

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

Leonardo Luiz Fritzen

**COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE
ANÁLISE ESTRUTURAL NOS
RESULTADOS RELATIVOS AO
COEFICIENTE γ_z E AOS
DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS DE
SERVIÇO**

Alegrete
2020

Leonardo Luiz Fritzen

**COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE ANÁLISE
ESTRUTURAL NOS RESULTADOS RELATIVOS
AO COEFICIENTE γ_z E AOS DESLOCAMENTOS
HORIZONTAIS DE SERVIÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Aldo Leonel Temp

Alegrete
2020

Leonardo Luiz Fritzen

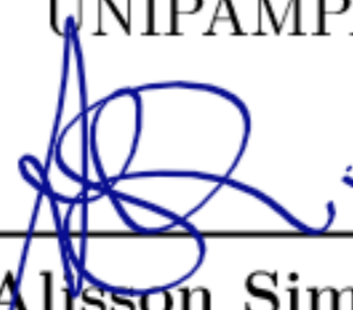
COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE ANÁLISE
ESTRUTURAL NOS RESULTADOS RELATIVOS
AO COEFICIENTE γ_z E AOS DESLOCAMENTOS
HORIZONTAIS DE SERVIÇO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa como re-
quisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 02 de dezembro de 2020
Banca examinadora:



Prof. Me. Aldo Leonel Temp
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Alisson Simonetti Milani
UNIPAMPA



Prof. Dr. André Lübeck
UFSM

Este trabalho é dedicado à minha família!

Agradecimentos

Agradeço a todos que contribuíram de alguma maneira!

“Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência.”
(Henry Ford)

Resumo

O presente trabalho apresenta uma comparação entre o método do pórtico espacial aplicado no software Eberick e o método dos pórticos associados aplicado no software Ftool para encontrar o coeficiente γ_z e os deslocamentos horizontais de serviço em estruturas de concreto armado. As comparações são realizadas em estruturas com 4, 8, 12, 16 e 20 pavimentos para dois projetos arquitetônicos distintos. As estruturas são dimensionadas no software Eberick e extraído os relatórios de estabilidade global e deslocamentos horizontais, o diagnóstico da estrutura e as dimensões dos pilares. Os dados para modelagem dos pórticos associados são calculados utilizando uma planilha eletrônica. As análises de resultados são realizadas de modo a comparar todos os parâmetros calculados através de cada método de maneira a concluir em qual tipo de estrutura é necessário utilizar um modelo de análise mais complexo para dimensionar de maneira mais eficiente. Os resultados mostraram que o método dos pórticos associados apontam valores superiores para os deslocamentos horizontais de serviço, aumentando a variação de resultados entre os métodos em estruturas mais esbeltas. Quanto ao coeficiente γ_z , a variação de resultados entre os métodos foi maior em estruturas mais esbeltas devido aos deslocamentos horizontais muito superiores medidos no método dos pórticos associados.

Palavras-chave: Pórticos associados. Pórtico espacial. Deslocamentos horizontais.

Abstract

The present work presents a comparison between the spatial portico method applied in the Eberick software and the associated portico method applied in the Ftool software to find the γ_z coefficient and the horizontal service displacements in reinforced concrete structures. Comparisons are made in structures with 4, 8, 12, 16 and 20 floors for two different architectural projects. The structures are dimensioned in the Eberick software and extracted the reports of global stability and horizontal displacements, the diagnosis of the structure and the dimensions of the columns. The data for modeling the associated frames is calculated using an electronic spreadsheet. The analysis of results is carried out in order to compare all the parameters calculated through each method in order to conclude in which type of structure it is necessary to use a more complex analysis model to design more efficiently. The results showed that the method of the associated frames points higher values for the horizontal displacements of service, increasing the variation between the methods in more slender structures. As for the γ_z coefficient, the variation in results between the methods was greater in more slender structures due to the much higher horizontal displacements measured in the associated frame method.

Key-words: Associated portico. Spatial portico. Horizontal displacements.

Lista de figuras

Figura 1 – Elementos estruturais	20
Figura 2 – Peso específico de materiais utilizados em projetos.	21
Figura 3 – Diagrama tensão-deformação do concreto.	22
Figura 4 – Barra vertical submetida a carga vertical e horizontal.	23
Figura 5 – Reações na barra vertical indeformada.	23
Figura 6 – Reações na barra vertical deformada.	24
Figura 7 – Efeito de segunda ordem global.	25
Figura 8 – Efeito de segunda ordem local.	25
Figura 9 – Efeito de segunda ordem localizado.	26
Figura 10 – Fluxograma	33
Figura 11 – Esboço da planta de forma da arquitetura 1.	34
Figura 12 – Esboço da planta de forma da arquitetura 2.	35
Figura 13 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 4 pavimentos.	41
Figura 14 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 8 pavimentos.	42
Figura 15 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 12 pavimentos.	42
Figura 16 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 16 pavimentos.	42
Figura 17 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 20 pavimentos.	43
Figura 18 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 4 pavimentos - Direção X.	43
Figura 19 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 8 pavimentos - Direção X.	44
Figura 20 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 12 pavimentos - Direção X.	44
Figura 21 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 16 pavimentos - Direção X.	45
Figura 22 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 20 pavimentos - Direção X.	45
Figura 23 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 4 pavimentos - Direção Y.	46
Figura 24 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 8 pavimentos - Direção Y.	46
Figura 25 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 12 pavimentos - Direção Y.	47

Figura 26 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 16 pavimentos - Direção Y.	47
Figura 27 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 20 pavimentos - Direção Y.	48

Lista de tabelas

Tabela 1 – Trabalhos Relacionados	30
Tabela 2 – Dimensionamento - Planta arquitetônica 1	38
Tabela 3 – Dimensionamento - Planta arquitetônica 2	38
Tabela 4 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 1 - 20 pavimentos	39
Tabela 5 – Cargas - Planta arquitetônicas 1 - 20 pavimentos	40
Tabela 6 – Combinações utilizadas no trabalho	40
Tabela 7 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 1 - Combinação 1 . .	48
Tabela 8 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 1 - Combinação 2 . .	49
Tabela 9 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 1 - Combinação 1	49
Tabela 10 – Gama Z - Planta arquitetônica 1 - Combinação 1	50
Tabela 11 – Gama Z - Planta arquitetônica 1 - Combinação 2	50
Tabela 12 – Gama Z - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção X	50
Tabela 13 – Gama Z - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção X	50
Tabela 14 – Gama Z - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção Y	51
Tabela 15 – Gama Z - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção Y	51
Tabela 16 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS - 20 pavimentos	52
Tabela 17 – Deslocamento de topo - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS . . .	52
Tabela 18 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 1 - 4 pavimentos	58
Tabela 19 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 1 - 8 pavimentos	58
Tabela 20 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 1 - 12 pavimentos	58
Tabela 21 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 1 - 16 pavimentos	59
Tabela 22 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 4 pavimentos - Direção X .	59
Tabela 23 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 4 pavimentos - Direção Y .	59
Tabela 24 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 8 pavimentos - Direção X .	60
Tabela 25 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 8 pavimentos - Direção Y .	60
Tabela 26 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 12 pavimentos - Direção X .	60
Tabela 27 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 12 pavimentos - Direção Y .	61
Tabela 28 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 16 pavimentos - Direção X .	61
Tabela 29 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 16 pavimentos - Direção Y .	62
Tabela 30 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 20 pavimentos - Direção X .	62
Tabela 31 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 20 pavimentos - Direção Y .	63
Tabela 32 – Cargas - Planta arquitetônica 1 - 4 pavimentos	64
Tabela 33 – Cargas - Planta arquitetônicas 1 - 8 pavimentos	64
Tabela 34 – Cargas - Planta arquitetônicas 1 - 12 pavimentos	64
Tabela 35 – Cargas - Planta arquitetônicas 1 - 16 pavimentos	64
Tabela 36 – Cargas - Planta arquitetônicas 2 - 4 pavimentos	64
Tabela 37 – Cargas - Planta arquitetônicas 2 - 8 pavimentos	65

Tabela 38 – Cargas - Planta arquitetônicas 2 - 12 pavimentos	65
Tabela 39 – Cargas - Planta arquitetônicas 2 - 16 pavimentos	65
Tabela 40 – Cargas - Planta arquitetônicas 2 - 20 pavimentos	65
Tabela 41 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 4 pavimentos	66
Tabela 42 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 8 pavimentos	66
Tabela 43 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 12 pavi- mentos	66
Tabela 44 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 16 pavi- mentos	67
Tabela 45 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 20 pavi- mentos	67
Tabela 46 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 4 pavi- mentos - Direção X	68
Tabela 47 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 8 pavi- mentos - Direção X	68
Tabela 48 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 12 pavi- mentos - Direção X	68
Tabela 49 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 16 pavi- mentos - Direção X	69
Tabela 50 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 20 pavi- mentos - Direção X	69
Tabela 51 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 4 pavi- mentos - Direção Y	70
Tabela 52 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 8 pavi- mentos - Direção Y	70
Tabela 53 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 12 pavi- mentos - Direção Y	70
Tabela 54 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 16 pavi- mentos - Direção Y	71
Tabela 55 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 20 pavi- mentos - Direção Y	71
Tabela 56 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção X	72
Tabela 57 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção X	72
Tabela 58 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção Y	72
Tabela 59 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção Y	72

Tabela 60 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 1 - Combinação 2	73
Tabela 61 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção X	73
Tabela 62 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção X	73
Tabela 63 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção Y	73
Tabela 64 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção Y	74
Tabela 65 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS - 4 pavimentos	75
Tabela 66 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS - 8 pavimentos	75
Tabela 67 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS - 12 pavimentos	76
Tabela 68 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS - 16 pavimentos	76
Tabela 69 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - 4 pavimentos - Direção X	77
Tabela 70 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - 4 pavimentos - Direção Y	77
Tabela 71 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - 8 pavimentos - Direção X	77
Tabela 72 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - 8 pavimentos - Direção Y	78
Tabela 73 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - 12 pavimentos - Direção X	78
Tabela 74 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - 12 pavimentos - Direção Y	79
Tabela 75 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - 16 pavimentos - Direção X	79
Tabela 76 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - 16 pavimentos - Direção Y	80
Tabela 77 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - 20 pavimentos - Direção X	81
Tabela 78 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - 20 pavimentos - Direção Y	82
Tabela 79 – Deslocamento de topo - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - Direção X	83

Tabela 80 – Deslocamento de topo - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS -
Direção Y 83

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	17
1.2	Justificativa	17
1.3	Organização do trabalho	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Estruturas de concreto armado	19
2.2	Ações e combinações em edifícios	20
2.3	Não-linearidade em estruturas de concreto armado	22
2.4	Efeitos de segunda ordem	24
2.5	Parâmetros de estabilidade	26
2.5.1	Parâmetro de instabilidade α	26
2.5.2	Coefficiente γ_z	27
2.6	Estruturas de nós fixos	27
2.7	Estruturas de nós móveis	28
2.8	Deslocamentos horizontais	29
2.9	Modelagem computacional	29
2.9.1	Eberick	29
2.9.2	Ftool	29
2.10	Trabalhos Relacionados	30
3	METODOLOGIA	32
3.1	Definição das estruturas a serem analisadas	34
3.2	Definições relativas aos materiais e cargas de utilização	35
3.3	Definições geográficas para o cálculo das forças devido ao vento	35
3.4	Lançamento e dimensionamento das estruturas no Software Eberick	36
3.5	Extração dos resultados do dimensionamento no software Eberick	36
3.6	Processo de modelagem dos pórticos associados	36
3.6.1	Levantamento de cargas	36
3.6.2	Combinação de ações	36
3.6.3	Rigidez das vigas e pilares	37
3.6.4	Modelagem dos pórticos associados no software Ftool	37
3.6.5	Processamento dos resultados encontrados através do modelo de pórticos associados	37
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
4.1	Dimensionamento da estrutura	38

4.2	Forças devido ao vento	38
4.3	Levantamento de cargas verticais	40
4.4	Combinação das ações	40
4.5	Deslocamentos horizontais para o cálculo do coeficiente γ_z	41
4.5.1	Planta arquitetônica 1	41
4.5.2	Planta arquitetônica 2 - Direção X	43
4.5.3	Planta arquitetônica 2 - Direção Y	45
4.6	Momento de tombamento	48
4.7	Momentos de segunda ordem	49
4.8	Coeficiente γ_z	50
4.9	Deslocamentos horizontais de serviço	51
5	CONCLUSÃO	53
5.1	Cálculo das cargas verticais e horizontais	53
5.2	Coeficiente γ_z	53
5.3	Deslocamentos horizontais de serviço	54
5.4	Sugestões para trabalhos futuros	54
	REFERÊNCIAS	55
	 APÊNDICES	 57
	APÊNDICE A – FORÇAS DEVIDO AO VENTO	58
	APÊNDICE B – LEVANTAMENTO DE CARGAS VERTICAIS	64
	APÊNDICE C – DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE γ_z	66
	APÊNDICE D – MOMENTO DE TOMBAMENTO	72
	APÊNDICE E – MOMENTOS DE SEGUNDA ORDEM	73
	APÊNDICE F – DESLOCAMENTOS DE SERVIÇO ENTRE PAVIMENTOS	75
	APÊNDICE G – DESLOCAMENTO DE SERVIÇO DO TOPO DA ESTRUTURA	83
	APÊNDICE H – PLANTA DE FORMA DOS PROJETOS	84

1 Introdução

A elaboração de um projeto estrutural consiste no estabelecimento adequado de um arranjo de elementos estruturais. Em virtude da complexidade das construções, uma estrutura requer o emprego de diferentes tipos de peças estruturais adequadamente combinadas para a formação do conjunto resistente. Um arranjo estrutural adequado consiste em atender, simultaneamente, os aspectos de segurança, economia, durabilidade e os relativos ao projeto arquitetônico (estética e funcionalidade). O dimensionamento das estruturas é definido em função dos esforços solicitantes. Porém, a determinação do peso próprio da estrutura, das ações, combinações e a análise global só pode ser concluída após a definição da geometria da mesma. Para resolver esse problema, a estrutura deve ser dimensionada para uma análise preliminar (ALVA, 2007).

Com o avanço da tecnologia, foram desenvolvidos novos equipamentos e técnicas para ensaios e modelagens numéricas. Os ensaios e as modelagens representam o comportamento de elementos estruturais. Essas técnicas permitem estimar os esforços e os deslocamentos assim como representar os fenômenos físicos (LIMA, 2001).

Durante um longo período os efeitos de segunda ordem e a estabilidade global de edifícios eram fatores pouco relevantes, pois a rigidez das peças estruturais permitiam esse descaso (FREITAS; LUCHI; FERREIRA, 2016). Entretanto, nos tempos atuais, com a construção de edifícios cada vez mais altos e esbeltos, aliado a redução das seções transversais dos elementos devido à otimização a partir de softwares de cálculo de estruturas e a produção de materiais de qualidade cada vez superior, a análise da estabilidade global das edificações se torna de indiscutível importância para garantir a resistência ao estado limite último.

A norma NBR 6118 (2014) indica os parâmetros que permitem a análise da estabilidade global de estruturas. De acordo com o item 15.2 dessa norma, os efeitos de segunda ordem podem ser desprezados caso não representem acréscimos superiores a 10% nas reações e nas solicitações relevantes da estrutura. O dimensionamento que não considera a estabilidade global negligencia os efeitos de segunda ordem e está suscetível a deslocamentos horizontais e solicitações não esperadas. Dessa forma a análise da estabilidade global é importante para garantir a segurança da estrutura, evitando que a estrutura perca a resistência devido a deformações causadas pelas ações (LACERDA et al., 2014). O coeficiente γ_z é citado NBR 6118 (2014) como um parâmetro de avaliação da estabilidade global, determinado se a estrutura será considerada de nós fixos ou nós móveis.

Para calcular os esforços de segunda ordem é necessário utilizar um modelo de estrutura para aplicar as ações verticais e horizontais combinadas de modo a extrair os deslocamentos horizontais. Por muitos anos o método dos pórticos associados foi muito utilizado para a análise do efeito do vento na estabilidade global. Neste método, cada nó apresenta três graus de liberdade, permitindo o estudo dos esforços em vigas e pilares e seu deslocamento horizontal e vertical (KIMURA, 2018). O outro modelo estrutural que

é alvo desse estudo é o modelo espacial que proporciona uma análise tridimensional da atuação das ações na estrutura, contando com seis graus de liberdade em cada nó. Esse método possui uma formulação mais complexa e a necessidade de softwares que realizem uma análise matricial.

Dessa forma, é de grande relevância o estudo da estabilidade global e dos deslocamentos horizontais de serviço através de diferentes modelos e softwares para a comparação dos resultados. No caso deste trabalho, foi utilizado o Eberick e o Ftool para aplicação do método do pórtico espacial e o método dos pórticos associados, respectivamente.

1.1 Objetivos

O objetivo geral é realizar uma comparação entre o método dos pórticos associados e o método do pórtico espacial para calcular o coeficiente γ_z e os deslocamentos horizontais de serviço. Os objetivos específicos são:

- Dimensionar cada uma das estruturas com o auxílio do software Eberick com o método do pórtico espacial mais grelhas.
- Realizar o levantamento de cargas, calcular as forças devido ao vento, combinar as ações e calcular a rigidez dos elementos para posterior modelagem dos pórticos associado no software Ftool.
- Comparar todos os resultados e dados encontrados para cada método de cálculo.
- Analisar os métodos em relação ao número de pavimentos da estrutura e ao formato da planta arquitetônica.

1.2 Justificativa

Através do advento da tecnologia computacional nos projetos de engenharia a utilização de softwares para a análise das estruturas é essencial para um resultado rápido. Além disso, o desenvolvimento de modelos cada vez mais fiéis às situações reais de projeto proporciona um dimensionamento cada vez mais preciso (DIAS, 2010).

A NBR 6118 (2014) limita em $H/1700$ o valor máximo do deslocamento horizontal de serviço no topo da estrutura, sendo H a altura total. Esse deslocamento de serviço muitas vezes é um limitante de projeto, sendo necessário enrijecer a estrutura mudando as dimensões dos elementos. Quanto aos deslocamentos horizontais referentes a combinação do estado limite último, são diretamente impactantes na avaliação da estabilidade global da estrutura.

Portanto, esta pesquisa tem sua justificativa pela necessidade de comparar e avaliar o método dos pórticos associados modelado no software Ftool com o método do pórtico espacial modelado no software Eberick para encontrar os valores do coeficiente γ_z e os

deslocamentos horizontais de serviço, buscando analisar as situações de projeto em que é necessário, para uma melhor otimização, utilizar o modelo mais fidedigno à estrutura real, que neste caso é o pórtico espacial.

O sistema estrutural adotado é o concreto armado moldado in loco com lajes maciças. Essa escolha se justifica na popularidade do método construtivo em questão, que apresenta boa durabilidade, liberdade de variação dimensional, facilidade de manuseio no estado fresco e um custo relativamente baixo.

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho está organizado em 5 capítulos. Após a presente introdução, o Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica dos temas abordados. O Capítulo 3 apresenta os métodos aplicados na execução deste trabalho, descrevendo os critérios de lançamento, dimensionamento e extração dos resultados. O Capítulo 4 contém a apresentação dos resultados e uma análise específica da comparação entre os dois métodos utilizados. Por fim o Capítulo 5 disserta sobre as considerações finais de modo a apresentar uma análise geral dos resultados afim de concluir os objetivos da pesquisa.

2 Revisão Bibliográfica

Partindo do objetivo de analisar a viabilidade de diferentes modelos de pórticos (associado e espacial) para a análise dos deslocamentos horizontais em estruturas de concreto armado, este capítulo apresenta uma explanação geral sobre o sistema de construção em concreto armado, as ações e combinações, os efeitos de segunda ordem, as condições de estabilidade global das estruturas de concreto armado, a utilização dos softwares Eberick e Ftool e por último, uma lista de trabalhos relacionados.

2.1 Estruturas de concreto armado

O sistema construtivo em concreto armado é um dos mais conservadores sistemas estruturais de concepção de edifícios do Brasil, pois além de ser eficiente e apresentar boa durabilidade, se trata de um material que corresponde muito bem as exigências arquitetônicas (GIONGO, 2005).

Analizando o quadro histórico, as estruturas em concreto armado estão cada vez mais esbeltas, altas e com seções transversais menores. Isso ocorre devido à melhoria na produção dos materiais como aço e concreto e na capacidade de análises mais completas nos projetos das estruturas, evitando super dimensionamentos, porém proporcionando uma perda de rigidez e aumento das fissuras. Como consequência, a análise das movimentações perante aos carregamentos se mostra de grande importância (SILVA et al., 2012).

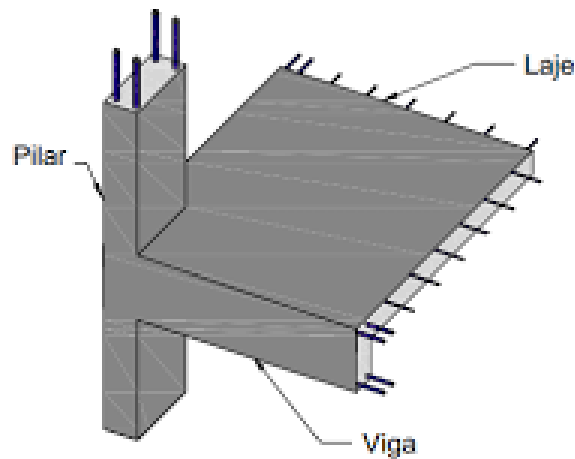
Nas estruturas de concreto armado mais comuns em edifícios os elementos que compõe o sistema são as lajes, vigas e pilares. Outros elementos podem ser formadas através da combinação dos elementos citados anteriormente. Um exemplo dessa união são as escadas que são constituídas por lajes e vigas. Outra situação é o caso de arranjo estrutural em que os elementos são analisados de forma combinada, como, por exemplo, os pórticos.

Independentes de como é desenvolvido os cálculos das estruturas de concreto armado, em softwares ou de maneira manual, o projetista sempre busca realizar o dimensionamento de maneira eficiente, aliando rapidez e precisão. Para isso, é conveniente realizar uma análise prévia da estrutura que proporcione informações referentes às partes resistentes do edifício em questão. Essas informações indicam ao projetista a necessidade ou não de análises mais complexas e evita passos desnecessários no projeto (CARMO, 1995).

Os elementos de barras verticais (pilares), horizontais (vigas), placas horizontais (lajes) e, se necessário, placas verticais (pilares paredes) formam a estrutura resistente de um edifício. As lajes recebem as ações verticais permanentes e variáveis da estrutura e descarrega nas vigas do seu respectivo andar que, além das cargas provenientes das lajes, recebem as cargas do peso próprio da alvenaria, se houverem. Já os pilares recebem as cargas das vigas de todos os andares e distribuem nas fundações. Quanto às cargas horizontais todos os elementos estruturais citados anteriormente exercem função de ab-

sorção dessas ações. No Brasil, praticamente todas as ações horizontais consideradas nos edifícios são devido ao vento (GIONGO, 2005). Segue a Figura 1 ilustrando os elementos estruturais.

Figura 1 – Elementos estruturais



Fonte: Spohr et al. (2008, p. 30)

Os diferentes métodos de construir em concreto armado são todos muito semelhantes, mas com algumas peculiaridades. O sistema de estruturas de concreto armado com peças pré-moldadas possui a mesma forma de distribuição do carregamento, porém devido às partes resistentes serem montadas, possuem uma série de procedimentos específicos para o bom desempenho da edificação. Outras estruturas de concreto armado existentes são as soluções que não utilizam vigas e dessa forma as lajes descarregam diretamente nos pilares ou em paredes de concreto armado. Uma solução mais rebuscada e tecnológica é o sistema de concreto protendido, que proporciona menores deformações devido a uma protensão na armadura e conseqüentemente permite vãos maiores. Porém, mesmo com a grande evolução e ramificação dos sistemas de concreto armado, o mais utilizado na construção civil ainda é o sistema de concreto armado moldado in loco.

2.2 Ações e combinações em edifícios

Os carregamentos e combinações em estruturas são o que regem o dimensionamento em qualquer sistema construtivo, portanto se trata de um tema de fundamental importância na constituição de qualquer projeto e que através do aumento da capacidade de processamento dos computadores, as estruturas são analisadas com dezenas, centenas ou até milhares de combinações. Além das externas a estrutura, as cargas podem ser devido à característica do material e forma de construção, sendo levado em conta qualquer situação que gere esforços adicionais internos (KIMURA, 2018).

As ações são divididas em dois grupos: ações permanentes e ações variáveis. Ações permanentes são definidas como esforços que acompanham a estrutura em praticamente toda sua vida útil e que possuem valores praticamente constantes, como, por exemplo o peso próprio, peso de elementos construtivos, empuxos permanentes, retração do concreto, fluência do concreto, deslocamentos de apoio, imperfeições geométricas, esforços de protensão, entre outros. Já as ações variáveis atuam de forma pontual, sazonal ou até cíclica na estrutura e ocorrem durante um período e não permanecem na estrutura e quando aplicadas não possuem necessariamente uma constância. Exemplo de ações variáveis são as cargas acidentais devido ao uso, vento, ações dinâmicas, água, variações de temperatura, entre outras situações (ARAÚJO, 2014).

O processo de mensuração das cargas de uma estrutura deve ser de acordo com duas normas: a ABNT NBR 6120:2019 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento e ABNT NBR 6123:1988 – Forças devido ao vento em edificações – Procedimento. Como o próprio nome já deixa explícito a NBR 6120 (2019) descreve o procedimento que deve ser realizado para encontrar as cargas em edificações de uma maneira geral, sendo elas permanentes e acidentais devido ao uso e a NBR 6123 (1988), de maneira mais específica, descreve o procedimento para encontrar as forças variáveis devido ao vento na estrutura.

Figura 2 – Peso específico de materiais utilizados em projetos.

	Materiais	Peso específico aparente (kN/m ³)
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcáreo	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos sílico-calcáreos	20
3 Revestimentos e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25

Fonte: Adaptado de NBR 6120 (2019, p. 2)

As ações e combinações para o dimensionamento do projeto deve ser feito com o respaldo da ABNT NBR 8681: – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. A NBR 8681 (2003) fornece coeficientes que são usados para adequar as ações e combinação de ações aos fatores de segurança. A utilização das ações adequadas no cálculo do dimensionamento resulta em uma edificação que atende os estados de serviço. Esses se dividem em dois: estado limite último e estado limite de serviço. O primeiro se refere quando a

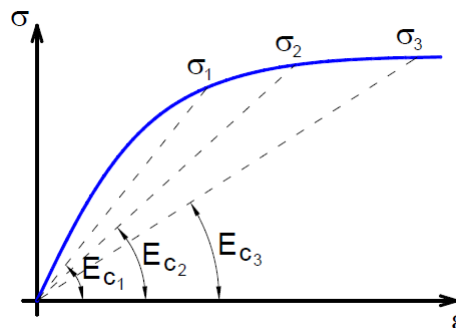
edificação tem seu uso interrompido por uma ruptura total ou parcial. Isso ocorre quando um pilar vai à ruína provocando a devastação de um prédio ou uma laje vai abaixo, entre outros casos. Já o estado de limite de serviço é alcançado quando a edificação apresenta problemas no comportamento, como, por exemplo, vigas com flechas e/ou fissuras visíveis de forma que cause um incômodo no usuário, lajes com vibração excessiva, entre outras situações (KIMURA, 2018).

2.3 Não-linearidade em estruturas de concreto armado

Para o entendimento futuro das relações de cálculo da estabilidade de uma estrutura de concreto armado é importante entender o conceito de análise não-linear, pois o concreto se comporta desta forma. A não-linearidade pode ser entendida como uma resposta não proporcional aos carregamentos, portanto, a estrutura não responde linearmente às solicitações. Existem três tipos de não-linearidade que são consideradas no dimensionamento de estruturas: não-linearidade física, não-linearidade geométrica e não-linearidade de contato. Dessas três, a última citada não é considerada em estruturas de concreto armado moldado in loco, porque se trata de mudanças nas condições iniciais de contorno da estrutura após o carregamento da mesma, e essa situação só é provável em estruturas de concreto pré-moldado (MONCAYO, 2011).

A não-linearidade física ocorre devido ao comportamento do material. No concreto armado a fissuração, a fluência e o escoamento da armadura proporciona um comportamento não-linear em que até os momentos de inércia das seções variam de acordo com as solicitações. Todos esses fatores resultam em uma curva tensão x deformação do concreto armado que não se comporta de maneira elástica (linear), ou seja, para o regime de tensões aplicadas o módulo de elasticidade varia (GIONGO, 2005). A Figura 3 ilustra essa curva.

Figura 3 – Diagrama tensão-deformação do concreto.

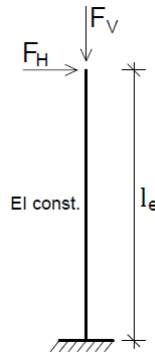


Fonte: Adaptado de MONCAYO (2011, p. 24)

A não-linearidade geométrica trata das solicitações adicionais na análise da estrutura deformada em relação à análise da estrutura indeformada (ALMEIDA, 2012).

Analisando a Figura 4 é observado uma barra com engaste em uma extremidade e na outra extremidade uma força vertical e uma horizontal.

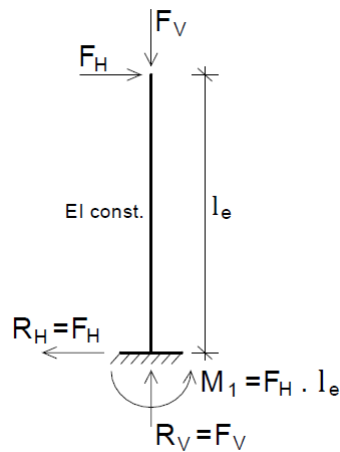
Figura 4 – Barra vertical submetida a carga vertical e horizontal.



Fonte: MONCAYO (2011, p. 28)

Aplicando uma análise linear é encontrado às solicitações de acordo o exibido na Figura 5.

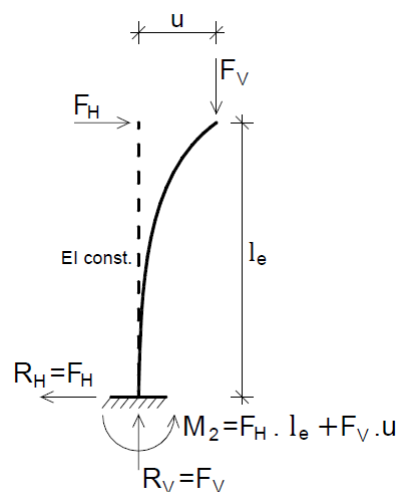
Figura 5 – Reações na barra vertical indeformada.



Fonte: MONCAYO (2011, p. 29)

Porém, através de uma análise na posição deformada é evidenciado uma nova configuração de momentos que ocorre devido a não-linearidade da estrutura. Essa nova configuração é ilustrada na Figura 6.

Figura 6 – Reações na barra vertical deformada.



Fonte: MONCAYO (2011, p. 29)

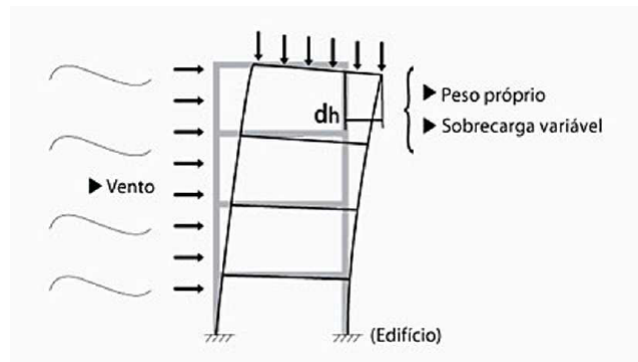
2.4 Efeitos de segunda ordem

Os efeitos de segunda ordem são as solicitações adicionais devido à não-linearidade da estrutura, ou seja, são as solicitações adicionais aos efeitos de primeira ordem. Nos edifícios de concreto armado é normal o deslocamento lateral dos nós devido a atuação dos carregamentos horizontais e verticais de forma simultânea, portanto é entendido um equilíbrio na posição deformada o que proporciona uma não-linearidade geométrica e consequentemente, efeitos de segunda ordem. Esses efeitos também podem ocorrer devido aos eixos das barras da estrutura se apresentarem não retilíneos devido à deformação (GIONGO, 2005). Quanto a não-linearidade física das estruturas de concreto armado, é descrito como deve ser considerada na seção 2.7 do presente trabalho .

A NBR 6118 (2014) classifica as estruturas de concreto armado como de nós fixos ou de nós móveis, não sendo necessário considerar os momentos de segunda ordem para as estruturas de nós fixos. O parâmetro para essa classificação é a magnitude dos efeitos de segunda ordem, se menor que 10% em relação aos efeitos de primeira ordem, nós fixos, se maior, nós móveis.

Os efeitos de segunda ordem também são classificados pela NBR 6118 (2014), podendo ser de três tipos: efeitos de segunda ordem globais, efeitos de segunda ordem locais e efeitos de segunda ordem localizados. Quando se trata da análise dos efeitos de segunda ordem pensando no edifício de maneira integral, estamos analisando os efeitos de segunda ordem globais. Um exemplo é a ação simultânea do vento e das ações verticais no edifício, ilustrada na Figura 7 (KIMURA, 2018).

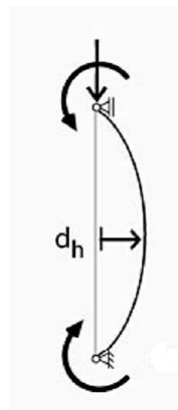
Figura 7 – Efeito de segunda ordem global.



Fonte: Kimura (2018, p. 557)

Porém, quando se trata de uma parte isolada da estrutura, como, por exemplo, um lance de pilar sujeito a momentos fletores em seu topo que proporcione deslocamento na sua base, o efeito de segunda ordem é classificado como local (KIMURA, 2018). O exemplo está ilustrado na Figura 8.

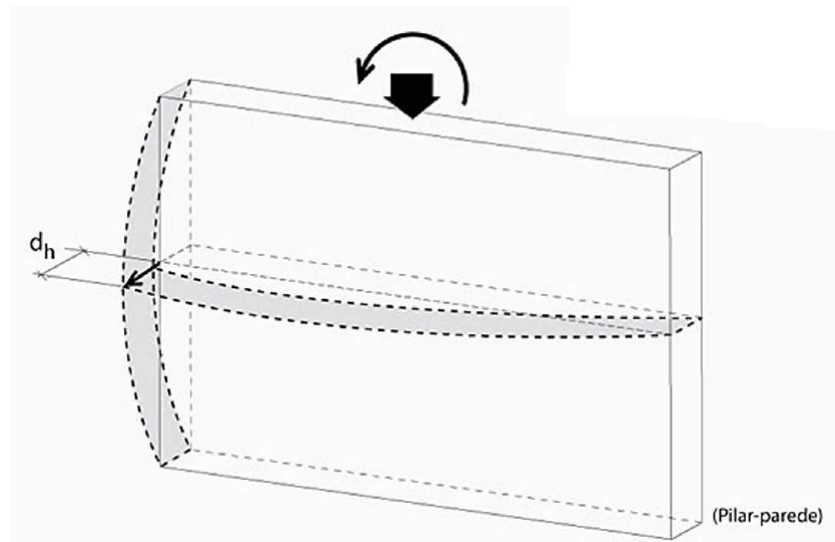
Figura 8 – Efeito de segunda ordem local.



Fonte: Kimura (2018, p. 557)

Por último, os efeitos de segunda ordem localizados são referente a concentração de tensões em uma região específica de um elemento. Um exemplo desse caso é um pilar-parede que se deforma mais em um extremo do que no outro devido à atuação de momentos fletores na sua direção mais rígida, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Efeito de segunda ordem localizado.



Fonte: Kimura (2018, p. 558)

2.5 Parâmetros de estabilidade

Os parâmetros de estabilidade global são utilizados para avaliar a estrutura em relação a sua sensibilidade aos esforços de segunda ordem. Essa sensibilidade está diretamente relacionada à rigidez global da estrutura. A NBR 6118 (2014) apresenta dois parâmetros capazes de avaliar a magnitude dos esforços globais de segunda ordem, o parâmetro de instabilidade α e o coeficiente γ_z .

2.5.1 Parâmetro de instabilidade α

Segundo a NBR 6118 (2014) o valor do parâmetro de instabilidade α determina a análise que deve ser feita na estrutura. Se o parâmetro α da estrutura for menor que α_1 , ela pode ser considerada de nós fixos. Segue as equações estipuladas em norma (NBR 6118, 2014).

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{N_k / (E_{cs} I_c)} \quad (2.1)$$

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1n \quad \text{Se : } n \leq 3 \quad (2.2)$$

$$\alpha_1 = 6 \quad \text{Se : } n \geq 4 \quad (2.3)$$

Onde:

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

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.

O valor limite de $\alpha = 6$ para $n \geq 4$ pode ser alterado de acordo com a estrutura. Se o contraventamento for exclusivamente feito por pilares-paredes, pode ser aumentado para $\alpha = 7$ e se houver apenas pórticos, deve ser reduzidos para $\alpha = 5$. O valor de $\alpha = 6$ pode ser mantido para pórticos associados a pilares-paredes e associação de pilares-paredes.

O momento de inércia (I_c) dos pilares deve ser calculado considerando as seções como sendo bruta.

Para determinar a rigidez equivalente do pilar deve se calcular, sob a ação do carregamento horizontal, o deslocamento do topo da estrutura de contraventamento e depois calcular a rigidez de um pilar equivalente de seção constante, de mesma altura H_{tot} que seja engastado na base e livre no topo e que sofra o mesmo deslocamento no topo sob a ação do mesmo carregamento.

2.5.2 Coeficiente γ_z

O coeficiente γ_z é uma forma de avaliar a magnitude dos esforços de segunda ordem globais, porém é válido apenas para estruturas reticuladas de no mínimo quatro pavimentos. Para cada combinação de ações o valor de γ_z é dado pela equação a seguir, de acordo com a NBR 6118 (2014).

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (2.4)$$

$M_{1,tot,d}$ 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;

$M_{tot,d}$ 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 primeira ordem.

A estrutura é considerada de nós fixos se o coeficiente γ_z respeitar a condição: $\gamma_z \leq 1,1$.

2.6 Estruturas de nós fixos

De acordo com o que já foi comentado anteriormente, para as estruturas de nós fixos não é necessário a consideração dos esforços de segunda ordem globais, porém os efeitos de segunda ordem locais devem ser considerados de acordo com o item 15.8 da

NBR 6118 (2014). A estrutura deve ser calculada a partir da teoria de primeira ordem e pode-se considerar cada elemento comprimido isoladamente, assumindo que se trata de uma barra com suas extremidades vinculadas aos elementos estruturais que a interceptam.

O elemento comprimido naturalmente se trata de um pilar e seu comprimento equivalente, assumindo que seja vinculado em ambas as extremidades, é o menor dos seguintes valores:

$$l_e = l_0 + h \quad (2.5)$$

$$l_e = l \quad (2.6)$$

Onde:

l_0 é a distância entre as faces internas dos elementos estruturais, supostos horizontais, que vinculam o pilar;

h é a altura da seção transversal do pilar, medida no plano da estrutura em estudo;

l é a distância entre os eixos dos elementos estruturais aos quais o pilar está vinculado.

2.7 Estruturas de nós móveis

Nas estruturas de nós fixos, a análise deve ser feita considerando os efeitos de segunda ordem, tanto globais como locais. Os efeitos de segunda ordem locais devem ser considerados de acordo com o item 15.8 da NBR 6118 (2014). Conforme a NBR 6118 (2014), se o coeficiente γ_z for menor que 1,3 é possível avaliar a situação final da estabilidade global da estrutura através de uma majoração das ações horizontais da combinação de carregamento considerada por $0,95\gamma_z$.

Para os esforços de segunda ordem que ocorrem devido a não-linearidade física da estrutura, pode-se considerar de maneira aproximada utilizando as seguintes equações para determinar a rigidez dos elementos estruturais:

$$Lajes : (EI)_{sec} = 0,3E_cI_c \quad (2.7)$$

$$Vigas : (EI)_{sec} = 0,4E_cI_c \quad \text{para } A_s' \neq A_s \quad (2.8)$$

$$(EI)_{sec} = 0,5E_cI_c \quad \text{para } A_s' = A_s \quad (2.9)$$

$$Pilares : (EI)_{sec} = 0,8E_cI_c \quad (2.10)$$

Onde:

I_c é o momento de inércia da seção bruta de concreto, incluindo, quando for o caso, as mesas colaborantes. Se $\gamma_z \leq 1,3$ e a estrutura for contraventada exclusivamente por vigas e pilares, a rigidez das vigas e pilares pode ser calculada por:

$$(EI)_{sec} = 0,7E_cI_c \quad (2.11)$$

2.8 Deslocamentos horizontais

Quanto aos deslocamentos horizontais causados pela ação conjunta das cargas verticais e de vento, a NBR 6118 (2014) impõe limites para o estado de serviço. Sendo H a altura da estrutura em metros, o valor máximo para o deslocamento horizontal do topo do edifício é $H/1700$. Para o deslocamento máximo entre pavimentos, deve se respeitar o limite de $H/850$ e, neste caso, H sendo a altura entre pavimentos.

2.9 Modelagem computacional

2.9.1 Eberick

O Eberick é um software desenvolvido pela AltoQi, uma empresa de tecnologia aplicada a engenharia e é utilizado para projetos estruturais (MARIANO, 2015). De acordo com (ALTOQI, 2019) o Eberick possui recursos que facilitam e diminuem o tempo de modelagem. O software permite a análise de uma estrutura, o dimensionamento das peças estruturais e a geração das pranchas finais contendo detalhamentos das armaduras, planta de formas e demais desenhos do projeto.

Para dimensionar as lajes o software utiliza o método de grelhas, em que o trecho de laje é dividido em várias vigas formando uma malha com concentração de esforços nos nós. Quanto aos pilares é utilizado o processo iterativo, ou processo da linha neutra em que são traçados, para cada combinação, diagramas de iteração entre momento resistente e de cálculo. Para as vigas o dimensionamento é feito a partir da definição dos domínios empregados. Em relação à análise da estrutura, o Eberick permite escolher entre dois modelos: modelo de análise integrado e modelo de análise separado de grelhas e pórtico espacial. No modelo de grelhas separadas do pórtico as lajes são analisadas de maneira bi-dimensional e os esforços são adicionados no pórtico espacial formado por pilares e vigas. Já o modelo integrado unifica todas as estruturas em apenas um modelo espacial e realiza a análise para obter os esforços em lajes, vigas e pilares (ALTOQI, 2019).

2.9.2 Ftool

O Ftool é um programa para a análise de estruturas planas. Tem como objetivo principal a prototipagem simples e eficiente de estruturas. O programa foi desenvolvido inicialmente para uso em sala de aula, mas evoluiu para uma ferramenta usada em projetos

profissionais, tendo uma edição com licença comercial e outra edição básica que é gratuita (FTOOL, 2019).

A edição básica do Ftool oferece opções de resultados, como diagramas de solicitações e configuração deformada das estruturas, bem como linhas de influência para qualquer ponto da estrutura e envelopes de resultados do trem de carga. As seções transversais podem ser definidas parametricamente de acordo com vários modelos, selecionando a partir de uma matriz diversificada de formas padrão (AISC, Gerdau etc.) ou genéricas (definição das propriedades geométricas das seções, como área e momento de inércia). As barras estruturais podem ser calculadas pela teoria de *Euler-Bernoulli* ou *Timoshenko*. Os suportes podem ser rígidos ou elásticos e podem ser inclinados ou, sofrer deslocamentos impostos (FTOOL, 2019).

2.10 Trabalhos Relacionados

Essa seção apresenta os trabalhos relacionados identificados na literatura que exploram o mesmo eixo de pesquisa, a estabilidade global de estruturas com foco na análise realizada pelo software Eberick e Ftool. A Tabela 1 descreve os trabalhos relacionados, destacando os autores, ano de publicação, título e o objetivo principal do trabalho.

Tabela 1 – Trabalhos Relacionados.

Autores, Ano de Publicação	Título	Objetivo
(ELLWANGER, 2019)	Influência do número de pavimentos no parâmetro de instabilidade de edifícios contraventados por pórticos de concreto armado	Pesquisar uma forma de definir o limite α_1 para edifícios contraventados exclusivamente por paredes e/ou núcleos, com o número de andares variado.
(LACERDA et al., 2014)	Avaliação dos Critérios para Análise da Estabilidade Global em Edifícios de Concreto Armado: estudo de caso	Avaliar os critérios e procedimentos da verificação da estabilidade global de um edifício de concreto armado considerando seus efeitos. Com a finalidade de promover alteração da rigidez do edifício quanto às ações horizontais, a estrutura de concreto armado é analisada com e sem núcleo rígido em sua região central.

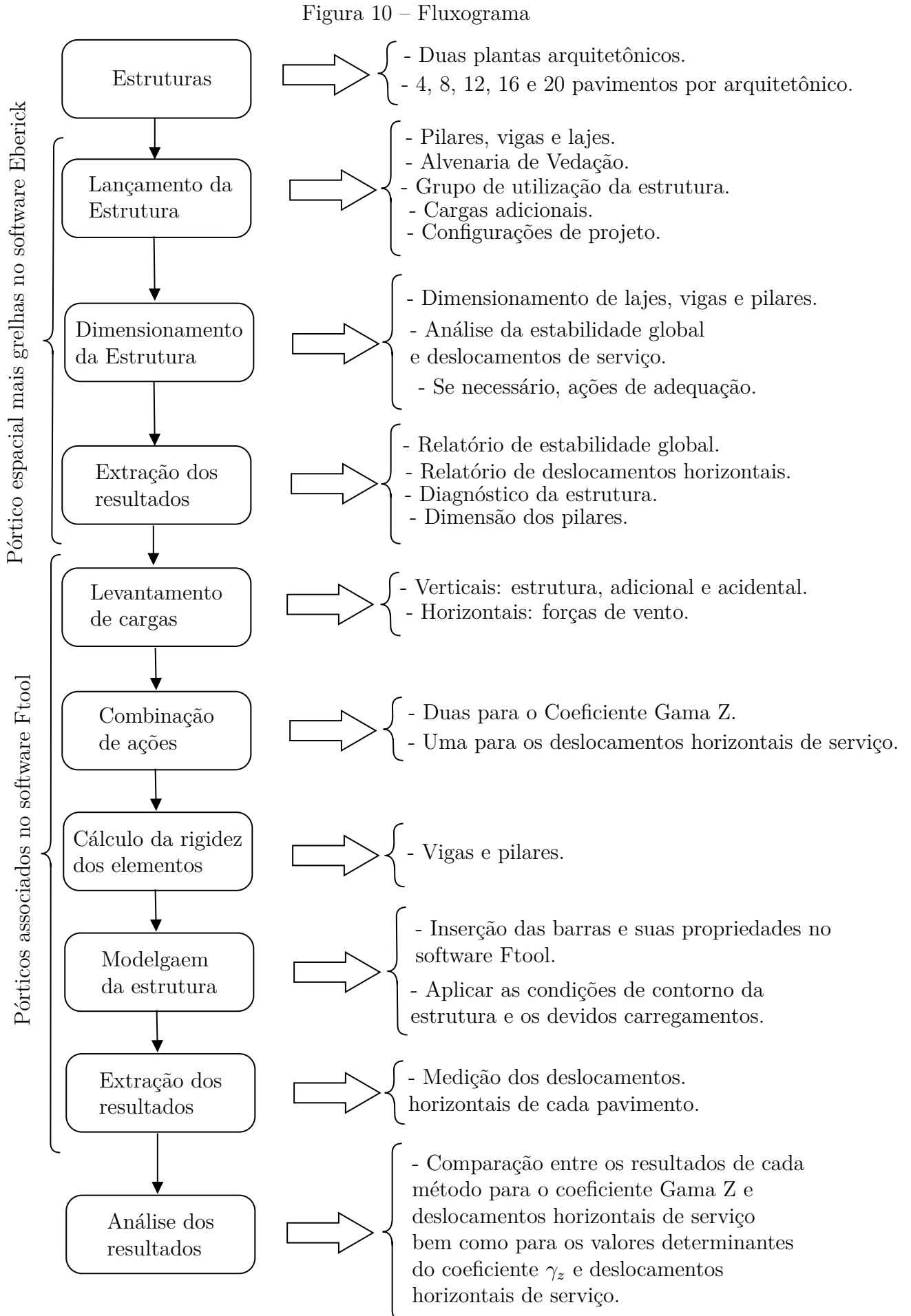
(PERGHER et al., 2015)	Análise de Estabilidade Global e Dimensionamento dos Pilares de Edifícios de Concreto Armado	Estudar a influência do lançamento estrutural dos pilares na estabilidade global de um edifício de 4 andares e obter o dimensionamento dos Pilares dessa edificação.
(AZEREDO, 2016)	Contribuições ao Estudo da Estabilidade Global de Estruturas de Edifícios	Contribuir para a área de análise de estruturas, com foco na estabilidade global de edificações. Para compreender os comportamentos da estrutura frente aos esforços horizontais, encontrando soluções de contraventamento eficientes e econômicos.
(SOUZA; MEDEIROS, 2017)	Desenvolvimento e Análise de um Projeto Estrutural no Software <i>Eberick</i>	Desenvolver e analisar um projeto estrutural de um edifício residencial multifamiliar no software <i>Eberick</i> . A fim de compreender a dependência entre o lançamento e o dimensionamento de pilares e vigas com a estabilidade global.
(PRADO, 2018)	Análise e dimensionamento estrutural em concreto armado manual e computacional	Estudo teórico para o cálculo de dimensionamento estrutural no software <i>Eberick</i> . Apresentar as diversas etapas de um projeto estrutural, desde a escolha do projeto arquitetônico, a concepção estrutural da edificação, o dimensionamento manual e computacional de elementos estruturais e depois comparar os resultados, bem como o detalhamento.
(POLMANN et al., 2016)	Modelos de análise estrutural em vigas de concreto armado	Verificar a estabilidade global, realizar uma análise da estrutura e comparar as vigas de dois exemplos de edifícios em concreto armado.

3 Metodologia

Este capítulo descreve as estratégias definidas para alcançar os objetivos do trabalho. Primeiramente é descrito as dimensões das estruturas e como foi o lançamento e o dimensionamento no software Eberick. Depois, como foi o processo de lançamento dos pórticos associados no software Ftool e a extração dos resultados.

É importante ressaltar que a utilização do software Eberick para a realização deste estudo se justifica na agilidade, confiabilidade e precisão proporcionada. Quanto ao software Ftool, trata-se de um programa de análise do comportamento estrutural de pórticos planos e é muito utilizado principalmente na área acadêmica. Ambos os softwares são de desenvolvedoras nacionais.

Para melhor entendimento da metodologia a Figura 10 ilustra um fluxograma de atividades.



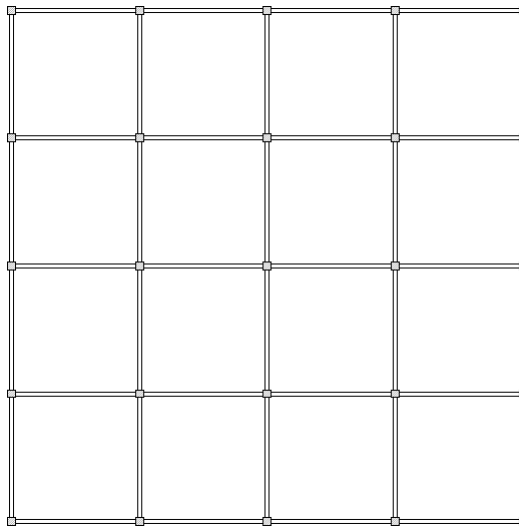
3.1 Definição das estruturas a serem analisadas

As estruturas são hipotéticas e a disposição dos elementos estruturais foi realizada de modo a ser o mais simples possível para a devida modelagem dos pórticos.

Os pilares são alinhados de forma a constituir linearmente os pórticos planos. As vigas possuem largura de 15 centímetros e um vão padrão de aproximadamente 5 metros. A diferença de nível entre os pisos é de 2,8 metros. A primeira planta arquitetônica a ser analisada possui largura e comprimento iguais, ambas sendo 20 metros, já a segunda possui 20 metros de largura e 10 metros de comprimento. Dessa forma é considerada a esbeltez da estrutura na comparação dos resultados encontrados para cada tipo de análise. Nesse estudo cada uma das plantas arquitetônicas foram laçadas e dimensionadas com 4, 8, 12, 16 e 20 níveis de lajes.

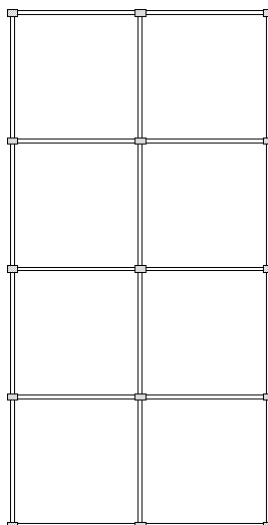
No Apêndice H está as pranchas com as plantas de forma da planta arquitetônica 1 e 2 referentes ao dimensionamento das duas estruturas de 4 pavimentos. O eixo vertical dos pilares é mantido para todas as outras estruturas. Segue a Figura 11 e a Figura 12 apresentando um esboço das plantas arquitetônicas.

Figura 11 – Esboço da planta de forma da arquitetura 1.



Fonte: autor

Figura 12 – Esboço da planta de forma da arquitetura 2.



Fonte: autor

3.2 Definições relativas aos materiais e cargas de utilização

Para o dimensionamento de todas as estruturas a resistência do concreto utilizada é de 25MPa sendo o agregado basalto com dimensão de 19mm e a classe de agressividade do ambiente considerada de classe II (moderada). O material de vedação definido é o bloco cerâmico vazado com paredes maciças com 1cm de revestimento argamassado por face, remetendo a um peso de $2,3\text{kN/m}^2$ de acordo com a NBR 6120 (2019). Não é considerado nenhum tipo de abertura na alvenaria de vedação. O peso do revestimento do piso é de 1kN/m^2 , valor indicado para pisos de edifícios residenciais e comerciais pela NBR 6120 (2019).

Quanto a carga variável de utilização é considerado o valor de $1,5\text{kN/m}^2$ para todas as lajes da estrutura, valor indicado para dormitórios, salas, sanitário, copas e cozinhas pela NBR 6120 (2019).

3.3 Definições geográficas para o cálculo das forças devido ao vento

Primeiramente é necessário definir a velocidade característica do vento pelo gráfico das isopletras. Nesse estudo a localidade considerada possui velocidade básica de 45m/s . Em relação a topografia do terreno é considerado como "Terreno plano ou fracamente acidentado". Quanto a rugosidade do terreno é considerado como "Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada". Essas definições estão de acordo com a NBR 6123 (1988) para encontrar parâmetros necessários para o cálculo das forças de vento.

3.4 Lançamento e dimensionamento das estruturas no Software Eberick

Primeiramente é realizado o lançamento dos pilares e vigas da estrutura, ambas com vinculação engastada. Depois é lançada as lajes sendo do tipo maciça e com vinculação rotulada com as lajes adjacentes. Para finalizar o pavimento tipo ainda é necessário lançar as cargas devido ao peso da alvenaria de vedação nas vigas e as cargas de revestimento e de uso da estrutura nas lajes. Na sequência o pavimento tipo é replicado para a quantidade de pavimentos da estrutura e os pilares são convertidos em fundações com vinculação engastada no pavimento de fundações. Após o lançamento foi adequada as configurações de projeto e a estrutura pode ser processada e dimensionada de maneira a respeitar o estado limite último e o estado limite de serviço.

3.5 Extração dos resultados do dimensionamento no software Eberick

Com a estrutura devidamente dimensionada é gerado o relatório de estabilidade global, relatório de deslocamentos horizontais e extraído os valores calculados pelo software para cargas de vento para comparação. Por último, é importante extrair informações relativas às dimensões dos elementos devidamente dimensionados.

3.6 Processo de modelagem dos pórticos associados

O levantamento de cargas verticais, cargas horizontais, combinação de ações e cálculo da rigidez das vigas e pilares foi realizado com o auxílio do software de planilhas eletrônicas Excel.

3.6.1 Levantamento de cargas

Para facilitar a posterior combinação de ações as cargas verticais foram divididas em três grupos: estrutura, adicional e acidental. A carga estrutura é constituída pelo peso dos elementos estruturais (vigas, pilares e lajes). Quanto a carga adicional trata-se do peso da alvenaria de vedação e do revestimento da laje. Por última a carga acidental refere-se á carga variável de utilização.

Quanto as cargas horizontais são constituídas apenas pelas forças de vento e são calculadas de acordo com NBR 6123 (1988).

Nessa etapa as cargas são definidas em valores, forma de atuação (pontual ou distribuída), local de atuação (viga ou pilar) e direção de atuação (vertical ou horizontal).

3.6.2 Combinação de ações

Após o levantamento de cargas é realizado a combinação de ações para encontrar o coeficiente γ_z e os deslocamentos horizontais de serviço. Para o coeficiente gama z é

realizado 2 combinações para cada direção de atuação do vento de maneira a alternar a ação acidental primária e secundária.

3.6.3 Rigidez das vigas e pilares

A rigidez para a análise da estabilidade global de acordo com o item 15.5.1 da NBR 6118 (2014) é o módulo de deformação secante e pode ser majorado em 10%.

3.6.4 Modelagem dos pórticos associados no software Ftool

Nessa etapa do trabalho é realizado o lançamento das barras que correspondem as vigas e pilares e atribuído as propriedades da seção e do material. Após o lançamento das barras são aplicadas as cargas pontuais e distribuídas e as condições de contorno engastada nas fundações. Por fim, é medido o deslocamento do pórtico por pavimento.

3.6.5 Processamento dos resultados encontrados através do modelo de pórticos associados

Com os resultados extraídos ainda foi necessário calcular o coeficiente γ_z das estruturas e os deslocamentos horizontais de serviço entre os pavimentos.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo contém as descrições e análises dos resultados encontrados após a aplicação da metodologia. A discussão será referente a diferença de valores encontrados para os modelos de pórtico associado e pórtico espacial mais grelhas em diferentes formatos arquitetônicos. Também será realizada uma análise quanto às diferenças de seções das peças para atender aos critérios de dimensionamento e serviço.

4.1 Dimensionamento da estrutura

Esta seção do trabalho tem o objetivo de informar as dimensões dos elementos dimensionados no software Eberick. As vigas e lajes de todas as estruturas apresentam as mesmas dimensões. As vigas possuem uma seção de 50 cm de altura e 15 cm de base e as lajes 10 cm de espessura.

Segue a Tabela 2 e Tabela 3 que apresenta as seções dos pilares em relação ao número de pavimentos da estrutura e a planta arquitetônica em questão.

Tabela 2 – Dimensionamento - Planta arquitetônica 1

Nº de pavimentos	Dimensão dos pilares(cm)	
4	30	30
8	40	40
12	45	45
16	50	50
20	65	65

Tabela 3 – Dimensionamento - Planta arquitetônica 2

Nº de pavimentos	Dimensão dos pilares(cm)	
4	25	40
8	30	55
12	35	75
16	40	115
20	55	150

No trabalho em questão, todos os pilares de uma mesma estrutura apresentam as mesmas dimensões.

4.2 Forças devido ao vento

Como o objetivo do trabalho é analisar a aplicação de diferentes métodos em relação a estabilidade global e aos deslocamento horizontais de serviço, o primeiro resultado a ser descrito e analisado será as forças devido ao vento encontradas pelo software Eberick e pelo método de cálculo manual utilizando planilha eletrônica.

Os parâmetros finais de cálculo como o Coeficiente de arrasto, pressão dinâmica e até mesmo o comprimento da fachada a ser considerado possuem o valor exatamente igual em ambos os métodos, entretanto o valor final apresentou uma leve e constante variação em todas as estruturas e suas faces.

Como exemplo segue a Tabela 4 mostrando a comparação entre os valores calculados para as forças de vento da planta arquitetônica 1 de 20 pavimentos. As tabelas de comparação dos valores encontrados para a força do vento das demais estruturas estão contidas no Apêndice A.

Tabela 4 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 1 - 20 pavimentos

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0,0	0,45	0,44	-2,3
2,8	4,04	4,12	1,9
5,6	5,07	5,10	0,6
8,4	5,64	5,71	1,2
11,2	6,08	6,18	1,6
14,0	6,38	6,57	2,9
16,8	6,85	6,91	0,9
19,6	7,01	7,20	2,6
22,4	7,34	7,47	1,7
25,2	7,51	7,71	2,6
28,0	7,84	7,93	1,1
30,8	8,01	8,14	1,6
33,6	8,19	8,33	1,7
36,4	8,36	8,52	1,9
39,2	8,54	8,69	1,7
42,0	8,72	8,85	1,5
44,8	8,90	9,01	1,2
47,6	9,08	9,16	0,9
50,4	9,08	9,30	2,4
53,2	9,27	9,43	1,7
56,0	4,73	4,77	0,8
Total	147,09	149,54	1,6

Analisando os resultados é possível perceber que em todas as estruturas a soma das cargas devido ao vento deram resultados maiores no cálculo realizado via software Eberick e essa variação gira em torno de 2%.

Embora pequena, essa variação influencia diretamente nos deslocamentos dos pórticos e no cálculo do coeficiente *Gama Z* pois o momento de tombamento é diretamente proporcional às forças de vento.

Como foi utilizado o mesmo comprimento de fachada, essa variação trata-se de um erro de cálculo realizado via software Eberick. Outro ponto importante a se destacar é que o programa utiliza como comprimento da fachada a distancia entre os pontos fixos dos pilares de canto da fachada e não a distância entre as faces externas dos pilares de

canto como deveria ser, isso também se configura como um erro do programa. Devido a isso, no presente trabalho, as dimensões da fachada são consideradas entre os eixos dos pilares de canto para ambos os métodos e mesmo assim ocorreu tal variação errônea no cálculo das forças de vento.

4.3 Levantamento de cargas verticais

Como foi mencionado na metodologia, as cargas verticais foram divididas em três grupos: estrutura, adicional e acidental. O levantamento dessas cargas para modelar os pórticos associados foi realizado com auxílio de planilhas eletrônicas e os valores de cargas encontrados via software Eberick foram retirados do diagnóstico da estrutura.

Como exemplo segue a Tabela 5 mostrando a comparação entre os valores encontrados para as cargas verticais da planta arquitetônica 1 de 20 pavimentos. As tabelas de comparação dos valores encontrados para as cargas verticais das demais estruturas estão contidas no Apêndice B.

Tabela 5 – Cargas - Planta arquitetônicas 1 - 20 pavimentos

Grupo de Carga	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
Estrutura	4110,34	4276,39	3,88
Adicional	2758,51	2883,29	4,33
Acidental	1137,02	1222,48	6,99
Total	8005,87	8382,16	4,49

É possível perceber que em todas as estruturas as cargas verticais calculadas pelo Eberick apresentam valores maiores do que as cargas calculadas manualmente e esse variação está na faixa dos 5,5%.

Essa variação por método no levantamento de cargas proporciona uma mudança irrisória nos deslocamentos dos pórticos, porém é de relevante impacto no cálculo do coeficiente γ_z , pois os momentos de segunda ordem são diretamente proporcionais ao peso da estrutura.

4.4 Combinação das ações

Em cada estrutura analisada foi realizado três combinações de ações, sendo duas para a análise do coeficiente γ_z e uma para a análise dos deslocamentos horizontais. Os coeficientes utilizados para cada combinação e grupo de carga estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Combinações utilizadas no trabalho

Combinações	Estrutura	Adicional	Acidental	Vento
1 - Gama z	1,3	1,4	1,4	0,84
2 - Gama z	1,3	1,4	0,7	1,40
3 - ELS	1,0	1,0	0,3	0,30

4.5 Deslocamentos horizontais para o cálculo do coeficiente γ_z

Nesta sessão os resultados primeiramente serão descritos e analisados por planta arquitetônica e direção da ação do vento, pois a variação dos valores encontrados para cada método está ligado diretamente ao formato da estrutura. Esses deslocamentos horizontais são provenientes da combinação crítica para o γ_z , que em todas as situações foi a combinação 1.

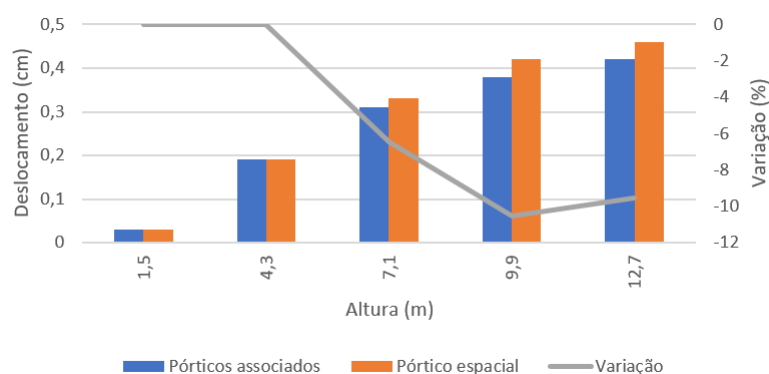
Primeiramente é importante destacar que os deslocamentos nos primeiros pavimentos da estrutura são os que proporcionam a menor interferência nos resultados dos efeitos de segunda ordem pois são deslocamentos pequenos. Devido ao fato de estar sendo considerado apenas duas casas decimais para os deslocamentos a variação entre os resultados encontrados, mesmo sendo milimétrica, tendem a proporcionar uma grande variação em termos de porcentagem. Portanto as variações em termos de porcentagem altas nos primeiros pavimentos das estruturas não significam que os modelos apresentaram comportamento muito diferentes entre eles.

Os dados utilizados para gerar os gráficos desta seção estão expostos no Apêndice Apêndice C em formato de tabelas.

4.5.1 Planta arquitetônica 1

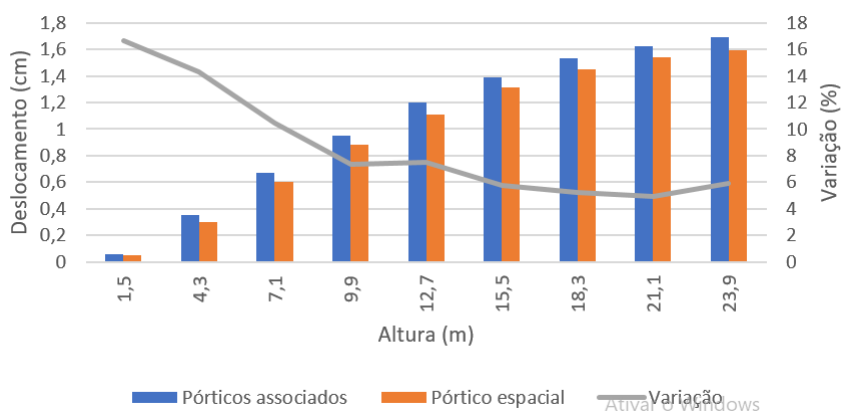
As Figuras 13, 14, 15, 16 e 17 apresentam os deslocamentos horizontais obtidos através do método dos pórticos associados e do método de pórtico espacial mais grelhas das estruturas com 4, 8, 12, 16 e 20 pavimentos respectivamente.

Figura 13 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 4 pavimentos.



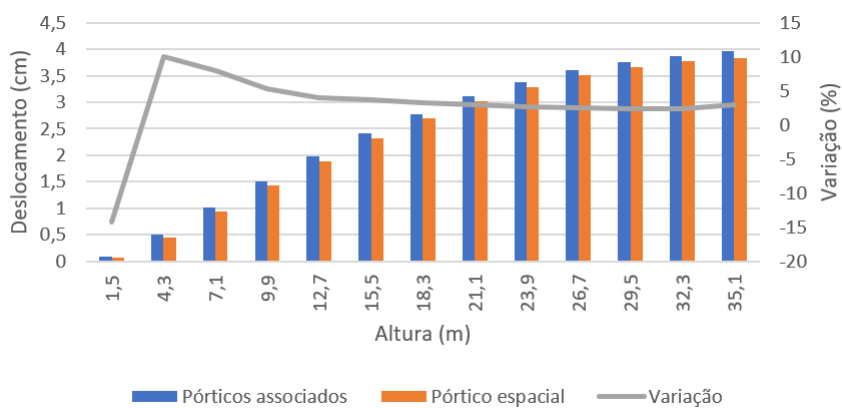
Fonte: autor

Figura 14 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 8 pavimentos.



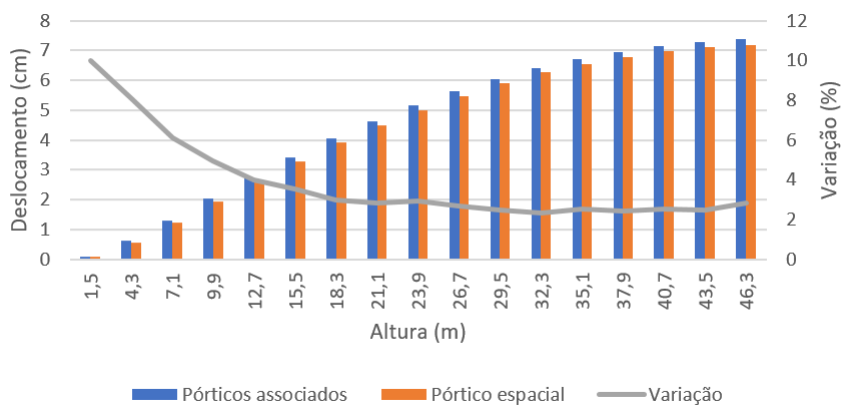
Fonte: autor

Figura 15 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 12 pavimentos.



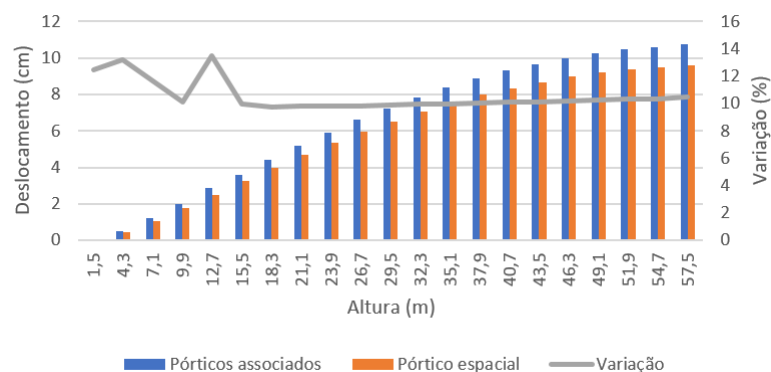
Fonte: autor

Figura 16 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 16 pavimentos.



Fonte: autor

Figura 17 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 20 pavimentos.



Fonte: autor

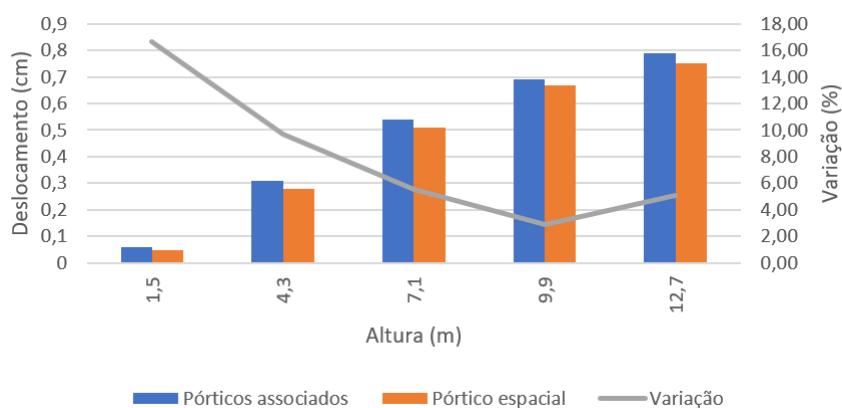
É possível perceber que ambos os métodos proporcionam resultados muito semelhantes. A variação diminuiu a medida que aumentou a quantidade de pavimentos com exceção da estrutura de 20 níveis que apresentou uma variação de resultados maior que a de 16 níveis.

Com exceção da estrutura de 4 pavimentos, todas apresentaram deslocamentos maiores no método dos pórticos associados.

4.5.2 Planta arquitetônica 2 - Direção X

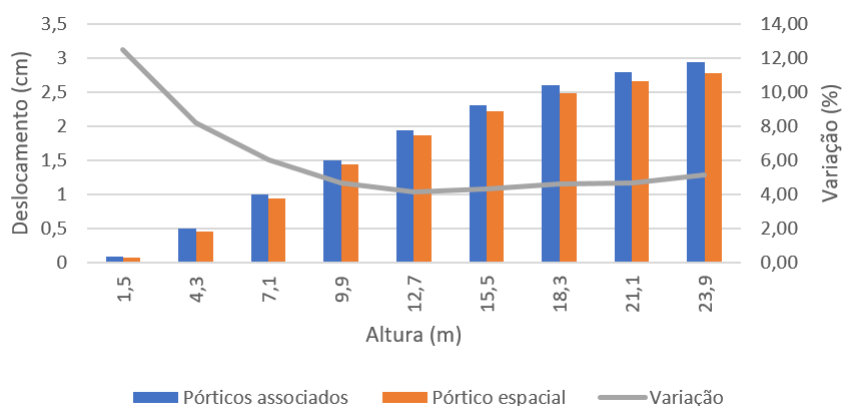
Para a planta arquitetônica 2 - Direção X todos os valores encontrados pelo método dos pórticos associados foram maiores que via método do pórtico espacial mais grelhas. Segue as Figuras 18, 19, 20, 21 e 22 com os resultados.

Figura 18 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 4 pavimentos - Direção X.



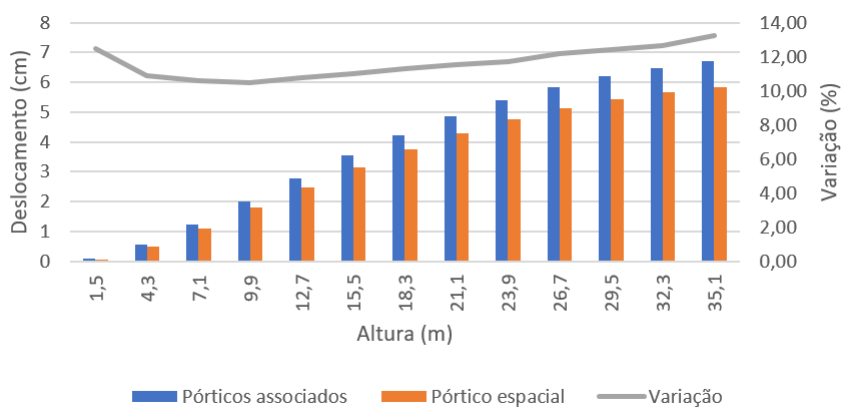
Fonte: autor

Figura 19 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 8 pavimentos - Direção X.



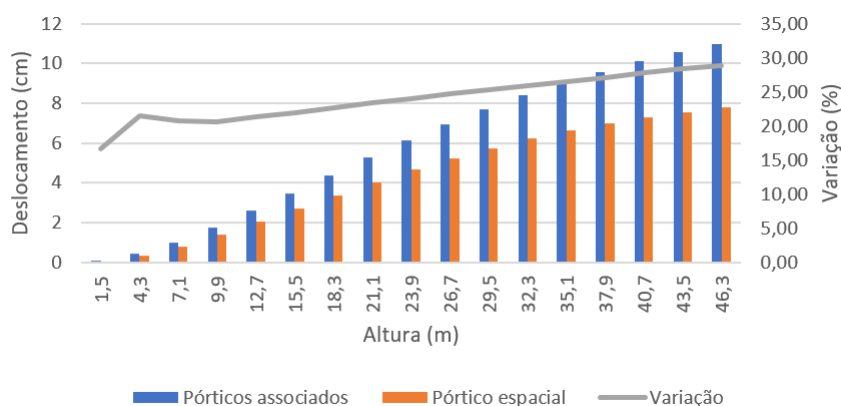
Fonte: autor

Figura 20 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 12 pavimentos - Direção X.



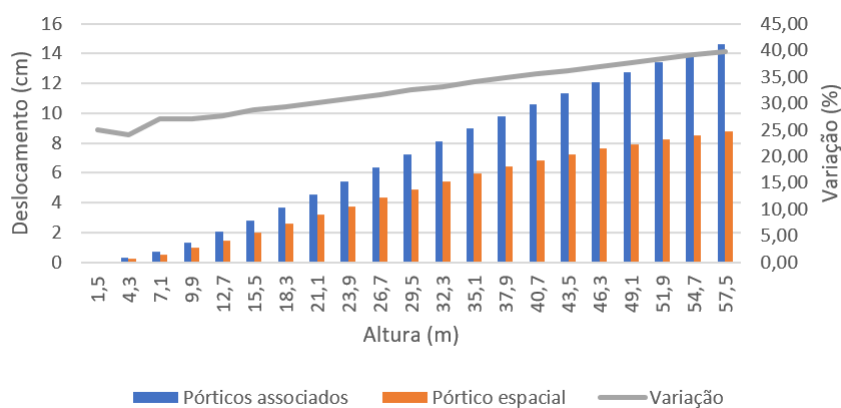
Fonte: autor

Figura 21 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 16 pavimentos - Direção X.



Fonte: autor

Figura 22 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 20 pavimentos - Direção X.



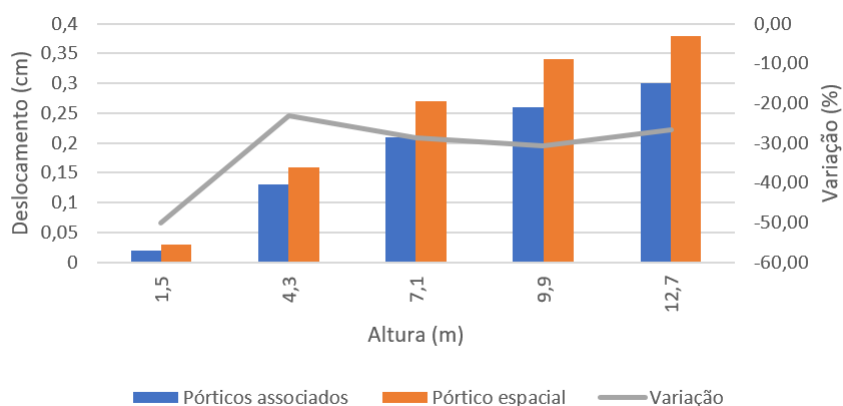
Fonte: autor

A variação dos resultados foi pequena para as estruturas de 4 e 8 pavimentos, entretanto para as estruturas de 12, 16 e 20 a variação dos deslocamentos encontrados para o pavimento de topo é, respectivamente, 13,24%, 28,9% e 39,77%. Nas três estruturas citadas (12,16 e 20 pavimentos) a variação dos resultados foi aumentando linearmente ao longo da altura.

4.5.3 Planta arquitetônica 2 - Direção Y

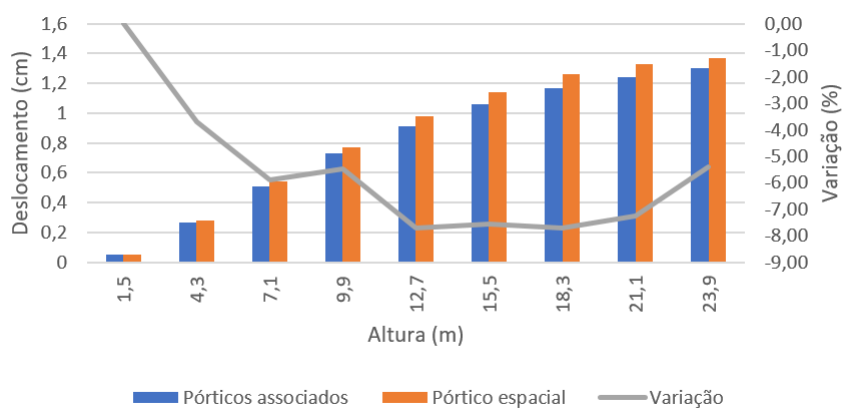
Para a planta arquitetônica 2 - Direção Y todos os valores encontrados para os deslocamentos horizontais pelo método dos pórticos associados foram menores que via método do pórtico espacial mais grelhas, com exceção da estrutura de 20 pavimentos. Segue as Figuras 23, 24, 25, 26 e 27 com os resultados.

Figura 23 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 4 pavimentos - Direção Y.



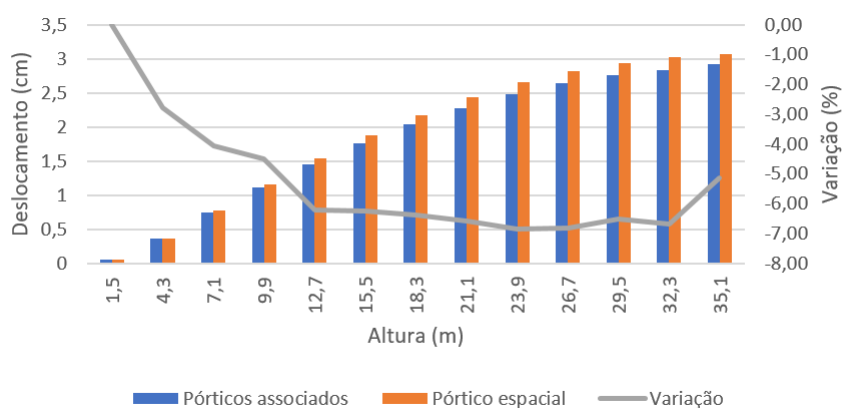
Fonte: autor

Figura 24 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 8 pavimentos - Direção Y.



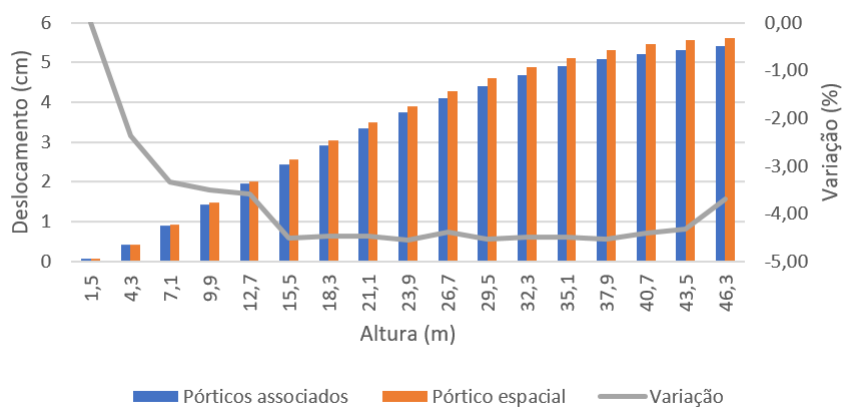
Fonte: autor

Figura 25 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 12 pavimentos - Direção Y.



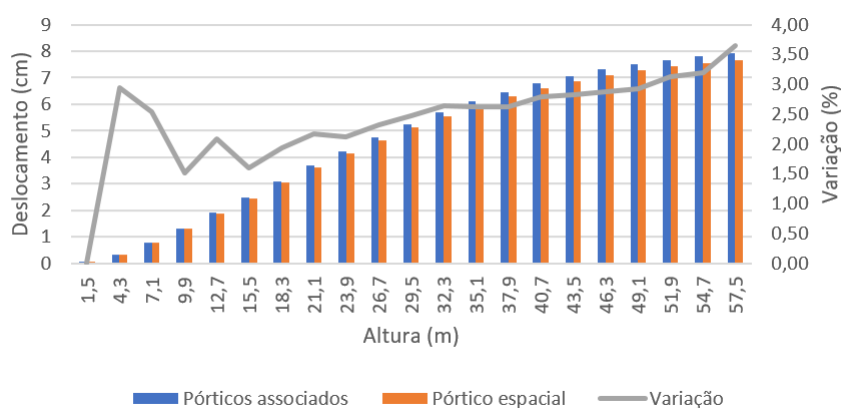
Fonte: autor

Figura 26 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 16 pavimentos - Direção Y.



Fonte: autor

Figura 27 – Deslocamento Horizontal - Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 20 pavimentos - Direção Y.



Fonte: autor

A estrutura de quatro pavimentos apresentou uma variação de resultados muito alta comparado às outras análises em estruturas de quatro pavimentos, mantendo valores modulares entre 20% e 30%. Um dos motivos para essa grande variação é que de todas as estruturas analisadas essa em questão é a que apresenta os menores deslocamentos. Portanto, como já foi dito anteriormente, isso não significa que os modelos tiveram comportamentos muito distintos.

Com relação às estruturas de 8 e 12 pavimentos a variação ficou entre 4% e 8%. Nas estruturas de 16 e 20 pavimentos a variação foi ainda menor com todos os valores abaixo de 5%.

4.6 Momento de tombamento

Seguem as Tabelas 7 e 8 mostrando os valores encontrados através de cada método para o momento de tombamento das estruturas de planta arquitetônica 1. As tabelas referentes as demais estruturas e combinações estão no Apêndice D.

Tabela 7 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 1 - Combinação 1

Nº de pavimentos	Manual(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	111,89	113,99	-1,88
8	510,73	521,07	-2,02
12	1308,03	1328,42	-1,56
16	2535,69	2555,82	-0,79
20	4086,00	4153,11	-1,64

Tabela 8 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 1 - Combinação 2

Nº de pavimentos	Manual(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	186,49	189,99	-1,88
8	851,22	868,44	-2,02
12	2180,06	2214,04	-1,56
16	4226,15	4259,69	-0,79
20	6810,01	6921,85	-1,64

Sendo que o momento de tombamento da estrutura depende diretamente das forças de vento, era esperado que a variação dos valores encontrados fosse proporcional a variação dos resultado encontrados para as forças de vento.

É interessante citar que a variação dos resultados encontrados para o momento de tombamento é igual para as combinações 1 e 2, variando apenas no tipo de planta arquitetônica e quantidade de pavimentos.

4.7 Momentos de segunda ordem

Os momentos de segunda ordem de uma estrutura são os produtos dos deslocamentos horizontais de cada pavimento com o peso do respectivo pavimento. Portanto os valores apresentados e comparados são totalmente derivados dos valores apresentados na seção 4.3, seção 4.4 e seção 4.5.

Segue a Tabela 9 mostrando os valores encontrados através de cada método para o momento de segunda ordem das estruturas de planta arquitetônica 1 combinação ação 1). As tabelas referentes as demais estruturas e combinações estão no Apêndice E.

Tabela 9 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 1 - Combinação 1

Nº de pavimentos	Pórticos associados(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	5,99	6,81	-13,69
8	43,74	43,25	1,12
12	150,08	154,04	-2,64
16	371,25	382,49	-3,03
20	701,17	659,22	5,98

As variações encontradas para os momentos de segunda ordem são devido às variações encontradas para os deslocamentos horizontais dos pórticos e para o levantamento de cargas. Devido ao fato de todas as estruturas apresentarem maior peso no método de cálculo utilizado pelo Eberick, a variação dos valores encontrados para os momentos de segunda ordem são menores em relação à variação encontrada para os deslocamentos horizontais em estruturas que os deslocamentos horizontais são maiores no método dos pórticos associados.

4.8 Coeficiente γ_z

O coeficiente γ_z informa a magnitude dos esforços de segunda ordem de uma estrutura em relação aos esforços de primeira ordem, portanto o coeficiente em questão depende apenas dos momentos de tombamento e dos momentos de segunda ordem.

Segue as Tabelas 10, 11, 12, 13, 14 e 15 mostrando os valores encontrados através de cada método para o coeficiente γ_z .

Tabela 10 – Gama Z - Planta arquitetônica 1 - Combinação 1

Nº de pavimentos	Manual	Eberick	Variação(%)
4	1,06	1,06	0,00
8	1,09	1,09	0,00
12	1,13	1,13	0,00
16	1,17	1,17	0,00
20	1,21	1,19	1,65

Tabela 11 – Gama Z - Planta arquitetônica 1 - Combinação 2

Nº de pavimentos	Manual	Eberick	Variação(%)
4	1,05	1,06	-0,95
8	1,08	1,08	0,00
12	1,12	1,12	0,00
16	1,15	1,16	-0,87
20	1,19	1,17	1,68

Tabela 12 – Gama Z - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção X

Nº de pavimentos	Manual	Eberick	Variação(%)
4	1,05	1,05	0,00
8	1,07	1,07	0,00
12	1,10	1,09	0,91
16	1,11	1,08	2,70
20	1,12	1,08	3,57

Tabela 13 – Gama Z - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção X

Nº de pavimentos	Manual	Eberick	Variação(%)
4	1,04	1,04	0,00
8	1,07	1,07	0,00
12	1,09	1,08	0,92
16	1,10	1,08	1,82
20	1,11	1,07	3,60

Tabela 14 – Gama Z - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção Y

Nº de pavimentos	Manual	Eberick	Variação(%)
4	1,05	1,06	-0,95
8	1,09	1,10	-0,92
12	1,12	1,13	-0,89
16	1,15	1,17	-1,74
20	1,19	1,20	-0,84

Tabela 15 – Gama Z - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção Y

Nº de pavimentos	Manual	Eberick	Variação(%)
4	1,04	1,06	-1,92
8	1,08	1,09	-0,93
12	1,11	1,12	-0,90
16	1,14	1,15	-0,88
20	1,18	1,18	0,00

De maneira geral, ambos os métodos, pórtico associado e pórtico espacial, chegaram a valores bem próximos para o coeficiente γ_z . A maior diferença encontrada foi para a estrutura de planta arquitetônica 2 e 20 pavimentos na direção x, em que para a combinação 1 e 2 os esforços de segunda ordem apontados pelo método dos pórticos associados representavam 12% e 11% dos esforços, respectivamente, e para o métodos do pórtico espacial mais grelhas representavam 8% e 7% dos esforços, respectivamente. Essa variação na estrutura em questão era esperada pois os esforços de segunda ordem na estrutura em questão apresentavam grande variação entre os métodos.

4.9 Deslocamentos horizontais de serviço

Os deslocamentos horizontais de serviço devem respeitar o limite de deslocamento entre pavimentos e o limite de deslocamento de topo da estrutura.

Os deslocamentos encontrados via método dos pórticos associados apontaram valores maiores em relação aos encontrados via software Eberick. Entretanto em nenhuma situação os deslocamentos entre pavimentos passou do valor limite de serviço. Segue a Tabela 16 que apresenta os deslocamentos entre pavimentos da estrutura de planta arquitetônica 1 com 20 pavimentos. As tabelas com deslocamentos entre pavimentos das demais estruturas estão no Apêndice F.

Tabela 16 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS - 20 pavimentos

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
20	4,06	0,22	3,36	0,04	0,33
19	3,84	0,10	3,32	0,06	0,33
18	3,74	0,08	3,26	0,06	0,33
17	3,66	0,09	3,20	0,08	0,33
16	3,57	0,12	3,12	0,10	0,33
15	3,45	0,13	3,02	0,12	0,33
14	3,32	0,16	2,90	0,14	0,33
13	3,16	0,17	2,76	0,15	0,33
12	2,99	0,19	2,61	0,17	0,33
11	2,80	0,21	2,44	0,19	0,33
10	2,59	0,23	2,25	0,20	0,33
9	2,36	0,25	2,05	0,22	0,33
8	2,11	0,26	1,83	0,23	0,33
7	1,85	0,28	1,60	0,25	0,33
6	1,57	0,29	1,35	0,25	0,33
5	1,28	0,29	1,10	0,26	0,33
4	0,99	0,29	0,84	0,25	0,33
3	0,70	0,28	0,59	0,24	0,33
2	0,42	0,23	0,35	0,20	0,33
1	0,19	0,16	0,15	0,13	0,33
Fundações	0,03	0,03	0,02	0,02	0,17

Com relação aos deslocamentos de topo, o método dos pórticos associados indicou valores acima do limite apontado por norma na estrutura de planta arquitetônica 1 de 20 níveis e nas estruturas de planta arquitetônica 2 de 12, 16 e 20 níveis na direção X. A variação de resultado encontrado por cada método chegou a 42,64% na estrutura de planta arquitetônica 2 de 20 níveis na direção X.

A Tabela 17 mostra os valores encontrados para os deslocamentos horizontais de serviço no topo referentes às estruturas de planta arquitetônica 1. As tabelas referentes as demais estruturas e combinações estão no Apêndice G.

Tabela 17 – Deslocamento de topo - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS

Número de pavimentos	Pórticos associados (cm)	Eberick (cm)	Variação (%)	Limite (cm)
4	0,17	0,15	11,76	0,75
8	0,62	0,54	12,90	1,41
12	1,48	1,32	10,81	2,06
16	2,66	2,49	6,39	2,72
20	4,06	3,36	17,24	3,38

5 CONCLUSÃO

Este capítulo tem por objetivo apresentar as considerações finais sobre a análise dos resultados. Será discutido a viabilidade dos modelos e a eficiência dos métodos aplicados para encontrar os resultados. Como última consideração, será descrito uma possível continuidade do estudo.

5.1 Cálculo das cargas verticais e horizontais

As cargas verticais e horizontais foram encontradas de duas maneiras distintas. A primeira foi via software Eberick para posterior dimensionamento da estrutura com o modelo de pórtico espacial mais grelhas e a segunda foi através de cálculos em planilhas eletrônicas para aplicação no modelo de pórticos associados. Em todas as estruturas o método utilizado via software Eberick apontou resultados maiores para as forças de vento e para as cargas verticais na ordem de 2% e 5,5% respectivamente. Como já foi dito anteriormente na análise dos resultados, as forças de vento são diretamente proporcionais ao momento de tombamento da estrutura, além de atuar nos deslocamentos horizontais e as cargas verticais são diretamente proporcionais aos momentos de segunda ordem da estrutura. Portanto, essa variação de resultados, mesmo sendo pequena e constante, proporciona uma variação no coeficiente γ_z e nos deslocamentos de serviço e mostra que o software Eberick é conservador no levantamento de cargas verticais e horizontais pois apresentou valores superiores aos encontrados pelo cálculo através de planilhas eletrônicas embasado nas normas correntes. E como foi relatado na seção anterior, a variação entre as forças encontradas é devido a um erro do programa.

5.2 Coeficiente γ_z

Os valores encontrados para o Coeficiente γ_z foram semelhantes em praticante todas as estruturas. Entretanto, é conclusivo que quanto mais esbelto o edifício a variação dos deslocamentos horizontais encontrados através de cada modelo é maior, sendo que o método que apresenta maiores deslocamentos é o dos pórticos associados. As estruturas de 16 e 20 pavimentos com planta arquitetônica 2 apresentaram a maior variação para os deslocamentos horizontais últimos e a maior variação em relação ao coeficiente γ_z chegando a apontar uma diferença de 3% e 4% na magnitude dos momentos de segunda ordem em relação aos de primeira, respectivamente. Portanto, o método dos pórticos associados pode ser utilizado para estruturas menores, mas pode proporcionar um superdimensionamento significativo em estruturas mais esbeltas, como é o caso das estruturas de 16 e 20 pavimentos com planta arquitetônica 2 na direção X.

5.3 Deslocamentos horizontais de serviço

Como já descrito anteriormente, o método dos pórticos associados aponta deslocamentos horizontais significativamente superiores ao método do pórtico espacial. Entre as estruturas dimensionadas, na de 16 e 20 pavimentos de planta arquitetônica 1 e nas de 12, 16 e 20 pavimentos de planta arquitetônica 2 o fator crítico de dimensionamento foi os deslocamentos horizontais de serviço, ou seja, essas estruturas tiveram que ser enrijecidas para atender ao estado limite de serviço. Portanto era esperado que os deslocamentos de serviço encontrado no método dos pórticos associados excedessem o limite normativo e foi o que ocorreu na estrutura de 20 pavimentos de planta arquitetônica 1 e nas estruturas de 12, 16 e 20 pavimentos de planta arquitetônica 2. A maior variação de deslocamento de serviço do topo da estrutura foi de 42,64%. Portanto, a análise dos deslocamentos horizontais de serviço pelo método dos pórticos associados deve ser realizada de maneira cautelosa e desconfiada quando este for o fator limitante de dimensionamento, principalmente em estruturas esbeltas.

5.4 Sugestões para trabalhos futuros

Segue algumas sugestões para pesquisas futuras relacionadas ao presente trabalho:

- Comparar apenas modelos utilizados em softwares específicos de engenharia (pórtico espacial, modelo integrado e elementos finitos).
- Comparar o modelo de pórtico espacial e pórticos associados de modo a apontar até qual complexidade de arranjo estrutural é possível modelar os pórticos associados de modo a proporcionar um resultado adequado.

Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988. 256 p. Citado 3 vezes nas páginas 21, 35 e 36.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003. 256 p. Citado na página 21.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 256 p. Citado 8 vezes nas páginas 16, 17, 24, 26, 27, 28, 29 e 37.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019. 256 p. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 35.
- ALMEIDA, F. S. d. **Desenvolvimento de ferramentas computacionais para análise de interação fluido-estrutura incluindo não linearidade geométrica**. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Citado na página 22.
- ALTOQI. **Eberick: Solução para seus projetos estruturais**. 2019. [Online; acesso 05 Novembro de 2019]. Disponível em: <<https://www.altoqi.com.br/eberick/>>. Citado na página 29.
- ALVA, G. M. S. Concepção estrutural de edifícios em concreto armado. **Departamento de Estruturas e Construção Civil**, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2007. Citado na página 16.
- ARAÚJO, J. M. Curso de concreto armado. **Editora Dunas**, Volume I, II, III e IV, 2014. Citado na página 21.
- AZEREDO, L. Contribuições ao estudo da estabilidade global de estruturas de edifícios. **Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul**, 2016. Citado na página 31.
- CARMO, R. M. d. S. **Efeitos de segunda ordem em edifícios usuais de concreto armado**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995. Citado na página 19.
- DIAS, R. H. Importância e interferências da concepção dos subsistemas verticais em edifícios altos na arquitetura. **São Paulo, Brasil**, 2010. Citado na página 17.
- ELLWANGER, R. J. Floors number influence on the instability parameter of reinforced concrete frame-braced buildings. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, SciELO Brasil, v. 12, n. 5, p. 1034–1057, 2019. Citado na página 30.
- FREITAS, F.; LUCHI, L.; FERREIRA, W. Análise da estabilidade global das estruturas e ações de controle dos seus efeitos. **RIEM - IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 9, n. 2, 2016. ISSN 1983-4195. Disponível em: <<http://revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/695>>. Citado na página 16.

- Ftool. **Ftool: Overview**. 2019. [Online; acesso 03 Novembro de 2019]. Disponível em: <<https://www.ftool.com.br/Ftool/site/about>>. Citado na página 30.
- GIONGO, J. S. **Concreto armado: projeto estrutural de edifícios**. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Engenharia de Estruturas: EESC/SET, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 19, 20, 22 e 24.
- KIMURA, A. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. São Paulo, SP: Editora Oficina de Textos, 2018. Citado 6 vezes nas páginas 16, 20, 22, 24, 25 e 26.
- LACERDA, M. M. S. et al. Avaliação dos critérios para análise da estabilidade global em edifícios de concreto armado: estudo de caso. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 9, n. 2, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 30.
- LIMA, J. S. Verificações da punção e da estabilidade global em edifícios de concreto: desenvolvimento e aplicação de recomendações normativas. **Escola de Engenharia - Universidade de São Paulo**, São Carlos, São Paulo, 2001. Citado na página 16.
- MARIANO, M. A. d. C. Aplicação e análise da utilização do software eberick em um projeto residencial popular. **Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Civil)**, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2015. Citado na página 29.
- MONCAYO, W. J. Z. Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado. **Master's degree dissertation, USP. São Carlos**, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 24.
- PERGHER, A. et al. Análise de estabilidade global e dimensionamento dos pilares de edifício de concreto armado. **Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015. Citado na página 31.
- POLMANN, L. et al. Modelos de análise estrutural em vigas de concreto armado. **Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016. Citado na página 31.
- PRADO, W. N. d. Análise e dimensionamento estrutural em concreto armado manual e computacional. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas**, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2018. Citado na página 31.
- SILVA, A. A. E. F. d. et al. Contribuições ao estudo da não-linearidade física em vigas de concreto armado. **Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Maria**, Santa Maria, RS, 2012. Citado na página 19.
- SOUZA, E. V. d.; MEDEIROS, D. M. d. Desenvolvimento e análise de um projeto estrutural no software eberick. **Trabalho de conclusão de curso - Engenharia Civil**, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, SC, 2017. Citado na página 31.
- SPOHR, V. H. et al. Análise comparativa: Sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas. **Dissertação de Mestrado em Engenharia civil**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008. Citado na página 20.

Apêndices

APÊNDICE A – Forças devido ao vento

Tabela 18 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 1 - 4 pavimentos

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,41	0,42	2,4
2,8	3,82	3,85	0,8
5,6	4,58	4,65	1,5
8,4	5,05	5,15	1,9
11,2	2,65	2,72	2,6
Total	16,51	16,79	1,7

Tabela 19 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 1 - 8 pavimentos

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0,00	0,44	0,44	0,0
2,80	3,94	4,02	2,0
5,6	4,76	4,9	2,9
8,4	5,27	5,44	3,1
11,2	5,67	5,85	3,1
14	6,08	6,19	1,8
16,8	6,36	6,48	1,9
19,6	6,65	6,74	1,3
22,4	3,40	3,46	1,7
Total	42,57	43,52	2,2

Tabela 20 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 1 - 12 pavimentos

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,47	0,46	-2,2
2,8	4,19	4,26	1,6
5,6	5,07	5,19	2,3
8,4	5,61	5,77	2,8
11,2	6,03	6,2	2,7
14	6,47	6,56	1,4
16,8	6,77	6,87	1,5
19,6	7,08	7,14	0,8
22,4	7,23	7,39	2,2
25,2	7,39	7,61	2,9
28	7,71	7,81	1,3
30,8	7,87	8	1,6
33,6	4,02	4,07	1,2
Total	75,91	77,33	1,8

Tabela 21 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 1 - 16 pavimentos

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,49	0,48	-2,1
2,8	4,37	4,44	1,6
5,6	5,29	5,41	2,2
8,4	5,85	6,01	2,7
11,2	6,29	6,47	2,8
14	6,75	6,84	1,3
16,8	7,06	7,17	1,5
19,6	7,38	7,45	0,9
22,4	7,55	7,7	1,9
25,2	7,71	7,93	2,8
28	8,05	8,15	1,2
30,8	8,22	8,34	1,4
33,6	8,39	8,53	1,6
36,4	8,56	8,7	1,6
39,2	8,74	8,86	1,4
42	8,92	9,02	1,1
44,8	4,46	4,56	2,2
Total	114,08	116,06	1,7

Tabela 22 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 4 pavimentos - Direção X

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,47	0,48	2,1
2,8	4,36	4,4	0,9
5,6	5,24	5,32	1,5
8,4	5,77	5,88	1,9
11,2	3,03	3,11	2,6
Total	18,87	19,19	1,7

Tabela 23 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 4 pavimentos - Direção Y

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,18	0,18	0,0
2,8	1,65	1,68	1,8
5,6	1,98	2,04	2,9
8,4	2,18	2,25	3,1
11,2	1,16	1,19	2,5
Total	7,15	7,34	2,6

Tabela 24 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 8 pavimentos - Direção X

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,48	0,48	0,0
2,8	4,36	4,45	2,0
5,6	5,28	5,42	2,6
8,4	5,84	6,02	3,0
11,2	6,28	6,48	3,1
14	6,73	6,86	1,9
16,8	7,05	7,18	1,8
19,6	7,37	7,46	1,2
22,4	3,77	3,83	1,6
Total	47,16	48,18	2,1

Tabela 25 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 8 pavimentos - Direção Y

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,19	0,19	0,0
2,8	1,7	1,73	1,7
5,6	2,06	2,11	2,4
8,4	2,28	2,34	2,6
11,2	2,45	2,52	2,8
14	2,63	2,66	1,1
16,8	2,75	2,79	1,4
19,6	2,87	2,9	1,0
22,4	1,47	1,49	1,3
Total	18,40	18,73	1,8

Tabela 26 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 12 pavimentos - Direção X

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,51	0,51	0,0
2,8	4,58	4,67	1,9
5,6	5,54	5,69	2,6
8,4	6,13	6,33	3,2
11,2	6,59	6,81	3,2
14	7,07	7,2	1,8
16,8	7,40	7,54	1,9
19,6	7,73	7,84	1,4
22,4	7,90	8,11	2,6
25,2	8,08	8,35	3,2
28	8,43	8,57	1,6
30,8	8,61	8,78	1,9
33,6	4,39	4,46	1,6
Total	82,96	84,86	2,2

Tabela 27 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 12 pavimentos - Direção Y

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,2	0,2	0,0
2,8	1,84	1,87	1,6
5,6	2,23	2,28	2,2
8,4	2,47	2,56	3,5
11,2	2,65	2,72	2,6
14	2,84	2,88	1,4
16,8	2,98	3,02	1,3
19,6	3,11	3,14	1,0
22,4	3,18	3,24	1,9
25,2	3,25	3,34	2,7
28	3,39	3,43	1,2
30,8	3,46	3,51	1,4
33,6	1,77	1,79	1,1
Total	33,37	33,98	1,8

Tabela 28 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 16 pavimentos - Direção X

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,52	0,52	0,0
2,8	4,72	4,82	2,1
5,6	5,72	5,87	2,6
8,4	6,33	6,53	3,1
11,2	6,80	7,02	3,1
14	7,30	7,43	1,7
16,8	7,64	7,78	1,8
19,6	7,98	8,09	1,4
22,4	8,16	8,36	2,4
25,2	8,34	8,61	3,1
28	8,70	8,84	1,6
30,8	8,89	9,06	1,9
33,6	9,07	9,26	2,1
36,4	9,26	9,44	1,9
39,2	9,45	9,62	1,8
42	9,64	9,79	1,5
44,8	4,82	4,95	2,6
Total	123,34	125,99	2,1

Tabela 29 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 16 pavimentos - Direção Y

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,22	0,22	0,0
2,8	2	2,04	2,0
5,6	2,43	2,49	2,4
8,4	2,68	2,76	2,9
11,2	2,89	2,97	2,7
14	3,1	3,14	1,3
16,8	3,24	3,29	1,5
19,6	3,39	3,42	0,9
22,4	3,46	3,54	2,3
25,2	3,54	3,64	2,7
28	3,69	3,74	1,3
30,8	3,77	3,83	1,6
33,6	3,85	3,92	1,8
36,4	3,93	4	1,8
39,2	4,01	4,07	1,5
42	4,09	4,14	1,2
44,8	2,05	2,1	2,4
Total	52,34	53,31	1,8

Tabela 30 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 20 pavimentos - Direção X

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,48	0,47	-2,1
2,8	4,32	4,43	2,5
5,6	5,43	5,48	0,9
8,4	6,04	6,14	1,6
11,2	6,51	6,65	2,1
14	6,84	7,06	3,1
16,8	7,34	7,42	1,1
19,6	7,51	7,74	3,0
22,4	7,86	8,02	2,0
25,2	8,04	8,28	2,9
28	8,40	8,52	1,4
30,8	8,58	8,75	1,9
33,6	8,77	8,96	2,1
36,4	8,96	9,15	2,1
39,2	9,15	9,34	2,0
42	9,34	9,51	1,8
44,8	9,53	9,68	1,5
47,6	9,73	9,84	1,1
50,4	9,73	9,99	2,6
53,2	9,92	10,14	2,2
56	5,06	5,12	1,2
Total	157,54	160,69	2,0

Tabela 31 – Forças de Vento - Planta arquitetônica 2 - 20 pavimentos - Direção Y

Nível(m)	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
0	0,21	0,21	0,0
2,8	1,91	1,95	2,1
5,6	2,4	2,42	0,8
8,4	2,66	2,71	1,8
11,2	2,87	2,93	2,0
14	3,02	3,12	3,2
16,8	3,24	3,27	0,9
19,6	3,31	3,41	2,9
22,4	3,47	3,54	2,0
25,2	3,55	3,65	2,7
28	3,71	3,76	1,3
30,8	3,79	3,86	1,8
33,6	3,87	3,95	2,0
36,4	3,95	4,04	2,2
39,2	4,04	4,12	1,9
42	4,12	4,2	1,9
44,8	4,21	4,27	1,4
47,6	4,29	4,34	1,2
50,4	4,29	4,41	2,7
53,2	4,38	4,47	2,0
56	2,23	2,26	1,3
Total	69,52	70,89	1,9

APÊNDICE B – Levantamento de cargas verticais

Tabela 32 – Cargas - Planta arquitetônica 1 - 4 pavimentos

Grupo de Carga	Manual(tf)	Eberick(tf)	Variação(%)
Estrutura	700,38	741,24	5,51
Adicional	680,04	724,17	6,09
Acidental	273,3	291,07	6,11
Total	1653,72	1756,48	5,85

Tabela 33 – Cargas - Planta arquitetônicas 1 - 8 pavimentos

Grupo de Carga	Manual(kN)	Eberick(kN)	Variação(%)
Estrutura	1362,9	1437,89	5,22
Adicional	1204,11	1284,13	6,23
Acidental	491,08	523,92	6,27
Total	3058,09	3245,94	5,79

Tabela 34 – Cargas - Planta arquitetônicas 1 - 12 pavimentos

Grupo de Carga	Manual(kN)	Eberick(kN)	Variação(%)
Estrutura	2061,99	2171,09	5,03
Adicional	1724,97	1840,87	6,30
Acidental	708,86	756,78	6,33
Total	4495,82	4768,74	5,72

Tabela 35 – Cargas - Planta arquitetônicas 1 - 16 pavimentos

Grupo de Carga	Manual(kN)	Eberick(kN)	Variação(%)
Estrutura	2829,87	2975,26	4,89
Adicional	2236,34	2388,99	6,39
Acidental	925,34	989,63	6,50
Total	5991,55	6353,88	5,70

Tabela 36 – Cargas - Planta arquitetônicas 2 - 4 pavimentos

Grupo de Carga	Manual(kN)	Eberick(kN)	Variação(%)
Estrutura	370,37	390,82	5,23
Adicional	363,82	385,9	5,72
Acidental	136,64	145,53	6,11
Total	870,83	922,25	5,58

Tabela 37 – Cargas - Planta arquitetônicas 2 - 8 pavimentos

Grupo de Carga	Manual(kN)	Eberick(kN)	Variação(%)
Estrutura	724,82	763,1	5,02
Adicional	644,53	687,36	6,23
Acidental	245,67	261,96	6,22
Total	1615,02	1712,42	5,69

Tabela 38 – Cargas - Planta arquitetônicas 2 - 12 pavimentos

Grupo de Carga	Manual(kN)	Eberick(kN)	Variação(%)
Estrutura	1170,78	1227,83	4,65
Adicional	912,09	974,66	6,42
Acidental	353,81	378,39	6,50
Total	2436,68	2580,88	5,59

Tabela 39 – Cargas - Planta arquitetônicas 2 - 16 pavimentos

Grupo de Carga	Manual(kN)	Eberick(kN)	Variação(%)
Estrutura	1859,12	1937,81	4,06
Adicional	1149,02	1232,46	6,77
Acidental	460,22	494,81	6,99
Total	3468,36	3665,08	5,37

Tabela 40 – Cargas - Planta arquitetônicas 2 - 20 pavimentos

Grupo de Carga	Manual(kN)	Eberick(kN)	Variação(%)
Estrutura	3055,72	3165,21	3,46
Adicional	1354,56	1462,55	7,38
Acidental	561,14	611,24	8,20
Total	4971,42	5239	5,11

APÊNDICE C – Deslocamentos horizontais para o cálculo do coeficiente

$$\gamma_z$$

Tabela 41 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 4 pavimentos

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
12,7	0,42	0,46	-9,52
9,9	0,38	0,42	-10,53
7,1	0,31	0,33	-6,45
4,3	0,19	0,19	0,00
1,5	0,03	0,03	0,00

Tabela 42 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 8 pavimentos

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
23,9	1,69	1,59	5,92
21,1	1,62	1,54	4,94
18,3	1,53	1,45	5,23
15,5	1,39	1,31	5,76
12,7	1,2	1,11	7,50
9,9	0,95	0,88	7,37
7,1	0,67	0,6	10,45
4,3	0,35	0,3	14,29
1,5	0,06	0,05	16,67

Tabela 43 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 12 pavimentos

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
35,1	3,96	3,84	3,03
32,3	3,87	3,78	2,33
29,5	3,76	3,67	2,39
26,7	3,6	3,51	2,50
23,9	3,38	3,29	2,66
21,1	3,11	3,02	2,89
18,3	2,78	2,69	3,24
15,5	2,41	2,32	3,73
12,7	1,97	1,89	4,06
9,9	1,51	1,43	5,30
7,1	1,01	0,93	7,92
4,3	0,5	0,45	10,00
1,5	0,08	0,07	-14,29

Tabela 44 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 16 pavimentos

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
46,3	7,39	7,18	2,84
43,5	7,28	7,1	2,47
40,7	7,15	6,97	2,52
37,9	6,96	6,79	2,44
35,1	6,72	6,55	2,53
32,3	6,41	6,26	2,34
29,5	6,05	5,9	2,48
26,7	5,63	5,48	2,66
23,9	5,16	5,01	2,91
21,1	4,62	4,49	2,81
18,3	4,04	3,92	2,97
15,5	3,41	3,29	3,52
12,7	2,74	2,63	4,01
9,9	2,03	1,93	4,93
7,1	1,31	1,23	6,11
4,3	0,62	0,57	8,06
1,5	0,1	0,09	10,00

Tabela 45 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 1 - 20 pavimentos

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
57,5	10,76	9,63	10,50
54,7	10,62	9,52	10,36
51,9	10,46	9,38	10,33
49,1	10,25	9,2	10,24
46,3	9,99	8,97	10,21
43,5	9,67	8,69	10,13
40,7	9,3	8,36	10,11
37,9	8,87	7,98	10,03
35,1	8,39	7,55	10,01
32,3	7,85	7,07	9,94
29,5	7,26	6,54	9,92
26,7	6,61	5,96	9,83
23,9	5,92	5,34	9,80
21,1	5,18	4,67	9,85
18,3	4,41	3,98	9,75
15,5	3,61	3,25	9,97
12,7	2,89	2,5	13,49
9,9	1,97	1,77	10,15
7,1	1,2	1,06	11,67
4,3	0,53	0,46	13,21
1,5	0,08	0,07	12,50

Tabela 46 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 4 pavimentos - Direção X

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
12,7	0,79	0,75	5,06
9,9	0,69	0,67	2,90
7,1	0,54	0,51	5,56
4,3	0,31	0,28	9,68
1,5	0,06	0,05	16,67

Tabela 47 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 8 pavimentos - Direção X

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
23,9	2,93	2,78	5,12
21,1	2,79	2,66	4,66
18,3	2,6	2,48	4,62
15,5	2,31	2,21	4,33
12,7	1,94	1,86	4,12
9,9	1,5	1,43	4,67
7,1	1	0,94	6,00
4,3	0,49	0,45	8,16
1,5	0,08	0,07	12,50

Tabela 48 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 12 pavimentos - Direção X

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
35,1	6,72	5,83	13,24
32,3	6,48	5,66	12,65
29,5	6,2	5,43	12,42
26,7	5,84	5,13	12,16
23,9	5,39	4,76	11,69
21,1	4,86	4,3	11,52
18,3	4,24	3,76	11,32
15,5	3,54	3,15	11,02
12,7	2,79	2,49	10,75
9,9	2	1,79	10,50
7,1	1,23	1,1	10,57
4,3	0,55	0,49	10,91
1,5	0,08	0,07	12,50

Tabela 49 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 16 pavimentos - Direção X

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
46,3	10,97	7,8	28,90
43,5	10,55	7,56	28,34
40,7	10,09	7,29	27,75
37,9	9,58	6,99	27,04
35,1	9,02	6,63	26,50
32,3	8,38	6,21	25,89
29,5	7,69	5,74	25,36
26,7	6,93	5,22	24,68
23,9	6,12	4,65	24,02
21,1	5,26	4,03	23,38
18,3	4,37	3,38	22,65
15,5	3,47	2,71	21,90
12,7	2,58	2,03	21,32
9,9	1,75	1,39	20,57
7,1	1,01	0,8	20,79
4,3	0,42	0,33	21,43
1,5	0,06	0,05	16,67

Tabela 50 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 20 pavimentos - Direção X

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
57,5	14,61	8,8	39,77
54,7	14,01	8,53	39,11
51,9	13,39	8,25	38,39
49,1	12,75	7,94	37,73
46,3	12,07	7,61	36,95
43,5	11,35	7,24	36,21
40,7	10,6	6,84	35,47
37,9	9,81	6,4	34,76
35,1	8,98	5,93	33,96
32,3	8,12	5,43	33,13
29,5	7,24	4,89	32,46
26,7	6,34	4,34	31,55
23,9	5,44	3,76	30,88
21,1	4,53	3,17	30,02
18,3	3,66	2,59	29,23
15,5	2,82	2,01	28,72
12,7	2,03	1,47	27,59
9,9	1,33	0,97	27,07
7,1	0,74	0,54	27,03
4,3	0,29	0,22	24,14
1,5	0,04	0,03	25,00

Tabela 51 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 4 pavimentos - Direção Y

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
12,7	0,3	0,38	-26,67
9,9	0,26	0,34	-30,77
7,1	0,21	0,27	-28,57
4,3	0,13	0,16	-23,08
1,5	0,02	0,03	-50,00

Tabela 52 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 8 pavimentos - Direção Y

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
23,9	1,3	1,37	-5,38
21,1	1,24	1,33	-7,26
18,3	1,17	1,26	-7,69
15,5	1,06	1,14	-7,55
12,7	0,91	0,98	-7,69
9,9	0,73	0,77	-5,48
7,1	0,51	0,54	-5,88
4,3	0,27	0,28	-3,70
1,5	0,05	0,05	0,00

Tabela 53 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 12 pavimentos - Direção Y

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
35,1	2,92	3,07	-5,14
32,3	2,84	3,03	-6,69
29,5	2,76	2,94	-6,52
26,7	2,64	2,82	-6,82
23,9	2,48	2,65	-6,85
21,1	2,28	2,43	-6,58
18,3	2,04	2,17	-6,37
15,5	1,76	1,87	-6,25
12,7	1,45	1,54	-6,21
9,9	1,11	1,16	-4,50
7,1	0,74	0,77	-4,05
4,3	0,36	0,37	-2,78
1,5	0,06	0,06	0,00

Tabela 54 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 16 pavimentos - Direção Y

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
46,3	5,41	5,61	-3,70
43,5	5,32	5,55	-4,32
40,7	5,22	5,45	-4,41
37,9	5,08	5,31	-4,53
35,1	4,9	5,12	-4,49
32,3	4,68	4,89	-4,49
29,5	4,41	4,61	-4,54
26,7	4,1	4,28	-4,39
23,9	3,74	3,91	-4,55
21,1	3,35	3,5	-4,48
18,3	2,91	3,04	-4,47
15,5	2,44	2,55	-4,51
12,7	1,95	2,02	-3,59
9,9	1,43	1,48	-3,50
7,1	0,9	0,93	-3,33
4,3	0,42	0,43	-2,38
1,5	0,06	0,06	0,00

Tabela 55 – Deslocamento Horizontal Gama Z - Planta arquitetônica 2 - 20 pavimentos - Direção Y

Altura(m)	Pórticos associados(cm)	Eberick(cm)	Variação(%)
57,5	7,94	7,65	3,65
54,7	7,81	7,56	3,20
51,9	7,68	7,44	3,12
49,1	7,51	7,29	2,93
46,3	7,31	7,1	2,87
43,5	7,07	6,87	2,83
40,7	6,79	6,6	2,80
37,9	6,46	6,29	2,63
35,1	6,1	5,94	2,62
32,3	5,69	5,54	2,64
29,5	5,24	5,11	2,48
26,7	4,75	4,64	2,32
23,9	4,23	4,14	2,13
21,1	3,68	3,6	2,17
18,3	3,1	3,04	1,94
15,5	2,5	2,46	1,60
12,7	1,91	1,87	2,09
9,9	1,32	1,3	1,52
7,1	0,79	0,77	2,53
4,3	0,34	0,33	2,94
1,5	0,05	0,05	0,00

APÊNDICE D – Momento de tombamento

Tabela 56 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção X

Nº de pavimentos	Manual(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	127,87	130,29	-1,89
8	565,6	577,17	-2,05
12	1425,91	1457,38	-2,21
16	2763,44	2820,34	-2,06
20	4376,3	4463,26	-1,99

Tabela 57 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção X

Nº de pavimentos	Manual(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	213,11	217,14	-1,89
8	942,61	961,92	-2,05
12	2376,51	2428,97	-2,21
16	4605,73	4700,57	-2,06
20	7293,84	7438,77	-1,99

Tabela 58 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção Y

Nº de pavimentos	Manual(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	48,45	49,92	-3,03
8	220,57	224,1	-1,60
12	573,82	583,07	-1,61
16	1172,6	1193,67	-1,80
20	1931	1968,94	-1,96

Tabela 59 – Momento de Tombamento - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção Y

Nº de pavimentos	Manual(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	80,75	83,2	-3,03
8	367,62	373,5	-1,60
12	956,37	971,78	-1,61
16	1954,34	1989,44	-1,80
20	3218,33	3281,57	-1,96

APÊNDICE E – Momentos de segunda ordem

Tabela 60 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 1 - Combinação 2

Nº de pavimentos	Pórticos associados(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	8,91	10,38	-16,50
8	65,61	66,1	-0,75
12	229,77	235,75	-2,60
16	569,04	586,27	-3,03
20	1081,69	1015,88	6,08

Tabela 61 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção X

Nº de pavimentos	Pórticos associados(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	5,68	5,65	0,53
8	38,21	38,56	-0,92
12	127,13	118,6	6,71
16	271,55	212,67	21,68
20	479,51	326,45	31,92

Tabela 62 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção X

Nº de pavimentos	Pórticos associados(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	8,65	8,65	0,00
8	58,66	59,2	-0,92
12	196	182,73	6,77
16	421,36	329,72	21,75
20	752,22	511,15	32,05

Tabela 63 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 2 - Combinação 1 - Direção Y

Nº de pavimentos	Pórticos associados(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	2,19	2,95	-34,70
8	17,68	19,94	-12,78
12	59,69	67,12	-12,45
16	155,66	171,57	-10,22
20	313,82	321,78	-2,54

Tabela 64 – Momentos de Segunda Ordem - Planta arquitetônica 2 - Combinação 2 - Direção Y

Nº de pavimentos	Pórticos associados(tfm)	Eberick (tfm)	Variação(%)
4	3,28	4,51	-37,50
8	27,13	30,62	-12,86
12	92,02	103,41	-12,38
16	241,23	266,01	-10,27
20	492,26	503,84	-2,35

APÊNDICE F – Deslocamentos de serviço entre Pavimentos

Tabela 65 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS
- 4 pavimentos

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
4	0,17	0,03	0,15	0,01	0,33
3	0,14	0,03	0,14	0,03	0,33
2	0,11	0,04	0,11	0,05	0,33
1	0,07	0,06	0,06	0,05	0,33
Fundações	0,01	0,01	0,01	0,01	0,17

Tabela 66 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS
- 8 pavimentos

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
8	0,62	0,04	0,54	0,02	0,33
7	0,58	0,03	0,52	0,03	0,33
6	0,55	0,05	0,49	0,05	0,33
5	0,5	0,07	0,44	0,07	0,33
4	0,43	0,09	0,37	0,08	0,33
3	0,34	0,1	0,29	0,09	0,33
2	0,24	0,11	0,2	0,1	0,33
1	0,13	0,11	0,1	0,08	0,33
Fundações	0,02	0,02	0,02	0,02	0,17

Tabela 67 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS - 12 pavimentos

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
12	1,48	0,08	1,32	0,02	0,33
11	1,4	0,05	1,3	0,04	0,33
10	1,35	0,06	1,26	0,06	0,33
9	1,29	0,08	1,2	0,07	0,33
8	1,21	0,1	1,13	0,1	0,33
7	1,11	0,12	1,03	0,11	0,33
6	0,99	0,13	0,92	0,13	0,33
5	0,86	0,15	0,79	0,15	0,33
4	0,71	0,17	0,64	0,16	0,33
3	0,54	0,18	0,48	0,17	0,33
2	0,36	0,18	0,31	0,16	0,33
1	0,18	0,15	0,15	0,13	0,33
Fundações	0,03	0,03	0,02	0,02	0,17

Tabela 68 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 1 - Combinação ELS - 16 pavimentos

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
16	2,66	0,05	2,49	0,03	0,33
15	2,61	0,05	2,46	0,04	0,33
14	2,56	0,07	2,42	0,07	0,33
13	2,49	0,09	2,35	0,08	0,33
12	2,4	0,11	2,27	0,11	0,33
11	2,29	0,13	2,16	0,12	0,33
10	2,16	0,15	2,04	0,15	0,33
9	2,01	0,17	1,89	0,16	0,33
8	1,84	0,19	1,73	0,19	0,33
7	1,65	0,21	1,54	0,2	0,33
6	1,44	0,22	1,34	0,22	0,33
5	1,22	0,24	1,12	0,23	0,33
4	0,98	0,26	0,89	0,24	0,33
3	0,72	0,25	0,65	0,24	0,33
2	0,47	0,25	0,41	0,22	0,33
1	0,22	0,19	0,19	0,16	0,33
Fundações	0,03	0,03	0,03	0,03	0,17

Tabela 69 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS
- 4 pavimentos - Direção X

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
4	0,29	0,04	0,25	0,03	0,33
3	0,25	0,06	0,22	0,05	0,33
2	0,19	0,08	0,17	0,08	0,33
1	0,11	0,09	0,09	0,07	0,33
Fundações	0,02	0,02	0,02	0,02	0,17

Tabela 70 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS
- 4 pavimentos - Direção Y

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
4	0,15	0,03	0,12	0,01	0,33
3	0,12	0,02	0,11	0,02	0,33
2	0,1	0,04	0,09	0,04	0,33
1	0,06	0,05	0,05	0,04	0,33
Fundações	0,01	0,01	0,01	0,01	0,17

Tabela 71 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS
- 8 pavimentos - Direção X

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
8	1,06	0,06	0,95	0,04	0,33
7	1	0,07	0,91	0,07	0,33
6	0,93	0,1	0,84	0,09	0,33
5	0,83	0,13	0,75	0,13	0,33
4	0,7	0,16	0,62	0,14	0,33
3	0,54	0,18	0,48	0,17	0,33
2	0,36	0,19	0,31	0,16	0,33
1	0,17	0,14	0,15	0,13	0,33
Fundações	0,03	0,03	0,02	0,02	0,17

Tabela 72 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS
- 8 pavimentos - Direção Y

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
8	0,54	0,03	0,46	0,01	0,33
7	0,51	0,03	0,45	0,03	0,33
6	0,48	0,04	0,42	0,04	0,33
5	0,44	0,07	0,38	0,05	0,33
4	0,37	0,07	0,33	0,07	0,33
3	0,3	0,1	0,26	0,08	0,33
2	0,2	0,09	0,18	0,09	0,33
1	0,11	0,09	0,09	0,08	0,33
Fundações	0,02	0,02	0,01	0,01	0,17

Tabela 73 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS
- 12 pavimentos - Direção X

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
12	2,40	0,09	2,01	0,07	0,33
11	2,31	0,1	1,94	0,08	0,33
10	2,21	0,13	1,86	0,11	0,33
9	2,08	0,16	1,75	0,13	0,33
8	1,92	0,19	1,62	0,16	0,33
7	1,73	0,22	1,46	0,19	0,33
6	1,51	0,25	1,27	0,21	0,33
5	1,26	0,27	1,06	0,23	0,33
4	0,99	0,28	0,83	0,24	0,33
3	0,71	0,27	0,59	0,23	0,33
2	0,44	0,24	0,36	0,2	0,33
1	0,20	0,17	0,16	0,14	0,33
Fundações	0,03	0,03	0,02	0,02	0,17

Tabela 74 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS
- 12 pavimentos - Direção Y

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
12	1,06	0,04	1,06	0,02	0,33
11	1,02	0,03	1,04	0,03	0,33
10	0,99	0,05	1,01	0,04	0,33
9	0,94	0,05	0,97	0,06	0,33
8	0,89	0,07	0,91	0,08	0,33
7	0,82	0,09	0,83	0,09	0,33
6	0,73	0,1	0,74	0,1	0,33
5	0,63	0,11	0,64	0,12	0,33
4	0,52	0,13	0,52	0,13	0,33
3	0,39	0,13	0,39	0,13	0,33
2	0,26	0,13	0,26	0,14	0,33
1	0,13	0,11	0,12	0,1	0,33
Fundações	0,02	0,02	0,02	0,02	0,17

Tabela 75 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS
- 16 pavimentos - Direção X

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
16	3,93	0,16	2,68	0,09	0,33
15	3,77	0,17	2,59	0,1	0,33
14	3,60	0,18	2,49	0,12	0,33
13	3,42	0,2	2,37	0,13	0,33
12	3,22	0,23	2,24	0,15	0,33
11	2,99	0,25	2,09	0,16	0,33
10	2,74	0,27	1,93	0,18	0,33
9	2,47	0,29	1,75	0,2	0,33
8	2,18	0,3	1,55	0,21	0,33
7	1,88	0,32	1,34	0,23	0,33
6	1,56	0,32	1,11	0,22	0,33
5	1,24	0,32	0,89	0,23	0,33
4	0,92	0,3	0,66	0,21	0,33
3	0,62	0,26	0,45	0,19	0,33
2	0,36	0,21	0,26	0,15	0,33
1	0,15	0,13	0,11	0,1	0,33
Fundações	0,02	0,02	0,01	0,01	0,17

Tabela 76 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS
- 16 pavimentos - Direção Y

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
16	1,94	0,04	1,95	0,03	0,33
15	1,90	0,04	1,92	0,03	0,33
14	1,86	0,05	1,89	0,05	0,33
13	1,81	0,06	1,84	0,07	0,33
12	1,75	0,08	1,77	0,08	0,33
11	1,67	0,1	1,69	0,1	0,33
10	1,57	0,11	1,59	0,11	0,33
9	1,46	0,12	1,48	0,13	0,33
8	1,34	0,15	1,35	0,15	0,33
7	1,19	0,15	1,20	0,16	0,33
6	1,04	0,17	1,04	0,17	0,33
5	0,87	0,18	0,87	0,19	0,33
4	0,69	0,18	0,68	0,18	0,33
3	0,51	0,19	0,50	0,19	0,33
2	0,32	0,17	0,31	0,17	0,33
1	0,15	0,13	0,14	0,12	0,33
Fundações	0,02	0,02	0,02	0,02	0,17

Tabela 77 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS
- 20 pavimentos - Direção X

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
20	5,23	0,22	3,00	0,1	0,33
19	5,01	0,23	2,90	0,1	0,33
18	4,78	0,23	2,80	0,12	0,33
17	4,55	0,24	2,68	0,12	0,33
16	4,31	0,26	2,56	0,13	0,33
15	4,05	0,27	2,43	0,14	0,33
14	3,78	0,28	2,29	0,16	0,33
13	3,50	0,29	2,13	0,16	0,33
12	3,21	0,31	1,97	0,17	0,33
11	2,90	0,31	1,80	0,19	0,33
10	2,59	0,33	1,61	0,19	0,33
9	2,26	0,32	1,42	0,19	0,33
8	1,94	0,32	1,23	0,2	0,33
7	1,62	0,31	1,03	0,19	0,33
6	1,31	0,31	0,84	0,19	0,33
5	1,00	0,27	0,65	0,18	0,33
4	0,73	0,25	0,47	0,16	0,33
3	0,48	0,22	0,31	0,14	0,33
2	0,26	0,16	0,17	0,1	0,33
1	0,10	0,09	0,07	0,06	0,33
Fundações	0,01	0,01	0,01	0,01	0,17

Tabela 78 – Deslocamento entre pavimentos - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS
- 20 pavimentos - Direção Y

Pavimentos	Pórticos associados		Eberick		ELS
	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Deslocamento (cm)	Diferença (cm)	Limite (cm)
20	2,85	0,05	2,66	0,04	0,33
19	2,80	0,06	2,62	0,04	0,33
18	2,74	0,06	2,58	0,06	0,33
17	2,68	0,07	2,52	0,07	0,33
16	2,61	0,08	2,45	0,08	0,33
15	2,53	0,11	2,37	0,09	0,33
14	2,42	0,11	2,28	0,11	0,33
13	2,31	0,12	2,17	0,13	0,33
12	2,19	0,16	2,04	0,14	0,33
11	2,03	0,16	1,90	0,15	0,33
10	1,87	0,17	1,75	0,17	0,33
9	1,70	0,19	1,58	0,17	0,33
8	1,51	0,2	1,41	0,19	0,33
7	1,31	0,2	1,22	0,2	0,33
6	1,11	0,22	1,02	0,2	0,33
5	0,89	0,21	0,82	0,2	0,33
4	0,68	0,21	0,62	0,19	0,33
3	0,47	0,19	0,43	0,18	0,33
2	0,28	0,16	0,25	0,14	0,33
1	0,12	0,1	0,11	0,1	0,33
Fundações	0,02	0,02	0,01	0,01	0,17

APÊNDICE G – Deslocamento de serviço do Topo da Estrutura

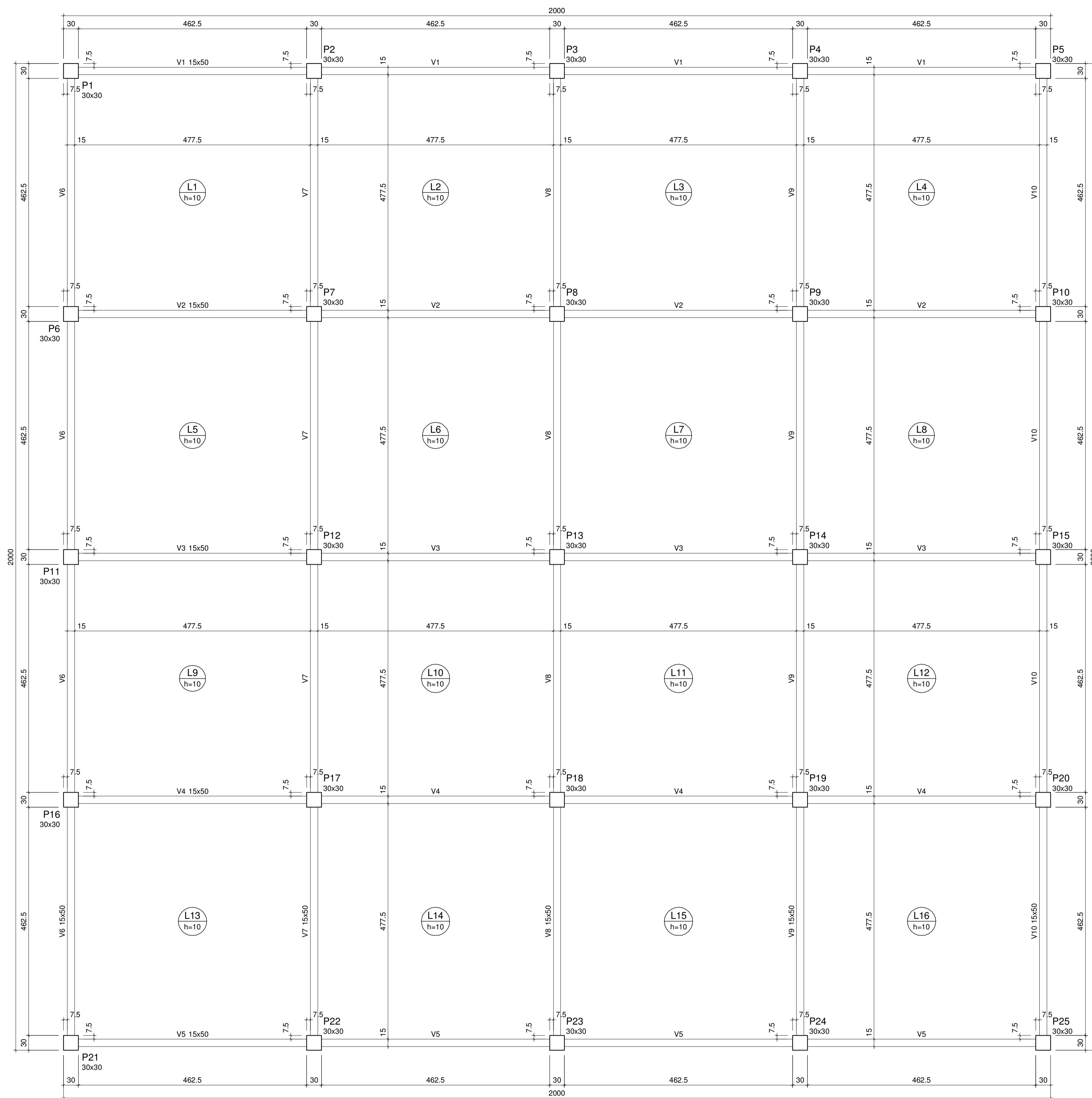
Tabela 79 – Deslocamento de topo - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - Direção X

Número de pavimentos	Pórticos associados(cm)	Eberick (cm)	Variação (%)	Limite (cm)
4	0,29	0,25	13,79	0,75
8	1,06	0,95	10,38	1,41
12	2,4	2,01	16,25	2,06
16	3,93	2,68	31,81	2,72
20	5,23	3	42,64	3,38

Tabela 80 – Deslocamento de topo - Planta arquitetônica 2 - Combinação ELS - Direção Y

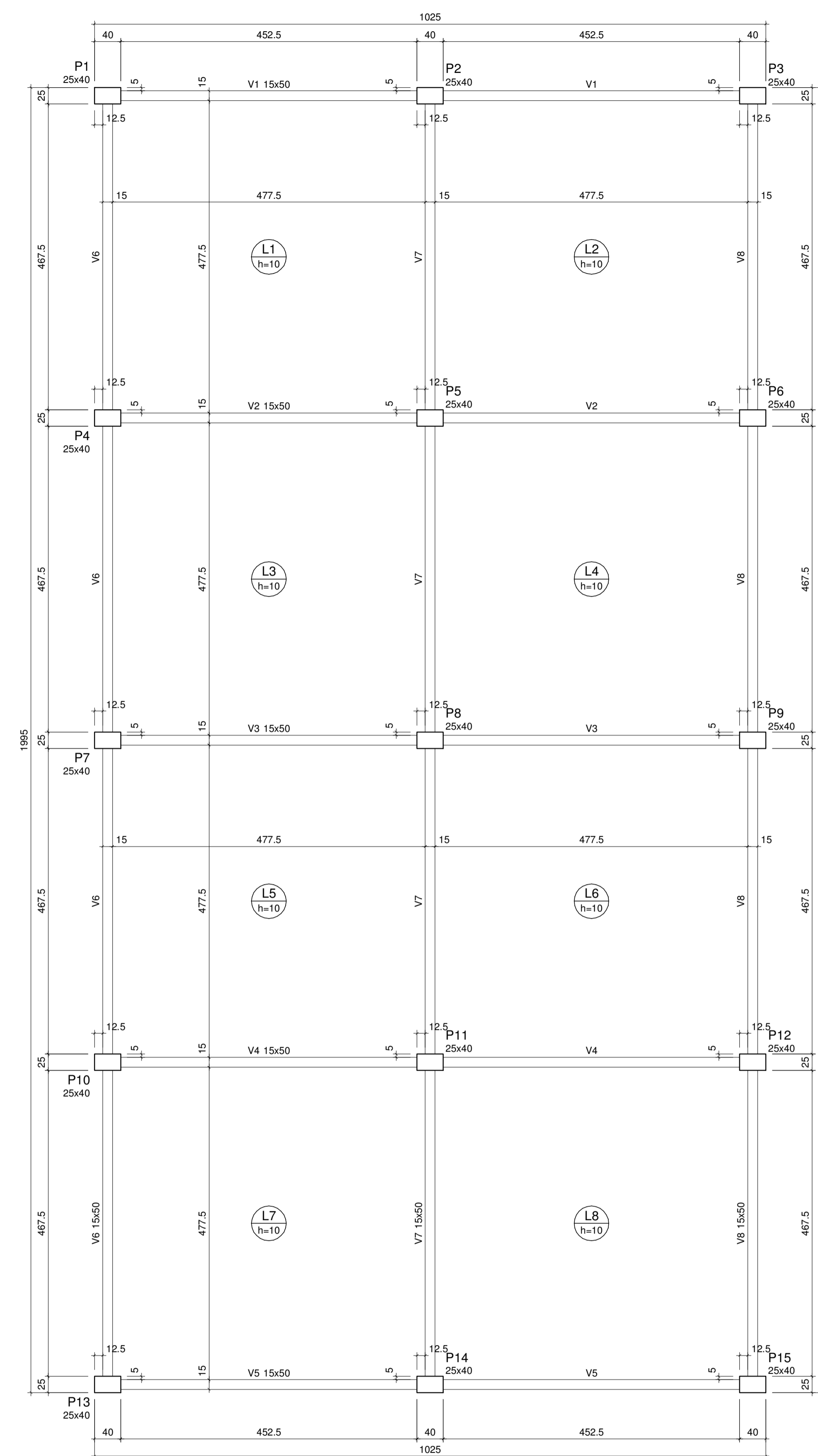
Número de pavimentos	Pórticos associados(cm)	Eberick (cm)	Variação (%)	Limite (cm)
4	0,15	0,12	20,00	0,75
8	0,54	0,46	14,81	1,41
12	1,06	1,06	0,00	2,06
16	1,94	1,95	-0,52	2,72
20	2,85	2,66	6,67	3,38

APÊNDICE H – Planta de forma dos projetos



Forma - Planta arquitetônica 1

escala 1:50



Forma - Planta arquitetônica 2

escala 1:50

PROJETO ESTRUTURAL

Trabalho de conclusão de curso

FORMA

Leonardo Luiz Fritzen

Orientador: Aldo Leonel Temp

Universidade Federal do Pampa

Engenharia Civil

folha

1/1