigas (m <sup>3</sup> )	<b>60,48</b>
<b>Pilar</b>	Largura (cm)	<b>30</b>
	Altura (cm)	<b>41</b>
	Inércia (cm <sup>4</sup> )	<b>172303</b>
	Volume pilares (m <sup>3</sup> )	<b>29,52</b>
Volume pórtico (m <sup>3</sup> )		<b>90</b>
Rigidez Viga/Pilares		<b>2,41868</b>
Desloc. 20 Pavimentos (cm)		<b>0,917</b>

<b>Transição sem pilar no térreo</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,925	0,86%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,920	0,33%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Somente no Térreo (cm)	0,915	-0,22%

<b>Transição sem pilar e vigas: Térreo e 2º Pav.</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,968	5,27%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,959	4,38%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Térreo e 2º Pav. (cm)	0,953	3,78%

<b>Transição sem pilar e vigas: Térreo, 2º Pav. e 3º Pav.</b>		
<b>Alturas Normais</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	1,033	11,23%
<b>Vigas de transição com +10cm de altura</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	1,024	10,45%
<b>Vigas de transição com +20cm de altura</b>		
Térreo, 2º e 3º Pav. (cm)	1,016	9,74%

Fonte: Própria do autor (2020)

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

### 3.2.4 Análise dos resultados

Nos pórticos onde foi feito o estudo de transições com o deslocamento do segundo pilar em 1 e 2m em até 3 pavimentos, percebeu-se que o efeito sobre a rigidez global dos pórticos foi bastante pequeno. Em algumas configurações, o deslocamento do segundo pilar tornou o pórtico mais rígido, mesmo sem aumento da seção transversal da viga de transição. Nos pórticos que se tornaram mais deformáveis com a transição, um aumento pequeno na altura da seção transversal da viga de transição, de 10 a 20cm, foi o suficiente para tornar esses pórticos novamente mais rígidos que o pórtico original correspondente sem transição.

Um cenário bem diferente foi visto nos modelos em que foi realizada a remoção dos pilares abaixo da viga de transição. A exceção foram os modelos de vão entre pilares iguais a sete e oito metros, cujo pilar foi removido em apenas um lance, onde um aumento na altura da seção transversal da viga de transição de 20cm resultou em um pórtico levemente mais rígido que o original. Em todos os outros modelos, o deslocamento horizontal calculado foi maior que nos modelos padrões, sem transição. Nos modelos em que se removeram os pilares em mais de um lance do pórtico, os valores chegaram a ultrapassar a faixa dos 10% de acréscimo, conforme visto nos modelos cuja viga de transição foi posta no terceiro pavimento, e removido o pilar nos três lances abaixo, sem que fosse feito reforço da viga. Nesse caso, os acréscimos de deslocamento horizontal foram superiores a 10% em todos os vãos projetados, de quatro a oito metros. Os resultados acima apontam para a necessidade de aumentos consideravelmente maiores que os estudados na seção transversal da viga de transição para voltar a tornar o pórtico com transição tão rígido horizontalmente quanto o pórtico original sem transição. Tal aumento provavelmente será necessário igualmente para o critério de dimensionamento da viga de transição em Estado Limite Último, em função da enorme carga que a viga recebe e da duplicação do vão em relação à configuração equivalente sem transição.

## **4 MÉTODO DE ANÁLISE DOS EFEITOS DE TRANSIÇÕES SOBRE A ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO DE UM EDIFÍCIO**

### **4.1 PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO**

#### **4.1.1 Considerações iniciais**

Para que se pudessem analisar as diferentes situações de transição e seus impactos nas dimensões dos componentes estruturais e nos custos adicionais de aço e concreto para um edifício, atendendo às prescrições da NBR 6118:2014, foi utilizado o software TQS Unipro Educacional, versão 21.13.2, como ferramenta de criação, análise e dimensionamento dos modelos e de obtenção das tabelas de quantitativos. Ao todo foram elaborados 10 modelos de transições diferentes, com o intuito de explorar diferentes tipos de vigas de transição e obter um resultado mais abrangente a respeito de custos correspondentes às opções tomadas no projeto arquitetônico e que deram forma à estrutura.

Todos os modelos foram dimensionados como Modelo IV pelo TQS, que significa que os edifícios foram modelados por um pórtico espacial em conjunto com uma grelha representando os pavimentos, com as cargas. O pórtico será composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, com as cargas do modelo de grelhas aplicadas sobre essas barras e com as lajes consideradas como diafragma rígido. Os efeitos oriundos das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares serão calculados com o modelo de pórtico espacial.

#### **4.1.2 Cargas verticais**

Para o dimensionamento dos modelos, vigas e lajes receberam cargas verticais além de seus pesos próprios, através do modelador estrutural do software TQS.

As lajes dos modelos receberam carga distribuída permanente de 1,025 kN/m<sup>2</sup>, originária dos revestimentos e do forro que foram estipulados para as lajes de acordo com a prática usual em edifícios residenciais, já que este estudo se trata de um modelo teórico. Os valores que resultaram na carga citada estão mostrados na tabela 18 abaixo. Já para as cargas acidentais, utilizou-se o valor de 1,50 kN/m<sup>2</sup> normatizado na NBR 6120:2019 para ambientes internos comuns de edifícios residenciais.

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Tabela 18- Cargas nas lajes

<b>Cargas verticais permanentes nas lajes</b>			
Origem da carga	Altura (m)	Peso específico(kN/m <sup>3</sup> )	Carga distribuída(kN/m <sup>2</sup> )
Lajota Cerâmica	0,015	18	0,27
Contra-piso	0,03	21	0,63
Forro de gesso	0,01	12,5	0,125
<b>TOTAL</b>			1,025

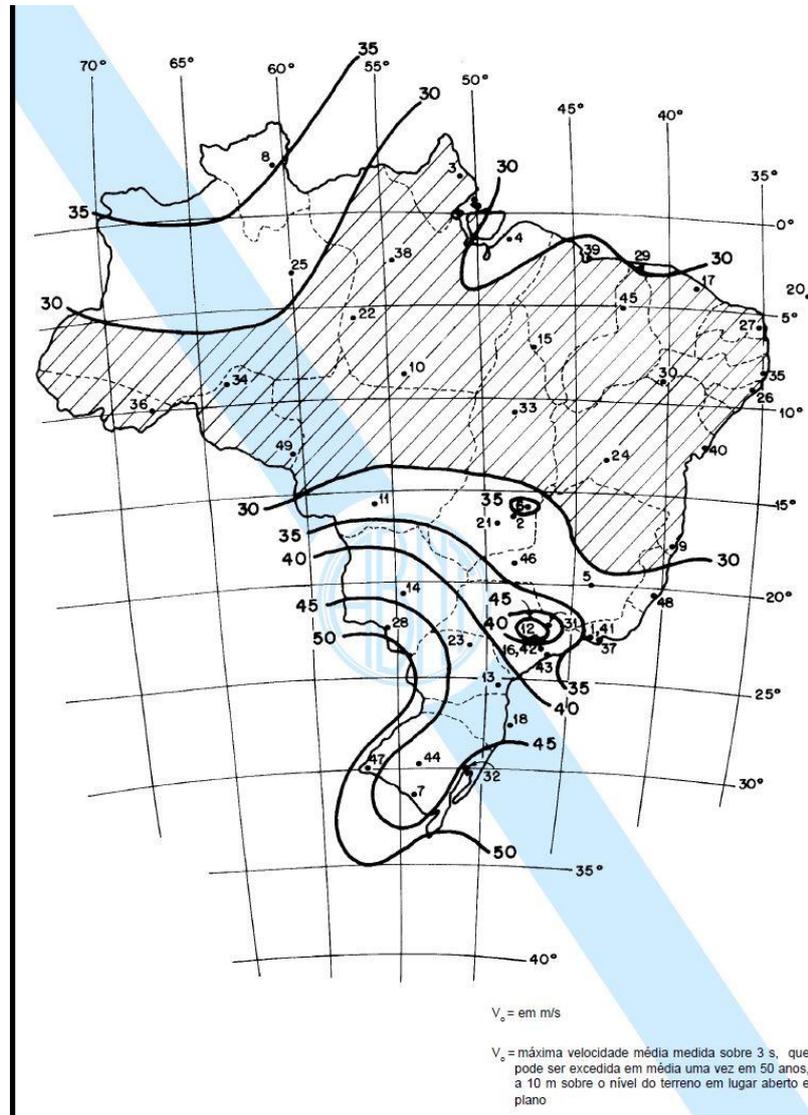
Fonte: Própria do autor (2020)

Em todas as vigas dos modelos analisados foi definida uma carga de alvenaria, aplicada sobre as vigas, estimada como uma parede de 15cm de espessura, 3m de altura, com o peso específico de 18kN/m<sup>3</sup> correspondente a alvenaria de tijolos maciços, gerando a carga linear de 8,1kN/m, além das cargas decorrentes de lajes aplicadas de maneira automática pelo programa de projeto.

#### 4.1.3 Cargas horizontais

As cargas horizontais para os modelos estudados neste trabalho foram decorrentes apenas do vento, e foram calculadas conforme a NBR 6123:1988 para a região urbana da cidade de Porto Alegre, considerando velocidade básica  $V_0$  igual a 45m/s, conforme mapa de isopleias da Figura 8. Mas para que as cargas de vento possam ser calculadas, mesmo que seja através do software TQS, é necessário fornecer os outros parâmetros exigidos pela NBR 6123:1988, correspondendo aos fatores  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ .

Figura 9- Mapa de isopletas



Fonte: NBR 6123:1988 (1988)

O fator S1, referente à topografia do terreno, possui valor de 1,0 quando o edifício está localizado em uma região plana ou fracamente acidentada, que é o caso considerado para os modelos apresentados.

O fator S2 depende de condições como a rugosidade superficial do entorno onde o edifício está, e varia das categorias I a V, de acordo com a quantidade de obstáculos que se adensam ao redor da edificação em análise. Pelo fato de os modelos terem sua localização considerada em área urbana de uma grande cidade, a categoria considerada nos parâmetros de dimensionamento do TQS foi a categoria IV. Além desta categoria, o fator S2 também depende

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

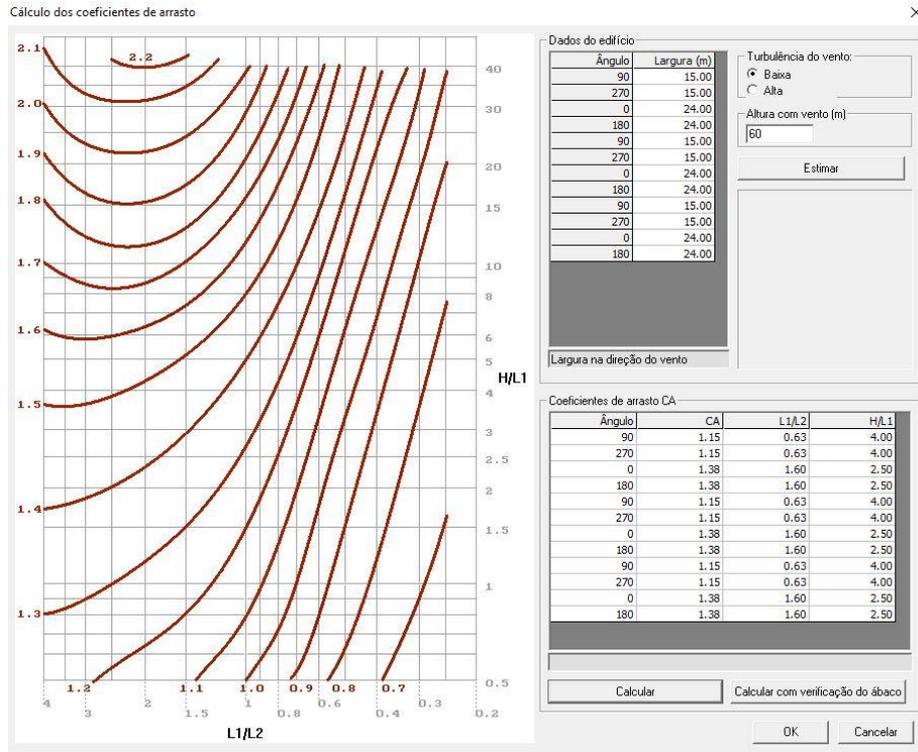
da classe da edificação, que é definida de acordo com a maior dimensão horizontal ou vertical, indo de classe A, para edifícios cuja maior dimensão é inferior a 20 metros, até classe C, para edifícios cuja maior dimensão é superior a 50 metros. Como todos os modelos possuem pelo menos 60 metros de altura, a classe considerada para dimensionamento é a C.

O fator S3, conhecido como fator estatístico, depende do propósito e grau de ocupação do edifício a ser construído. Para modelos residenciais como o do estudo, o valor a ser aplicado é 1,0.

Para que se possam aplicar as cargas geradas através dos fatores nos modelos estudados, é necessário definir-se a excentricidade da carga aplicada, conforme capítulo 6.6 da NBR 6123:1988, que mostra ser necessário uma excentricidade de 7,5% em edifícios sem efeito de vizinhança, como foi considerado neste caso. Portanto, para todos os modelos aqui apresentados, para que se possa encontrar o pior cenário possível, foram aplicadas tanto as forças de arrasto centradas como com as excentricidades de 7,5% nos dois sentidos, em cada uma das quatro direções de incidência do vento.

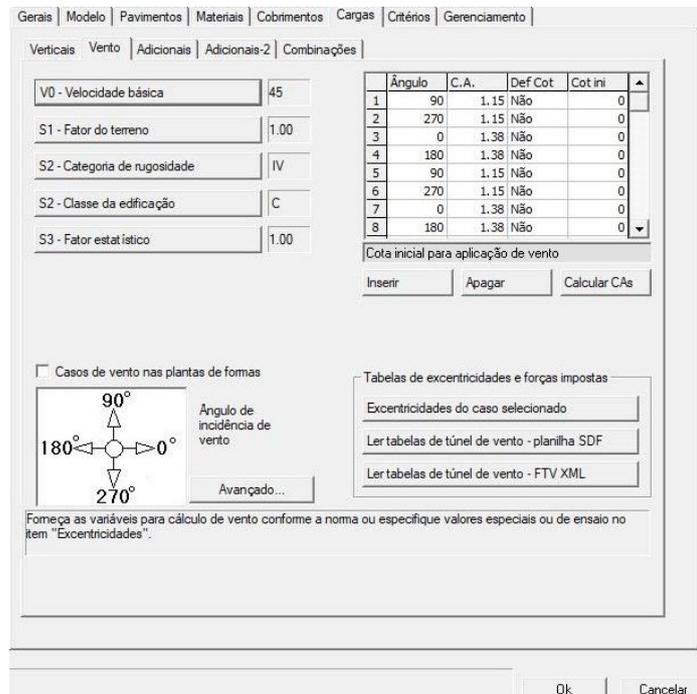
Por fim, com os fatores S1 a S3 definidos, juntamente com as excentricidades e dimensões do edifício, o TQS calcula os Coeficientes de Arrasto conforme ábacos da NBR 6123:1988, gerando os valores da figura 9. Ressaltando que, conforme mostrado na figura, para cada ângulo de incidência de vento, há três cargas aplicadas, não simultâneas, devido às excentricidades para ambos os lados e a incidência no centro geométrico.

Figura 10- Janela de cálculo do coeficiente de arrasto do software TQS



Fonte: Própria do autor (2020)

Figura 11 – Aba de carga de vento com todos fatores e coeficientes inseridos



Fonte: Própria do autor (2020)

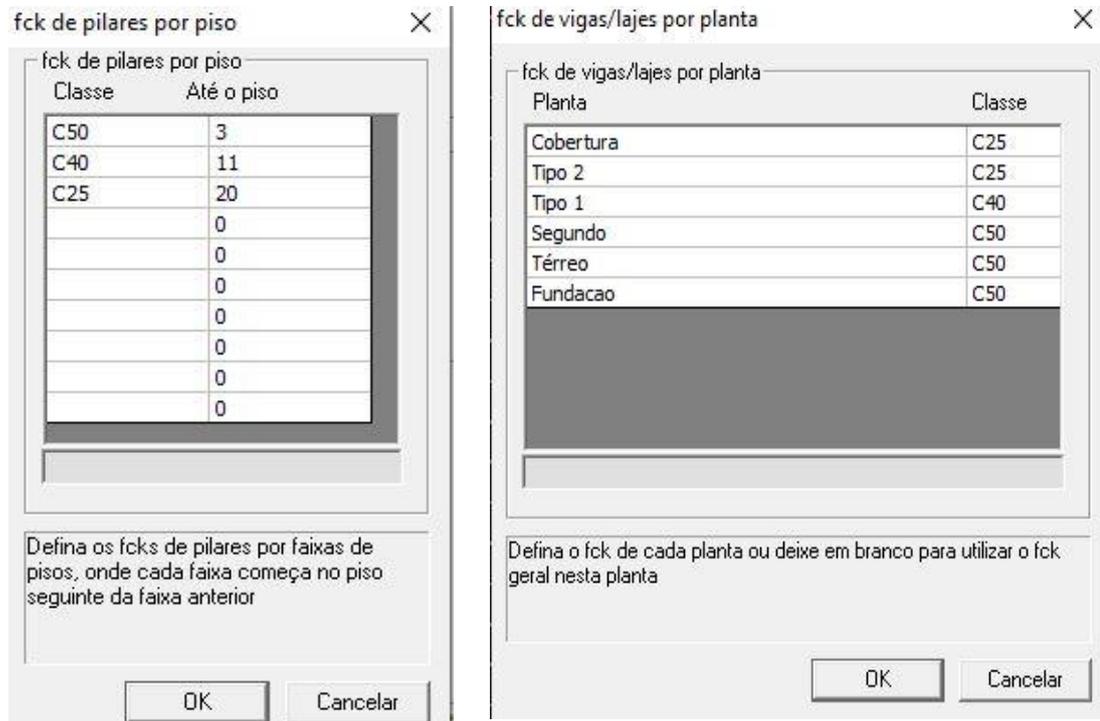
Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

## 4.2 MODELO DE REFERÊNCIA

Como um dos objetivos do estudo é determinar o impacto que uma configuração de transição gera no custo total da estrutura de um edifício, foi necessário criar um modelo de referência para ser usado como base para a inserção da viga de transição e como custo de estrutura a ser comparado. Para isso, criou-se um edifício de vinte pavimentos nos mesmos moldes do estudo realizado no Ftool para otimização da rigidez horizontal de pórticos visando o menor consumo de concreto. O modelo possui todos os pavimentos iguais entre si, com medidas em planta baixa de quinze metros no eixo X e vinte e quatro metros no eixo Y, contando com cinco vigas no eixo X, todas com três vãos de cinco metros de comprimento cada vão; e quatro vigas no eixo Y, com quatro vãos de seis metros cada.

Foram utilizadas três classes de concreto diferentes em todos os modelos, conforme o pavimento. No térreo e segundo pavimentos, o concreto utilizado foi classe C50, de fck igual a 50MPa. O Tipo 1, que corresponde ao terceiro pavimento até o décimo, recebeu concreto classe C40, de fck igual a 40MPa. E o Tipo 2, que são os nove pavimentos acima do Tipo 1, juntamente com a Cobertura, que é o último pavimento dos modelos, receberam concreto da classe C25, de fck igual a 25MPa. Em alguns modelos, o Tipo 1 engloba um número menor de pavimentos padronizados por conta da existência de reforços (aumento de seção transversal) em vigas em terceiros ou quartos pavimentos decorrentes da transição, mas os pavimentos que recebem as diferentes classes de concreto são iguais em todos modelos, independente da padronização das dimensões do pavimento ou não.

Figura 12- Janelas de inserção de classe de concreto para estruturas do modelo



Fonte: Própria do autor (2020)

Nos modelos estudados, adotou-se a estruturação convencional de lajes maciças apoiadas em vigas de seção retangular, as quais se apoiam em pilares, também de seção retangular. O contraventamento do edifício é feito exclusivamente por pórticos.

Para todas as lajes, adotou-se a espessura de 12 cm. O pré-dimensionamento empregado para o lançamento inicial das vigas do edifício considerou a altura da seção como 10% do comprimento do vão, e o tamanho dos pilares foi arbitrado como sendo 50x50cm como padrão.

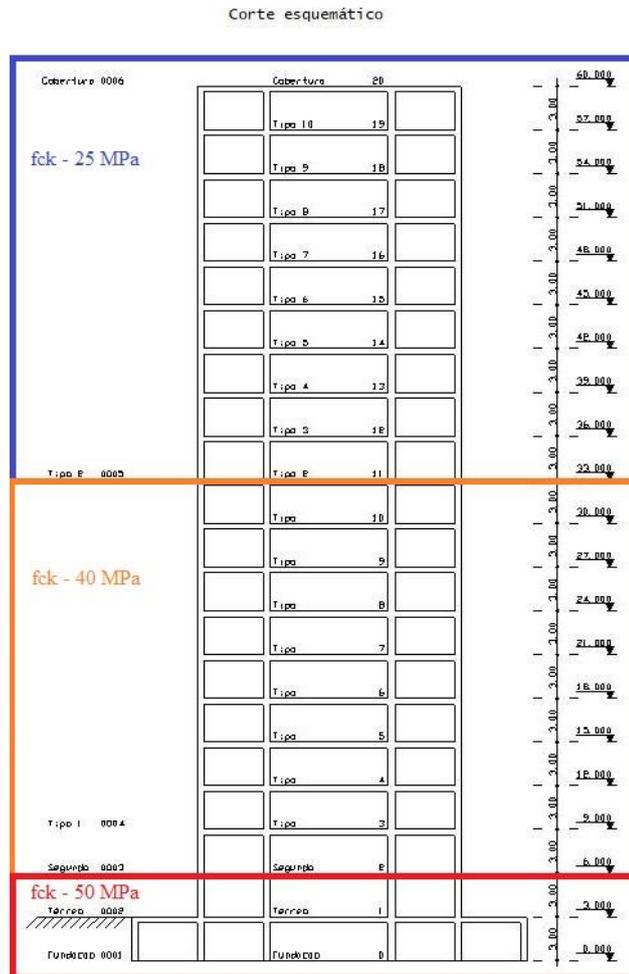
Após os primeiros processamentos no modelo de referência, as dimensões das vigas e pilares foram sendo alteradas, de maneira que pudesse se otimizar o consumo de concreto nos elementos, de acordo com as solicitações atuantes em cada elemento da estrutura e para que o modelo ficasse também no limite dos valores permitidos pela NBR 6118:2014 para ELU e ELS, incluindo o deslocamento horizontal e deslocamento entre pavimentos. Por fim, as vigas foram distribuídas em dois grupos de dimensões para cada um dos dois eixos em planta: as vigas centrais, entre lajes, e as vigas de extremidade, duas para cada eixo em planta, que ficam nas bordas do edifício. Para os pilares estipularam-se três grupos distintos: centrais, que recebem carga de vigas em seus quatro lados, de fachada, que recebem carga de vigas em três de seus quatro lados, e de canto, que recebem carga de vigas em dois dos seus quatro lados.

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

As medidas para os grupos de vigas e pilares, conforme processamentos via TQS que correspondem às menores seções possíveis para que os critérios de dimensionamento, estabilidade global e deformação horizontal sejam atendidos, podem ser melhor vistas na planta baixa da Figura 13 e são as seguintes:

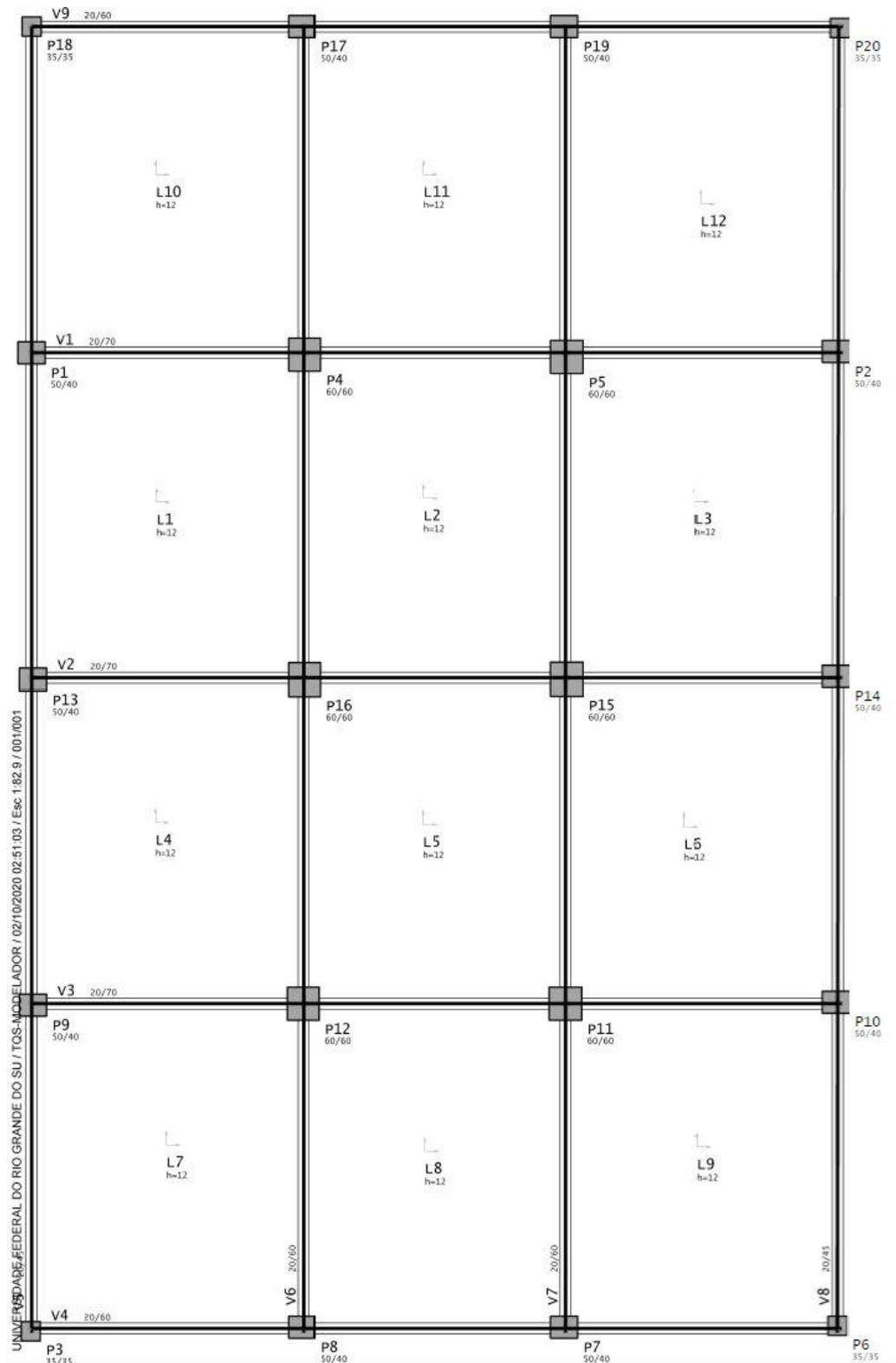
- a) vigas no eixo X centrais: 20x70cm;
- b) vigas no eixo X de extremidade: 20x60cm;
- c) vigas no eixo Y centrais: 20x60cm;
- d) vigas no eixo Y de extremidade: 20x45cm;
- e) vigas do pavimento Cobertura: 20x40cm;
- f) pilares centrais: 60x60cm;
- g) pilares de fachada: 50x40cm;
- h) pilares de canto: 35x35cm.

Figura 13- Corte esquemático do modelo padrão



Fonte: Própria do autor (2020)

Figura 14- Planta baixa do modelo de referência do estudo



Fonte: Própria do autor (2020)

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

### 4.3 MODELOS COM VIGA DE TRANSIÇÃO

Após o dimensionamento do modelo de referência do estudo, e utilizando este modelo como base, fizeram-se dez modelos com diferentes tipos de viga de transição, para que se pudesse explorar variadas configurações resultantes de diferentes necessidades de uso para a edificação. A tabela 19 faz a definição de como é cada viga de transição aplicada em cada um dos dez diferentes modelos.

Tabela 19- Definição dos dez modelos de edifício com viga de transição abordados

<b>Modelos com Viga de transição</b>	
<b>Nº do modelo</b>	<b>Definição</b>
1	Viga de transição no segundo pavimento com remoção do pilar P12 no Térreo. Geração de espaço sem pilar de vão duplo, com pé-direito simples (Ex: grande saguão ou hall de entrada).
2	Viga de transição no terceiro pavimento com remoção do pilar P12 no Térreo e segundo pavimento. Geração de espaço sem pilar de vão duplo, com pé-direito duplo (Ex: auditório ou teatro).
3	Viga de transição no segundo pavimento com deslocamento no eixo X de um metro do pilar P12 no Térreo. Mudança de uso e distribuição de espaços entre pavimentos (Ex: 1 andar de estacionamento / apartamentos).
4	Viga de transição no segundo pavimento com deslocamento no eixo X de dois metros do pilar P12 no Térreo. Mudança de uso e distribuição de espaços entre pavimentos (Ex: 1 andar de estacionamento / apartamentos).
5	Viga de transição no terceiro pavimento com deslocamento no eixo X de um metro do pilar P12 no Térreo e segundo pavimento. Mudança de uso e distribuição de espaços entre pavimentos (Ex:2 andares de estacionamento / apartamentos).
6	Viga de transição no terceiro pavimento com deslocamento no eixo X de dois metros do pilar P12 no Térreo e segundo pavimento. Mudança de uso e distribuição de espaços entre pavimentos (Ex:2 andares de estacionamento / apartamentos).
7	Viga de transição no segundo pavimento com deslocamento no eixo Y de um metro do pilar P12 no Térreo. Mudança de uso e distribuição de espaços entre pavimentos (Ex: 1 andar de estacionamento / apartamentos).
8	Viga de transição no segundo pavimento com deslocamento no eixo Y de dois metros do pilar P12 no Térreo. Mudança de uso e distribuição de espaços entre pavimentos (Ex: 1 andar de estacionamento / apartamentos).
9	Viga de transição no terceiro pavimento com deslocamento no eixo Y de um metro do pilar P12 no Térreo e segundo pavimento. Mudança de uso e distribuição de espaços entre pavimentos (Ex:2 andares de estacionamento / apartamentos).
10	Viga de transição no terceiro pavimento com deslocamento no eixo Y de dois metros do pilar P12 no Térreo e segundo pavimento. Mudança de uso e distribuição de espaços entre pavimentos (Ex:2 andares de estacionamento / apartamentos).

Fonte: Própria do autor (2020)

Os modelos um e dois são os únicos modelos em que foi removido totalmente o pilar abaixo do pavimento da transição, fazendo com que toda a carga vertical fosse transferida para um outro pilar próximo. Esse tipo de configuração é comum em casos onde se deseja ter um espaço com grande área livre de obstáculos, como é o caso de salão de eventos e auditórios. No caso específico do modelo dois, além do vão duplo que se gerou no Térreo, há também o pé direito duplo gerado pela remoção do pilar em dois lances de pavimento, que possibilitaria a criação de um auditório com significativo espaço livre.

Já os modelos três a dez foram todos dimensionados com deslocamento do pilar P12, onde as diferenças são em relação a três parâmetros: distância deslocada, de um ou dois metros; eixo do deslocamento, X ou Y; e número de lances que o pilar é deslocado, um ou dois. Esses casos de deslocamento de pilar costumam ser mais comuns em edifícios com garagem no primeiro ou segundo pavimento da estrutura, onde pode-se haver um deslocamento do pilar para que se acomodem todas as vagas de estacionamento necessárias na garagem ou o espaço de manobra e circulação necessários.

## 5 MODELOS DE TRANSIÇÃO

Neste capítulo serão discutidos os modelos de edifício com viga de transição considerando as dimensões escolhidas da viga de transição em função das cargas e solicitações suportadas e os efeitos da transição no dimensionamento de todos outros elementos estruturais dos modelos, tanto decorrentes de alterações nas solicitações nos diversos elementos quanto do efeito global de deslocamento horizontal dos prédios.

### 5.1 TRANSIÇÕES COM REMOÇÃO COMPLETA DO PILAR NOS PAVIMENTOS INFERIORES

Nesta seção, serão abordados os dois modelos em que se removeu completamente o pilar P12 em um e dois pavimentos do edifício.

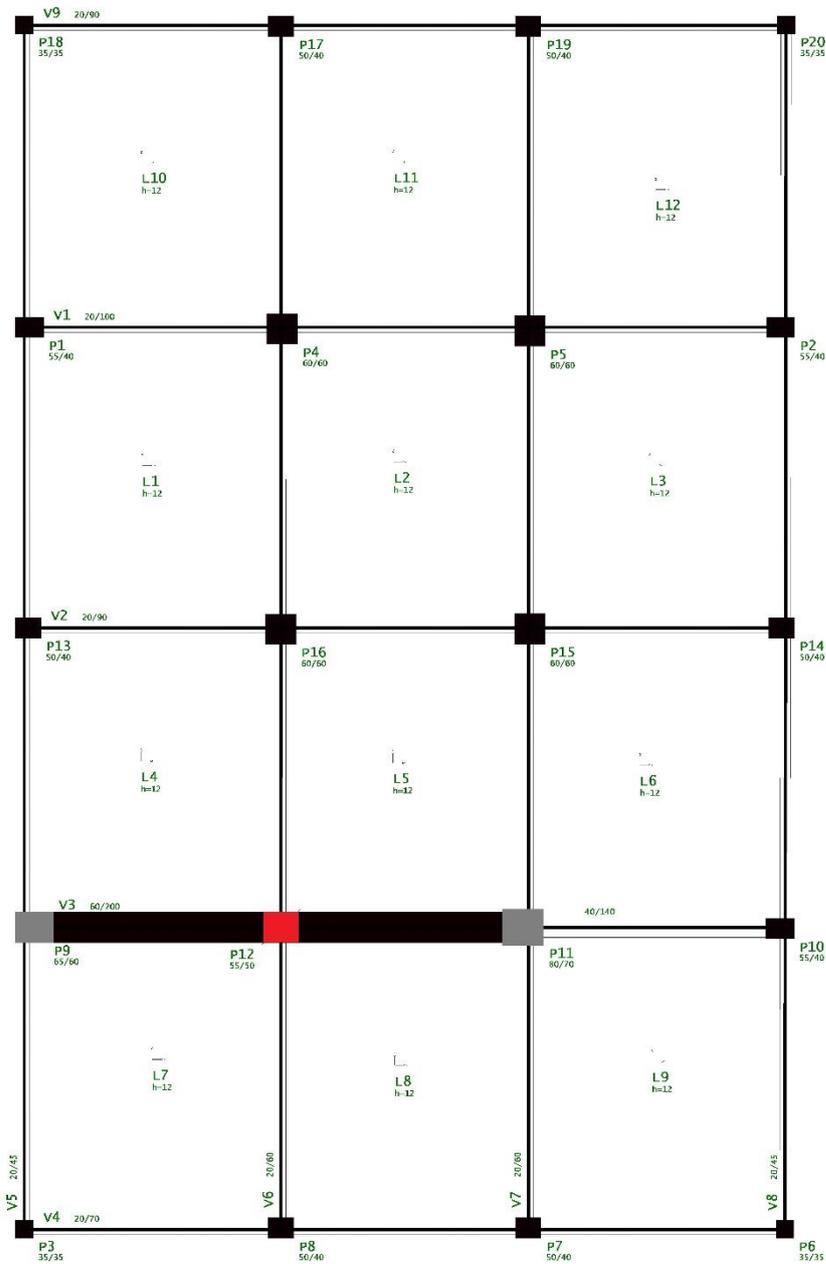
#### 5.1.1 Modelo 1

O primeiro modelo do estudo, conforme mostrado na Tabela 19 do capítulo anterior, é o de viga de transição gerado pela remoção total do P12 no pavimento Térreo. As mudanças que tiveram de ser feitas nas vigas do segundo pavimento e pilares do térreo para que se pudessem conter os novos esforços gerados pela remoção do pilar são discriminadas abaixo. A imagem 14 da planta baixa das fôrmas do segundo pavimento deste modelo ajuda a expor as mudanças necessárias nos pilares deste modelo e nas vigas do pavimento:

- a) a viga V3, que recebeu as cargas de transição, teve suas dimensões alteradas de 20x70cm para 60x200cm para que pudesse transferir as cargas do pilar P12 para os pilares adjacentes. No vão final da viga V3, onde não havia maior concentração das cargas de transição, as dimensões ficaram 40x140cm. O aumento das dimensões foi governado pelos esforços de flexão;
- b) os pilares P9 e P11, que receberam as cargas verticais oriundas da viga de transição, tiveram suas dimensões consideravelmente acrescidas. O pilar P9 passou de 50x40cm para 65x60cm, enquanto que P11 passou de 60x60cm para 80x70cm;
- c) as vigas V2 e V4, paralelas e próximas a V3, foram aumentadas para 20x90cm e 20x70cm respectivamente, devido à redistribuição de esforços solicitantes no pavimento, havendo assim a necessidade de seus aumentos;

- d) alguns pilares do grupo 2, referente a pilares de borda, foram levemente aumentados por causa de esforços locais, e acabaram contribuindo na estabilidade horizontal do modelo, já que foram aumentados na direção do eixo X do edifício, que é o mais instável para esforços horizontais. Os pilares que receberam este acréscimo são P10, P1 e P2, que tiveram sua dimensão na direção do eixo X aumentada em cinco centímetros, igualando 55cm;
- e) a viga V1, que é oposta em relação ao eixo X de simetria à viga de transição, recebeu um acréscimo considerável em sua seção, que media 20x70cm e passou a valer 20x100cm, e a V9 passou de 20x60cm para 20x90cm. Uma das razões para esse considerável acréscimo, além das solicitações de carga, é para que haja maior rigidez do lado oposto no eixo X do pavimento às cargas horizontais, porque a viga de transição gera um deslocamento do centro elástico que necessita ser recomposto com o fortalecimento dos pórticos da outra extremidade da transição, minimizando a torção do edifício;
- f) P12 pode ter suas dimensões diminuídas, pois devido à sua interrupção, recebeu cargas de um pavimento a menos, além da razão de que se suas dimensões são diminuídas, o seu peso próprio diminui e a viga de transição recebe menos cargas. As dimensões originais de 60x60cm foram reduzidas para 55x50cm;
- g) o pé direito no segundo pavimento, devido às dimensões da viga de transição, ficou com 4,30m de altura para que pudesse haver o espaço livre previamente determinado de 2,30m.

Figura 15- Planta baixa das fôrmas do segundo pavimento do modelo 1



Fonte: Própria do autor (2020)

Na imagem acima, o pilar P12 foi desenhado em cor diferente dos demais porque nasce neste pavimento, enquanto que todos os outros são passantes pelo pavimento. E os pilares P9 e P11 tiveram suas cores alteradas para haver maior distinção da viga V3 de transição.

Além das alterações de dimensões de viga do segundo pavimento, onde está a viga de transição, algumas modificações nos dois pavimentos acima, terceiro e quarto, tiveram de ser efetuadas para que se pudessem dimensionar todos os elementos da estrutura. São elas:

- a) a viga V3 no terceiro e quarto pavimento teve sua seção aumentada de 20x70cm para 30x80cm em ambos, para que pudesse resistir aos esforços solicitantes nos dois pavimentos acima da viga de transição;
- b) a viga V4 pode ser reduzida de 20x60cm para 20x40cm no terceiro pavimento e para 20x50cm no quarto pavimento, já que os esforços solicitantes nessas vigas de extremidade eram menores, assim foi possível economizar um pouco do concreto que já fora gasto nos acréscimos de carga em outras vigas;
- c) por fim, a viga V9 nos dois pavimentos acima do segundo pavimento foi aumentada 10cm em sua altura, passando a valer 20x70cm, para que pudesse fortalecer o pórtico no lado oposto ao da transição em relação ao eixo central X, onde os valores de deslocamento horizontal do modelo ficam mais próximas ao limite em decorrência da excentricidade do centro elástico gerado pela transição;
- d) o pé direito no terceiro e quarto pavimento foi alterado para 3,10m devido ao acréscimo na altura da viga V3, que com 80cm de altura exigiu um pé direito maior para haver os 2,30m de espaço livre nestes pavimentos. Assim, a altura total do edifício ficou em 61,50m.

### 5.1.2 Modelo 2

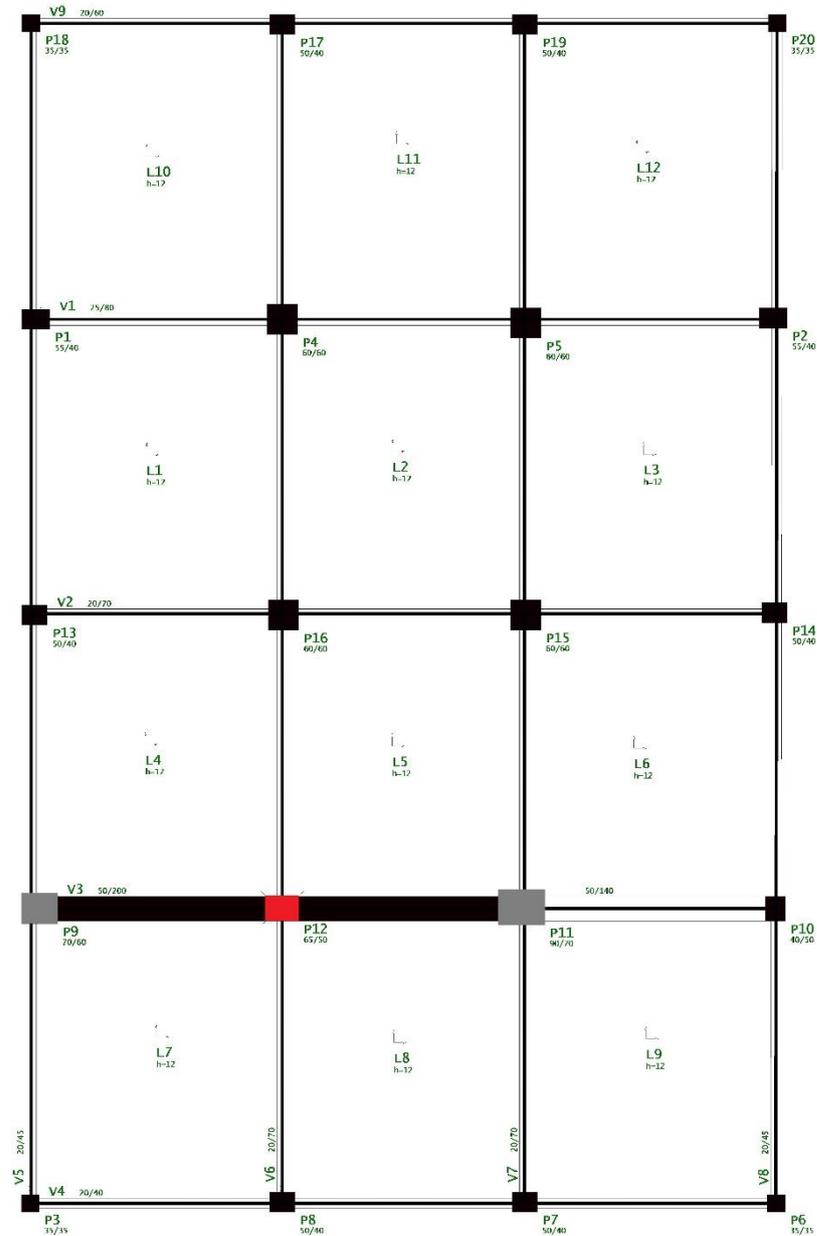
O modelo 2 é muito parecido com o modelo 1 conceitualmente, pois também é removido totalmente o pilar P12 abaixo da viga V3. A diferença é que o P12 neste modelo é retirado em dois lances do edifício, fazendo com que a viga de transição esteja posta no terceiro pavimento, com dois lances livre de pilar abaixo, formando um vão livre duplo e pé direito duplo no segundo pavimento.

Este modelo é muito parecido em dimensões com o modelo 1, onde uma das únicas diferenças são os menores problemas relativos à estabilidade horizontal da estrutura, pois com o pé-direito duplo, com espaço suficiente para a viga V3, que possui 140cm de altura no seu trecho final, e teve o pé direito do terceiro pavimento regido por este vão final da viga V3, onde há a existência de laje abaixo, no segundo pavimento, tornando o edifício mais baixo em relação ao Modelo 1.

As mudanças de tamanho de seção dos pilares e das vigas do terceiro pavimento são discriminadas abaixo:

- a) a viga V3, que recebeu as cargas de transição, teve suas dimensões alteradas de 20x70cm para 50x200cm para que pudesse transferir as cargas do pilar P12 para os pilares adjacentes. No vão final da viga V3, onde as solicitações devidas à transição são menores, as dimensões ficaram 50x140cm;
- b) os pilares P9 e P11, que receberam as cargas verticais oriundas da viga de transição, tiveram suas dimensões consideravelmente acrescidas. O pilar P9 passou de 50x40cm para 70x60cm, enquanto que P11 passou de 60x60cm para 90x70cm;
- c) a viga V4 pode ser reduzida de 20x60 para 20x40, uma vez que os esforços solicitantes nela eram relativamente pequenos, podendo assim gerar uma pequena economia de concreto;
- d) alguns pilares do grupo 2, referente a pilares de borda, foram levemente aumentados por causa de esforços locais, e acabaram contribuindo na estabilidade horizontal do modelo, já que foram aumentados na direção do eixo X do edifício, que é o mais instável para esforços horizontais. Os pilares que receberam este acréscimo são P1 e P2, que tiveram sua dimensão na direção do eixo X aumentada em cinco centímetros, igualando 55cm;
- e) o pilar P10 teve suas dimensões invertidas para que pudesse receber o trecho final de V3, que possui 50cm de largura. Assim, P10 passou de 50x40cm para 40x50cm, evitando que V3 se apoiasse em outra viga;
- f) a viga V1, que é oposta em relação ao eixo X de simetria à viga de transição, recebeu um acréscimo em sua seção, que media 20x70cm e passou a valer 25x80cm;
- g) P12 pode ter suas dimensões diminuídas, pois devido à sua interrupção, recebeu cargas de um pavimento a menos, além da razão de que se suas dimensões são diminuídas, o seu peso próprio diminui e a viga de transição recebe menos cargas. As dimensões originais de 60x60cm foram reduzidas para 65x50cm;
- h) ambas as vigas V6 e V7 tiveram suas alturas aumentadas em 10cm, resultando em seções de 20x70cm, devido às cargas maiores que foram geradas com a aplicação da transição no modelo;
- i) o pé direito do terceiro pavimento ficou com 3,70m de altura, já que sua altura dependeu do trecho final da viga V3, menor que nos trechos onde efetivamente há as cargas de transição aplicadas.

Figura 16- Planta baixa das fôrmas do terceiro pavimento do modelo 2



Fonte: Própria do autor (2020)

Além das alterações de dimensões de viga no terceiro pavimento, onde está a viga de transição, algumas modificações nos dois pavimentos acima, quarto e quinto, além do pavimento abaixo, tiveram de ser efetuadas para que se pudesse dimensionar todos os elementos da estrutura. São elas:

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

- a) a viga V3 no quarto e quinto pavimento teve sua seção aumentada de 20x70cm para 30x80cm em ambos, para que pudesse resistir aos esforços solicitantes nos dois pavimentos acima da viga de transição;
- b) a viga V4 pôde ser reduzida de 20x60cm para 20x45cm no quarto pavimento, já que os esforços solicitantes nessa viga de extremidade eram menores;
- c) a viga V9 no quarto pavimento teve sua altura reduzida em 10cm, passando a ter as dimensões 20x50cm, já que as cargas locais nela eram baixas e a estrutura não estava sofrendo com problemas de elevado deslocamento horizontal, devido ao fato principalmente da viga de transição estar um pavimento mais alta que no modelo 1, além da robustez de alguns pilares dimensionados para elevados esforços solicitantes;
- d) a viga V4 no segundo pavimento teve sua largura aumentada de 20 para 25cm nos dois vãos em que não havia lajes adjacentes, para evitar problemas de instabilidade lateral. Mas sua altura foi reduzida para 40cm devido aos baixos esforços solicitantes;
- e) as vigas V5 e V8 no segundo pavimento tiveram suas alturas reduzidas em 5cm devido aos baixos esforços solicitantes, passando a ter 40cm de altura;
- f) a viga V2 também pode ter sua seção reduzida no segundo pavimento por conta dos baixos valores de carga solicitante, passando a medir 20x60cm de seção;
- g) por fim, a única viga no segundo pavimento que teve sua altura reforçada foi a viga V3, em seu vão único, ao lado do espaço livre abaixo da transição, ficando com seção igual a 20x80cm;
- h) o pé direito do segundo, quarto e quinto pavimentos ficou com altura igual a 3,10m devido aos acréscimos nas alturas das vigas V3 destes pavimentos. Assim, a altura total do modelo ficou com 61m.

## 5.2 TRANSIÇÕES COM DESLOCAMENTO DO PILAR

Após serem apresentados os dois modelos com remoção completa do pilar P12, agora os próximos oito modelos serão os que tiveram o pilar P12 deslocado em relação ao seu eixo principal, com deslocamentos de um e dois metros, e nas direções de X e Y em planta.

### 5.2.1 Modelo 3

O modelo 3 é o primeiro modelo em que há, ao invés da remoção do pilar em um ou dois lances de pavimento, um deslocamento do pilar P12 em relação ao seu eixo central no pavimento Térreo, provocando assim uma carga vertical sobre a viga V3, que deve transferir esta carga para o P12 deslocado e demais pilares adjacentes conduzirem às fundações.

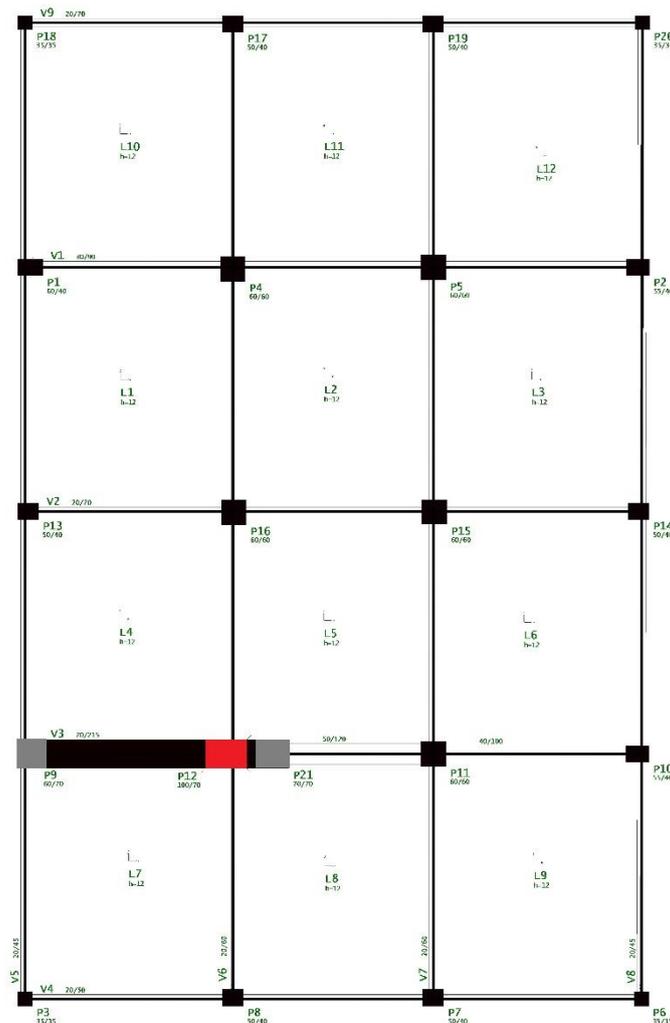
Este modelo, cujo pilar P12 foi deslocado um metro na direção do eixo X apenas no pavimento Térreo, recebeu esforços solicitantes de cisalhamento muito acentuados na viga de transição V3, assim como todos os modelos em que houve deslocamento de pilar, especialmente os que foram de apenas um metro. Isso resultou em acréscimos maiores de seção na viga V3 do que nos dois modelos anteriores, onde o dimensionamento da viga de transição era dominado pelos esforços de flexão, inclusive no pilar P12 acima da transição, que diferente do que vinha acontecendo até então, teve sua seção consideravelmente aumentada em comparação ao modelo padrão de referência.

Uma observação a ser feita é que não se pode manter a mesma nomenclatura de um pilar quando ele é deslocado, pois é necessário criar outro pilar no TQS, uma vez que há a quebra de continuidade do mesmo. Logo, o pilar P21 corresponde ao pilar P12 no último lance descendente do modelo. As mudanças de tamanho de seção dos pilares e das vigas do segundo pavimento são discriminadas abaixo:

- a) a viga V3 teve dimensões de seção aumentadas para 70x215cm no primeiro vão, principalmente devido aos esforços de cisalhamento que o deslocamento do pilar P12 gerou. Para que o TQS conseguisse fazer o detalhamento das vigas nos modelos em que houve deslocamento de pilar, foi necessário alterar os critérios de detalhamento para cisalhamento do software, para que dimensionasse as vigas com estribos de seis ramos, onde o padrão era até quatro ramos. No segundo vão o aumento foi um pouco menor, para 50x120cm. E no terceiro vão da viga, as dimensões de seção ficaram iguais a 40x100cm para atenderem aos esforços solicitantes;
- b) o pilar P12 teve suas dimensões aumentadas para 100x70cm, enquanto que o pilar P21 foi aumentado para 70x70cm, uma vez que o pilar P9 também contribuiu para o recebimento das cargas originadas do pilar P12, e teve que ser aumentado para 60x70cm;
- c) os pilares de borda P2 e P10 foram aumentados em 5cm na dimensão paralela ao eixo X, contribuindo também para a estabilidade horizontal nesta direção,

- além do pilar P1, que teve um aumento de 10cm na direção X, ficando com 60x40cm;
- a viga V9 teve sua seção aumentada para 20x70cm para aumentar a rigidez às cargas horizontais nos pórticos, juntamente com a viga V1, que teve um aumento de seção um pouco maior, para 30x90cm, uma vez que recebeu mais esforços solicitantes verticais;
  - a viga V4 teve sua altura reduzida em 10cm, ficando com 20x50cm resultante de menores esforços solicitantes;
  - o pé direito do pavimento ficou igual a 4,45m devido à altura da viga de transição.

Figura 17- Planta baixa das fôrmas do segundo pavimento do modelo 3



Fonte: Própria do autor (2020)

Além das alterações de dimensões de viga no segundo pavimento, onde está a viga de transição, algumas modificações nos dois pavimentos acima, terceiro e quarto, tiveram de ser efetuadas para que se pudesse dimensionar todos os elementos da estrutura. São elas:

- a) a viga V3 teve suas dimensões de seção aumentadas para 40x80cm no terceiro pavimento devido às solicitações geradas após o deslocamento do pilar P12. O mesmo aconteceu com a viga V3 no quarto pavimento, porém o aumento de seção foi menor, de 20x70cm para 30x80cm;
- b) a viga V1 no terceiro pavimento teve sua seção aumentada para 20x80cm devido às cargas locais, enquanto que a viga V4, no mesmo pavimento, foi reduzida para 20x50cm devido às baixas solicitações nesta viga;
- c) o pé direito no terceiro e quarto pavimento foi aumentado para 3,10m devido aos acréscimos na altura de algumas vigas. Assim, a altura total do modelo ficou em 61,65m.

#### **5.2.2 Modelo 4**

O modelo 4 é muito parecido conceitualmente com o modelo 3 deste estudo, diferenciando-se apenas na distância de deslocamento do pilar P12 no pavimento Térreo, de dois metros. Este deslocamento maior, que gerou maior desencontro entre os tramos dos pilares, resultou num menor esforço de cisalhamento, a solicitação predominante para dimensionamento das vigas de transição com o deslocamento de pilar. Com isso, foi possível fazer pilares e a própria viga de transição um pouco menos robustas comparadas ao modelo anterior.

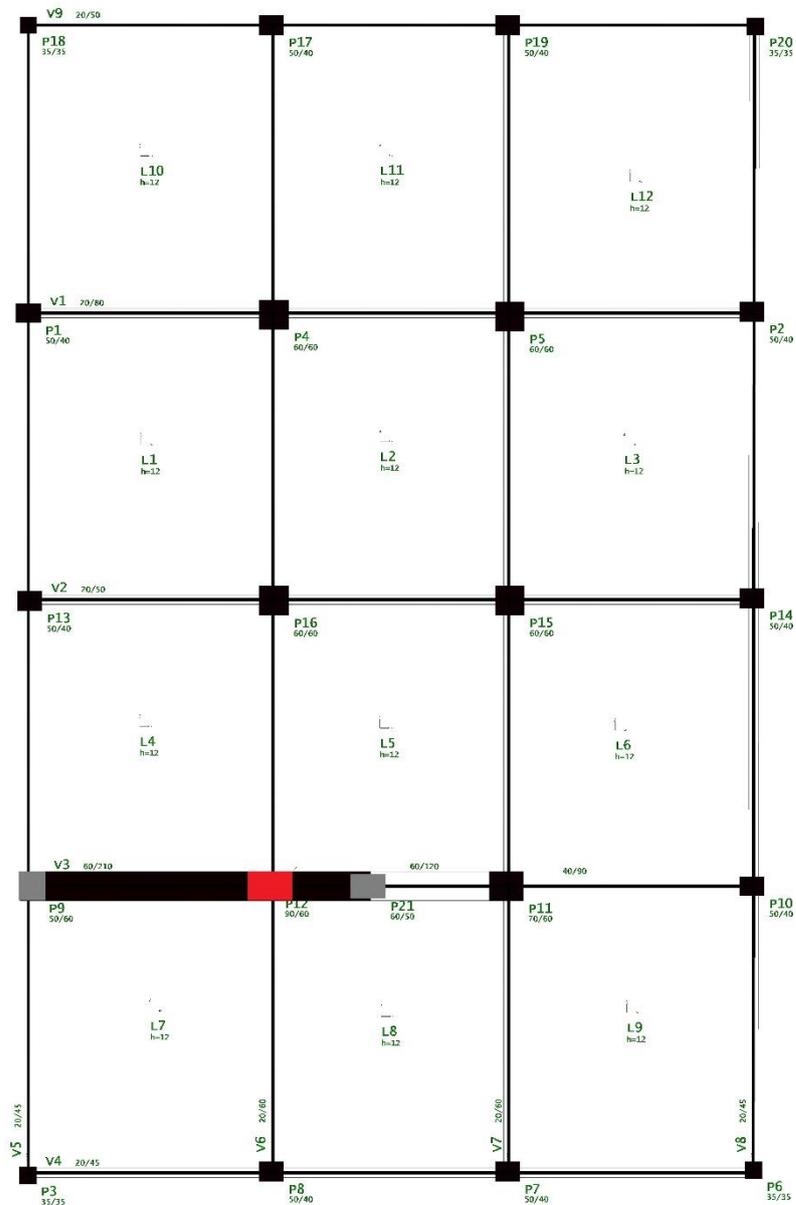
As mudanças de tamanho de seção dos pilares e das vigas do segundo pavimento são discriminadas abaixo:

- a) a viga V3 teve dimensões de seção aumentadas para 60x210cm no primeiro vão, principalmente devido aos esforços de cisalhamento que o desaparecimento do pilar P12 gerou. Para que o TQS conseguisse fazer o detalhamento das vigas nos modelos em que houve deslocamento de pilar, foi necessário alterar os critérios de detalhamento para cisalhamento do software, para que dimensionasse as vigas com estribos de seis ramos, onde o padrão era até quatro ramos. No segundo vão o aumento foi um pouco menor, para 60x120cm. E no terceiro vão da viga, as

dimensões de seção ficaram iguais a 40x90cm para atenderem aos esforços solicitantes;

- b) o pilar P12 teve suas dimensões aumentadas para 90x60cm, enquanto que o pilar P21 foi diminuído para 60x50cm, uma vez que o pilar P9 também contribuiu para o recebimento das cargas originadas do pilar P12, e teve que ser aumentado para 50x60cm;
- c) o pilar P11, pertencente ao mesmo pórtico da viga de transição, também teve de ser aumentado para 70x60cm para poder resistir às solicitações;
- d) a viga V9 teve sua seção diminuída para 20x50cm por haver baixas cargas solicitantes aplicadas, além de não haver necessidade de reforço extra para conter os deslocamentos horizontais do edifício, que não foram um problema neste modelo;
- e) a viga V4 teve sua altura reduzida em 15cm, ficando com 20x45cm;
- f) a viga V1 foi a única neste pavimento, além da própria viga de transição, que teve suas dimensões aumentadas devido a um acréscimo de solicitações, passando a ficar com uma seção de 20x80cm;
- g) o pé direito deste pavimento ficou em 4,40m em função do aumento da altura da viga V3.

Figura 18- Planta baixa das fôrmas do segundo pavimento do modelo 4



Fonte: Própria do autor (2020)

Além das alterações de dimensões de vigas no segundo pavimento, onde está a viga de transição, algumas modificações nos dois pavimentos acima, terceiro e quarto, tiveram de ser efetuadas para que se pudesse dimensionar todos os elementos da estrutura. São elas:

- a) a viga V3 teve suas dimensões de seção aumentadas para 30x80cm no terceiro e quarto pavimento devido às solicitações geradas após o deslocamento do pilar P12;

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

- b) a viga V4 no terceiro e quarto pavimento teve suas dimensões reduzidas devido às baixas solicitações aplicadas. No segundo pavimento ficou com uma seção de 20x45cm e no terceiro pavimento com 20x50cm;
- c) o pé direito no terceiro e quarto pavimento ficou em 3,10m devido aos acréscimos de altura nas vigas V3 em ambos. Com isso, a altura total do modelo ficou em 61,60m.

### 5.2.3 Modelo 5

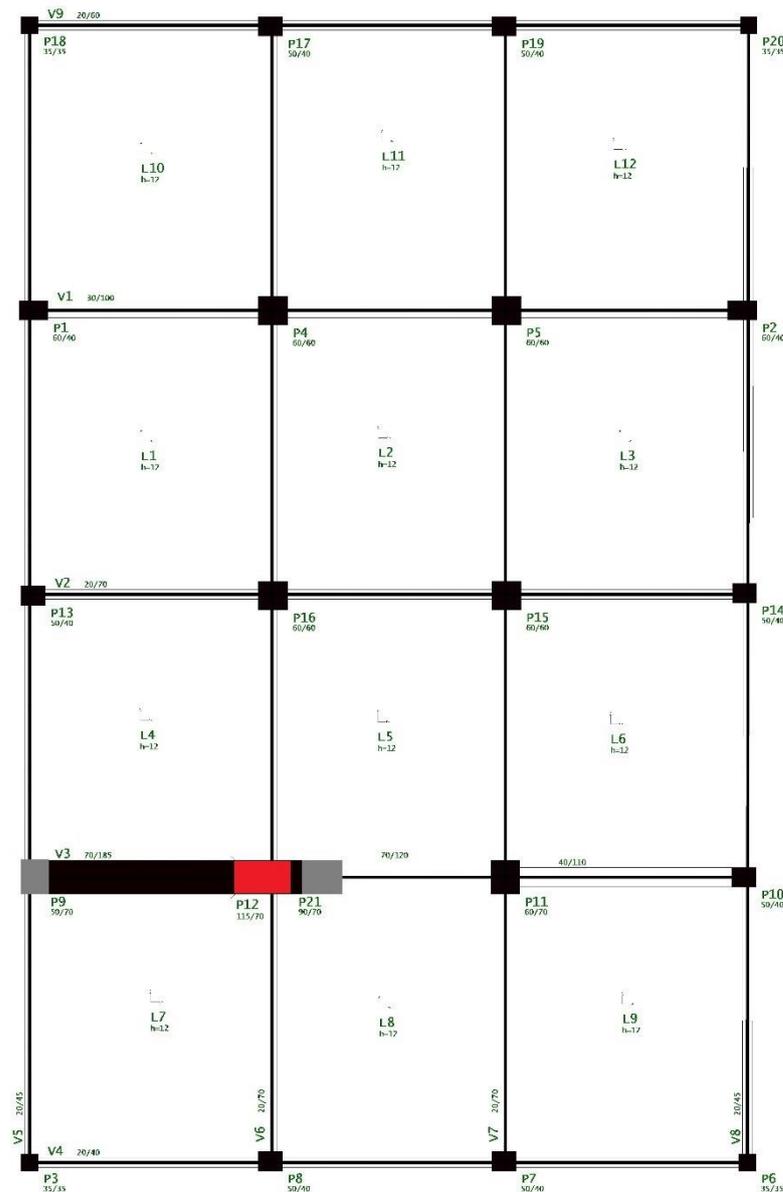
No modelo 5, novamente o deslocamento do pilar P12 passa a ser somente de 1 metro, porém esse deslocamento acontece nos pavimentos Térreo e segundo. Este modelo, apesar de ter gerado esforços na viga de transição levemente menores que nos outros modelos em que havia deslocamento em um só lance de pilar, resultou no maior acréscimo de seção para os pilares envolvidos diretamente nas cargas de transição até o momento.

As mudanças de tamanho de seção dos pilares e das vigas do terceiro pavimento são discriminadas abaixo:

- a) a viga V3 teve dimensões de seção aumentadas para 70x185cm no primeiro vão, principalmente devido aos esforços de cisalhamento que o deslocamento do pilar P12 gerou. No segundo vão o aumento foi um pouco menor, para 70x120cm. E no terceiro vão da viga, as dimensões de seção ficaram iguais a 40x110cm para atenderem aos esforços solicitantes;
- b) o pilar P12 teve suas dimensões aumentadas para 115x70cm, enquanto que o pilar P21 foi aumentado para 90x70cm, valores bem mais expressivos que os pilares P21 dos dois modelos anteriores. P9 que teve menor contribuição na absorção das cargas de P12, foi aumentado para 50x70 principalmente para que a viga V3 não se apoiasse na viga V5, já que possuía 70cm de largura;
- c) o pilar P11, pertencente ao mesmo pórtico da viga de transição, também teve que ser aumentado para 60x70cm para poder resistir às solicitações;
- d) a viga V4 teve sua altura reduzida em 20cm, ficando com 20x40cm;
- e) a viga V1 teve suas dimensões aumentadas devido a um acréscimo de solicitações, passando a ficar com uma seção de 30x100cm;
- f) as vigas V6 e V7 tiveram suas dimensões aumentadas em 10cm ambas, resultando em seções de 20x70cm, devido às solicitações maiores que foram geradas com a aplicação da transição no modelo;

- g) os pilares P1 e P2 tiveram suas dimensões aumentadas em 10cm na direção do eixo X devido a maiores cargas solicitantes, ficando ambos com seção de 60x40cm e contribuindo mais para o contraventamento em X, que é a direção crítica de estabilidade horizontal de todos os modelos testados;
- h) o pé direito deste pavimento ficou com 4,15m de altura.

Figura 19- Planta baixa das fôrmas do terceiro pavimento do modelo 5



Fonte: Própria do autor (2020)

Além das alterações de dimensões de viga no terceiro pavimento, onde está a viga de transição, modificações em todos os outros pavimentos do modelo, com exceção da cobertura, tiveram de ser efetuadas para que se pudesse dimensionar todos os elementos da estrutura aos esforços solicitantes e adequar o deslocamento horizontal dentro do limite normativo, que foi um agravante importante neste modelo. São elas:

- a) a viga V3 teve de ser aumentada nos outros três pavimentos supracitados além do terceiro pavimento, onde recebeu as cargas de transição. No quarto e quinto pavimento, ficou com seção de 30x80cm, e no segundo pavimento ficou com 20x90cm;
- b) na viga V1 aconteceu o mesmo caso que na V3, onde se modificou suas dimensões nos outros três pavimentos também. No segundo pavimento teve sua seção alterada para 20x90, e no terceiro e quarto alterou-se suas dimensões para 30x80cm, devido aos acréscimos de cargas solicitantes, e contribuindo também para reforço do pórtico na resistência aos esforços do vento, geradores dos deslocamentos horizontais;
- c) a viga V4 no segundo e no quarto pavimentos tiveram suas alturas reduzidas em 20cm e 10cm, respectivamente, devido às baixas cargas solicitantes aplicadas. Portanto, ficaram com seções iguais a 20x40cm no térreo e 20x50cm no quarto pavimento;
- d) a viga V9 só foi diminuída no segundo pavimento, devido às baixas cargas solicitantes, enquanto que do quinto até o pavimento de cobertura, ela foi aumentada em 10cm, para uma seção de 20x70cm, para que pudesse fortalecer o pórtico mais superior em Y e em planta, a fim de diminuir os deslocamentos horizontais gerados pela carga de vento;
- e) o pé direito no segundo pavimento ficou com 3,20m de altura devido ao aumento na altura da viga V3. No quarto e quinto pavimento o pé direito ficou com 3,10m de altura, também devido a aumentos na altura das vigas V3 destes pavimentos. Assim, a altura total do edifício ficou em 61,55m.

#### **5.2.4 Modelo 6**

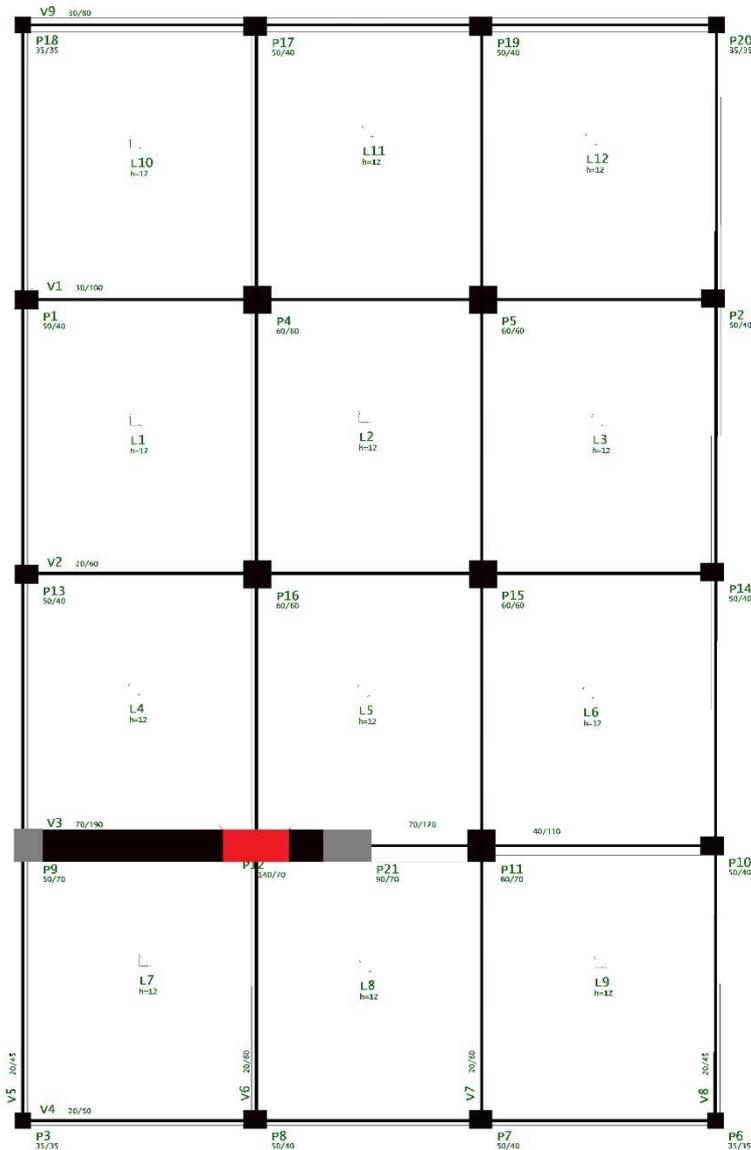
Este modelo é o último testado com deslocamento do pilar na direção do eixo X em planta. O modelo 6 é muito parecido com o modelo 5, que teve deslocamento do pilar nos pavimentos térreo e segundo, porém neste o deslocamento é de dois metros, ao invés de um metro como no modelo anteriormente visto.

De todos os modelos com deslocamento do pilar na direção do eixo X, este foi o que mais exigiu mudanças de seções dos elementos estruturais, seja por dimensionamentos locais, como foi o caso dos pilares envolvidos nas transições, que tiveram suas dimensões consideravelmente aumentadas, seja por instabilidade global, onde aumentos de seção de vigas em praticamente todos pavimentos foram necessários para que se diminuísse o deslocamento

horizontal do prédio dentro da faixa limite da norma. As mudanças de dimensões de vigas e pilares do terceiro pavimento, onde está a transição, são discriminadas abaixo:

- a) a viga V3 teve dimensões de seção aumentadas para 70x190cm no primeiro vão, principalmente devido aos esforços de cisalhamento que o deslocamento do pilar P12 gerou. No segundo vão o aumento foi um pouco menor, para 70x120cm. E no terceiro vão da viga, as dimensões de seção ficaram iguais a 40x110cm para atenderem aos esforços solicitantes;
- b) o pilar P12 teve suas dimensões aumentadas para 140x70cm, enquanto que o pilar P21 foi aumentado para 90x70cm, valores bem mais expressivos que os pilares P21 dos modelos anteriores. O pilar P9, que teve menor contribuição na absorção das cargas de P12, foi aumentado para 50x70 principalmente para que a viga V3 não se apoiasse na viga V5, já que possuía 70cm de largura;
- c) o pilar P11, pertencente ao mesmo pórtico da viga de transição, também teve que ser aumentado para 60x70cm para poder resistir às solicitações;
- d) a viga V4 teve sua altura reduzida em 10cm, ficando com 20x50cm;
- e) a viga V2 teve suas dimensões reduzidas para 20x60cm devido às baixas cargas atuantes sobre esta viga, o que pôde gerar uma pequena economia de concreto;
- f) a viga V1 teve suas dimensões aumentadas devido a um acréscimo de solicitações, passando a ficar com uma seção de 30x100cm;
- g) a viga V9 teve sua seção aumentada para 30x80cm devido ao acréscimo de cargas atuantes nesta, e também para contribuir no aumento da rigidez do pórtico contra as cargas de vento, causadoras dos deslocamentos horizontais;
- h) o pé direito deste pavimento ficou com 4,20m de altura.

Figura 20- Planta baixa das fôrmas do terceiro pavimento do modelo 6



Fonte: Própria do autor (2020)

Além das alterações de dimensões de viga no terceiro pavimento, onde está a viga de transição, modificações em todos os outros pavimentos do modelo, com exceção da cobertura, tiveram de ser efetuadas para que se pudesse dimensionar todos os elementos da estrutura aos esforços solicitantes e adequar o deslocamento horizontal dentro do limite normativo, que foi um agravante importante neste modelo. São elas:

- a) a viga V3 teve de ser aumentada nos outros três pavimentos supracitados além do terceiro pavimento, onde recebeu as cargas de transição. No segundo e quinto pavimentos, ficou com seção de 20x80cm, e no quarto pavimento ficou com seção igual a 30x80cm;

- b) na viga V1 aconteceu o mesmo caso que na V3, onde se modificou suas dimensões nos outros três pavimentos também. No segundo e quinto pavimentos ficou com seção de 20x80cm, e no quarto pavimento ficou com seção igual a 30x80cm, devido aos acréscimos de cargas solicitantes, e contribuindo também para reforço do pórtico na rigidez horizontal aos esforços do vento;
- c) a viga V4 teve sua seção diminuída em 10cm no segundo e quinto pavimentos, devido às baixas cargas solicitantes aplicadas, resultando em uma seção de 20x50cm da viga nesses três pavimentos;
- d) a viga V9 teve como principal razão para alterações nas dimensões o acréscimo de rigidez do pórtico contra o elevado deslocamento horizontal do modelo. Assim, no segundo, quarto e quinto pavimentos a altura da viga aumentou em 20cm, passando a ter seção de 20x80cm, e do sexto ao vigésimo pavimentos aumentou-se em 10cm a altura da viga, passando a ficar com seção de 20x70cm em todos estes pavimentos;
- e) o pé direito no segundo, quarto e quinto pavimentos ficou com altura igual a 3,10m devido aos acréscimos na altura de algumas vigas, que passaram a ter 80cm de altura. Assim, a altura total do edifício ficou em 61,50m.

### 5.2.5 Modelo 7

Este é o primeiro dos modelos que há deslocamento do pilar na direção do eixo Y. Neste em específico, foi realizado o deslocamento do pilar P12 em um metro na direção do eixo Y no pavimento Térreo, em um lance de pilar apenas.

Este modelo exigiu uma viga de transição bem robusta devido principalmente aos esforços de cisalhamento gerados pelo deslocamento curto. Além disso, várias vigas tiveram de ser redimensionadas em função de acréscimos de esforços locais, e também da instabilidade horizontal que os deslocamentos na direção do eixo X geraram, uma vez que o pórtico formado pelos pilares P19, P12, P11 e P10 e as vigas V3, voltado para o contraventamento no eixo X, ficou mais flexível que nos modelos cujo deslocamento do pilar era na direção do eixo X, o eixo do próprio pórtico. As mudanças de dimensões das vigas e pilares do segundo pavimento, onde se localiza a transição, são discriminadas abaixo:

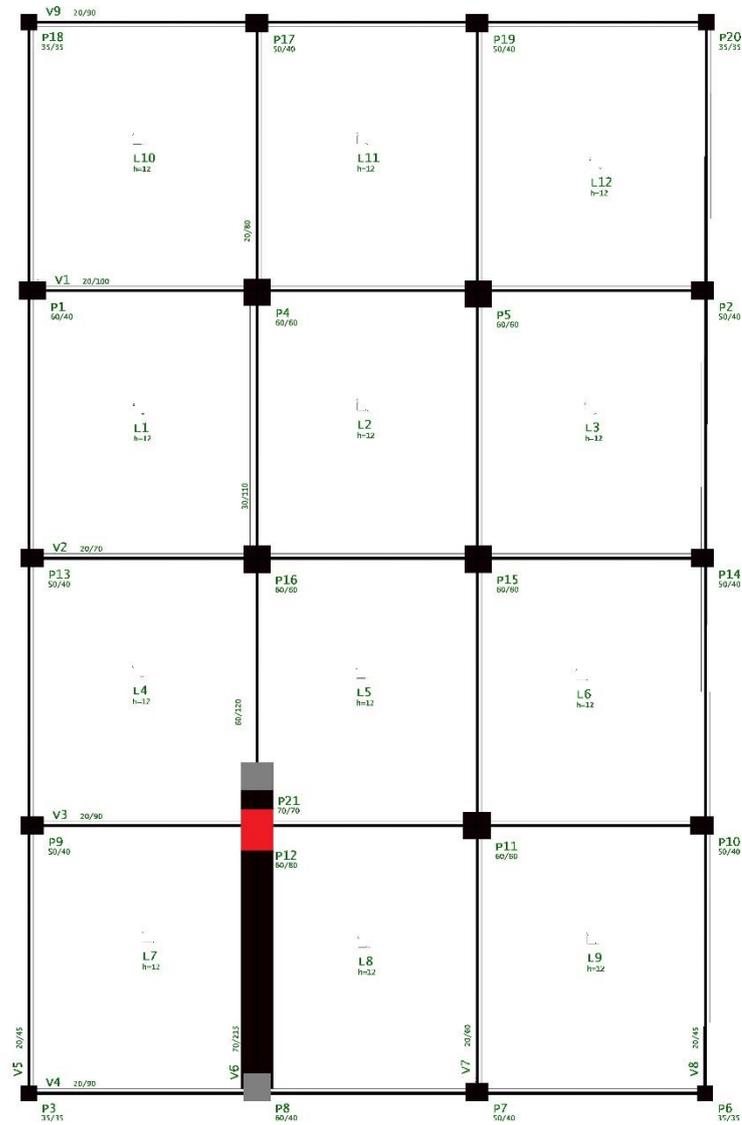
- a) a viga V6, que para os modelos com deslocamento do pilar P12 na direção do eixo Y tornou-se a viga de transição, teve as dimensões de sua seção aumentadas

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

para 70x215cm no primeiro vão, onde está a transição, por causa principalmente dos esforços de cisalhamento gerados, como dito anteriormente. No segundo vão, a viga ficou com dimensões menores, de 60x120cm, sendo mais reduzidas para o terceiro vão, cuja seção ficou igual a 30x110cm, até o último vão da viga, que pouco teve de ser acrescido e ficou com seção igual a 20x80cm. Foi a única viga na direção do eixo Y que teve de ser redimensionada neste pavimento;

- b) o pilar P12 teve suas dimensões aumentadas para 60x80cm, enquanto que o pilar P21 foi aumentado para 70x70cm. O pilar P8, que teve menor contribuição na absorção das cargas de P12, foi aumentado para 60x40cm. Somente os pilares diretamente envolvidos com as cargas de transição tiveram de ter suas dimensões alteradas neste modelo;
- c) as vigas V4 e V3 tiveram suas alturas aumentadas em 30cm, ficando ambas com 20x90cm de seção, para que pudessem resistir aos esforços solicitantes, que por estarem perto da viga de transição, foram mais acentuadas;
- d) a viga V1 teve suas dimensões aumentadas devido a um acréscimo de solicitações e para maior contribuição na estabilidade horizontal do modelo, passando a ficar com uma seção de 20x100cm;
- e) a viga V9 teve suas dimensões aumentadas para 20x90cm de seção pelas mesmas razões que a viga V1, tanto para resistir aos esforços solicitantes, quanto para contribuição na estabilidade horizontal do modelo;
- f) o pé direito deste pavimento ficou com 4,45m de altura.

Figura 21- Planta baixa das fôrmas do segundo pavimento do modelo 7



Fonte: Própria do autor (2020)

Além das alterações de dimensões de vigas no segundo pavimento, onde está a viga de transição, modificações do terceiro ao décimo primeiro pavimentos tiveram de ser efetuadas para que se pudesse dimensionar todos os elementos da estrutura aos esforços solicitantes e adequar o deslocamento horizontal dentro do limite normativo, que foi um agravante importante neste modelo. São elas:

- a) a viga V6 teve de ser aumentada em 20cm no terceiro pavimento para suportar as solicitações, ficando com seção igual a 20x80cm;

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

- b) as vigas V1 e V9 tiveram suas dimensões alteradas terceiro ao décimo primeiro pavimentos principalmente para que se pudesse resolver os problemas de instabilidade horizontal atuantes no modelo, através do aumento da rigidez dos pórticos no lado crítico aos deslocamentos horizontais. No terceiro pavimento, ambas as vigas tiveram suas seções aumentadas para 20x80cm. No quarto pavimento, V1 foi aumentada para 30x80cm, também por causa de solicitações locais, e V9 teve sua seção modificada para 20x70cm. E do quinto ao décimo primeiro pavimentos, somente V9 foi modificada para resolver o problema de elevado deslocamento horizontal, tendo a altura de sua seção aumentada em 10cm nesses pavimentos, ficando com seção de 20x70cm;
- c) o pé direito do terceiro e quarto pavimento ficou com 3,10m de altura, devido aos acréscimos necessários nas alturas de vigas nestes pavimentos. Assim, a altura total do edifício ficou igual a 61,65m.

### 5.2.6 Modelo 8

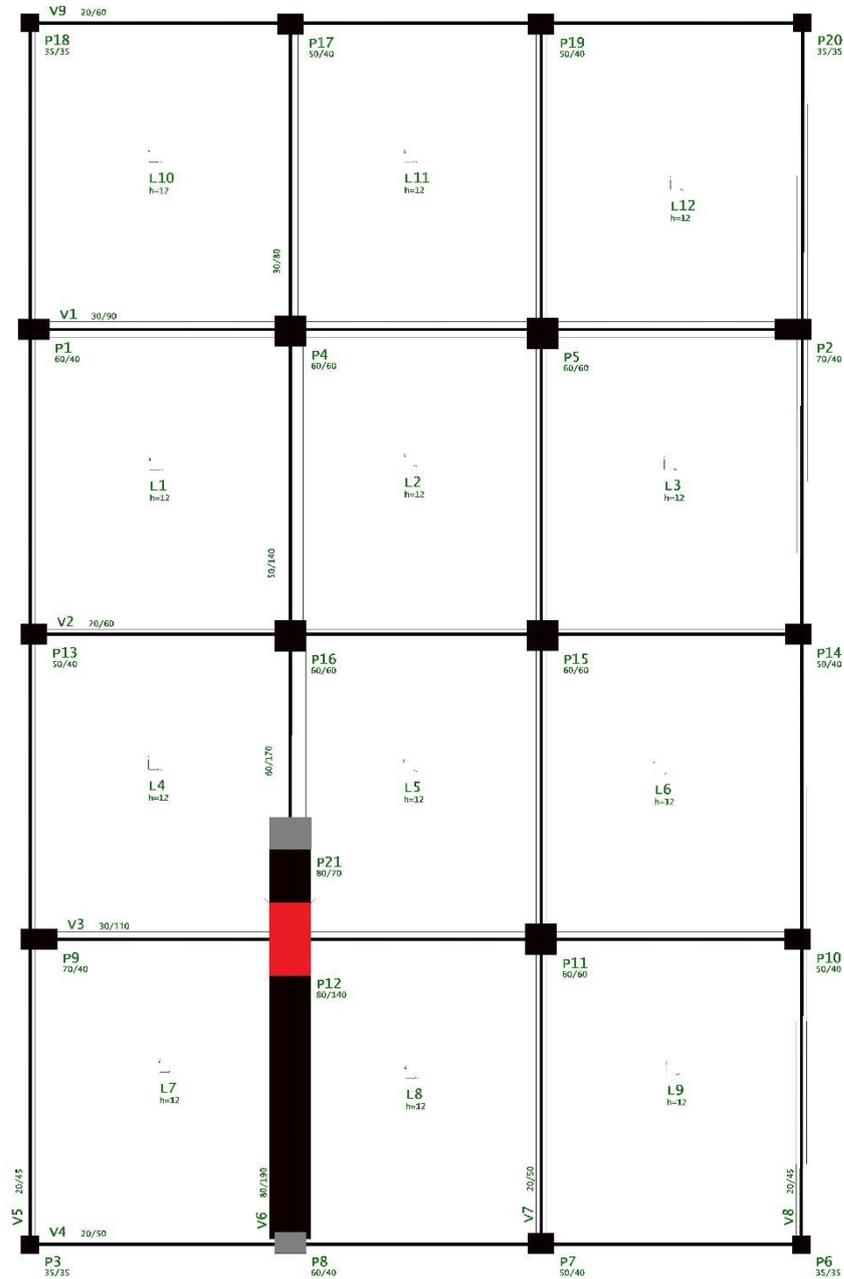
O modelo 8 deste estudo difere-se apenas do modelo anterior por haver o deslocamento de dois metros do P12 na direção do eixo Y no pavimento térreo, ao invés de apenas um metro. Neste modelo, a viga de transição pôde ter dimensões menores do que a viga de transição do modelo anterior, devido ao maior deslocamento do pilar, o que gerou esforço de cisalhamento menor devido a menor proximidade entre a carga de transição e os pilares próximos. Por outro lado, os pilares envolvidos na transição tiveram dimensões consideravelmente maiores, para que pudessem resistir às cargas solicitantes. As mudanças de dimensões no segundo pavimento, onde está a viga de transição, estão discriminadas abaixo:

- a) a viga V6 teve as dimensões de sua seção aumentadas para 80x190cm no primeiro vão, dimensões menores que no modelo 7 devido a uma menor solicitação de cisalhamento, embora a flexão seja maior. No segundo vão, a viga ficou com dimensões menores, de 60x170cm, sendo mais reduzidas para o terceiro vão, cuja seção ficou igual a 50x140cm, até o último vão da viga, que pouco teve de ser acrescido e ficou com seção igual a 30x80cm;
- b) a viga V7 teve sua altura reduzida em 10cm, ficando com seção igual a 20x50cm, devido às baixas solicitações;
- c) o pilar P12 teve suas dimensões consideravelmente aumentadas para 80x140cm, para que pudesse resistir às solicitações, enquanto que o pilar P21 foi aumentado

para 80x70cm. O pilar P8, que teve menor contribuição na absorção das cargas de P12, foi aumentado para 60x40cm;

- d) os pilares P9, P2 e P1 tiveram suas seções aumentadas para que pudessem resistir às novas solicitações geradas pelo deslocamento do pilar P12. Os pilares P9 e P2 ficaram ambos com seção igual a 70x40cm, enquanto que o pilar P1 teve sua seção aumentada para 60x40cm. As seções dos pilares foram todas aumentadas na direção do eixo X, para que tivessem maior contribuição no aumento da rigidez dos pórticos contra as cargas horizontais de vento;
- e) a viga V4, devido aos baixos esforços solicitantes atuantes, teve sua altura reduzida em 10cm, resultando em uma seção de 20x50;
- f) a viga V3, que se apoia na viga de transição e teve um aumento considerável nas solicitações atuantes, teve sua seção aumentada para 30x110cm;
- g) a viga V1 teve suas dimensões aumentadas devido a um acréscimo de solicitações e para maior contribuição na estabilidade horizontal do modelo, passando a ficar com uma seção de 30x90cm;
- h) a viga V2 teve sua altura reduzida em 10cm, passando a ficar com seção de 20x60cm, a fim de economizar concreto devido às baixas cargas aplicadas nesta viga;
- i) o pé direito deste pavimento ficou com 4,20m de altura.

Figura 22- Planta baixa das fôrmas do segundo pavimento do modelo 8



Fonte: Própria do autor (2020)

Além das alterações de dimensões de viga no segundo pavimento, onde está a viga de transição, modificações no terceiro e quarto pavimento tiveram que ser efetuadas para que se pudesse adequar as vigas às cargas locais aplicadas. Abaixo estão as mudanças:

- a) a viga V6 teve de ser aumentada no terceiro e quartos pavimentos para que pudesse resistir às solicitações locais. No terceiro pavimento, sua seção ficou igual a 30x90cm, e no quarto, mais distante da transição, a seção ficou igual a 30x80cm;
- b) a viga V1, da mesma forma que a viga V9, teve suas dimensões de seção aumentadas nos dois pavimentos acima da transição, para que pudesse resistir às solicitações. No terceiro pavimento, com uma seção equivalente a 20x90cm, e no quarto pavimento, 30x80cm;
- c) a viga V3 completa o trio de vigas que teve de ser redimensionada nos dois pavimentos acima do segundo para resistir às novas solicitações locais aplicadas. No terceiro, sua seção foi aumentada para 30x90cm, e no quarto de maneira menos significativa, para uma seção de 30x80cm;
- d) o pé direito no terceiro pavimento foi aumentado para 3,20m de altura, e no quarto pavimento o aumento foi de 10cm, ficando com 3,10m de altura. Assim, a altura total do edifício ficou igual a 61,50m.

Como neste modelo alguns pilares tiveram de ter suas seções aumentadas para dimensionamento às cargas locais, as vigas dos pórticos que normalmente eram reforçadas para resistir aos deslocamentos horizontais, acabaram por não terem suas seções aumentadas em função do aumento da seção dos pilares, que cumpriram o papel de reforço dos pórticos com deslocamento horizontal crítico.

### **5.2.7 Modelo 9**

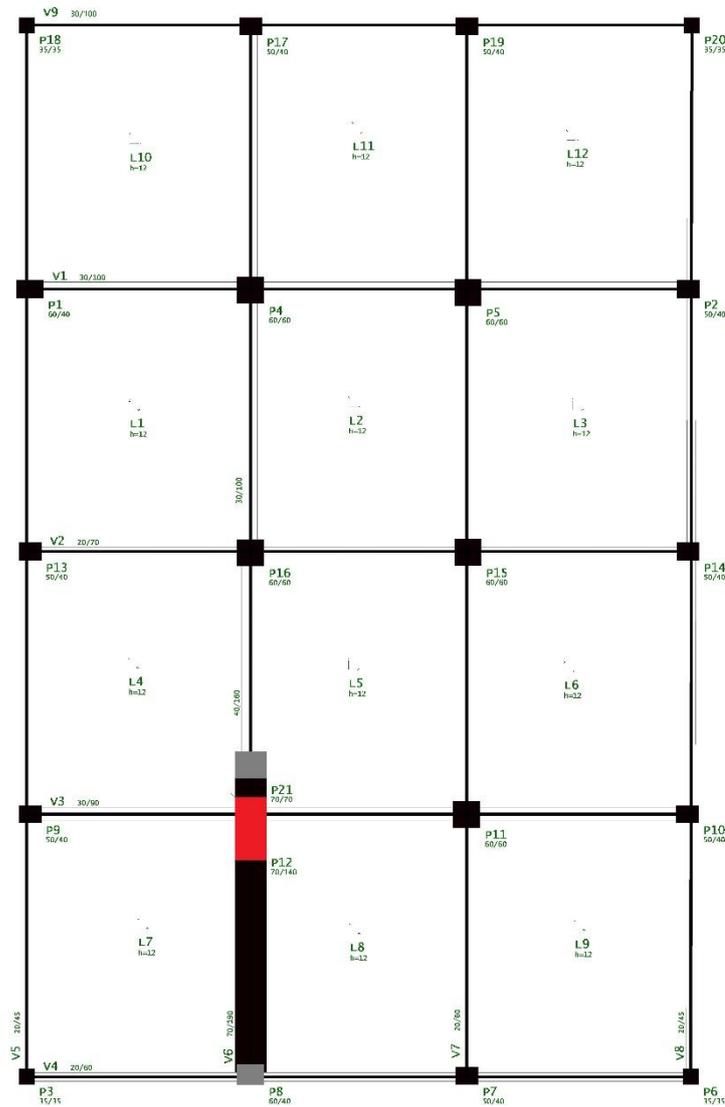
O modelo 9 tem a viga de transição no terceiro pavimento do edifício, com o pilar P12 sendo deslocado um metro na direção do eixo Y nos tramos correspondente aos pavimentos térreo e segundo. Este modelo, assim como o modelo 8, conta com um pilar P12 bem robusto, cujas dimensões tiveram de ser consideravelmente aumentadas para que se pudesse haver o dimensionamento aos esforços locais. Além disso, vigas tiveram de ser redimensionadas até o décimo primeiro pavimento do modelo, para que se pudesse resolver o problema de deslocamentos horizontais, fator determinante para a modelagem. As mudanças nas dimensões de vigas e pilares realizadas no terceiro pavimento do modelo estão discriminadas abaixo:

- a) a viga V6 teve as dimensões de sua seção aumentadas para 70x190cm no primeiro vão. No segundo vão, a viga ficou com dimensões menores, de

40x160cm, sendo mais reduzidas para o terceiro vão, cuja seção ficou igual a 30x100cm e permaneceu até o último vão da viga;

- b) o pilar P12 teve suas dimensões consideravelmente aumentadas para 70x140cm, para que pudesse resistir às solicitações, enquanto que o pilar P21 foi aumentado para 70x70cm. O pilar P8, que teve menor contribuição na absorção das cargas de P12, foi aumentado para 60x40cm;
- c) além dos pilares que contribuíram diretamente para absorver as cargas de transição geradas, somente o pilar P1 teve suas dimensões alteradas, ficando com uma nova seção de 60x40cm, para que pudesse resistir às solicitações de carga aplicadas;
- d) a viga V3, que se apoia na viga de transição, teve sua seção aumentada para 30x90cm, a fim de resistir às solicitações;
- e) a viga V1 teve suas dimensões aumentadas devido a um acréscimo de solicitações e para maior contribuição na estabilidade horizontal do modelo, passando a ficar com uma seção de 30x100cm;
- f) a viga V9 teve sua seção transversal consideravelmente aumentada para que pudesse, além de ser dimensionada às solicitações locais, contribuir no aumento de rigidez da estrutura de pórtico às cargas de vento horizontais. Sua nova seção ficou igual a 30x100cm;
- g) o pé direito deste pavimento ficou com altura de 4,20m.

Figura 23- Planta baixa das fôrmas do terceiro pavimento do modelo 9



Fonte: Própria do autor (2020)

Além das alterações de dimensões de viga no terceiro pavimento, onde está a viga de transição, modificações do segundo ao décimo primeiro pavimento tiveram de ser efetuadas para que se pudessem dimensionar todos os elementos da estrutura aos esforços solicitantes e adequar o deslocamento horizontal dentro do limite normativo, que foi um agravante importante neste modelo. São elas:

- a) a viga V6 teve de ser aumentada em 10cm no segundo pavimento para suportar as cargas locais aplicadas, ficando com seção igual a 20x70cm;
  - b) a viga V1 sofreu com problemas de aumento de solicitações nos pavimentos próximos ao pavimento da viga de transição, tendo que ser alterada para uma
- Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

seção de 30x80cm no segundo pavimento, e com seção igual a 20x80cm no quarto pavimento, a fim de resistir às solicitações;

- c) a viga V3 no quarto pavimento teve que ter sua seção transversal aumentada 10cm em ambas as suas dimensões, para que pudesse ser dimensionada adequadamente às solicitações. Sua nova seção ficou igual a 30x80cm;
- d) a viga V4 foi aumentada em 10cm no segundo pavimento para resistir às solicitações locais, ficando com uma nova seção de 20x70cm;
- e) a viga V9 foi a viga mais utilizada pra que se pudesse resolver o problema de instabilidade global gerado devido ao alto deslocamento horizontal do modelo. Portanto, sua altura foi aumentada em 10cm no segundo e do quarto ao décimo primeiro pavimento, ficando com seção igual a 20x70cm, e reduzindo os valores de deslocamento horizontal do prédio para dentro dos limites normativos;
- f) a viga V5 teve suas dimensões aumentadas no quarto pavimento, devido a um erro no TQS onde há a distribuição incorreta da carga de vento em todos os nós da estrutura, gerando um esforço de tração nas vigas do modelo inexistentes na estrutura real. Nesta viga e neste pavimento específico, o esforço de tração foi superior aos outros esforços aplicados na viga, e necessitou que se aumentasse a seção para 30x80cm, a fim de que o TQS dimensionasse a viga e contabilizasse as quantidades de concreto e aço em sua tabela de quantitativos. Porém, posteriormente aos dimensionamentos do modelo, foi estimado o quanto de aço e concreto a mais foram gerados por este esforço de tração virtual, para que se retirasse dos custos dos modelos afetados, de modo que os custos gerados somente pela adição da viga de transição não fossem comprometidos;
- g) o pé direito no segundo e quarto pavimento ficou igual a 3,10m, devido ao aumento na altura de vigas em ambos os pavimentos. Assim, a altura total do edifício ficou igual a 61,40m.

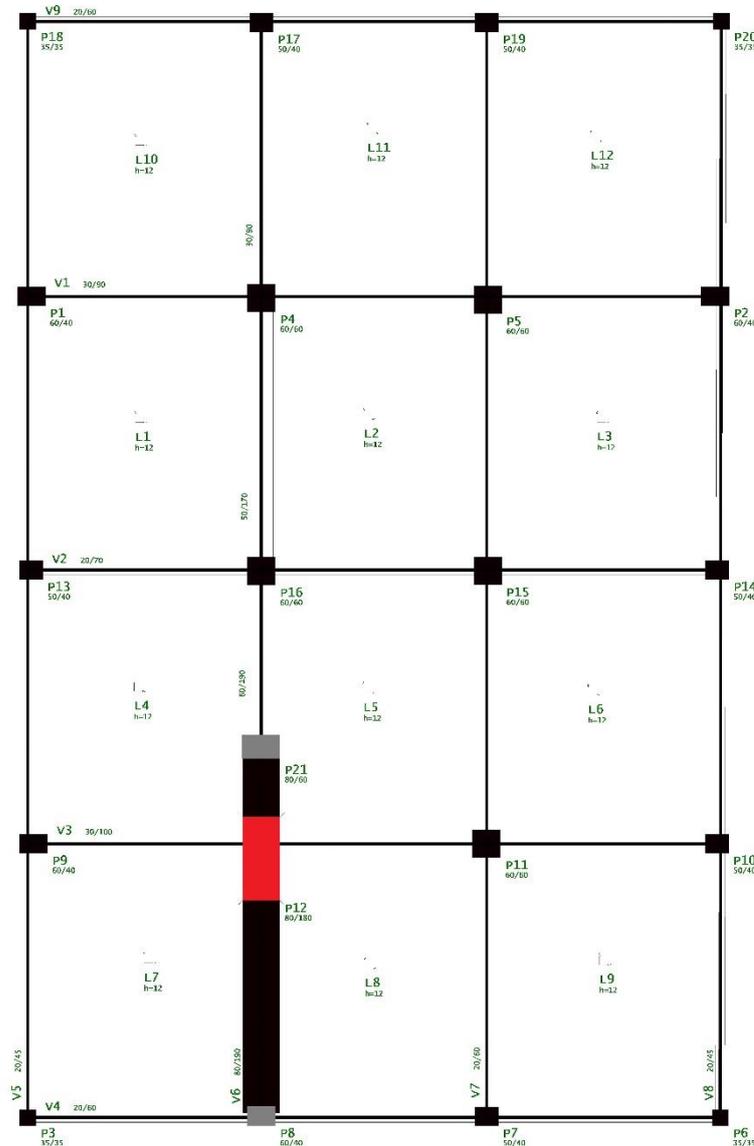
### 5.2.8 Modelo 10

O modelo 10 é o último modelo a ser testado com viga de transição. Diferindo apenas do modelo 9 no valor de deslocamento do pilar, que no anterior havia sido de um metro na direção do eixo Y, e neste modelo foi de dois metros na direção do eixo Y, nos tramos dos pavimentos térreo e segundo. Este modelo teve muita influência da carga de vento no redimensionamento das seções, já que várias vigas tiveram de ser reforçadas para que os valores

de deslocamentos horizontais ficassem dentro dos limites normativos. As mudanças de dimensões de vigas e pilares no terceiro pavimento, onde está a viga de transição, estão discriminadas abaixo:

- a) a viga V6 teve as dimensões de sua seção aumentadas para 80x190cm no primeiro vão. No segundo vão, a viga ficou com dimensões praticamente iguais, de 60x190cm, sendo mais reduzidas para o terceiro vão, cuja seção ficou igual a 50x170cm e no último vão, seção igual a 30x90cm, uma vez que as solicitações reduziram consideravelmente;
- b) o pilar P12 teve suas dimensões consideravelmente aumentadas para 80x180cm, para que pudesse resistir às solicitações, enquanto que o pilar P21 foi aumentado para 80x60cm. O pilar P8, que teve menor contribuição na absorção das cargas de P12, foi aumentado para 60x40cm;
- c) além dos pilares que contribuíram diretamente para absorver as cargas de transição geradas, os pilares P9, P1 e P2 tiveram suas dimensões alteradas, ficando todos com seção igual à 60x40cm para que pudessem resistir às solicitações de carga aplicadas;
- d) a viga V3, que se apoia na viga de transição, teve sua seção aumentada para 30x100cm, a fim de resistir às solicitações;
- e) a viga V1 teve suas dimensões aumentadas devido a um acréscimo de solicitações e para maior contribuição na estabilidade horizontal do modelo, passando a ficar com uma seção de 30x90cm;
- f) o pé direito deste pavimento ficou com altura igual a 4,20m.

Figura 24- Planta baixa das fôrmas do terceiro pavimento do modelo 10



Fonte: Própria do autor (2020)

Além das alterações de dimensões de viga no terceiro pavimento, onde está a viga de transição, modificações em todos os pavimentos, com exceção do pavimento da cobertura, tiveram de ser efetuadas para que se pudesse dimensionar todos os elementos da estrutura aos esforços solicitantes e adequar o deslocamento horizontal dentro do limite normativo, que foi um agravante importante neste modelo. São elas:

- a) a viga V6 teve de ser aumentada em 10cm no segundo pavimento para suportar os esforços locais aplicados, ficando com seção igual a 20x70cm;
  - b) a viga V1 sofreu com problemas de aumento de solicitações nos pavimentos próximos ao pavimento da viga de transição, tendo que ser alterada para uma
- João Caetano Casotti. Porto Alegre: Curso de Engenharia Civil/EE/UFRGS, 2020

seção de 30x80cm no segundo pavimento, e com seção igual a 40x90cm no quarto pavimento, a fim de resistir às solicitações;

- c) a viga V3 no quarto pavimento teve que ser aumentada 20cm em sua altura, para que pudesse ser dimensionada adequadamente às solicitações. Sua nova seção ficou igual a 20x90cm;
- d) a viga V9 foi a viga mais utilizada pra que se pudesse resolver o problema de instabilidade global gerado devido ao alto deslocamento horizontal do modelo. Portanto, sua altura foi aumentada em 10cm do quarto ao vigésimo pavimento, ficando com seção igual a 20x70cm, e reduzindo os valores de deslocamento horizontal do prédio para dentro dos limites normativos;
- e) as vigas V5 e V6 tiveram suas dimensões aumentadas no quarto pavimento, devido a um erro no TQS onde há a distribuição incorreta da carga de vento em todos os nós da estrutura, gerando um esforço virtual de tração nas vigas do modelo. Nestas vigas e neste pavimento em específico, o esforço de tração foi superior aos outros esforços aplicados na viga, e necessitou que se aumentasse a seção para 30x80cm em ambas as vigas, a fim de que o TQS as dimensionasse e contabilizasse as quantidades de concreto e aço em sua tabela de quantitativos. Porém, posteriormente aos dimensionamentos do modelo, foi-se estimado o quanto de aço e concreto a mais foram gerados por este esforço de tração virtual, para que se retirasse dos custos dos modelos afetados, de modo que os custos gerados somente pela adição da viga de transição não ficassem comprometidos;
- f) o pé direito do segundo pavimento ficou com altura igual a 3,10m, enquanto que no quarto pavimento o acréscimo foi maior, ficando com altura igual a 3,20m, devido aos acréscimos nas alturas de vigas em ambos pavimentos. Assim, a altura total do edifício ficou igual a 61,50m.

## 6 ANÁLISE DOS CENÁRIOS

### 6.1 RESULTADOS OBTIDOS NOS MODELOS

No capítulo anterior, foram mostradas as modificações nas dimensões dos elementos estruturais de cada modelo decorrentes da transição, para que fosse possível realizar o dimensionamento e detalhamento de toda a estrutura de cada um dos dez modelos, e geradas as quantidades de concreto e aço necessários para a estrutura. Além disso, algumas conclusões puderam ser tiradas a respeito de cada modelo dimensionado.

No que tange à estabilidade global, nos modelos que tiveram o pilar P12 totalmente removido da estrutura, somente o modelo 1, cuja remoção do pilar se deu somente em um lance, no pavimento térreo, foi necessário reforço dos elementos para adequar a estrutura aos esforços horizontais. No modelo 2 não aconteceu o mesmo, muito provavelmente pelo fato de que o pé direito no pavimento da transição foi determinado pelo trecho final da viga V3 de transição, com altura de 140cm, que era o único trecho da viga de transição que possuía laje no pavimento imediatamente abaixo, já que nos dois trechos iniciais da viga foram removidas as lajes para que se fizesse um pé direito duplo. Assim, o pé direito do pavimento de transição ficou com 3,70m de altura, o menor de todos os modelos, acabando por favorecer toda a estrutura em relação à estabilidade global.

Nos modelos com deslocamento do pilar na direção do eixo X em planta, os modelos afetados pela instabilidade horizontal foram aqueles que o pilar P12 foi deslocado em dois pavimentos, nos tramos correspondentes aos pavimentos Térreo e segundo. Nestes, alguns elementos estruturais tiveram suas dimensões alteradas com o único propósito de fornecer maior rigidez perante às cargas de vento horizontais. Já nos modelos em que foi deslocado o pilar P12 na direção do eixo Y, houve mais problemas em relação ao deslocamento horizontal do edifício, especialmente pela maior desconfiguração do pórtico formado pela viga V3, que resiste às cargas de vento aplicadas na direção X em planta, que é a direção crítica de todos os modelos em relação a estabilidade horizontal da estrutura.

No final do capítulo, será mostrada uma tabela contendo os custos adicionais de material e mão de obra gerados pela existência de transição em cada modelo, e os principais motivos que causaram os custos adicionais.

## 6.2 ORÇAMENTOS

Para que se possa avaliar o impacto de uma transição no custo total da estrutura de um edifício, com o acréscimo de material e mão de obra necessários para tornar possível o dimensionamento frente aos novos esforços solicitantes, foi realizado o orçamento do modelo padrão, sem viga de transição, e em seguida orçado o valor da estrutura de todos os demais modelos, para que se pudesse fazer a comparação com o modelo padrão. No orçamento, foram contabilizados os seguintes itens:

- a) concreto das três classes utilizadas: 25Mpa, 40Mpa e 50Mpa;
- b) aço para todas as bitolas utilizadas: valores comerciais de 5mm à 25mm;
- c) fôrmas de madeira;
- d) mão de obra para todos os serviços relativos ao concreto, aço e fôrmas.

Os custos unitários foram empregados tendo com base no trabalho de Matias (2019), que usou valores do TCPO e consultas às usinas de concreto da cidade de Porto Alegre, cidade em que também foi escolhida para o lançamento deste estudo teórico.

As quantidades foram retiradas diretamente das tabelas de quantitativos geradas pelo próprio TQS, uma vez que a estrutura está corretamente processada, sem nenhum erro que impeça a contabilização de algum elemento estrutural não dimensionado. Os detalhamentos utilizados como base para os quantitativos foram os fornecidos diretamente pelo TQS, através de seus algoritmos padrões, sem nenhuma customização, de forma a permitir a comparação dos custos nos diversos modelos pela uniformidade de critérios.

### 6.2.1 Modelo padrão

O modelo padrão de análise foi o primeiro modelo a se orçar os valores de material e mão de obra de toda a estrutura. O valor encontrado para a estrutura, de aproximadamente 2,5 milhões de reais, não condiz necessariamente com a realidade de um valor de estrutura aplicado na prática, uma vez que neste trabalho não se desenvolveu o detalhamento dos elementos estruturais do edifício, deixando para que o software TQS fizesse todos os desenhos das armaduras de acordo com seus próprios critérios, que apesar de seguirem a NBR 6118:2014, exigem revisão para que possam ser considerados um projeto executivo.

Entretanto, apesar da não exatidão nos valores quantitativos para fins de aplicação prática, esses valores gerados pelos quantitativos do software fornecem uma base comparativa

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

para se analisar os custos acrescidos nos modelos com transição, para que se possa estabelecer um percentual de custo extra nos valores de material e mão de obra, conforme será mostrado nas próximas seções. Como não houve interferência no detalhamento gerado pelo TQS em cada modelo, os detalhamentos seguiram o mesmo algoritmo, e a comparação entre os modelos é válida e representativa de estruturas reais. Este valor percentual de custo extra estará abaixo de cada orçamento realizado para cada modelo, para facilitar a comparação do modelo de transição em comparação ao modelo padrão de análise.

Tabela 20- Planilha de orçamento do modelo padrão do estudo

<b>Edifício Padrão</b>			
<b>Concreto + Taxa de bombeamento</b>			
fck (Mpa)	Quantidade (m <sup>3</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
25	699,5	R\$ 316,67	R\$ 221.510,67
40	564,3	R\$ 370,00	R\$ 208.791,00
50	141	R\$ 417,33	R\$ 58.843,53
<b>Subtotal</b>			R\$ 489.145,20
<b>Formas</b>			
Estrutura	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo (R\$)
Pilar	2280	R\$ 28,77	R\$ 65.595,60
Viga	3558	R\$ 24,14	R\$ 85.890,12
Laje	6458,9	R\$ 20,11	R\$ 129.888,48
<b>Subtotal</b>			R\$ 281.374,20
<b>Mão de Obra - Concreto + formas</b>			
Quantidade (m <sup>3</sup> )		Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
1404,8		R\$ 575,00	R\$ 807.760,00
<b>Aço CA-50 (material + mão de obra)</b>			
Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	4823,8	R\$ 6,80	R\$ 32.801,84
6,3	52050	R\$ 6,60	R\$ 343.530,00
8	7593,4	R\$ 6,60	R\$ 50.116,44
10	1724	R\$ 6,47	R\$ 11.154,28
12,5	13905,4	R\$ 6,26	R\$ 87.047,80
16	12752,3	R\$ 6,26	R\$ 79.829,40
20	21039,7	R\$ 6,26	R\$ 131.708,52
25	26933,9	R\$ 6,26	R\$ 168.606,21
<b>Subtotal</b>			R\$ 904.794,50
<b>Total</b>			R\$ 2.483.073,89

Fonte: Própria do autor (2020)

### 6.2.2 Modelo 1

No modelo 1, onde removeu-se o pilar P12 em um lance de pavimento do modelo, os custos extras gerados pela estrutura de transição ficaram com valores perto dos 4%, devendo-se principalmente ao reforço da viga de transição para resistir às solicitações, e ao reforço das vigas V1 e V9 para maior rigidez dos pórticos para resistir às cargas horizontais de vento. A tabela 21 contém todas as quantidades necessárias de materiais e os custos discriminados.

Tabela 21- Planilha de orçamento do modelo 1 do estudo

<b>Modelo 1</b>			
<b>Concreto + Taxa de bombeamento</b>			
fck (Mpa)	Quantidade (m <sup>3</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
25	708,8	R\$ 316,67	R\$ 224.455,70
40	574,2	R\$ 370,00	R\$ 212.454,00
50	163,1	R\$ 417,33	R\$ 68.066,52
<b>Subtotal</b>			R\$ 504.976,22
<b>Formas</b>			
Estrutura	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo (R\$)
Pilar	2407,9	R\$ 28,77	R\$ 69.275,28
Viga	3608,3	R\$ 24,14	R\$ 87.104,36
Laje	6446,2	R\$ 20,11	R\$ 129.633,08
<b>Subtotal</b>			R\$ 286.012,73
<b>Mão de Obra - Concreto + formas</b>			
Quantidade (m <sup>3</sup> )		Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
1446,1		R\$ 575,00	R\$ 831.507,50
<b>Aço CA-50 (material + mão de obra)</b>			
Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	4585,3	R\$ 6,80	R\$ 31.180,04
6,3	51581,5	R\$ 6,60	R\$ 340.437,90
8	9132,6	R\$ 6,60	R\$ 60.275,16
10	1937,7	R\$ 6,47	R\$ 12.536,92
12,5	14774,8	R\$ 6,26	R\$ 92.490,25
16	13589,5	R\$ 6,26	R\$ 85.070,27
20	26517	R\$ 6,26	R\$ 165.996,42
25	27344,6	R\$ 6,26	R\$ 171.177,20
<b>Subtotal</b>			R\$ 959.164,15
<b>Total</b>			R\$ 2.581.660,60
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			3,97%

Fonte: Própria do autor (2020)

### 6.2.3 Modelo 2

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Neste modelo, que teve o pilar P12 removido abaixo do segundo pavimento, em dois lances de pavimento do edifício, existe a peculiaridade de não haver vigas nem lajes na região do segundo pavimento abaixo da viga de transição, gerando um espaço com vão duplo e pé-direito duplo.

Tabela 22- Planilha de orçamento do modelo 2 do estudo

<b>Modelo 2</b>			
<b>Concreto + Taxa de bombeamento</b>			
fck (Mpa)	Quantidade (m <sup>3</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
25	712,6	R\$ 316,67	R\$ 225.659,04
40	577,3	R\$ 370,00	R\$ 213.601,00
50	140,1	R\$ 417,33	R\$ 58.467,93
<b>Subtotal</b>			R\$ 497.727,98
<b>Formas</b>			
Estrutura	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo (R\$)
Pilar	2406,1	R\$ 28,77	R\$ 69.223,50
Viga	3542,1	R\$ 24,14	R\$ 85.506,29
Laje	6338,1	R\$ 20,11	R\$ 127.459,19
<b>Subtotal</b>			R\$ 282.188,98
<b>Mão de Obra - Concreto + formas</b>			
Quantidade (m <sup>3</sup> )		Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
1430		R\$ 575,00	R\$ 822.250,00
<b>Aço CA-50 (material + mão de obra)</b>			
Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	4607,7	R\$ 6,80	R\$ 31.332,36
6,3	50750,4	R\$ 6,60	R\$ 334.952,64
8	9184,4	R\$ 6,60	R\$ 60.617,04
10	2143,4	R\$ 6,47	R\$ 13.867,80
12,5	16203,9	R\$ 6,26	R\$ 101.436,41
16	13658,7	R\$ 6,26	R\$ 85.503,46
20	23049,2	R\$ 6,26	R\$ 144.287,99
25	29361,7	R\$ 6,26	R\$ 183.804,24
<b>Subtotal</b>			R\$ 955.801,95
<b>Total</b>			R\$ 2.557.968,91
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			3,02%

Fonte: Própria do autor (2020)

É importante considerar que, pela própria natureza da transição proposta, a área total construída é menor que a do modelo de comparação, pois não existem vigas e lajes no segundo pavimento na região afetada pela viga de transição. Isso impacta o acréscimo de custos da estrutura.

No entanto, é preciso considerar que a área comercializável do modelo 2 é menor que a do modelo padrão, embora mais qualificada, e esses custos, que transcendem aos custos da estrutura, precisam ser levados em conta em uma avaliação total de custo / benefício deste modelo.

Aplicando uma relação linear com os valores de área construída do modelo padrão, que corresponde a 7200m<sup>2</sup>, e do modelo 2, que é igual a 7080m<sup>2</sup>, foi possível reajustar o valor total do modelo 2, sem levar em conta o desconto de material gerado pela remoção das vigas e lajes do pavimento térreo, fazendo valer o custo total abaixo.

Tabela 23- Custo total do modelo 2 com valores corrigidos pela proporção da área construída

<b>Custo total corrigido</b>	R\$ 2.601.324,31
Impacto da viga de transição no custo total da obra:	4,76%

Fonte: Própria do autor (2020)

#### 6.2.4 Modelo 3

O terceiro modelo é o primeiro dos oito modelos que conta com o deslocamento ou desaprumo de um ou mais lances do pilar ao invés da remoção. E neste primeiro caso, em que o desaprumo do pilar é de um metro na direção X no pavimento Térreo, os custos extras gerados pela estrutura de transição foram inferiores aos dois modelos em que se removeu o pilar P12 (considerando ajuste de custos decorrente da diferença de área construída do modelo 2), conforme exposto na tabela abaixo.

Tabela 24- Planilha de orçamento do modelo 3 do estudo

<b>Modelo 3</b>			
<b>Concreto + Taxa de bombeamento</b>			
fck (Mpa)	Quantidade (m <sup>3</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
25	716,3	R\$ 316,67	R\$ 226.830,72
40	580,2	R\$ 370,00	R\$ 214.674,00
50	165,2	R\$ 417,33	R\$ 68.942,92
<b>Subtotal</b>			R\$ 510.447,64
<b>Formas</b>			
Estrutura	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo (R\$)
Pilar	2475,7	R\$ 28,77	R\$ 71.225,89
Viga	3579,9	R\$ 24,14	R\$ 86.418,79
Laje	6440,1	R\$ 20,11	R\$ 129.510,41
<b>Subtotal</b>			R\$ 287.155,09
<b>Mão de Obra - Concreto + formas</b>			
Quantidade (m <sup>3</sup> )		Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
1461,7		R\$ 575,00	R\$ 840.477,50
<b>Aço CA-50 (material + mão de obra)</b>			
Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	5083,3	R\$ 6,80	R\$ 34.566,44
6,3	52741,7	R\$ 6,60	R\$ 348.095,22
8	7726	R\$ 6,60	R\$ 50.991,60
10	2556,1	R\$ 6,47	R\$ 16.537,97
12,5	18586,5	R\$ 6,26	R\$ 116.351,49
16	12844,5	R\$ 6,26	R\$ 80.406,57
20	23051,6	R\$ 6,26	R\$ 144.303,02
25	23109,9	R\$ 6,26	R\$ 144.667,97
<b>Subtotal</b>			R\$ 935.920,28
<b>Total</b>			R\$ 2.574.000,50
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			3,66%

Fonte: Própria do autor (2020)

### 6.2.5 Modelo 4

O quarto modelo, onde há o desaprumo do pilar P12 em dois metros na direção do eixo X no pavimento Térreo, foi o que resultou num menor custo adicional de estrutura em relação a todos os outros modelos. Apesar de haver uma viga robusta com 210cm de altura, as dimensões dos pilares envolvidos nas cargas de transição foram pouco aumentadas, além de não terem ocorridos problemas em relação à instabilidade horizontal do modelo. Assim, o percentual de acréscimo ficou próximo a 2,5% e está discriminado abaixo.

Tabela 25- Planilha de orçamento do modelo 4 do estudo

<b>Modelo 4</b>			
<b>Concreto + Taxa de bombeamento</b>			
fck (Mpa)	Quantidade (m <sup>3</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
25	708,7	R\$ 316,67	R\$ 224.424,03
40	573	R\$ 370,00	R\$ 212.010,00
50	151,5	R\$ 417,33	R\$ 63.225,50
<b>Subtotal</b>			R\$ 499.659,52
<b>Formas</b>			
Estrutura	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo (R\$)
Pilar	2357,4	R\$ 28,77	R\$ 67.822,40
Viga	3560,3	R\$ 24,14	R\$ 85.945,64
Laje	6447,9	R\$ 20,11	R\$ 129.667,27
<b>Subtotal</b>			R\$ 283.435,31
<b>Mão de Obra - Concreto + formas</b>			
Quantidade (m <sup>3</sup> )		Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
1433,2		R\$ 575,00	R\$ 824.090,00
<b>Aço CA-50 (material + mão de obra)</b>			
Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	5090,8	R\$ 6,80	R\$ 34.617,44
6,3	51849	R\$ 6,60	R\$ 342.203,40
8	7859	R\$ 6,60	R\$ 51.869,40
10	1913,3	R\$ 6,47	R\$ 12.379,05
12,5	17275,3	R\$ 6,26	R\$ 108.143,38
16	13018,3	R\$ 6,26	R\$ 81.494,56
20	21416,6	R\$ 6,26	R\$ 134.067,92
25	27688,1	R\$ 6,26	R\$ 173.327,51
<b>Subtotal</b>			R\$ 938.102,65
<b>Total</b>			R\$ 2.545.287,48
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			2,51%

Fonte: Própria do autor (2020)

### 6.2.6 Modelo 5

No modelo 5, em que há o desaprumo do pilar em 1 metro na direção do eixo X em dois pavimentos, Térreo e segundo, ocorreu um custo extra maior que nos outros modelos anteriores em que havia deslocamento do pilar P12, chegando quase em 4,5% de acréscimo no valor total da estrutura do edifício, conforme orçado em tabela.

Tabela 26- Planilha de orçamento do modelo 5 do estudo

<b>Modelo 5</b>			
<b>Concreto + Taxa de bombeamento</b>			
fck (Mpa)	Quantidade (m <sup>3</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
25	721,5	R\$ 316,67	R\$ 228.477,41
40	586,7	R\$ 370,00	R\$ 217.079,00
50	165,7	R\$ 417,33	R\$ 69.151,58
<b>Subtotal</b>			R\$ 514.707,99
<b>Formas</b>			
Estrutura	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo (R\$)
Pilar	2491,1	R\$ 28,77	R\$ 71.668,95
Viga	3627,8	R\$ 24,14	R\$ 87.575,09
Laje	6434,7	R\$ 20,11	R\$ 129.401,82
<b>Subtotal</b>			R\$ 288.645,86
<b>Mão de Obra - Concreto + formas</b>			
Quantidade (m <sup>3</sup> )		Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
1473,9		R\$ 575,00	R\$ 847.492,50
<b>Aço CA-50 (material + mão de obra)</b>			
Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	5342,3	R\$ 6,80	R\$ 36.327,64
6,3	52821,5	R\$ 6,60	R\$ 348.621,90
8	7691,2	R\$ 6,60	R\$ 50.761,92
10	2098,1	R\$ 6,47	R\$ 13.574,71
12,5	17551,1	R\$ 6,26	R\$ 109.869,89
16	14701,7	R\$ 6,26	R\$ 92.032,64
20	24286,5	R\$ 6,26	R\$ 152.033,49
25	22275,9	R\$ 6,26	R\$ 139.447,13
<b>Subtotal</b>			R\$ 942.669,32
<b>Total</b>			R\$ 2.593.515,66
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			4,45%

Fonte: Própria do autor (2020)

### 6.2.7 Modelo 6

O sexto modelo do estudo é o último em que há o deslocamento do pilar na direção do eixo X em planta, sendo deslocado dois metros em dois pavimentos, Térreo e segundo. Além disso, foi o modelo que mais gerou custos adicionais no valor total da estrutura, por ter sido o modelo que mais modificou o layout padrão da estrutura, o que gerou maior reforço para resistir às solicitações locais e a carga horizontal de vento. Na tabela abaixo encontra-se o orçamento da estrutura.

Tabela 27- Planilha de orçamento do modelo 6 do estudo

<b>Modelo 6</b>			
<b>Concreto + Taxa de bombeamento</b>			
fck (Mpa)	Quantidade (m <sup>3</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
25	724	R\$ 316,67	R\$ 229.269,08
40	587,7	R\$ 370,00	R\$ 217.449,00
50	166,7	R\$ 417,33	R\$ 69.568,91
<b>Subtotal</b>			R\$ 516.286,99
<b>Formas</b>			
Estrutura	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo (R\$)
Pilar	2489,6	R\$ 28,77	R\$ 71.625,79
Viga	3638,2	R\$ 24,14	R\$ 87.826,15
Laje	6435,2	R\$ 20,11	R\$ 129.411,87
<b>Subtotal</b>			R\$ 288.863,81
<b>Mão de Obra - Concreto + formas</b>			
Quantidade (m <sup>3</sup> )		Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
1478,4		R\$ 575,00	R\$ 850.080,00
<b>Aço CA-50 (material + mão de obra)</b>			
Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	5302,6	R\$ 6,80	R\$ 36.057,68
6,3	53080,9	R\$ 6,60	R\$ 350.333,94
8	7990,1	R\$ 6,60	R\$ 52.734,66
10	2655,3	R\$ 6,47	R\$ 17.179,79
12,5	15912,3	R\$ 6,26	R\$ 99.611,00
16	17311,6	R\$ 6,26	R\$ 108.370,62
20	23085,7	R\$ 6,26	R\$ 144.516,48
25	24212,3	R\$ 6,26	R\$ 151.569,00
<b>Subtotal</b>			R\$ 960.373,17
<b>Total</b>			R\$ 2.615.603,97
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			5,34%

Fonte: Própria do autor (2020)

### 6.2.8 Modelo 7

O sétimo modelo do estudo, primeiro modelo cujo pilar P12 foi deslocado na direção Y em planta um metro no pavimento Térreo, apresenta o menor orçamento entre todos os modelos com deslocamento do pilar P12 na direção do eixo Y. Devido a uma pequena modificação do layout do modelo em relação à configuração padrão do edifício, os reforços nas dimensões dos elementos estruturais foram menores do que nos demais modelos com deslocamento do pilar na direção do eixo Y. A tabela com o orçamento está discriminada abaixo.

Tabela 28- Planilha de orçamento do modelo 7 do estudo

<b>Modelo 7</b>			
<b>Concreto + Taxa de bombeamento</b>			
fck (Mpa)	Quantidade (m <sup>3</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
25	704,4	R\$ 316,67	R\$ 223.062,35
40	572	R\$ 370,00	R\$ 211.640,00
50	166,2	R\$ 417,33	R\$ 69.360,25
<b>Subtotal</b>			R\$ 504.062,59
<b>Formas</b>			
Estrutura	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo (R\$)
Pilar	2392	R\$ 28,77	R\$ 68.817,84
Viga	3649,3	R\$ 24,14	R\$ 88.094,10
Laje	6448,6	R\$ 20,11	R\$ 129.681,35
<b>Subtotal</b>			R\$ 286.593,29
<b>Mão de Obra - Concreto + formas</b>			
Quantidade (m <sup>3</sup> )		Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
1442,6		R\$ 575,00	R\$ 829.495,00
<b>Aço CA-50 (material + mão de obra)</b>			
Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	5010,4	R\$ 6,80	R\$ 34.070,72
6,3	53225,2	R\$ 6,60	R\$ 351.286,32
8	6951,4	R\$ 6,60	R\$ 45.879,24
10	2137,8	R\$ 6,47	R\$ 13.831,57
12,5	14731	R\$ 6,26	R\$ 92.216,06
16	12900,9	R\$ 6,26	R\$ 80.759,63
20	27653,4	R\$ 6,26	R\$ 173.110,28
25	27759,9	R\$ 6,26	R\$ 173.776,97
<b>Subtotal</b>			R\$ 964.930,80
<b>Total</b>			R\$ 2.585.081,68
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			4,11%

Fonte: Própria do autor (2020)

### 6.2.9 Modelo 8

O oitavo modelo, com desaparecimento do pilar P12 de dois metros na direção Y no Térreo, possui o segundo maior orçamento do estudo, atingindo aproximadamente 5,8% de custo adicional no valor total da estrutura, devido principalmente aos acréscimos de dimensões de vigas e pilares devido às solicitações nos elementos estruturais. E no que tange às cargas de vento horizontais, os pilares que tiveram um aumento nas suas dimensões devido às solicitações locais, acabaram por enrijecer os pórticos e ofereceram a resistência adequada para que os valores de deslocamento horizontal ficassem dentro dos limites normativos.

Tabela 29- Planilha de orçamento do modelo 8 do estudo

<b>Modelo 8</b>			
<b>Concreto + Taxa de bombeamento</b>			
fck (Mpa)	Quantidade (m³)	Preço unitário (R\$/m³)	Custo (R\$)
25	726,2	R\$ 316,67	R\$ 229.965,75
40	590,6	R\$ 370,00	R\$ 218.522,00
50	175,7	R\$ 417,33	R\$ 73.324,88
<b>Subtotal</b>			R\$ 521.812,64
<b>Formas</b>			
Estrutura	Quantidade (m²)	Preço unitário (R\$/m²)	Custo (R\$)
Pilar	2527,9	R\$ 28,77	R\$ 72.727,68
Viga	3608,6	R\$ 24,14	R\$ 87.111,60
Laje	6426,3	R\$ 20,11	R\$ 129.232,89
<b>Subtotal</b>			R\$ 289.072,18
<b>Mão de Obra - Concreto + formas</b>			
Quantidade (m³)		Preço unitário (R\$/m³)	Custo (R\$)
1492,5		R\$ 575,00	R\$ 858.187,50
<b>Aço CA-50 (material + mão de obra)</b>			
Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	5601,5	R\$ 6,80	R\$ 38.090,20
6,3	53062,9	R\$ 6,60	R\$ 350.215,14
8	7909,6	R\$ 6,60	R\$ 52.203,36
10	2584	R\$ 6,47	R\$ 16.718,48
12,5	14814	R\$ 6,26	R\$ 92.735,64
16	18045,6	R\$ 6,26	R\$ 112.965,46
20	20731,2	R\$ 6,26	R\$ 129.777,31
25	26275,7	R\$ 6,26	R\$ 164.485,88
<b>Subtotal</b>			R\$ 957.191,47
<b>Total</b>			R\$ 2.626.263,79
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			5,77%

Fonte: Própria do autor (2020)

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

### 6.2.10 Modelo 9

O penúltimo modelo do estudo, com desaprumo do P12 de um metro na direção Y nos pavimentos Térreo e segundo, possui um erro na viga V5 no quarto pavimento, conforme citado no capítulo anterior, por ter tido suas dimensões aumentadas para que pudesse resistir a um esforço de tração virtual gerado na viga por uma incorreta distribuição da carga de vento em todos os nós da estrutura. Então, para atenuar os efeitos gerados por este erro de software, foi estimada a diferença de aço e concreto utilizado na viga V5 em comparação a viga V8, que seria igual em dimensões à viga V5 se não houvesse essas solicitações de tração virtuais, e ao orçar essa diferença de material utilizado, subtrair do orçamento total, para assim encontrar um valor total do modelo sem considerar as mudanças geradas pelas cargas de tração.

Assim, duas tabelas foram geradas para orçar este modelo, uma seguindo o padrão das outras, com o orçamento total do modelo, e a segunda para orçar a diferença, substituir do valor total e encontrar a real porcentagem de custo extra gerado pela estrutura de transição no modelo.

Tabela 30- Planilha de orçamento do modelo 9 do estudo

<b>Modelo 9</b>			
<b>Concreto + Taxa de bombeamento</b>			
fck (Mpa)	Quantidade (m <sup>3</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
25	718,2	R\$ 316,67	R\$ 227.432,39
40	586,7	R\$ 370,00	R\$ 217.079,00
50	168,1	R\$ 417,33	R\$ 70.153,17
<b>Subtotal</b>			R\$ 514.664,57
<b>Formas</b>			
Estrutura	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo (R\$)
Pilar	2461,9	R\$ 28,77	R\$ 70.828,86
Viga	3654,4	R\$ 24,14	R\$ 88.217,22
Laje	6436,7	R\$ 20,11	R\$ 129.442,04
<b>Subtotal</b>			R\$ 288.488,12
<b>Mão de Obra - Concreto + formas</b>			
Quantidade (m <sup>3</sup> )		Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
1473		R\$ 575,00	R\$ 846.975,00
<b>Aço CA-50 (material + mão de obra)</b>			
Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	5310,9	R\$ 6,80	R\$ 36.114,12
6,3	53137	R\$ 6,60	R\$ 350.704,20
8	7645,6	R\$ 6,60	R\$ 50.460,96
10	2234,7	R\$ 6,47	R\$ 14.458,51
12,5	12828,2	R\$ 6,26	R\$ 80.304,53
16	17564,6	R\$ 6,26	R\$ 109.954,40
20	24045,4	R\$ 6,26	R\$ 150.524,20
25	28741,5	R\$ 6,26	R\$ 179.921,79
<b>Subtotal</b>			R\$ 972.442,71
<b>Total</b>			R\$ 2.622.570,39
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			5,62%

Fonte: Própria do autor (2020)

Tabela 31- Planilha de correção do custo total orçado com porcentagem corrigida

<b>Diferença de ferro e concreto nas vigas de tração</b>			
Bitola	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	20	R\$ 6,80	R\$ 136,00
6,3	42	R\$ 6,60	R\$ 277,20
8	47	R\$ 6,60	R\$ 310,20
10	82	R\$ 6,47	R\$ 530,54
12,5	122	R\$ 6,26	R\$ 763,72
16	41	R\$ 6,26	R\$ 256,66
20	-124	R\$ 6,26	-R\$ 776,24
25	0	R\$ 6,26	R\$ -
<b>Subtotal</b>			R\$ 1.498,08
fck (mPa)	Quantidade (m³)	Preço unitário (R\$/m³)	Custo (R\$)
40	3,36	R\$ 370,00	R\$ 1.243,20
<b>Total</b>			R\$ 2.741,28
<b>Total do modelo sem tração virtual</b>			R\$ 2.619.829,11
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			5,51%

Fonte: Própria do autor (2020)

Dessa forma, o percentual de custo extra gerado por este modelo após a correção, fica em aproximadamente 5,5% do custo total da estrutura.

### 6.2.11 Modelo 10

No último modelo do estudo aconteceu o mesmo erro que no modelo 9, onde devido a uma distribuição errada das cargas de vento em todos os nós da estrutura, esforços virtuais de tração exigiram um redimensionamento de duas vigas no quarto pavimento, as vigas V5 e V6. E da mesma forma que no modelo anterior, as diferenças de material foram corrigidas e o orçamento reajustado para que fossem desconsiderados os redimensionamentos causados por esses esforços virtuais.

Mesmo com os reajustes efetuados, o modelo 10 acabou sendo o modelo com o maior orçamento do estudo, onde além dos problemas gerados devido à instabilidade global, que resultou em aumento de vigas para conter os deslocamentos horizontais, os pilares e vigas envolvidos diretamente na estrutura de transição tiveram suas dimensões consideravelmente aumentadas para que pudessem resistir às novas solicitações.

Tabela 32- Planilha de orçamento do modelo 10 do estudo

<b>Modelo 10</b>			
<b>Concreto + Taxa de bombeamento</b>			
fck (Mpa)	Quantidade (m <sup>3</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
25	733	R\$ 316,67	R\$ 232.119,11
40	602,4	R\$ 370,00	R\$ 222.888,00
50	171,8	R\$ 417,33	R\$ 71.697,29
<b>Subtotal</b>			R\$ 526.704,40
<b>Formas</b>			
Estrutura	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Preço unitário (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo (R\$)
Pilar	2540,9	R\$ 28,77	R\$ 73.101,69
Viga	3641,5	R\$ 24,14	R\$ 87.905,81
Laje	6422,7	R\$ 20,11	R\$ 129.160,50
<b>Subtotal</b>			R\$ 290.168,00
<b>Mão de Obra - Concreto + formas</b>			
Quantidade (m <sup>3</sup> )		Preço unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
1507,2		R\$ 575,00	R\$ 866.640,00
<b>Aço CA-50 (material + mão de obra)</b>			
Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	5623,4	R\$ 6,80	R\$ 38.239,12
6,3	52952,4	R\$ 6,60	R\$ 349.485,84
8	8340,5	R\$ 6,60	R\$ 55.047,30
10	2809,4	R\$ 6,47	R\$ 18.176,82
12,5	15091,4	R\$ 6,26	R\$ 94.472,16
16	16083	R\$ 6,26	R\$ 100.679,58
20	24772,8	R\$ 6,26	R\$ 155.077,73
25	26143,5	R\$ 6,26	R\$ 163.658,31
<b>Subtotal</b>			R\$ 974.836,86
<b>Total</b>			R\$ 2.658.349,26
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			7,06%

Fonte: Própria do autor (2020)

Tabela 33- Planilha de correção do custo total orçado com porcentagem corrigida

<b>Diferença de ferro e concreto nas vigas de tração</b>			
Bitola	Quantidade (kg)	Preço unitário (R\$/kg)	Custo (R\$)
5	34	R\$ 6,80	R\$ 231,20
6,3	87	R\$ 6,60	R\$ 574,20
8	105	R\$ 6,60	R\$ 693,00
10	64	R\$ 6,47	R\$ 414,08
12,5	70	R\$ 6,26	R\$ 438,20
16	-33	R\$ 6,26	-R\$ 206,58
20	149	R\$ 6,26	R\$ 932,74
25	113	R\$ 6,26	R\$ 707,38
<b>Subtotal</b>			R\$ 3.784,22
fck (mPa)	Quantidade (m³)	Preço unitário (R\$/m³)	Custo (R\$)
40	6,48	R\$ 370,00	R\$ 2.397,60
<b>Total</b>			R\$ 6.181,82
<b>Total do modelo sem tração virtual</b>			R\$ 2.652.167,44
Impacto da viga de transição no custo total da obra:			6,81%

Fonte: Própria do autor (2020)

### 6.3 QUADRO COMPARATIVO

Por fim, para que fosse possível comparar todos os modelos e os acréscimos percentuais de material e mão de obra nos custos totais da estrutura, uma tabela com todos os modelos e as porcentagens foi feita. Na tabela também estão expostos os principais motivos que geraram estes custos nas estruturas.

Tabela 34- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos

<b>Modelos de transição e custo/razão associado aos modelos</b>		
<b>Modelo</b>	<b>Acréscimo ao valor da estrutura</b>	<b>Principais motivos</b>
1 – Viga de transição no segundo pavimento com remoção do pilar no Térreo	3,97%	Além do consumo gerado pela viga de transição, que ficou com dimensões iguais a 60x200cm, o maior problema desse modelo foi a estabilidade horizontal do edifício, que resultou em grande aumento das vigas do segundo pavimento no lado oposto à viga de transição, além de um pequeno aumento dessas vigas no terceiro e quarto pavimentos. O pé direito no pavimento de

Tabela 35- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos  
(continuação)

<b>Modelos de transição e custo/razão associado aos modelos</b>		
<b>Modelo</b>	<b>Acréscimo ao valor da estrutura</b>	<b>Principais motivos</b>
		transição ficou igual a 4,30m de altura e a altura total do edifício em 61,50m, devido aos dois acréscimos de 10cm no pé direito dos dois pavimentos acima do térreo para reforço das vigas.
2 – Viga de transição no terceiro pavimento com remoção do pilar no Térreo e segundo pavimento	4,76%	Apesar da viga de transição ter sido bem robusta, com dimensões iguais a 50x200cm, o modelo não gerou muitos custos excedentes em relação a estabilidade horizontal porque o pé direito no pavimento da transição, que ficou com 3,70m de altura, não dependeu da altura da viga de transição, já que nesse modelo há a existência de um pé direito duplo, o que favoreceu à estabilidade do edifício, que ficou com a menor altura total entre todos os modelos, com 61m de altura.
3 – Viga de transição no segundo pavimento com deslocamento no eixo X de um metro do pilar P12 no Térreo	3,66%	Na viga de transição, para 1 metro de deslocamento, o maior motivo para robustez da viga, que ficou com seção igual a 70x215cm, foram as cargas de cisalhamento. Além disso, vigas opostas em relação ao eixo X de simetria em planta à viga de transição no segundo pavimento foram aumentadas, e 10 cm na viga oposta do terceiro pavimento. Assim, o pé direito no térreo ficou com 4,45m de altura, e a altura total do edifício igual a 61,65m de altura, devido também aos acréscimos de altura nas vigas nos pavimentos terceiro e quarto.

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Tabela 36- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos (continuação)

<b>Modelos de transição e custo/razão associado aos modelos</b>		
<b>Modelo</b>	<b>Acréscimo ao valor da estrutura</b>	<b>Principais motivos</b>
4 – Viga de transição no segundo pavimento com deslocamento no eixo X de dois metros do pilar P12 no Térreo	2,51%	Exigiu uma viga de transição bem robusta, com dimensões iguais a 60x210cm e pé direito no pavimento igual a 4,4m para suportar as cargas aplicadas, mas não exigiu grandes dimensões dos pilares que compõem a transição e nem um reforço de vigas para suporte à estabilidade global, resultando no mais baixo acréscimo de preço de estrutura. A altura total da estrutura ficou em 61,6m.
5 – Viga de transição no terceiro pavimento com deslocamento no eixo X de um metro do pilar P12 no Térreo e segundo pavimento	4,45%	Além de ter bastante problema com estabilidade horizontal, que exigiu aumento da V9 em 10cm do quarto ao décimo pavimento, P12 teve que ser aumentado consideravelmente para que pudesse ser dimensionado. A viga de transição ficou com dimensões comparativamente pequenas em relação a dos outros modelos, com 70x185cm, o que resultou em um pé direito de 4,15m no pavimento e altura total do modelo de 61,55m, por causa dos acréscimos de pé direito nos pavimentos adjacentes ao pavimento da transição devido aos reforços nas vigas.
6 – Viga de transição no terceiro pavimento com deslocamento no eixo X de dois metros do pilar P12 no Térreo e segundo pavimento	5,34%	Pilares e viga de transição não tiveram que ser dimensionados com dimensões muito grandes, onde a viga ficou com dimensões iguais a 70x190cm, porém o elevado custo extra foi decorrente de muitos problemas de deslocamento horizontal, onde além das vigas V1 e V9 terem sido bem reforçadas nos pavimentos próximos a transição, ainda a V9 do quarto pavimento até a cobertura teve que ser aumentada em 10cm

Tabela 37- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos (continuação)

<b>Modelos de transição e custo/razão associado aos modelos</b>		
<b>Modelo</b>	<b>Acréscimo ao valor da estrutura</b>	<b>Principais motivos</b>
		para que o deslocamento horizontal fosse contido. Assim, o pé direito no pavimento da transição ficou igual a 4,20m e altura total do modelo igual a 61,5m, graças também aos acréscimos de altura no pé direito dos pavimentos adjacentes ao da transição.
7 – Viga de transição no segundo pavimento com deslocamento no eixo Y de um metro do pilar P12 no Térreo	4,11%	Vigas na direção do eixo X em planta perto dos pavimentos de transição tiveram que ser reforçadas pelo desequilíbrio das cargas locais, além do reforço da V9 do terceiro ao décimo pavimento e nos pavimentos mais abaixo para conter deslocamentos horizontais. Pilares não sofreram muitos acréscimos. A viga de transição ficou com dimensões iguais a 70x215cm, pé direito na transição com 4,45m e a altura total do edifício em 61,65m graças também ao aumento das vigas nos dois pavimentos acima do pavimento da transição.
8 – Viga de transição no segundo pavimento com deslocamento no eixo Y de dois metros do pilar P12 no Térreo	5,77%	A viga de transição foi aumentada para 80x190cm, não sendo tão exigida quanto em outros modelos, deixando o pé direito no pavimento da transição com 4,20m de altura. V1, V3 e V6 do segundo, terceiro e quarto pavimentos aumentados para dimensionamento local. Na questão de estabilidade horizontal, as vigas não tiveram que ser aumentadas porque houve acréscimo na dimensão de alguns pilares para cargas locais, como P2 e P9, que enrijeceram todo o edifício, resolvendo o problema de

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Tabela 38- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos (continuação)

<b>Modelos de transição e custo/razão associado aos modelos</b>		
<b>Modelo</b>	<b>Acréscimo ao valor da estrutura</b>	<b>Principais motivos</b>
		estabilidade global. Como outros três pavimentos do modelo tiveram vigas com até 80cm de altura, 30cm de altura total do edifício foram acrescidas por causa destes três pavimentos, resultando em uma altura total de 61,5m por causa também do pavimento da transição.
9 – Viga de transição no terceiro pavimento com deslocamento no eixo Y de um metro do pilar P12 no Térreo e segundo pavimento	5,51%	O gasto maior em relação ao modelo 7 se deve ao fato de que o P12, o pilar da transição, teve que ter dimensões relativamente maiores que no modelo com só um lance de deslocamento para ser dimensionado. A viga de transição ficou com medidas iguais a 70x190cm e o pé direito de 4,20m, assim como no modelo 8. Além disso, o problema de estabilidade horizontal persistiu, demandando acréscimos nas vigas V1 e V9 dos pavimentos próximos a transição, e 10cm a mais de altura na V9 do quarto ao décimo pavimento, além também de alguns problemas com cargas locais como na V3, próxima a transição, devido ao desequilíbrio de cargas. Como só outros dois pavimentos tiveram vigas com 80cm de altura, o acréscimo na altura total do edifício foi de 20cm devido a estes pavimentos, resultando em uma altura total de 61,50m.

Tabela 39- Quadro comparativo de acréscimos nos custos dos modelos e principais motivos (conclusão)

<b>Modelos de transição e custo/razão associado aos modelos</b>		
<b>Modelo</b>	<b>Acréscimo ao valor da estrutura</b>	<b>Principais motivos</b>
10 – Viga de transição no terceiro pavimento com deslocamento no eixo Y de dois metros do pilar P12 no Térreo e segundo pavimento	6,81%	O modelo com maior acréscimo de custos se deve aos problemas de dimensionamentos locais, como nas vigas na direção do eixo X em planta do pavimento de transição, que tiveram que ser aumentadas para serem dimensionadas, além da viga de transição que ficou com medidas iguais a 80x190cm e pé direito também de 4,20m. O pilar P12, que nesse modelo acabou sendo o maior de todos os modelos feitos, para suportar as cargas aplicadas, e também à estabilidade global, que fez com que se aumentasse V9 do quarto ao décimo pavimento para 70 de altura, já que somente as vigas horizontais mais enrijecidas nos pavimentos mais baixos não resolveu o problema. A altura total do modelo acabou ficando em 61,50m.

Fonte: Própria do autor (2020)

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estruturas de transição em um edifício são consequência direta do projeto arquitetônico, sendo na maioria das vezes decorrentes de diferentes usos e destinações dos espaços dos edifícios em diferentes pavimentos que não conseguem ser viabilizados mantendo-se a linha de transmissão das cargas verticais sem alteração da cobertura até a fundação. A situação mais comum é decorrente de um programa comercial ou residencial em que um certo número de pavimentos é destinado a lojas, conjuntos comerciais ou apartamentos e outros destinados a garagens, e uma malha comum de pilares não é possível para os dois diferentes usos.

Neste estudo, foi possível concluir que as estruturas de transição, ao serem implementadas em um edifício, trazem consequências para o dimensionamento das peças estruturais não somente na região onde estritamente está a viga de transição e os pilares diretamente envolvidos, mas frequentemente em toda a estrutura do edifício.

Para um mesmo volume de concreto, existe uma relação de rigidez de viga e pilar onde há um patamar mínimo de deslocamento horizontal do pórtico. Essa relação foi obtida ao alterar o tamanho da seção das vigas em relação ao tamanho original, e compensando a seção dos pilares na mesma proporção, ou seja, mantendo o volume de concreto constante.

Portanto, na ocorrência de um problema de instabilidade global ao se projetar um edifício, é importante que não se atente somente ao aumento da rigidez dos pilares, porque como demonstrado no estudo, o aumento da rigidez das vigas que pertencem aos pórticos resistentes muitas vezes acaba sendo mais importante que o aumento da rigidez dos pilares, para que se possa chegar na relação ideal de deslocamento horizontal mínimo.

Nos pórticos onde foi feito o estudo de transições com o deslocamento do segundo pilar em 1 e 2m em até 3 pavimentos, percebeu-se que o efeito sobre a rigidez global dos pórticos foi bastante pequeno. Em algumas configurações, o deslocamento do segundo pilar tornou o pórtico mais rígido, mesmo sem aumento da seção transversal da viga de transição. Nos pórticos que se tornaram mais deformáveis com a transição, um aumento pequeno na altura da seção transversal da viga de transição, de 10 a 20cm, foi o suficiente para tornar esses pórticos novamente mais rígidos que o pórtico original correspondente sem transição.

Um cenário bem diferente foi visto nos modelos em que foi realizada a remoção dos pilares abaixo da viga de transição. A exceção foram os modelos de vão entre pilares iguais a sete e oito metros, cujo pilar foi removido em apenas um lance, onde um aumento na altura da seção transversal da viga de transição de 20cm resultou em um pórtico levemente mais rígido

que o original. Em todos os outros modelos, o deslocamento horizontal calculado foi maior que nos modelos padrões, sem transição. Nos modelos em que se removeram os pilares em mais de um lance do pórtico, os valores chegaram a ultrapassar a faixa dos 10% de acréscimo, conforme visto nos modelos cuja viga de transição foi posta no terceiro pavimento, e removido o pilar nos três lances abaixo, sem que fosse feito reforço da viga. Nesse caso, os acréscimos de deslocamento horizontal foram superiores a 10% em todos os vãos projetados, de quatro a oito metros. Os resultados acima apontam para a necessidade de aumentos consideravelmente maiores que os estudados na seção transversal da viga de transição para voltar a tornar o pórtico com transição tão rígido horizontalmente quanto o pórtico original sem transição. Tal aumento provavelmente será necessário igualmente para o critério de dimensionamento da viga de transição em Estado Limite Último, em função da enorme carga que a viga recebe e da duplicação do vão em relação à configuração equivalente sem transição.

Nos modelos de edifícios completos, incluindo o dimensionamento em ELU e ELS e orçamento de todos os dez modelos de transição criados a partir do modelo padrão, foi possível comparar as consequências que as diferentes transições aplicadas causaram. Onde nos modelos em que se removeu o pilar P12 de um e dois tramos de pavimento inferiores do modelo, os esforços de flexão foram os principais determinantes no dimensionamento da viga de transição. Já nos modelos em que havia pequeno deslocamento do pilar P12, de apenas um metro, os esforços de corte foram predominantes para que se pudesse dimensionar a viga de transição nestes modelos.

Além das situações de dimensionamento local dos elementos estruturais, foi possível constatar também a grande influência que as transições causam no deslocamento horizontal dos edifícios que possuem estrutura mais esbelta, como era o caso deste modelo padrão, fazendo com que em vários modelos, mudanças nas seções de elementos estruturais tivessem de ser realizadas para que se pudesse aumentar a rigidez dos pórticos cujo deslocamento horizontal no topo do edifício estava acima do limite normativo.

E com todas essas alterações em dimensões, seja por dimensionamentos locais ou por efeitos globais de deslocamentos horizontais, os custos extras em material e mão de obra no valor total da estrutura devem ser considerados, uma vez que os dez modelos geraram uma média de custos adicionais na casa de 4,69% e o modelo com o orçamento mais elevado, um acréscimo de quase 7% no custo total da estrutura.

Diferentes modelos de transição aplicados em um modelo simplificado de edifício de 20 andares em concreto armado e suas implicações no custo da estrutura

Estes valores são bem expressivos e que devem ser levados em conta na fase preliminar de um empreendimento, quando há a concepção do projeto arquitetônico e projeto estrutural, pois muitas vezes é possível de se chegar a uma configuração que não torne necessário o uso de uma estrutura de transição, e assim evite acréscimos em custos extras que essa opção acarreta, os quais podem não ser desprezíveis.

## REFERÊNCIAS

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Concep\\_Estrut\\_2007.pdf](http://coral.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Concep_Estrut_2007.pdf)>. Acesso em 23 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BARSILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2003**. São Carlos, SP: 2007.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, L.M., 2009. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. v. 2. 1ª ed., São Paulo: Editora Pini, 2009.

DA SILVA, M. F. V. **Rigidez horizontal de pórticos: estudo paramétrico dos principais fatores que a influenciam**. 2015. 100 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

ELLWANGER, R. J. **Estruturas de edifícios altos**. Porto Alegre, 2002. Apostila da disciplina de Estruturas de Edifícios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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

MATIAS, Fernanda. **Avaliação da influência da resistência à compressão do concreto no custo do sistema estrutural de um edifício de cinco pavimentos**. 2019. 95 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.