

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

VITOR ANDRÉ GENEHR

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE VEDAÇÃO NO
DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DE UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL DE CONCRETO ARMADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2016

VITOR ANDRÉ GENEHR

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE VEDAÇÃO NO
DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DE UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Savaris

TOLEDO

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 053

Estudo da Influência do Tipo de Vedação no Dimensionamento das Estruturas de um Edifício Residencial de Concreto Armado

por

Vitor Andre Genehr

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 14:40 h do dia **09 de Novembro de 2016** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr. Rodnny Jesus Mendoza Fakhye
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. MSc. Silvana da Silva
Coordenadora da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por minha vida, minha família e amigos.

Ao meu pai Sergio, minha mãe Ingrid e meu irmão Murilo, por todas as vezes que me apoiaram durante essa etapa da minha vida e pelo amor incondicional.

Aos meus familiares pelo apoio e auxílio durante essa etapa.

Ao Professor Gustavo Savaris, pelas orientações, auxílio e confiança em meu trabalho.

A todos os professores, pelo conhecimento transmitido durante minha formação.

Aos meus amigos, pelo suporte e pelo companheirismo.

A todos que de alguma forma contribuíram em minha formação.

RESUMO

Genehr, Vitor André. Estudo da Influência do Tipo de Vedação no Dimensionamento das Estruturas de um Edifício Residencial. 41f. Monografia, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2016.

A indústria da construção civil, assim como as demais indústrias, precisa de constantes renovações em seu processo executivo. O método de vedações composto por blocos cerâmicos é o método mais utilizado no mercado, porém novos métodos vêm sendo implementados, como o gesso acartonado. As vedações não exercem função estrutural no edifício, entretanto a escolha do tipo de vedação a ser utilizado pode influenciar o dimensionamento das estruturas do edifício. Dessa forma, este trabalho compara o dimensionamento estrutural e o levantamento quantitativo de nove edifícios, sendo utilizadas três diferentes alturas (4, 8 e 16 pavimentos) e três diferentes tipos de vedação: blocos cerâmicos, blocos de concreto e o uso conjunto de blocos cerâmicos (vedações externas e de divisas) e gesso acartonado (vedações internas). A partir dos levantamentos quantitativos, analisou-se a influência do tipo de vedação utilizada no dimensionamento estrutural final dos edifícios e no consumo de materiais necessário. Foi possível observar que, para os casos estudados, há economia de aço estrutural proporcionada pelo uso de gesso acartonado como vedação interna, além de redução da carga gerada nas fundações a partir da utilização deste método. Quanto à utilização de blocos de concreto como componentes de vedação, os resultados mostraram que tal material não apresenta vantagens no âmbito estrutural para os casos estudados.

Palavras-chave: Blocos Cerâmicos. Blocos de Concreto. Gesso Acartonado. Dimensionamento Estrutural.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 JUSTIFICATIVA	8
1.2 OBJETIVOS	8
1.2.1 Objetivo Geral	8
1.2.2 Objetivos Específicos	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 VEDAÇÃO COM BLOCOS CERÂMICOS	9
2.2 VEDAÇÃO COM BLOCOS DE CONCRETO	12
2.3 VEDAÇÃO COM GESSO ACARTONADO	13
2.4 INFLUÊNCIA DA ALVENARIA NA ESTRUTURA DE EDIFÍCIOS	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1 DESCRIÇÃO DAS EDIFICAÇÕES	17
3.2 DISPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	18
3.2.1 Pré-dimensionamento dos elementos estruturais	20
3.2.1.1 Cargas aplicadas nas lajes	22
3.2.1.2 Cargas aplicadas nas vigas	23
3.2.1.3 Carga gerada pela incidência do vento	25
3.2.1.4 Cargas geradas pelas caixas d'água	26
3.3 ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	26
3.4 LEVANTAMENTO QUANTITATIVO	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 EDIFÍCIOS COM QUATRO PAVIMENTOS	27
4.1.1 Dimensões dos elementos estruturais	27
4.1.2 Quantitativo de materiais	30
4.1.3 Deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z	31
4.1.4 Cargas nas fundações	31
4.2 EDIFÍCIOS COM OITO PAVIMENTOS	31
4.2.1 Dimensões dos elementos estruturais	31
4.2.2 Levantamento quantitativo de materiais	35
4.2.3 Deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z	35
4.2.4 Cargas nas fundações	36
4.3 EDIFÍCIOS COM DEZESSEIS PAVIMENTOS	36
4.3.1 Dimensões dos elementos estruturais	36
4.3.2 Levantamento quantitativo de materiais	40
4.3.3 Deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z	40
4.3.4 Cargas nas fundações	41
4.4 COMPARATIVO ENTRE OS EDIFÍCIOS	41
4.4.1 Quantitativo de materiais	41
4.4.2 Deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z	43
4.4.3 Cargas nas fundações	44
5 CONCLUSÃO	46
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

Assim como todos os setores da indústria, a construção civil necessita de constantes renovações em seu processo executivo. As empresas do ramo utilizam, em sua maioria, os métodos construtivos tradicionais, entretanto, faz-se necessária a busca por métodos mais econômicos e eficientes, resultando em maior competitividade no mercado (SILVA, 2003).

O método construtivo em alvenaria vem sendo utilizado desde as primeiras estruturas desenvolvidas pelo homem. Tais estruturas eram compostas por blocos de diversos materiais, como argila, pedra e outros (RAMALHO e CORRÊA, 2003). A evolução da humanidade também trouxe mudanças para o método de execução da alvenaria, buscando-se por materiais mais resistentes, leves, baratos e duráveis. Sendo assim, surgiram os blocos de concreto, cerâmico, sílico-calcáreo, concreto celular, etc. (TRAMONTIN, 2005).

No Brasil, atualmente, o método mais utilizado para vedação vertical é a alvenaria com blocos cerâmicos, porém, o número de empresas que estão aplicando métodos diferentes, como gesso acartonado, está crescendo. Esta mudança ocorre por diversos motivos, como, por exemplo, um ganho elevado na produtividade e redução considerável no desperdício de materiais (VIANA e ALVES, 2013).

Segundo Franco (1998), o processo produtivo das vedações verticais no método tradicional, conjuntamente com os revestimentos, apresenta os maiores índices de desperdício de materiais e mão-de-obra. Dessa forma, a utilização de métodos mais racionais influencia na redução de consumo de recursos naturais e na geração de resíduos, além de redução do desperdício de recursos humanos (SILVA, 2003). Logo, a opção por métodos alternativos confere melhor desempenho e qualidade às edificações, gerando, por fim, economia de recursos financeiros.

Neste trabalho foram feitos o dimensionamento estrutural e o levantamento quantitativo de nove edifícios, sendo utilizadas três diferentes alturas (4, 8 e 16 pavimentos) e três diferentes tipos de vedação: blocos cerâmicos, blocos de concreto e o uso conjunto de blocos cerâmicos (vedações externas e de divisas) e gesso acartonado (vedações internas). A partir dos levantamentos quantitativos, analisou-se a influência do tipo de vedação utilizada no dimensionamento estrutural final dos edifícios e no consumo de materiais necessário.

1.1 JUSTIFICATIVA

A vedação vertical é o subsistema de uma edificação que tem como principal característica dividir os ambientes internos, permitindo o uso adequado para os quais foram projetados (FRANCO, 1998). Entretanto, ao analisar suas inter-relações com outros subsistemas de uma edificação, como a estrutura e as instalações hidro sanitárias e elétricas, nota-se que a racionalização do método executivo de vedação torna-se imprescindível (BARROS, 1998).

Segundo Pinto (1999), a indústria da construção civil representa a maior porcentagem dos resíduos urbanos gerados em cidades de médio e grande porte. Dessa forma, deve-se optar por métodos construtivos mais racionais.

O setor da construção residencial brasileiro apresenta uma produtividade três vezes menor que o mesmo setor americano, conforme pesquisa realizada em 1999 (MCKINSEY *apud* Salvador Filho, 2007). Isto é consequência das diferenças entre os projetos e a organização de funções e tarefas. Falta ao setor brasileiro a utilização de materiais-padrão, materiais pré-fabricados economicamente viáveis, melhor planejamento de obra e uma melhor compatibilização dos projetos (SALVADOR FILHO, 2007).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a influência do tipo de vedação utilizada no dimensionamento final da estrutura de um edifício residencial.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Comparar o levantamento quantitativo dos materiais necessários para a execução dos elementos estruturais considerando os diferentes tipos de vedações;
- Comparar os deslocamentos horizontais nas direções X e Y dos edifícios;
- Comparar os valores do coeficiente Gama-Z das edificações;
- Comparar as cargas nas fundações dos edifícios.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os processos construtivos em alvenaria fazem parte da formação das cidades brasileiras, sendo utilizadas com função estrutural ou apenas como vedação para edificações. Existe uma grande variedade de materiais utilizados para a composição desses elementos, com produção podendo ser artesanal ou de alto grau tecnológico. Entretanto, o modelo mais utilizado no Brasil, atualmente, é em alvenaria de blocos cerâmicos com revestimentos argamassados (SILVA, 2003).

Segundo Tramontin (2005), as vedações de edifícios devem apresentar alguns requisitos imprescindíveis, como estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo, estética, durabilidade e economia.

Neste capítulo são apresentados os sistemas de vedação empregados usualmente nas edificações, suas principais características e efeitos na estrutura de um edifício.

2.1 VEDAÇÃO COM BLOCOS CERÂMICOS

A vedação em alvenaria convencional é constituída por fileiras de blocos cerâmicos assentadas com argamassa, como apresentado na Figura 1. Os blocos cerâmicos não têm função estrutural, sendo assim devem suportar apenas as cargas geradas pelo peso próprio e pequenas cargas de ocupação (YAZIGI, 2009). Segundo a NBR 6120 (ABNT, 1980), o peso específico aparente dos blocos é de 13 kN/m³.

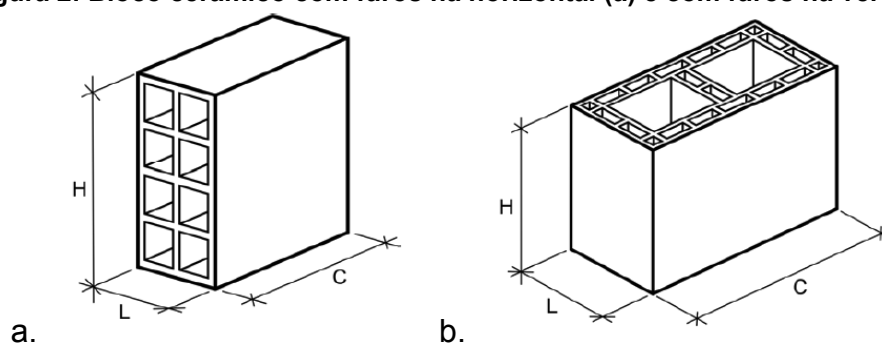
Figura 1: Vedação composta por blocos cerâmicos



Fonte: Thomaz, et al., 2009, p. 2

A NBR 15270-1 (ABNT, 2005) apresenta duas tipologias de blocos cerâmicos relacionadas ao sentido do furo, sendo uma com a necessidade de assentamento dos blocos com os furos na horizontal (Figura 2-a) e outra para casos com o assentamento dos blocos com os furos na vertical (Figura 2-b). Geralmente os blocos com furos na horizontal são empregados em alvenaria de vedação enquanto os blocos com furos na vertical são empregados em construções de alvenaria estrutural.

Figura 2: Bloco cerâmico com furos na horizontal (a) e com furos na vertical (b)



Fonte: NBR 15270-1 (ABNT, 2005, p. 2)

Quanto às dimensões, a NBR 15270-1 (ABNT, 2005) estipula que todos os blocos cerâmicos devem possuir dimensões múltiplas ou submúltiplas do módulo dimensional M, equivalente a 10 cm, e decrescidas em 1 cm, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Dimensões de fabricação dos blocos cerâmicos

L x H x C	Dimensões de Fabricação (cm)			
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
Módulo Dimensional M = 10 cm			Bloco Principal	1/2 Bloco
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9
(1) M x (1) M x (5/2) M	9	9	24	11,5
(1) M x (3/2) M x (2) M	9	14	19	9
(1) M x (3/2) M x (5/2) M	9	14	24	11,5
(1) M x (3/2) M x (3) M	9	14	29	14
(1) M x (2) M x (2) M	9	19	19	9
(1) M x (2) M x (5/2) M	9	19	24	11,5
(1) M x (2) M x (3) M	9	19	29	14
(1) M x (2) M x (4) M	9	19	19	19
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M	11,5	11,5	24	11,5
(5/4) M x (3/2) M x (5/2) M	11,5	14	24	11,5
(5/4) M x (2) M x (2) M	11,5	19	19	9
(5/4) M x (2) M x (5/2) M	11,5	19	24	11,5

Tabela 1: Dimensões de fabricação dos blocos cerâmicos (conclusão)

L x H x C	Dimensões de Fabricação (cm)			
	Módulo Dimensional M = 10 cm	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)
Bloco Principal				1/2 Bloco
(5/4) M x (2) M x (3) M	11,5	19	29	14
(5/4) M x (2) M x (4) M	11,5	19	39	19
(3/2) M x (2) M x (2) M	14	19	19	9
(3/2) M x (2) M x (5/2) M	14	19	24	11,5
(3/2) M x (2) M x (3) M	14	19	29	14
(3/2) M x (2) M x (4) M	14	19	39	19
(2) M x (2) M x (2) M	19	19	19	9
(2) M x (2) M x (5/2) M	19	19	24	11,5
(2) M x (2) M x (3) M	19	19	29	14
(2) M x (2) M x (4) M	19	19	39	19
(5/2) M x (5/2) M x (5/2) M	24	24	24	11,5
(5/2) M x (5/2) M x (3) M	24	24	29	14
(5/2) M x (5/2) M x (4) M	24	24	39	19

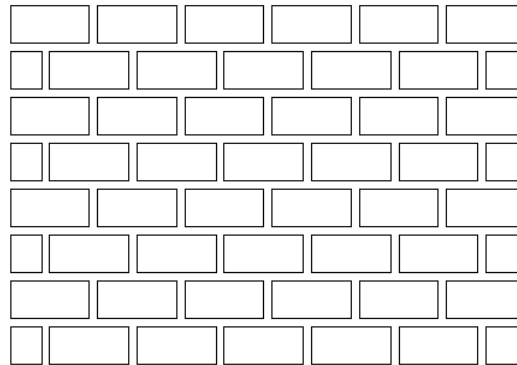
Fonte: NBR 15270-1 (ABNT, 2005, p. 6)

Segundo Yazigi (2009) a amarração dos blocos cerâmicos é feita por meio de argamassa disposta entre os blocos no sentido horizontal com espessura de 1 a 2 cm. Juntas verticais são necessárias apenas em alguns casos, sendo eles:

“...fiada de respaldo da alvenaria; entre blocos em contato com os pilares e os blocos adjacentes; nas interseções de paredes e os blocos adjacentes (no caso de amarração da interseção das paredes com os próprios blocos, o preenchimento das juntas verticais é dispensável); nas paredes apoiadas em lajes em balanço; nas paredes muito esbeltas; nas paredes com o respaldo livre (platibandas, guarda-corpos, muretas entre cozinhas e área de serviço etc.); nas paredes muito recortadas para embutimento de tubulações; nas paredes muito curtas (*espaletas* etc.)” (YAZIGI, 2009, p. 517).

O assentamento dos blocos cerâmicos é feito, geralmente, intercalando-se os blocos cerâmicos, de modo que a junta vertical de dois blocos fique apoiada sobre a metade do bloco cerâmico da fiada abaixo, conforme indicado na Figura 3. Essa amarração promove a redistribuição de tensões oriundas de cargas verticais ou geradas por deformações estruturais (THOMAZ *et al.*, 2009).

Figura 3: Assentamento de fiadas com juntas verticais desencontradas



2.2 VEDAÇÃO COM BLOCOS DE CONCRETO

A execução de alvenaria composta por blocos de concreto é realizada desde o surgimento do cimento Portland. Apesar de diversos esforços para a modernização da fabricação desse componente, os materiais utilizados, procedimentos de dosagem e processo produtivo continuam basicamente iguais (SALVADOR FILHO, 2007).

Segundo a NBR 6136 (ABNT, 2007) o bloco de concreto deve ser composto, basicamente, por cimento Portland, agregados e água, sendo permitida a utilização de aditivos, desde que não ocorra alteração das características exigidas pela norma. Segundo a NBR 6120 (ABNT, 1980) o peso específico aparente dos blocos de concreto é de 22 kN/m³.

Conforme as especificações da NBR 6136 (ABNT, 2007), o bloco de concreto possui apenas dois furos e deve ser assentado de forma que estes fiquem na vertical (Figura 4). A norma padroniza as dimensões para os blocos, conforme mostrado na Tabela 2.

Figura 4: Bloco de concreto



Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2007, p. 2)

Tabela 2: Dimensões de fabricação dos blocos de concreto

Família	20	15	15	12,5	12,5	12,5	10	10	10	7,5
Linha	20x40	15x40	15x30	12,5x40	12,5x25	12,5x37,5	10x40	10x30	10x30	7,5x40
Largura (mm)	190	140	140	115	115	115	90	90	90	65
Altura (mm)	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Comprimento (mm)	390	390	290	390	240	365	390	190	290	390

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2007, p. 4)

A NBR 6136 (ABNT, 2007) classifica os blocos em classes, de acordo com seu uso:

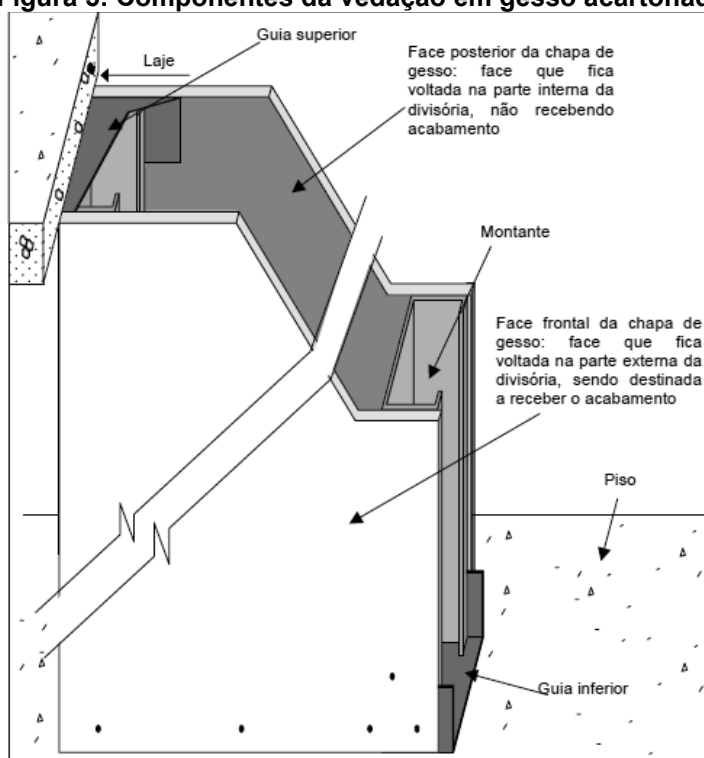
- Classe A: Função estrutural, utilizado em elemento de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
- Classe B: Função estrutural, utilizado em elemento de alvenaria acima do nível do solo;
- Classe C: Função estrutural, utilizado em elemento de alvenaria acima do nível do solo;
- Classe D: Sem função estrutural, utilizado em elemento de alvenaria acima do nível do solo.

Quanto à execução, o processo construtivo com blocos de concreto possui algumas vantagens sobre o método com blocos cerâmicos, como a diversidade de dimensões dos blocos de concreto em uma mesma família e a menor incidência de patologias. Entretanto, neste método o corte de peças é mais difícil e ocorrem perdas de argamassa durante o assentamento (GARCIA *et al.*, 2013).

2.3 VEDAÇÃO COM GESSO ACARTONADO

Este sistema de vedação é baseado em uma estrutura leve, composta, basicamente, por perfis de aço, nas quais são fixadas placas de gesso acartonado (Figura 5). Tais chapas são fabricadas industrialmente e recebem um preparo adequado de acordo com sua utilização, sendo caracterizadas pela cor de seu cartão: chapas brancas para áreas secas, chapas verdes para áreas úmidas, chapas rosas para áreas que necessitam de maior resistência ao fogo, além de chapas de alta dureza, acústicas e flexíveis (Taniguti, 1999).

Figura 5: Componentes da vedação em gesso acartonado



Fonte: Taniguti (1999, p. 17)

As principais características da vedação com gesso acartonado são:

- Montagem por acoplamento mecânico, com modulação flexível: tal característica garante maior precisão dimensional, uma vez que as peças são fabricadas fora do canteiro de obra. Entretanto, a execução deve ser realizada de forma exata e compatibilizada com os demais subsistemas da edificação. Além disso, o método apresenta flexibilidade construtiva, possibilitando a realização de alterações no projeto arquitetônico reduzindo, porém, a racionalização do sistema construtivo (Sabbatini, 1998);
- Facilidade para execução de instalações hidráulicas, sanitárias e elétricas: devido ao fato da divisória ser oca internamente, há maior facilidade durante a execução das instalações, quando comparada às alvenarias por blocos cerâmicos e de concreto, uma vez que não se faz necessária a quebra da divisória para a execução dos constituintes das instalações (Taniguti, 1999);
- Menor travamento da estrutura: o mercado construtivo brasileiro, muitas vezes não atende às exigências normativas, portanto tal característica deve ser considerada durante o projeto estrutural de uma edificação. Devido à baixa rigidez e à maior resiliência, este sistema não auxilia no contraventamento das estruturas, como

ocorre nos sistemas mais tradicionais, quando monolitizados à estrutura. Dessa forma, o sistema estrutural deve ser projetado de forma que os elementos e o arranjo estrutural possuam rigidez suficiente para suportar as cargas horizontais, causadas pela incidência do vento (Sabbatini, 1998);

- Superfície plana: a superfície da divisória dispensa a aplicação de camadas de regularização para a aplicação do revestimento. A superfície da vedação possibilita, ainda, a aplicação de revestimentos de menor espessura que os usuais nos sistemas convencionais, reduzindo o peso total da divisória (Sabbatini, 1998);

- Baixo Peso Próprio: este método de vedação apresenta baixo peso próprio, uma vez que é constituída basicamente por uma estrutura metálica e duas chapas de gesso acartonado. Segundo Knauf (2015) uma parede com essa composição, totalizando 9,5 cm de espessura, gera uma carga de 22 kg/m².

2.4 INFLUÊNCIA DA ALVENARIA NA ESTRUTURA DE EDIFÍCIOS

Lajes e vedações em alvenaria apresentam considerável rigidez ao contraventamento das estruturas de concreto armado, quando sujeitas a carregamentos horizontais, provenientes da ação do vento ou ações sísmicas. Entretanto, essa contribuição conferida por estes elementos não é considerada durante o projeto estrutural das edificações (FONSECA *et al.*, 1997). Portanto, deve-se projetar a edificação de modo que a estrutura possua rigidez suficiente para suportar as ações horizontais.

Durante o projeto de edifícios altos é necessário analisar a estabilidade global da estrutura, uma vez que esta é solicitada por ações verticais e horizontais, simultaneamente. Dessa forma, deve-se determinar o grau de mobilidade, evitando-se a análise de segunda ordem completa, a qual considera o equilíbrio da edificação em sua posição deslocada (PINTO *et al.*, 2005).

Ao projetar uma edificação, o parâmetro γ_z é utilizado para classificar a estrutura como de nós fixos ou móveis. A NBR 6118 (ABNT, 2014) considera uma estrutura como de nós fixos "...quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência, os efeitos globais de segunda ordem são desprezíveis (inferiores a 10% dos respectivos esforços de primeira ordem). "

Para determinar o coeficiente γ_z , Carvalho (2009) indica a Equação (1)

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

Sendo:

- $M_{1,tot,d}$: momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;
- $\Delta M_{tot,d}$: 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 primeira ordem.

Para classificar uma estrutura como de nós fixos o resultado obtido pela Equação (1) deve ser inferior a 1,10.

Verifica-se que a Equação (1) utiliza as cargas verticais como parâmetro de cálculo. Portanto, a opção por vedações com pesos específicos inferiores ao usual (alvenaria em blocos cerâmicos) pode causar um decréscimo dos parâmetros de estabilidade global do edifício, além de um decréscimo das cargas nas fundações, uma vez que além da redução do peso próprio da vedação em si há a possibilidade de redução das dimensões dos elementos estruturais e, portanto, redução das cargas geradas por estes componentes.

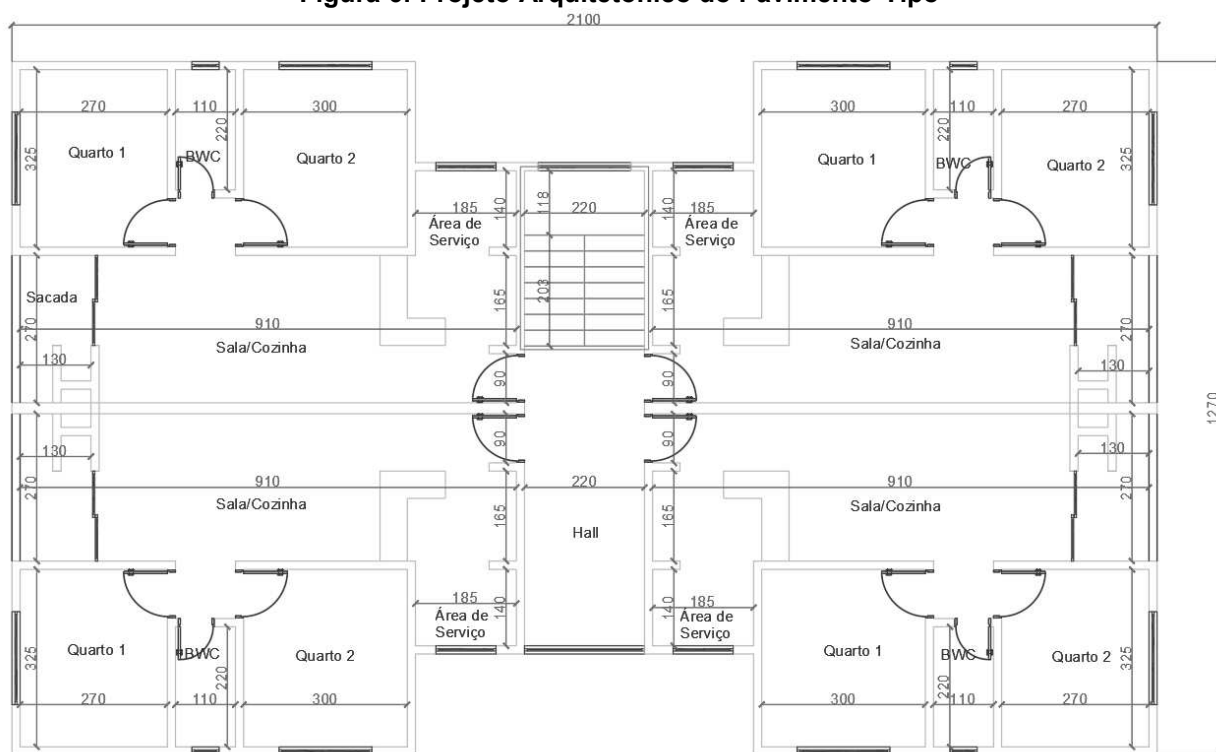
3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho é baseado em análises e dimensionamento de estruturas de edificações residenciais. Para um mesmo projeto arquitetônico foram comparados os resultados de nove edifícios com estrutura de concreto armado, sendo compostos por 4, 8 e 16 pavimentos. Para a realização do dimensionamento estrutural dos edifícios foi utilizado o *software* Eberick®, versão 8.0. Também foram utilizados os relatórios fornecidos pelo *software* para a obter os levantamentos quantitativos dos materiais, os deslocamentos horizontais, o coeficiente Gama-Z e as cargas nas fundações dos edifícios.

3.1 DESCRIÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

Todos os pavimentos foram considerados como tipo, o qual é composto por quatro apartamentos de 56 m², com dois quartos, sala de estar/jantar, cozinha, banheiro, sacada e área de serviço (Figura 6). Desconsiderou-se a instalação de elevadores nos edifícios com 8 e 16 pavimentos a fim de se evitar alterações nos projetos arquitetônicos. Tal opção não interfere na rigidez do edifício, visto que não há um núcleo rígido para abrigar os elevadores.

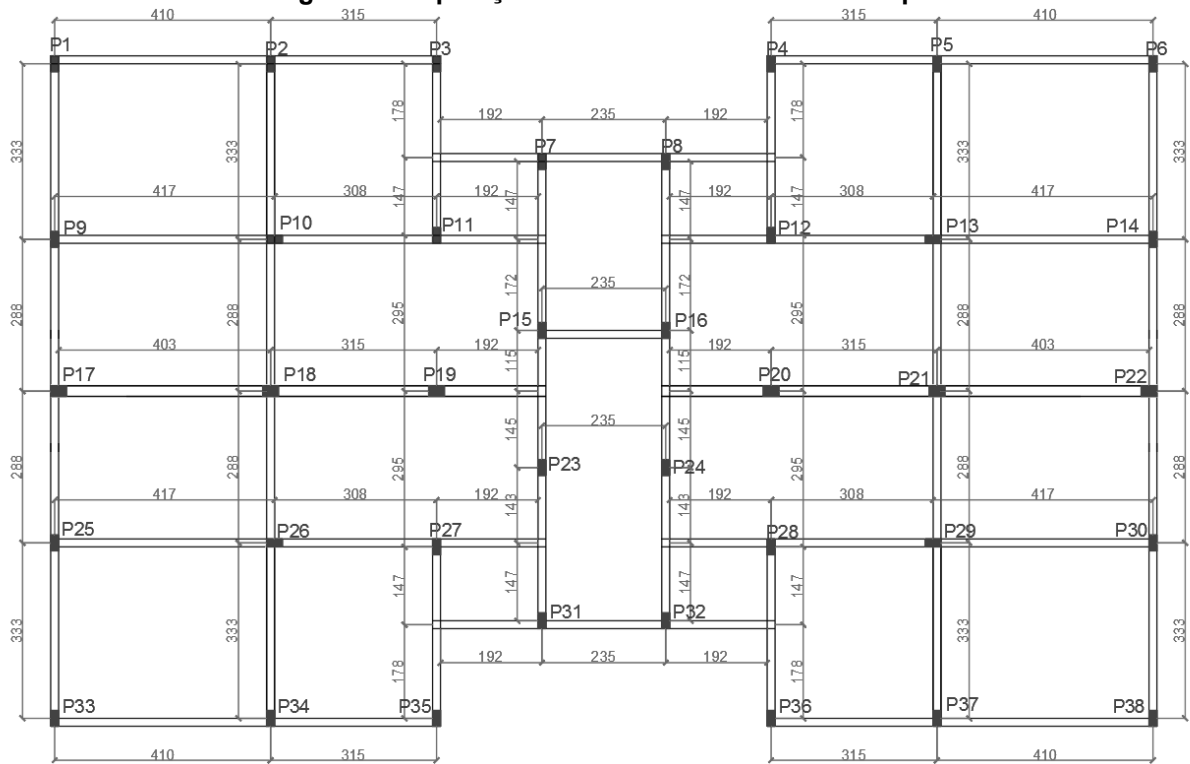
Figura 6: Projeto Arquitetônico do Pavimento-Tipo



3.2 DISPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A disposição dos elementos estruturais foi realizada visando uma composição econômica para a estrutura. A Figura 7 apresenta a disposição dos pilares no pavimento-tipo das edificações.

Figura 7: Disposição dos Pilares no Pavimento-Tipo



Nas Figuras 8 e 9 são apresentadas as disposições das vigas e lajes no pavimento-tipo, respectivamente. Optou-se pela utilização de lajes maciças em concreto armado, armadas nas duas direções.

Figura 8: Disposição das Vigas no Pavimento-Tipo

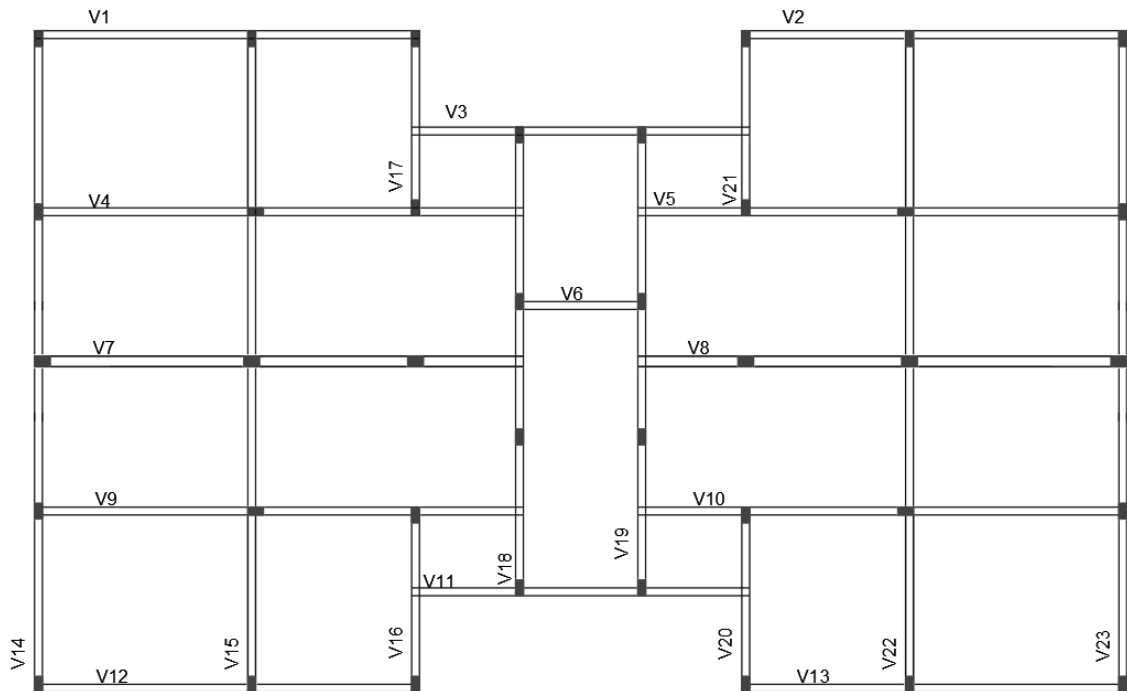
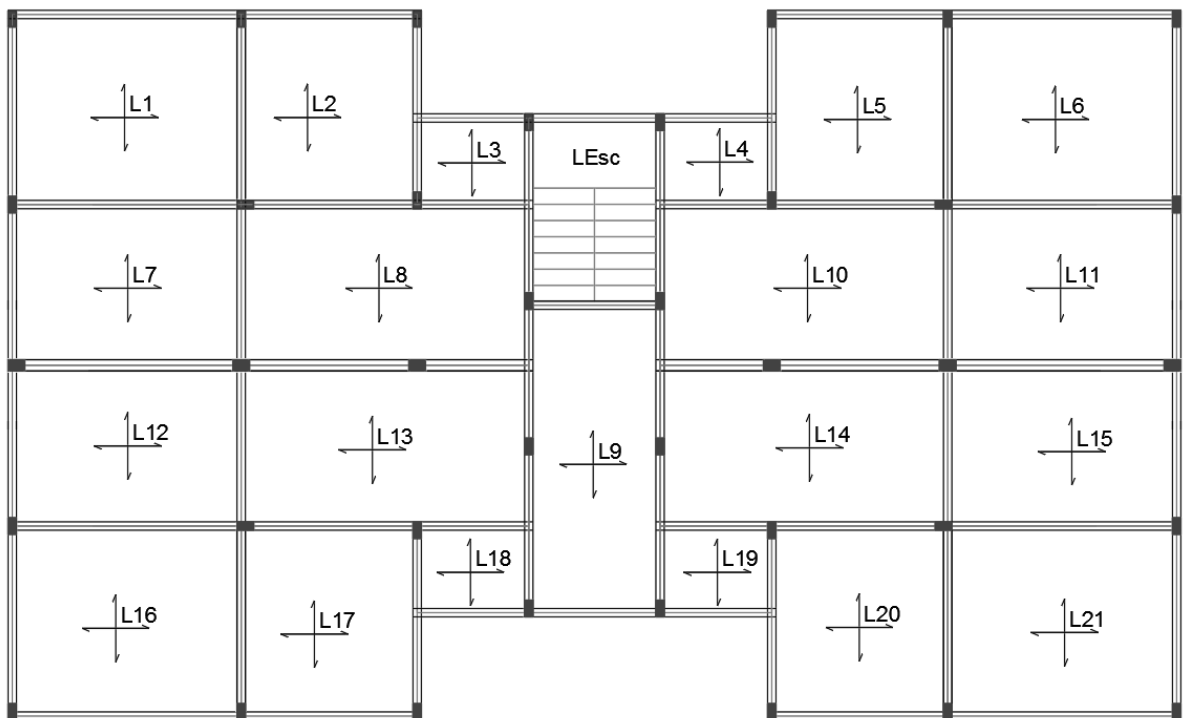


Figura 9: Disposição das Lajes no Pavimento-Tipo



3.2.1 Pré-dimensionamento dos elementos estruturais

O *software* utilizado para o dimensionamento estrutural exige a informação de alguns dados de entrada. Dessa forma, foram pré-estabelecidos o tipo de laje utilizado,

as cargas aplicadas à estrutura (permanentes, acidentais e vedações), a velocidade básica do vento, a classe de agressividade e do concreto adotados, além de um pré-dimensionamento dos elementos estruturais.

A edificação foi considerada em ambiente com classe de agressividade II, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014). Tal classe é considerada como de agressividade moderada, típica de ambiente urbano, apresentando pequeno risco de deterioração da estrutura. Foi considerado concreto de classe C-25 para o dimensionamento das estruturas.

Foram consideradas lajes maciças em todos os pavimentos dos edifícios. Quanto à espessura, a NBR 6118 (ABNT, 2014) determina um valor mínimo de 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN. Para o pré-dimensionamento, foi considerada uma espessura de 12 cm.

O pré-dimensionamento de vigas e pilares seguiu as indicações expostas em Margarido (2001). Para a altura das vigas, utilizou-se o valor de 1/10 do vão da viga, obtendo os valores apresentados na Tabela 3, considerando a largura da seção das vigas de 15 cm.

Tabela 3: Pré-dimensionamento das vigas do pavimento-tipo

Vigas	Maior vão (m)	Altura Calculada (m)	Altura Adotada (m)
1; 2; 4; 5; 9; 10; 12; 13	4,10	0,41	0,45
3; 6; 11	2,35	0,24	0,30
7; 8	4,73	0,47	0,45
14; 15; 16; 17; 18; 21; 22; 23; 24; 25	3,40	0,34	0,45
19; 20	4,43	0,44	0,45

Para pilares, Margarido (2001) considera alguns fatores para o cálculo da área da seção do pilar, como a área de influência de cada pilar, uma carga média de 10 kN/m² sobre o pavimento e o número de andares do edifício. O cálculo da área do pilar se dá por meio da Equação (2).

$$S_c = n \cdot A \cdot 10 \quad (2)$$

Sendo,

- S_c = área do pilar de concreto (em cm²);
- n = número de pavimentos da edificação;
- A = área de influência do pilar (em m²).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estipula que a seção transversal dos pilares só pode possuir dimensão inferior a 19 cm aplicando-se um coeficiente de majoração dos esforços solicitantes, portanto a área de um pilar deve ser superior a 361 cm², correspondente a um pilar quadrado de 19 cm. Logo, os valores inferiores obtidos pela Equação (2) foram substituídos pelo valor mínimo da norma. Dessa forma, obteve-se os valores apresentados na Tabela 4. Foram adotados pilares com seções retangulares, respeitando o valor de área mínima para a seção apresentado na NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 4: Pré-Dimensionamento dos pilares

Pilares	Área de Influência (m ²)	Área do Pilar Calculada (cm ²)			Área do Pilar Adotada (cm ²)		
		4 Pav.	8 Pav.	16 Pav.	4 Pav.	8 Pav.	16 Pav.
1; 6; 31; 36	3,77	150,80	301,60	603,20	361,00	361,00	603,20
2; 5; 32; 35	6,43	257,20	514,40	1.028,80	361,00	514,40	1.028,80
3; 4; 33; 34	2,93	117,20	234,40	468,80	361,00	361,00	468,80
9; 14; 23; 28	6,67	266,80	533,60	1.067,20	361,00	533,60	1.067,20
10; 13; 24; 27	11,37	454,80	909,60	1.819,20	454,80	909,60	1.819,20
11; 12; 25; 26	10,84	433,60	867,20	1.734,40	433,60	867,20	1.734,40
17; 22	10,18	407,20	814,40	1.628,80	407,20	814,40	1.628,80
18; 21	13,30	532,00	1.064,00	2.128,00	532,00	1.064,00	2.128,00
19; 20	9,34	373,60	747,20	1.494,40	373,60	747,20	1.494,40
7; 8; 15; 16	2,19	87,60	175,20	350,40	361,00	361,00	361,00
29; 30	3,83	153,20	306,40	612,80	361,00	361,00	612,80

As dimensões adotadas em projeto foram otimizadas, visando economia de materiais e mão-de-obra. Dessa forma, os valores adotados podem ser diferentes dos valores apresentados na etapa de pré-dimensionamento. Em alguns casos, foi necessário utilizar um valor superior ao apresentado no pré-dimensionamento a fim de se obter o dimensionamento adequado da estrutura seguindo as diretrizes normativas.

3.2.1.1 Cargas aplicadas nas lajes

Como carga permanente nas lajes foram considerados o peso próprio da laje, com peso específico aparente do concreto igual a 25 kN/m³, conforme NBR 6120 (ABNT, 1980) e foi adotada uma carga de revestimento igual a 0,7 kN/m². A carga

decorrente do peso próprio é calculada automaticamente pelo *software* utilizado, dessa forma não foi necessário indicar tal valor nos dados de entrada.

Foram consideradas, também, cargas acidentais obtidas a partir das orientações da NBR 6120 (ABNT, 1980), que considera a utilização da laje. Em casos em que a laje possui mais de uma utilização, adota-se a maior carga acidental apresentada na norma. A Tabela 5 apresenta as cargas aplicadas nas lajes do pavimento-tipo.

Tabela 5: Cargas acidentais aplicadas nas lajes

Laje	Utilização	Carga Acidental (kN/m ²)	Carga Permanente (kN/m ²)	Carga Total (kN/m ²)
L1, L6, L12, L17	Quarto e Banheiro	1,5	0,7	2,2
L2, L5, L13, L16	Quarto	1,5	0,7	2,2
L3, L4, L14, L15	Área de Serviço	2	0,7	2,7
L7, L9, L10, L11	Sala e Cozinha	1,5	0,7	2,2
L8	Corredor	3	0,7	3,7
Lesc	Escada	3	0,7	3,7

Algumas lajes receberam, também, cargas oriundas do apoio de vedações em alguns pontos. Nesses casos, foram acrescidas as cargas referentes às vedações. Estas foram calculadas conforme o tipo de vedação empregada, com base no peso próprio desta vedação, apresentado a seguir.

3.2.1.2 Cargas aplicadas nas vigas

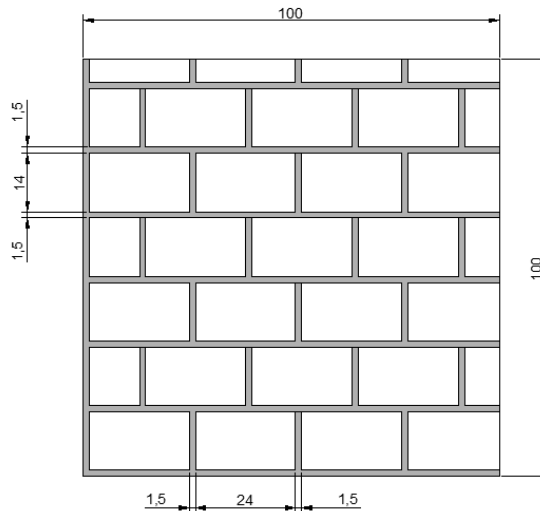
As cargas aplicadas diretamente sobre as vigas são decorrentes das lajes e da disposição das vedações sobre estes elementos estruturais, tais cargas são calculadas a partir do peso próprio das vedações.

As cargas das vedações em alvenaria de blocos cerâmicos e vedações em alvenaria de blocos de concreto foram calculadas utilizando os pesos próprios apresentados na NBR 6120 (ABNT, 1980). Dessa forma, adotou-se o valor de 13 kN/m³ para blocos cerâmicos, de 22 kN/m³ para blocos de concreto e de 19 kN/m³ para a argamassa adotada para emboço, chapisco e assentamento.

Para vedação com blocos cerâmicos, considerou-se blocos com 9 centímetros de largura, 14 centímetros de altura e 24 centímetros de comprimento, assentados com argamassa com espessura de 1,5 cm (Figura 10). Considerou-se, também, 2 cm de

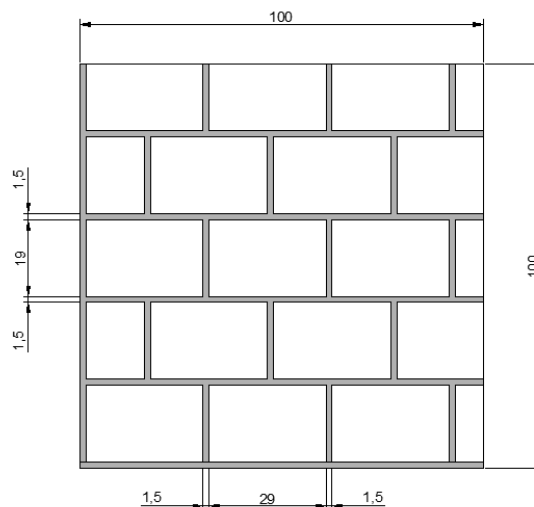
espessura de emboço e chapisco nas duas superfícies da vedação. Dessa forma, calculou-se a carga gerada por 1 m² de alvenaria, obtendo-se o valor de 2,02 kN/m².

Figura 10: Dimensões (em cm) consideradas para o cálculo da carga da alvenaria com blocos cerâmicos



Para vedação com blocos de concreto, considerou-se blocos com 9 centímetros de largura, 19 centímetros de altura e 29 centímetros de comprimento, assentados com argamassa com espessura de 1,5 cm (Figura 11). Considerou-se, também, 2 cm de espessura de emboço e chapisco nas duas superfícies da vedação. Dessa forma, calculou-se a carga gerada por 1 m² de alvenaria, obtendo-se o valor de 2,70 kN/m².

Figura 11: Dimensões (em cm) consideradas para o cálculo da carga da alvenaria com blocos de concreto

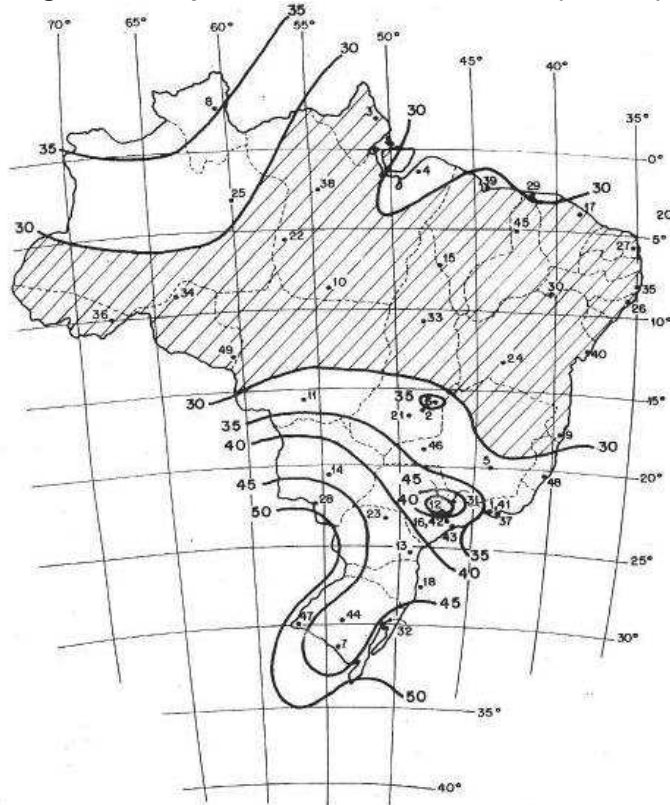


Para vedações em gesso acartonado foi adotado o valor apresentado em Knauf (2015), para uma vedação com 9,5 cm de espessura (Knauf W111), composta por duas chapas de gesso acartonado e estrutura metálica. Dessa forma, a carga adotada será de 0,22 kN/m².

3.2.1.3 Carga gerada pela incidência do vento

Para a consideração da carga devida à incidência do vento, foi adotada a velocidade básica do vento de 47 m/s, visto que é o valor aproximado para a cidade de Toledo, conforme pode ser observado na Figura 12. Considerou-se a incidência do vento aplicada apenas à maior face do edifício. Quanto à topografia do terreno, considerou-se um terreno sem presença de encostas ou vales profundos, dessa forma o fator S1 foi adotado como 1,00. Para o cálculo do fator S2, considerou-se um terreno aberto e com poucos obstáculos (Categoria II) e por se tratar de um edifício residencial, o fator S3 também foi adotado como 1,00. Com base nestes valores o *software* realizou o cálculo das forças de vento seguindo a norma NBR 6123 (ABNT,1988).

Figura 12: Isopletas da Velocidade Básica (em m/s)



Fonte: NBR 6123 (ABNT,1988).

3.2.1.4 Cargas geradas pelas caixas d'água

Sobre as escadas foi considerada a existência de um reservatório elevado em todos os edifícios. O dimensionamento da caixa d'água foi feito considerando a norma de projetos de prevenção contra incêndios fornecida pelo Corpo de Bombeiros. Visto que o volume exigido pode ser dividido em um reservatório elevado e uma cisterna localizada no nível do solo, considerou-se que o volume do reservatório seria de 13,24 m³ e este valor considerado para todos os edifícios.

3.3 ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Aplicando as condições impostas pelo plano de trabalho, foram realizadas as análises e dimensionamentos estruturais de 9 edifícios, variando o número de pavimentos e o tipo de vedação, sendo os modelos caracterizados pelas siglas apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Siglas Adotadas

Sigla	Pavimentos	Vedação Interna	Vedação Externa
P4BCe	4	Blocos Cerâmicos	Blocos Cerâmicos
P8BCe	8	Blocos Cerâmicos	Blocos Cerâmicos
P16BCe	16	Blocos Cerâmicos	Blocos Cerâmicos
P4BCo	4	Blocos de Concreto	Blocos de Concreto
P8BCo	8	Blocos de Concreto	Blocos de Concreto
P16BCo	16	Blocos de Concreto	Blocos de Concreto
P4D	4	Gesso Acartonado	Blocos Cerâmicos
P8D	8	Gesso Acartonado	Blocos Cerâmicos
P16D	16	Gesso Acartonado	Blocos Cerâmicos

3.4 LEVANTAMENTO QUANTITATIVO

Após obter o dimensionamento dos elementos estruturais de todos os edifícios, foram comparados os valores de carga de fundação, além dos consumos de concreto, aço e formas para a execução das estruturas.

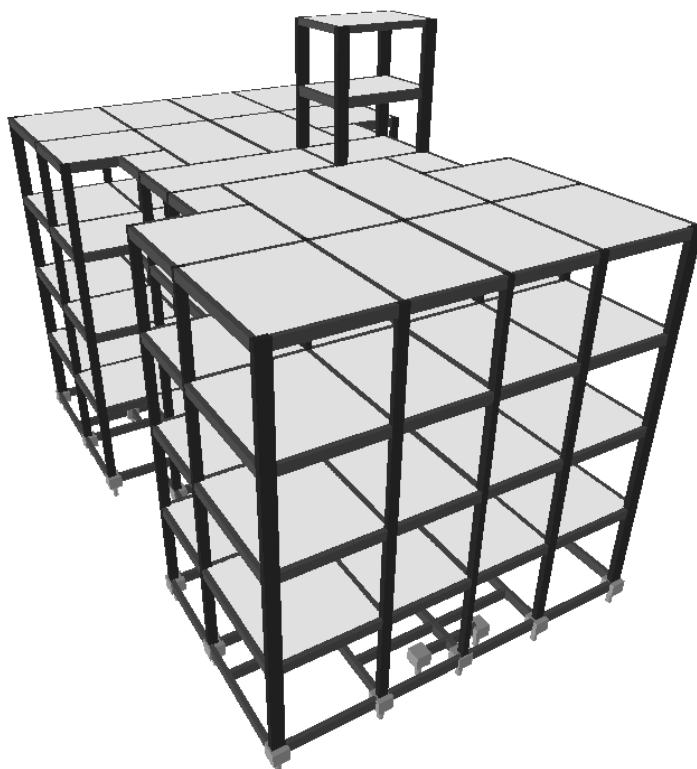
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EDIFÍCIOS COM QUATRO PAVIMENTOS

4.1.1 Dimensões dos elementos estruturais

A Figura 13 apresenta o modelo 3D dos edifícios de quatro pavimentos.

Figura 13: Modelo 3D dos edifícios de quatro pavimentos



Ao final das análises estruturais a espessura das lajes manteve-se igual ao valor adotado na etapa do pré-dimensionamento para os três modelos, sendo igual a 12 cm.

As dimensões finais das vigas para os pavimentos-tipo e cobertura são apresentadas na Figura 14. Para o caso das vigas baldrame foram calculadas vigas extras para os pontos onde há vedações que não são apoiadas sobre as vigas, conforme mostrado na Figura 15. No edifício P4BCo, a viga baldrame possui altura 5 cm superior em relação aos outros dois casos. Dessa forma, todas as vigas baldrame para esse edifício possuem 40 cm de altura.

Figura 14: Vigas para os pavimentos-tipo e cobertura dos edifícios de quatro pavimentos (cm)

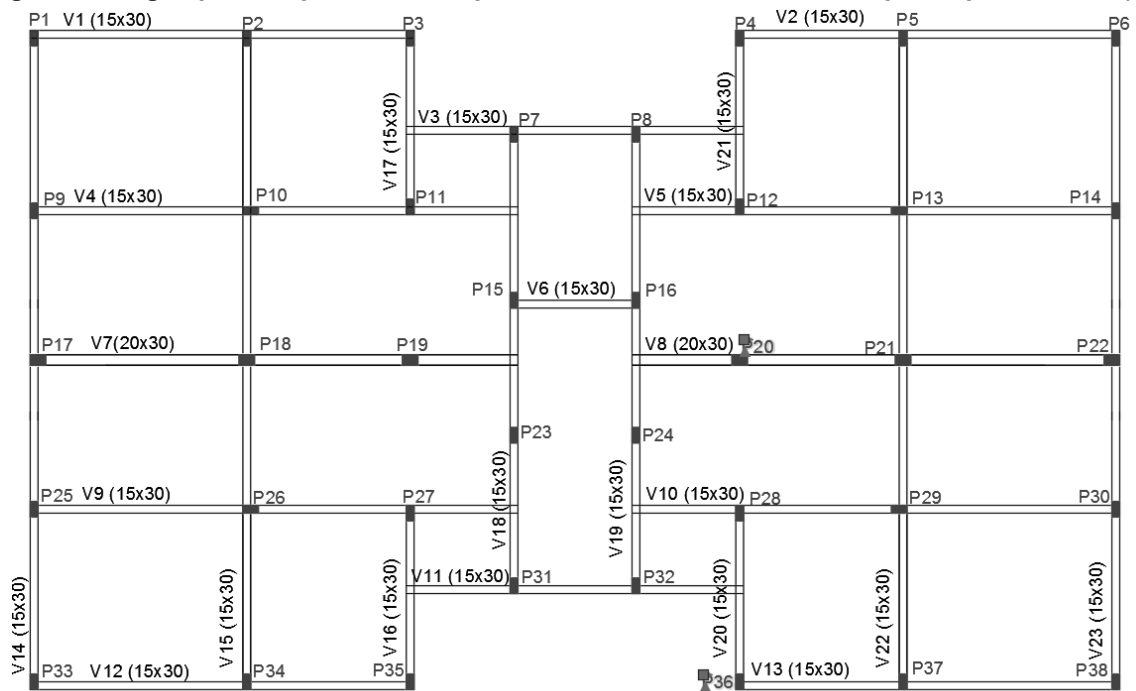
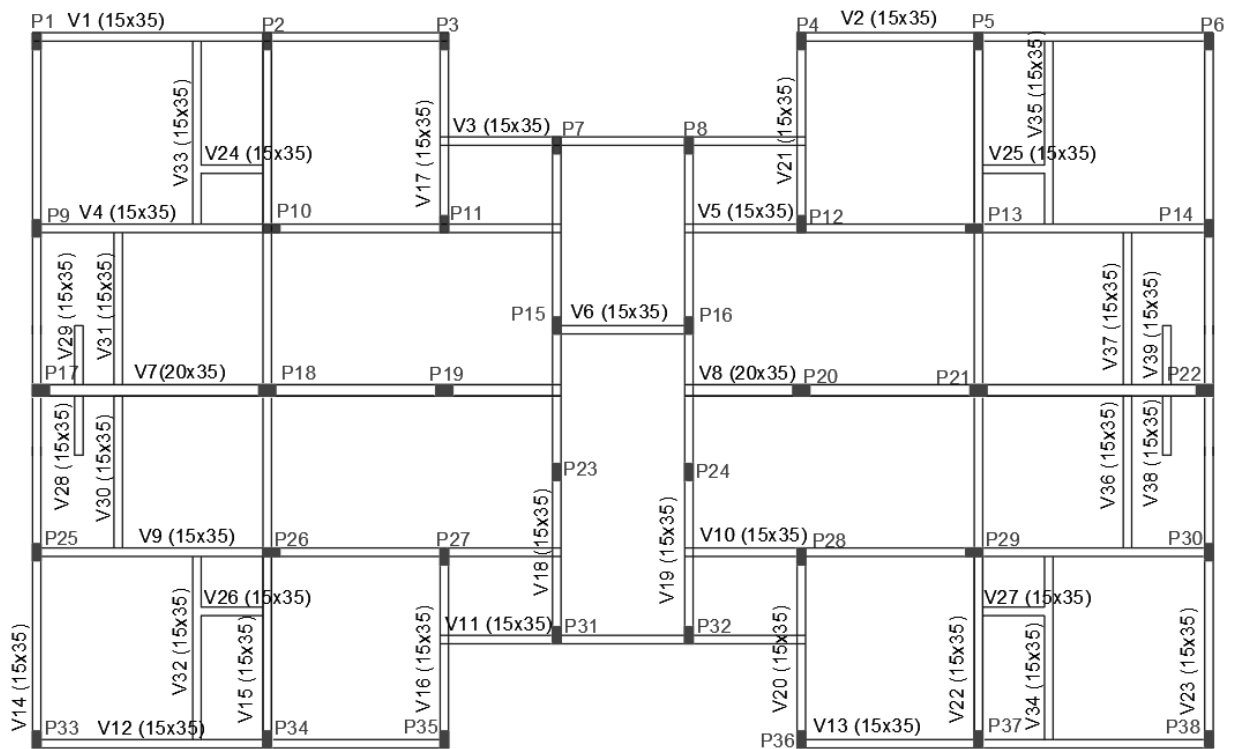


Figura 15: Vigas baldrame dos edifícios de quatro pavimentos (cm)



As dimensões finais dos pilares para os três modelos de quatro pavimentos são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Dimensões dos pilares para os edifícios de quatro pavimentos (cm)

Pilar	Cobertura	Tipo 3	Tipo 2	Tipo 1	Térreo
1	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40
2	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
3	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
4	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
5	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
6	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40
7	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40
8	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40
9	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
10	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
11	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
12	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
13	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
14	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
15	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40
16	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40
17	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 40
18	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 40
19	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 40
20	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 40
21	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 40
22	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 25	20 x 40
23	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
24	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
25	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
26	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
27	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
28	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
29	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
30	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
31	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
32	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
33	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40
34	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
35	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
36	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
37	15 x 30	15 x 30	20 x 30	20 x 30	20 x 40
38	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 40

4.1.2 Quantitativo de materiais

A Tabela 6 apresenta os quantitativos de materiais para a execução dos edifícios de quatro pavimentos propostos.

Edifício	Elemento	Peso de Aço + 10% (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de Forma (m²)
P4BCe	Vigas	3.592,80	47,60	768,70
	Pilares	2.796,70	28,60	488,40
	Lajes	5.140,10	103,40	861,20
	Escadas	117,60	3,90	43,20
	Total	11.647,20	183,50	2.161,50
P4BCo	Vigas	3.870,50	49,30	790,90
	Pilares	3.035,70	28,60	488,40
	Lajes	5.947,70	103,40	861,20
	Escadas	117,60	3,90	43,20
	Total	12.971,50	185,20	2.183,70
P4D	Vigas	3.306,70	47,60	768,70
	Pilares	2.588,50	28,60	488,40
	Lajes	4.873,70	103,40	861,20
	Escadas	117,60	3,90	43,20
	Total	10.886,50	183,50	2.161,50

Observando os valores apresentados na Tabela 6 nota-se que a área de forma e o volume de concreto necessários para a execução dos edifícios P4BCe e P4D são iguais e para a execução do edifício P4BCo é ligeiramente superior. Isto se dá pela necessidade de seções maiores para as vigas baldrames a fim de se reduzir aumentar a rigidez e reduzir o deslocamento horizontal da estrutura composta por blocos de concreto. A pequena diferença na quantidade de concreto necessária é justificada pela grande influência dos esforços horizontais na estrutura, decorrente da incidência dos ventos. Para os três edifícios foi necessário um aumento das dimensões dos elementos para diminuir o deslocamento horizontal do edifício como um todo.

O levantamento quantitativo de aço, entretanto, apresentou valores distintos para os três edifícios devido à grande diferença de cargas geradas pelas vedações.

4.1.3 Deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z

A Tabela 7 apresenta os deslocamentos horizontais e o coeficiente Gama-Z para as direções X e Y para os edifícios de quatro pavimentos.

Tabela 7: Deslocamentos Horizontais e Gama-Z para Edifícios de Quatro Pavimentos

Edifício	Direção	Deslocamento horizontal (cm)	Coeficiente Gama-Z
P4BCe	X	0,83 (Limite 1,06)	1,09 (Limite 1,10)
	Y	1,05 (Limite 1,06)	1,09 (Limite 1,10)
P4BCo	X	0,83 (Limite 1,06)	1,10 (Limite 1,10)
	Y	1,04 (Limite 1,06)	1,10 (Limite 1,10)
P4D	X	0,82 (Limite 1,06)	1,08 (Limite 1,10)
	Y	1,04 (Limite 1,06)	1,08 (Limite 1,10)

Observa-se que os deslocamentos horizontais para as duas direções não variam significativamente entre os três modelos de edifício, devido ao fato de que todas as estruturas exigiram modificações nas dimensões dos elementos, visando atender ao limite proposto em Norma.

Analisando os valores para o coeficiente Gama-Z pode-se observar que o valor varia diretamente de acordo com o peso das vedações utilizadas.

4.1.4 Cargas nas fundações

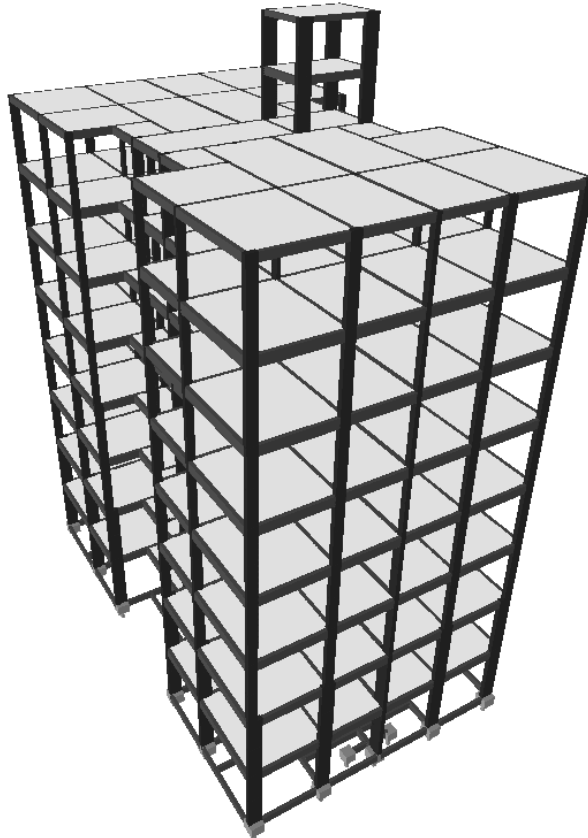
As cargas aplicadas nas fundações variaram de acordo com o tipo das vedações utilizadas para cada projeto, com cargas totais na fundação iguais a 1.154,71 tf, 1.328,34 tf e 1.003,19 tf para os edifícios P4BCe, P4BCo e P4D, respectivamente.

4.2 EDIFÍCIOS COM OITO PAVIMENTOS

4.2.1 Dimensões dos elementos estruturais

A Figura 16 apresenta o modelo 3D dos edifícios de oito pavimentos.

Figura 16: Modelo 3D dos edifícios de oito pavimentos



Ao final das análises estruturais a espessura das lajes manteve-se igual ao valor adotado na etapa do pré-dimensionamento para os três modelos, sendo igual a 12 cm.

As dimensões finais das vigas são apresentadas na Figura 17 e são correspondentes a todos os pavimentos. Para o caso das vigas baldrame foram calculadas vigas extras para os pontos onde há vedações que não são apoiadas sobre as vigas, conforme mostrado na Figura 18. No edifício P8D, a viga baldrame possui altura 5 cm inferior em relação aos outros dois casos. Dessa forma, todas as vigas baldrame para esse edifício possuem 30 cm de altura.

Figura 17: Vigas para os pavimentos-tipo e cobertura dos edifícios de oito pavimentos (cm)

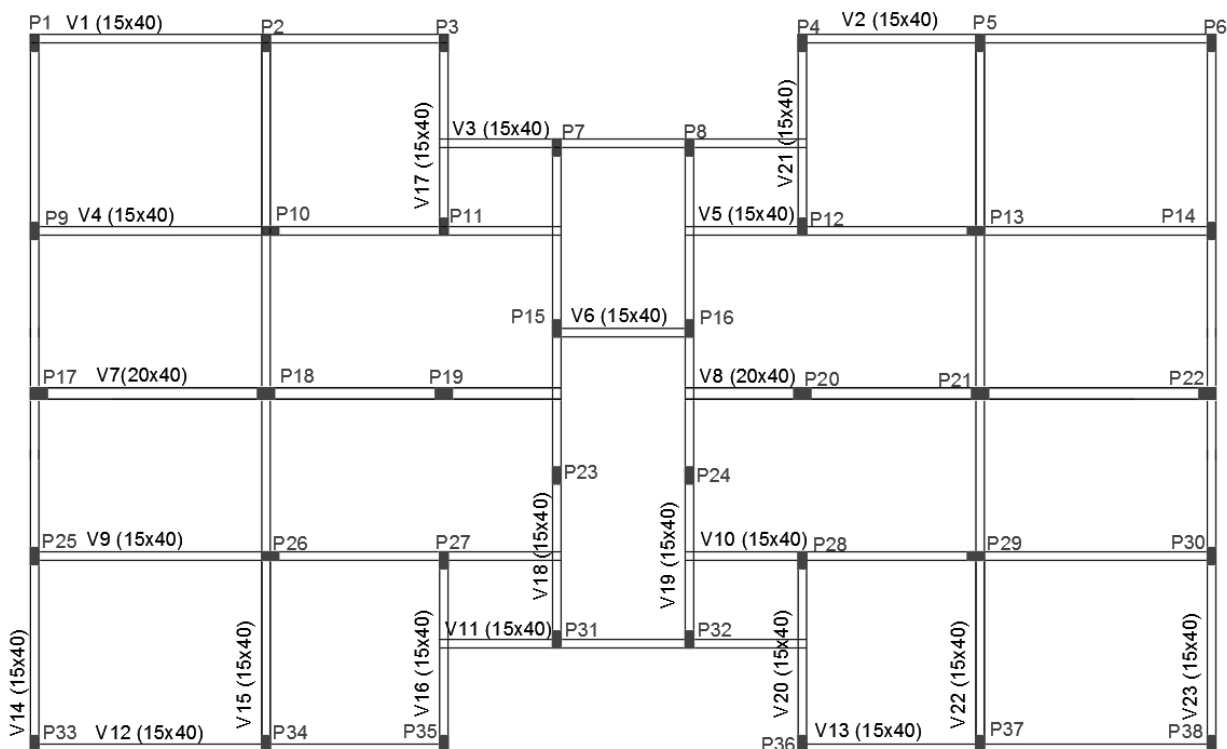
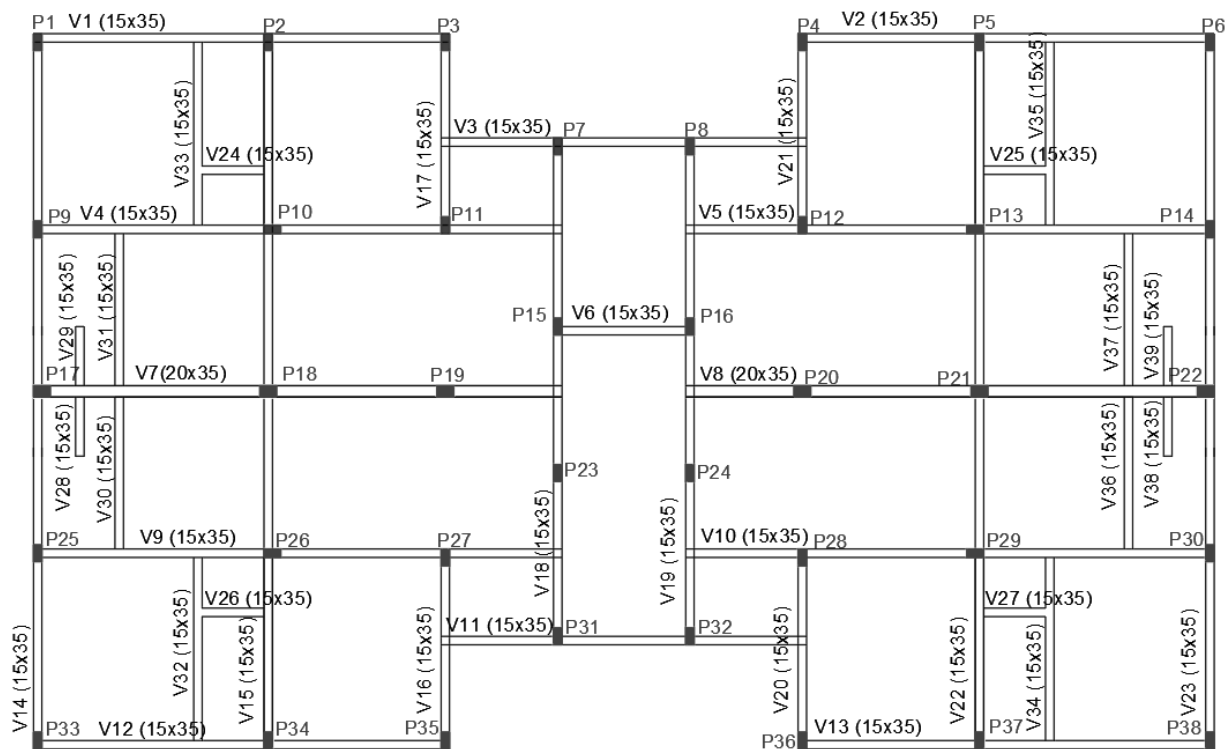


Figura 18: Vigas baldrame dos edifícios de oito pavimentos (cm)



As dimensões finais dos pilares para os três modelos de oito pavimentos são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3: Dimensões dos pilares para os edifícios de oito pavimentos (cm)

Pilar	Cobertura	Tipos 7, 6 e 5	Tipos 4 e 3	Tipos 2 e 1 e Térreo
1	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 60
2	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
3	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
4	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
5	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
6	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 60
7	20 x 60	20 x 60	20 x 60	20 x 60
8	20 x 60	20 x 60	20 x 60	20 x 60
9	20 x 40	20 x 30	20 x 40	20 x 60
10	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
11	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
12	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
13	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
14	20 x 40	20 x 30	20 x 40	20 x 60
15	20 x 60	20 x 60	20 x 60	20 x 60
16	20 x 60	20 x 60	20 x 60	20 x 60
17	20 x 25	20 x 25	20 x 40	20 x 60
18	20 x 25	20 x 25	20 x 40	20 x 60
19	20 x 25	20 x 25	20 x 40	20 x 60
20	20 x 25	20 x 25	20 x 40	20 x 60
21	20 x 25	20 x 25	20 x 40	20 x 60
22	20 x 25	20 x 25	20 x 40	20 x 60
23	20 x 40	20 x 30	20 x 40	20 x 60
24	20 x 40	20 x 30	20 x 40	20 x 60
25	20 x 40	20 x 30	20 x 40	20 x 60
26	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
27	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
28	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
29	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
30	20 x 40	20 x 30	20 x 40	20 x 60
31	20 x 40	20 x 30	20 x 40	20 x 60
32	20 x 40	20 x 30	20 x 40	20 x 60
33	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 60
34	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
35	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
36	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
37	15 x 30	20 x 30	20 x 40	20 x 60
38	20 x 40	20 x 40	20 x 40	20 x 60

4.2.2 Levantamento quantitativo de materiais

A Tabela 8 apresenta os levantamentos quantitativos para os edifícios de oito pavimentos.

Tabela 8: Levantamentos Quantitativos para Edifícios de Oito Pavimentos

Edifício	Elemento	Peso de Aço + 10% (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de Forma (m²)
P8BCe	Vigas	8.600,00	102,70	1.596,40
	Pilares	7.328,30	82,00	1.053,20
	Lajes	10.459,60	204,20	1.701,20
	Escadas	274,40	9,10	100,80
	Total	26.662,30	398,00	4.451,60
P8BCo	Vigas	9.199,00	102,70	1.596,40
	Pilares	7.918,10	82,00	1.053,20
	Lajes	12.344,00	204,20	1.701,20
	Escadas	274,40	9,10	100,80
	Total	29.735,50	398,00	4.451,60
P8D	Vigas	8.117,70	101,00	1.574,30
	Pilares	6.911,00	82,00	1.053,20
	Lajes	9.838,00	204,20	1.701,20
	Escadas	274,40	9,10	100,80
	Total	25.141,10	396,30	4.429,50

Analisando os dados referentes aos edifícios de oito pavimentos é possível notar que o padrão de consumo se assemelha ao apresentado para os edifícios de quatro pavimentos. Novamente, a justificativa para a similaridade dos valores do consumo de concreto e da área de forma se dá ao dimensionamento requerido para suportar aos esforços oriundos da aplicação das cargas dos ventos.

Em relação ao consumo de aço, o padrão apresentado também se assemelha ao observado para edifícios de quatro pavimentos, com os valores sendo diretamente proporcionais ao peso das vedações aplicadas à estrutura.

4.2.3 Deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z

A Tabela 9 apresenta os dados de deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z para os edifícios de oito pavimentos nas direções X e Y.

Tabela 9: Deslocamentos Horizontais e Gama-Z para Edifícios de Oito Pavimentos

Edifício	Direção	Deslocamento horizontal (cm)	Coefficiente Gama-Z
P8BCe	X	1,31 (Limite 1,76)	1,09 (Limite 1,10)
	Y	1,74 (Limite 1,76)	1,07 (Limite 1,10)
P8BCo	X	1,33 (Limite 1,76)	1,10 (Limite 1,10)
	Y	1,76 (Limite 1,76)	1,08 (Limite 1,10)
P8D	X	1,32 (Limite 1,76)	1,08 (Limite 1,10)
	Y	1,74 (Limite 1,76)	1,06 (Limite 1,10)

Analisando os dados da Tabela 9, nota-se pequena variação nos deslocamentos horizontais para ambas as direções X e Y, sendo diretamente relacionados ao peso das vedações aplicadas à estrutura, semelhante ao observado para o coeficiente Gama-Z.

4.2.4 Cargas nas fundações

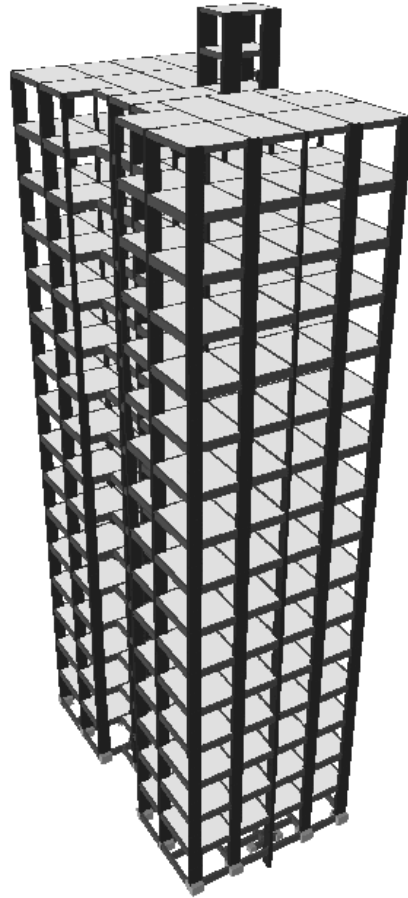
Assim como para os edifícios de quatro pavimentos, a carga na fundação para os edifícios de oito pavimentos depende do peso das vedações aplicadas. Dessa forma, o edifício de oito pavimentos com maior carga na fundação foi o P8BCo com 2631,33 tf, em seguida tem-se o edifício P8BCe com 2353,50 tf e o edifício P8D que gera uma carga de 2060,14 tf na fundação.

4.3 EDIFÍCIOS COM DEZESSEIS PAVIMENTOS

4.3.1 Dimensões dos elementos estruturais

A Figura 19 apresenta o modelo 3D dos edifícios de oito pavimentos.

Figura 19: Modelo 3D dos edifícios de dezesseis pavimentos



Ao final das análises estruturais a espessura das lajes manteve-se igual ao valor adotado na etapa do pré-dimensionamento para os três modelos, sendo igual a 12 cm.

As dimensões finais das vigas são apresentadas na Figura 20 e são correspondentes a todos os pavimentos. Para o caso das vigas baldrame foram calculadas vigas extras para os pontos onde há vedações que não são apoiadas sobre as vigas, conforme mostrado na Figura 21 para o edifício P16BCe. Nos edifícios P16D e P16BCo, a viga baldrame possui altura 20 cm inferior em relação ao edifício P16BCe. Dessa forma, todas as vigas baldrame para esses edifícios possuem 40 cm de altura.

Figura 20: Vigas para os pavimentos-tipo e cobertura dos edifícios de dezesseis pavimentos (cm)

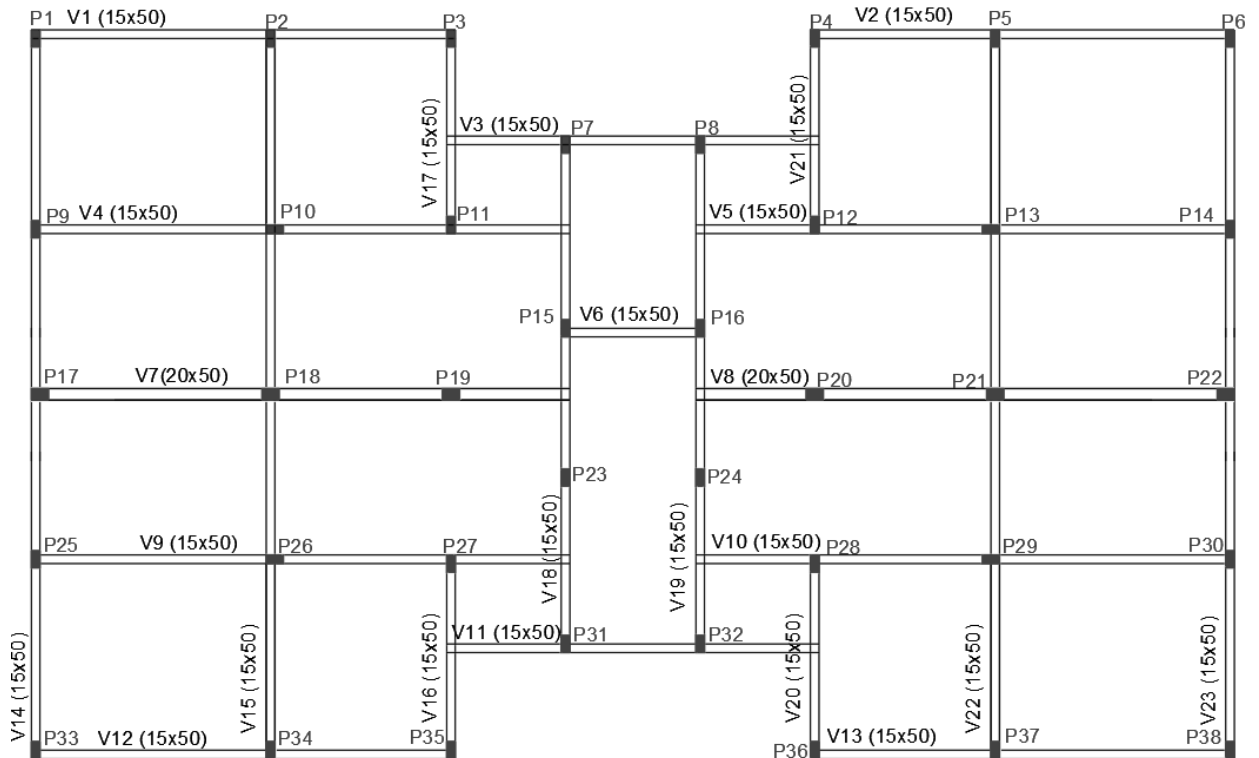
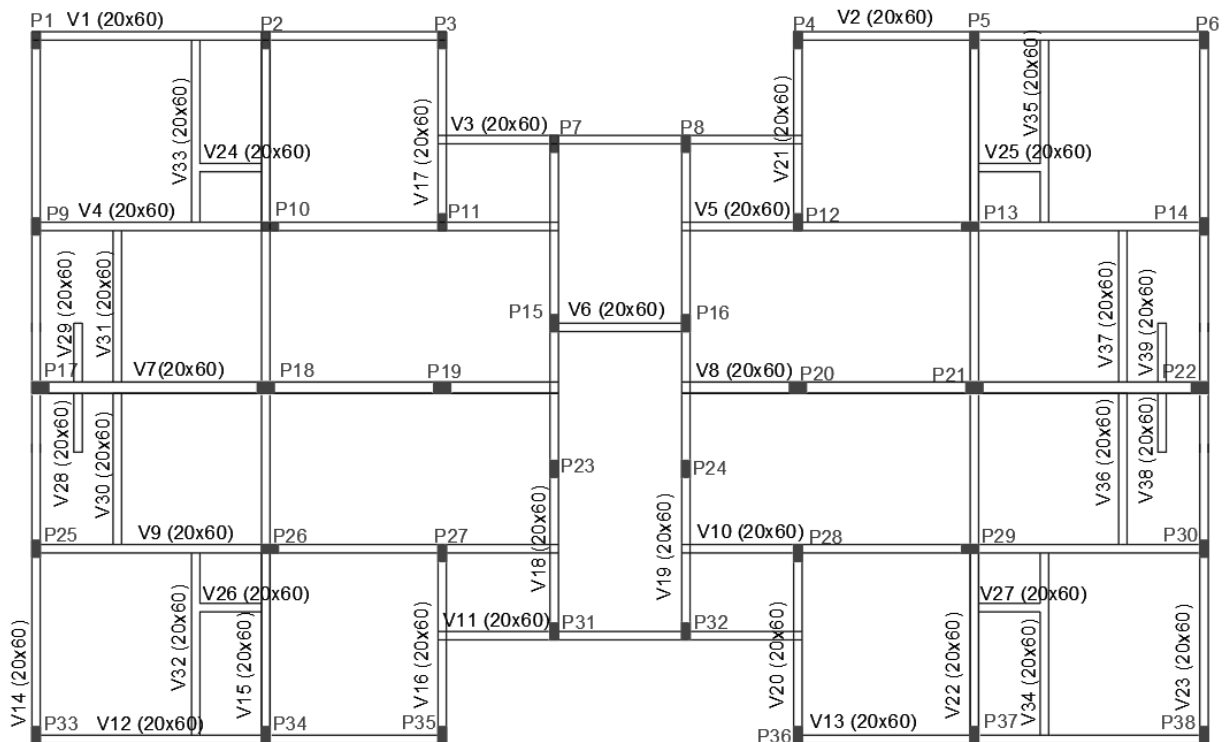


Figura 21: Vigas baldrame para o edifício P16BCe (cm)



As dimensões finais dos pilares para os edifícios P16BCe e P16D são apresentadas no Quadro 4. Para o edifício P16BCo as únicas diferenças são nos casos

4.3.2 Levantamento quantitativo de materiais

A Tabela 10 apresenta o levantamento quantitativo de materiais referente aos edifícios de 16 pavimentos.

Tabela 10: Levantamentos Quantitativos para Edifícios de Dezesesseis Pavimentos

Edifício	Elemento	Peso de Aço + 10% (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de Forma (m²)
P16BCe	Vigas	24.293,10	253,30	3.702,30
	Pilares	27.114,20	394,00	3.774,50
	Lajes	21.150,00	405,80	3.381,20
	Escadas	588,00	19,50	216,00
	Total	73.145,30	1.072,60	11.074,00
P16BCo	Vigas	25.562,60	244,50	3.614,20
	Pilares	27.383,60	400,50	3.817,80
	Lajes	25.188,00	405,80	3.381,20
	Escadas	588,00	19,50	216,00
	Total	78.722,20	1.070,30	11.029,20
P16D	Vigas	23.647,00	244,50	3.702,30
	Pilares	27.050,00	394,00	3.774,50
	Lajes	19.818,00	405,80	3.381,20
	Escadas	588,00	19,50	216,00
	Total	71.103,00	1.063,80	10.985,90

Para os edifícios de 16 pavimentos o padrão de consumo de materiais apresenta a influência direta do peso das vedações utilizadas nas quantidades de aço requeridas. Quanto ao consumo de concreto e formas, é possível observar novamente a similaridade nas quantidades necessárias.

4.3.3 Deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z

A Tabela 11 apresenta os deslocamentos horizontais e o coeficiente Gama-z para as direções X e Y para os edifícios de 16 pavimentos.

Tabela 11: Deslocamentos Horizontais e Gama-Z para Edifícios de Dezesesseis Pavimentos

Edifício	Direção	Deslocamento horizontal (cm)	Coefficiente Gama-Z
P16BCe	X	2,17 (Limite 3,18)	1,08 (Limite 1,10)
	Y	3,17 (Limite 3,18)	1,06 (Limite 1,10)
P16BCo	X	2,17 (Limite 3,18)	1,08 (Limite 1,10)
	Y	3,17 (Limite 3,18)	1,07 (Limite 1,10)
P16D	X	2,18 (Limite 3,18)	1,07 (Limite 1,10)
	Y	3,17 (Limite 3,18)	1,05 (Limite 1,10)

Nota-se que os deslocamentos horizontais são idênticos para os três casos. Isto se dá pelo fato de que as estruturas foram dimensionadas para apresentar um valor próximo ao limite, acarretando em uma economia de materiais.

Os valores do coeficiente Gama-Z seguem o mesmo padrão dos demais edifícios, variando de acordo com o peso das vedações.

4.3.4 Cargas nas fundações

As cargas nas fundações seguem o mesmo padrão e, dessa forma, o edifício P16BCo possui a maior carga com 5752,28 tf, o edifício P16BCe apresenta carga de 5177,52 tf e, por último, o edifício P16D gera uma carga de 4600,05 tf.

4.4 COMPARATIVO ENTRE OS EDIFÍCIOS

4.4.1 Quantitativo de materiais

A Tabela 12 apresenta os consumos totais de aço para todos os edifícios apresentados.

Tabela 12: Consumos totais de aço (kg)

Tipo de Vedação	4 Pavimentos	8 Pavimentos	16 Pavimentos
Blocos Cerâmicos	11.647,20	26.662,30	73.145,30
Blocos de Concreto	12.971,50	29.735,50	78.722,20
Blocos Cerâmicos + Gesso Acartonado	10.886,50	25.141,10	71.103,00

Comparando a quantidade de aço necessária para a execução dos edifícios é possível perceber a influência de diferentes tipos de vedação no consumo de aço estrutural. Para um edifício com 4 pavimentos, utilizando como referência o método

com blocos cerâmicos, observa-se que um edifício de arquitetura idêntica utilizando blocos de concreto como vedação requer um aumento de 11,37% na quantidade de aço, enquanto o mesmo edifício, porém com vedações internas compostas de gesso acartonado proporciona economia de 6,53% desse material.

Para o caso de edifícios com oito pavimentos o uso de blocos de concreto acarreta em um aumento de 11,53%, enquanto a utilização de gesso acartonado proporciona uma economia de 5,71%.

Entretanto, para edifícios com dezesseis pavimentos essa influência é reduzida. O padrão quantitativo apresentado é mantido, porém a proporção é reduzida, sendo que o edifício composto por blocos de concreto gera agora um aumento de 7,62% e o edifício contendo vedações de gesso acartonado proporciona somente 2,79% de economia do material.

Apesar da redução na proporção do consumo de aço é possível notar que há um aumento na diferença entre os quantitativos para os casos de edifícios mais altos. Isto se deve a necessidade de maior rigidez dos elementos para suportar as cargas geradas pela incidência do vento.

Comparando o volume de concreto e a área de forma necessária para a execução dos edifícios, apresentado na Tabela 13, nota-se que a influência do tipo de vedação adotado na quantidade destes materiais é pouco significativa. Em alguns casos, inclusive, a quantidade de materiais é igual. Isto se dá pela necessidade de elementos estruturais com grandes dimensões a fim de se obter maior rigidez dos edifícios e reduzir os deslocamentos horizontais.

Tabela 13: Consumos totais de concreto

Tipo de Vedação	4 Pavimentos		8 Pavimentos		16 Pavimentos	
	Volume de concreto (m ³)	Área de Forma (m ²)	Volume de concreto (m ³)	Área de Forma (m ²)	Volume de concreto (m ³)	Área de Forma (m ²)
Blocos Cerâmicos	183,50	2.161,50	398,00	4.451,60	1.072,60	11.074,00
Blocos de Concreto	185,20	2.183,70	398,00	4.451,60	1.070,30	11.029,00
Blocos Cerâmicos + Gesso Acartonado	183,50	2.161,50	396,30	4.429,50	1.063,80	10.985,90

4.4.2 Deslocamentos horizontais e coeficiente Gama-Z

O Gráfico 1 apresenta os deslocamentos horizontais para todos os edifícios nas direções X e Y, assim como os valores limites para cada número de pavimentos adotados.

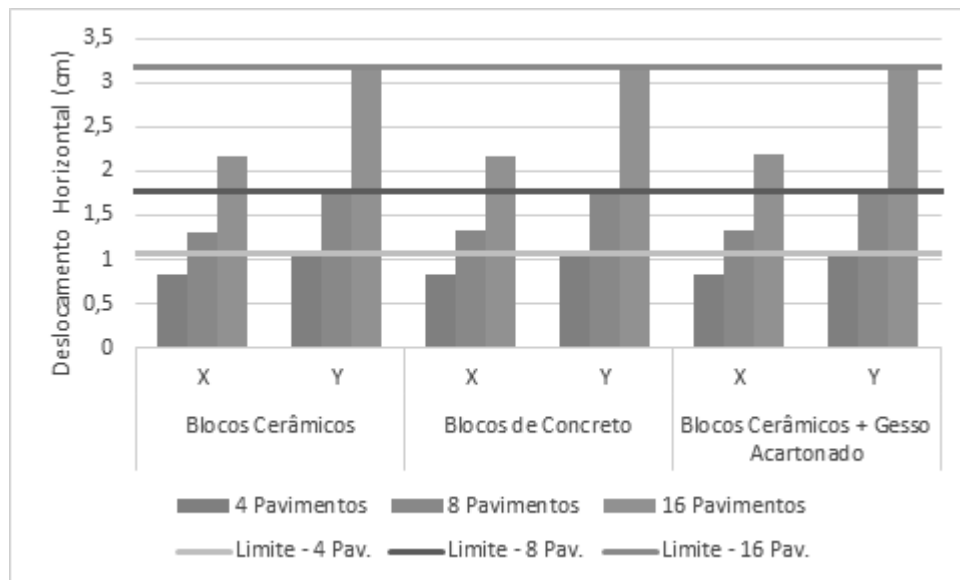


Gráfico 1: Deslocamentos Horizontais

Nota-se que os deslocamentos horizontais de todos os edifícios estão próximos dos valores limites. Isto se deve ao fato de que todas as estruturas foram dimensionadas tendo estes valores limites como referência, uma vez que os esforços horizontais devidos ao vento foram os fatores determinantes para a forma final dos elementos.

Quanto ao coeficiente Gama-Z, o Gráfico 2 apresenta os valores calculados para todos os edifícios, assim como o valor limite para esse parâmetro.

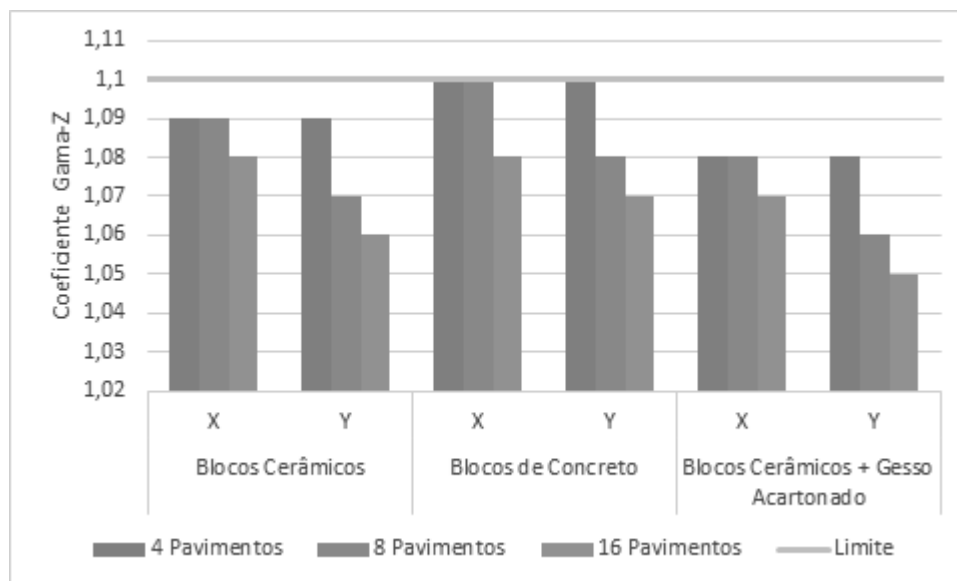


Gráfico 2: Coeficiente Gama-Z

Observa-se que, em geral, todos os valores são muito próximos, entretanto há uma pequena diferença nos valores de acordo com o tipo de vedação adotado. Para as três variações de altura dos edifícios o padrão é o mesmo, tendo o edifício com vedações de bloco de concreto com o maior valor de Gama-Z e o edifício com vedações de blocos cerâmicos e gesso acartonado com o menor valor.

4.4.3 Cargas nas fundações

A Tabela 14 apresenta as cargas nas fundações geradas por todos os edifícios apresentados.

Tabela 14: Cargas nas Fundações (tf)

Tipo de Vedação	4 Pavimentos	8 Pavimentos	16 Pavimentos
Blocos Cerâmicos	1.154,71	2.344,50	5.177,52
Blocos de Concreto	1.328,34	2.622,90	5.818,00
Blocos Cerâmicos + Gesso Acartonado	1.003,19	2.046,69	4.600,05

Pode-se observar que a escolha do tipo das vedações tem direta influência na carga gerada para as fundações. Nos edifícios de quatro pavimentos, por exemplo, adotando o edifício com vedações de blocos cerâmicos como referência, nota-se que o uso de blocos de concreto gera um acréscimo de 15,04% nas cargas, enquanto o uso de gesso acartonado para divisórias internas reduz a carga total em 13,12%.

Para os edifícios de oito pavimentos o uso de blocos de concreto acresce as cargas em 11,87% e o uso do gesso acartonado reduz a carga total em 12,70%. Já

para os edifícios de dezesseis pavimentos o acréscimo gerado com o uso dos blocos de concreto é de 12,37% e a redução gerada pela utilização do gesso acartonado é de 11,15%.

Observa-se que ocorreu uma redução da variação das cargas nas fundações entre os edifícios de quatro pavimentos e os edifícios de oito e dezesseis pavimentos. O acréscimo de carga gerado pelo uso de blocos de concreto é de, aproximadamente, 15% para o edifício de 4 pavimentos, enquanto que para os edifícios de 8 e 16 pavimentos esse acréscimo é de, aproximadamente 12%. Já a redução de cargas nas fundações gerada pela utilização de gesso acartonado varia de, aproximadamente 13% no edifício de 4 pavimentos para, aproximadamente, 11% nos edifícios de 8 e 16 pavimentos. Essa redução das variações é justificada pela necessidade de estruturas maiores para os edifícios mais altos, uma vez que o vento influencia em maior escala o dimensionamento estrutural. Dessa forma, a influência da vedação na carga final gerada na fundação é menor para edifícios mais altos.

5 CONCLUSÃO

Após o dimensionamento dos edifícios e a comparação dos dados gerados pode-se chegar às seguintes conclusões quanto ao caso estudado:

- A utilização de blocos de concreto na composição de vedações externas e internas de edifícios residenciais acarreta em um maior consumo de concreto, madeiramento e, principalmente, aço estrutural quando comparado ao método mais tradicional (blocos cerâmicos);

- Quanto à estabilidade global, nota-se que os edifícios com vedações compostas por blocos de concreto apresentam o coeficiente Gama-Z coincidente ao valor limite em alguns casos, tornando recomendável a análise de segunda ordem para a estrutura. Por último, tal composição do edifício acarreta em um aumento significativo nas cargas depositadas sobre as fundações;

- O uso de vedações compostas por placas de gesso acartonado como vedação interna, quando comparado ao uso de blocos cerâmicos, gera economia de materiais, principalmente no uso de aço estrutural;

- A economia de concreto e formas é muito pequena ou até nula em edifícios com gesso acartonado. O uso deste componente, porém, reduz o coeficiente Gama-Z e, principalmente, reduz uma porção considerável das cargas nas fundações;

- A provável justificativa para a proximidade dos valores quantitativos entre as estruturas está no formato geral do projeto arquitetônico escolhido. Considerando que a planta possui 12,70 m de largura e 21,00 m de comprimento e que se adotou como pé direito uma altura de 3 metros, conclui-se que a utilização de tal formato colaborou com o aumento da esbeltez dos edifícios. Entretanto, mesmo para o dimensionamento dos edifícios com quatro pavimentos, os esforços horizontais foram os fatores primários na determinação das medidas dos elementos.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos que possam dar continuidade a esse estudo são propostos:

- Realizar estudo de viabilidade econômica do uso de gesso acartonado como vedações internas;
- Realizar um estudo semelhante, porém considerando planta com dimensões diferentes, reduzindo a esbeltez do edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTOQI Eberick. Versão 8.0. Florianópolis: 2013. Download.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

BARROS, Mercia M. B. O processo de produção das alvenarias racionalizadas. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO DA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP/PCC, 1998. p. 01-02.

CARVALHO, Roberto C.; PINHEIRO, Libânio M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: volume 2. São Paulo: Pini, 2009.

FONSECA, Giselle M. da; LOURENÇO, Paulo B.; SILVA, Roberto M. da. Aspectos relativos à contribuição dos painéis de alvenaria em edifícios altos. **Revista Engenharia Civil**. Guimarães, Portugal, dez. 1997. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/2493>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

FRANCO, Luiz Sérgio. O projeto das vedações verticais: características e a importância para a racionalização do processo de produção. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO DA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: Vedações Verticais, São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo: EPUSP/PCC, 1998. p. 01-03.

GARCIA, Edemilton de S. et al. Estudo da viabilidade econômica entre blocos de concreto e blocos cerâmicos usados como vedação em estruturas de concreto armado

na cidade de Tucuruí-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2013, Gramado. **Anais...** Gramado, 2013. 1 CD-ROM.

KNAUF *DRYWALL*. **Paredes Knauf**. [S. l.: s. n.]. 22 p.

MARGARIDO, Alúzio F. **Fundamentos de Estruturas**: um programa para arquitetos e engenheiros que se iniciam no estudo das estruturas. São Paulo: Ziguarte Editora, 2001.

PINTO, Rivelli S. et al., Utilização do parâmetro γ_z para estimar esforços de segunda ordem em edifícios de concreto armado. **Revista IBRACON de Estruturas**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 145-165, nov. 2005.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

RAMALHO, Márcio A.; CORRÊA, Márcio R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

SABBATINI, Fernando Henrique. O processo de produção das vedações leves de gesso acartonado. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: Vedações Verticais, São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo, EPUSP/PCC, 1998. p.67-94.

SALVADOR FILHO, José Américo Alves. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. 2007. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SILVA, Margarete Maria de Araújo. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. 2003. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

TANIGUTI, Eliana Kimie. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado**. 1999. 293 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

THOMAZ, Ercio; MITIDIÈRE FILHO, Cláudio V.; CLETO, Fabiana da R.; CARDOSO Francisco F. **Código de Práticas nº 1: alvenaria de vedação em blocos cerâmicos.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2009. 65 p.

TRAMONTIN, André Penteado. **Avaliação Experimental dos Métodos de Prevenção de Fissuras na Interface Alvenaria de Vedação e Pilar de Concreto.** 2005. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

VIANA, Saulo A. de O.; ALVES, Élcio C. Análise de custo e viabilidade dentre os sistemas de vedação de bloco cerâmico e *drywall* associado ao painel Monolite EPS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2013, Gramado. **Anais...** Gramado, 2013. 1 CD-ROM.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar.** 10. ed. São Paulo: Pini, 2009.