



FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE

THIAGO BOHRER DIAS

**ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO
COM TRINTA PAVIMENTOS**

**ARIQUEMES-RO
2020**

THIAGO BOHRER DIAS

**ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO
COM TRINTA PAVIMENTOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Educação e Meio Ambiente como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Ms. Silênia Priscila da Silva Lemes

ARIQUEMES-RO

2020

FICHA CATALOGRÁFICA
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Júlio Bordignon - FAEMA

D541a	DIAS , Thiago Bohrer.
	Análise da estabilidade global em edifício de concreto armado com trinta pavimentos. / por Thiago Bohrer Dias . Ariquemes: FAEMA, 2020.
	46 p.; il.
	TCC (Graduação) - Bacharelado em Engenharia Civil - Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA.
	Orientador (a): Prof. Me. Silênia Priscila da Silva Lemes .
	1. Linearidade geométrica. 2. P-delta. 3. Edificações. 4. Estabilidade global. 5. Edificações. I Lemes , Silênia Priscila da Silva . II. Título. III. FAEMA.
	CDD:620.1

Bibliotecária Responsável
Herta Maria de Açuena do N. Soeiro
CRB 1114/11

THIAGO BOHRER DIAS

**ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO
COM TRINTA PAVIMENTOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Educação e Meio Ambiente como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Ms. Silênia Priscila da Silva Lemes

Banca examinadora

Prof. Orientadora Ms. Silênia Priscila da Silva Lemes
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Prof. Ms. Ana Carolina Silverio dos Santos
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Prof. Ruan Iuri de Oliveira Guedes
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

ARIQUEMES-RO

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me proporcionou saúde e discernimento rumo a essa conquista.

Ao professor Rafael Nascimento pela sua contribuição no início desse processo.

A orientadora e coordenadora de curso, professora Silênia Priscila Lemes, pela dedicação e carinho, com o ofício de nos orientar para alcançarmos a formação acadêmica.

Aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e incentivando ao longo de toda a minha trajetória.

A minha namorada, que ouviu meus desabafos e sempre me aconselhou a não desistir.

De uma forma geral, agradeço a todos que contribuíram para essa conquista.

“Boa sorte é o que acontece quando a oportunidade encontra o planejamento.”

Thomas Edison

RESUMO

Com o alto crescimento de tecnologias e métodos computacionais evoluídos torna-se necessário, saber o conceito e a forma certa de aplicação das teorias exigidas no cálculo dos efeitos de segunda ordem é muito importante para os engenheiros civis. O trabalho objetiva verificação da estabilidade global em edifícios altos, através dos resultados obtidos a partir da não linearidade geométrica da edificação, mostrando como é importante o estudo desse efeito na estrutura. A metodologia desenvolvida se classificada como uma observação teórica com estudo de caso, por se tratar da aplicação de teorias em um projeto estrutural, realizando-a por meio de pesquisas bibliográficas referenciadas. Por meio dos resultados obtidos foi possível encontrar o parâmetro de estabilidade da estrutura, após o processamento das análises da estabilidade global em edifícios de concreto armado, considerando o efeito P-delta. Foram especificados e dimensionado os diferentes procedimentos de apreciação estrutural, avaliando as não linearidades física e geométrica conforme os procedimentos prescritos na NBR 6118/2014. Proporcionando ao processo de cálculo da influência do vento sobre a edificação segundo a NBR 6123/1988. Por fim, foi realizada a análise e estudo paramétrico com ajuda do software SAP2000, considerando o parâmetro gama z, com resultados satisfatórios e em conformidade com as especificações recomendadas, mostrando estabilidade nas estruturas. Concluindo que a análise de estabilidade global de estrutura necessita de conhecimentos aprofundados, ao que se refere a análise não linear e conhecimento no campo de aplicação de cargas do software, para que assim a estrutura possa estar em sua melhor forma.

Palavras-chave: Linearidade geométrica. P-delta. Edificações.

ABSTRACT

With the high growth of evolved technologies and computational methods it becomes necessary, knowing the concept and the right way to apply the theories required in the calculation of the second order effects is very important for civil engineers. The work aims to verify the overall stability in tall buildings, through the results obtained from the geometric non-linearity of the building, showing how important it is to study this effect on the structure. The developed methodology is classified as a theoretical observation with a case study, as it deals with the application of theories in a structural project, carrying out it through referenced bibliographic research. Through the results obtained it was possible to find the structure stability parameter, after processing the analysis of the global stability in reinforced concrete buildings, considering the P-delta effect. The different structural assessment procedures were specified and dimensioned, evaluating the physical and geometric non-linearities according to the procedures prescribed in NBR 6118/2014. Providing the process of calculating the influence of the wind on the building according to NBR 6123/1988. Finally, the parametric analysis and study was performed with the help of the SAP2000 software, considering the parameter range λ , with satisfactory results and in accordance with the recommended specifications, showing stability in the structures. Concluding that the analysis of global stability of structure needs in-depth knowledge regarding non-linear analysis and knowledge in the field of application of software loads, so that the structure can be in its best shape.

Keywords: Geometric linearity. P-delta. Buildings.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FAEMA	Faculdade de Educação e Meio Ambiente
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ELU	Limite Ultimo
ELS	Limite Serviço
SAP200	Software Estrutural
NBR	Norma Técnica
ELU	Estado Limites Últimos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
M/S	Metros por Segundos
VK	Velocidade Característica
Mi/H	Milhas por hora

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Alfa
Δ	Delta
\leq	Menor ou igual
*	Asterisco
$^{\circ}$	Graus
q	Pressão dinâmica

LISTA DE IMAGENS

Figura 1: Comportamento tensão versus deformação	17
Figura 2: Análise não-linear.....	18
Figura 3: Gráfico momento curvatura.....	19
Figura 4: Estados não deformado da estrutura	21
Figura 5: Processo P-Delta - Barra isolada	22
Figura 6: Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s)	24
Figura 7: Subestruturas de contraventamento e elementos contraventados.....	27
Figura 8: Vista em planta	27
Figura 9: Corte esquemático sem escala, visão 3D	28
Figura 10: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 1;	40
Figura 11: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 1.	40
Figura 12: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 2.	40
Figura 13: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 2.	40
Figura 14: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 3.	41
Figura 15: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 3.	41
Figura 16: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 4.	42
Figura 17: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 4.	42
Figura 18: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 5.	42
Figura 19: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 5.	42
Figura 20: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 6;	43
Figura 21: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 6.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de agressividade ambiental (CCA)	29
Tabela 2: Cargas atuantes	30
Tabela 3: Combinações atuantes.....	31
Tabela 4: Deslocamentos máximos no topo da estrutura	32
Tabela 5: Resultados de momentos M_{tot} e $M_{1,tot}$ devido a combinação 1	33
Tabela 6: Resultados de momentos M_{tot} e $M_{1,tot}$ devido à combinação 2.	34
Tabela 7: Resultados de momentos M_{tot} e $M_{1,tot}$ devido a combinação 3	35
Tabela 8: Resultados de momentos M_{tot} e $M_{1,tot}$ devido a combinação 4	36
Tabela 9: Resultados de momentos M_{tot} e $M_{1,tot}$ devido a combinação 5	37
Tabela 10: Resultados de momentos M_{tot} e $M_{1,tot}$ devido a combinação 6	38
Tabela 11: Combinações, direção do vento e gama z	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO PRIMÁRIO	15
2.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	ANÁLISE ESTRUTURAL.....	16
3.2	ANÁLISE LINEAR	16
3.3	ANÁLISE NÃO-LINEAR	17
3.3.1	Não-linearidade física	18
3.3.2	Não-linearidade geométrica	19
3.4	COEFICIENTE YZ.....	20
3.5	PROCESSO P-DELTA.....	21
3.6	AÇÃO DO VENTO NA ESTRUTURA.....	23
3.6.1	Velocidade do vento	23
3.6.2	Pressão dinâmica do vento	24
3.7	Contraventamento na estrutura	24
4	METODOLOGIA	26
4.1	ESTRUTURA ANALISADA	26
4.2	MODELO OCUPACIONAL.....	28
4.2.1	Pressão dinâmica do vento	28
4.3	AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA.....	29
4.4	VENTO	30
4.5	COMBINAÇÃO DE AÇÕES DA ESTRUTURA.....	31
4.6	ELEMENTOS FINITOS	31
5	RESULTADOS E ANÁLISE	32
5.1	DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS.....	32
5.2	PARÂMETRO GAMA Z.....	32
6	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é um material estrutural da construção civil muito importante, pois permite ser aplicado em várias obras arquitetônicas. A união de concreto e o aço é essencial, devido o concreto possuir alta resistência a compressão e o aço a tração, formando o concreto armado.

A área de construção civil tem crescido cada vez mais quando se trata de inovações e tecnologias, com o crescimento do número de edifícios altos a análise de segunda ordem não pode ser dispensada em uma estrutura de concreto armado.

Os primeiros materiais a serem empregados na construção, foram a pedra natural e a madeira, sendo o ferro e aço empregado séculos depois. O concreto armado só surgiu por volta de 1.850 (BASTOS, 2006).

A análise de segunda ordem se torna obrigatória quando a edificação possui pilares esbeltos (análise local) ou quando a estrutura excede o limite de 4 pavimentos, logo será feita a análise global considerando todos os esforços. Eles são os principais responsáveis por manter a estabilidade geral dos edifícios.

Ao aplicar-se uma carga horizontal em um edifício, o mesmo perde sua geometria inicial, porém a carga vertical causada pelo peso próprio da estrutura e os demais carregamentos permanentes, não gera momentos adicionais na estrutura, podendo ser desconsiderados, isso se classifica como efeito de primeira ordem.

Uma estrutura alta e esbelta, a partir do momento que recebe uma força horizontal o edifício se deforma, de tal forma que as cargas verticais faz gerar momentos adicionais significativos que na geometria original não existia, ou seja, esses momentos são gerados a partir da estrutura deformada, o que é conhecido como efeito de segunda ordem (REIS, 2013).

Observa-se que, muitos dos novos engenheiros formados não se preocupam com tal efeito, pois tem a infeliz ideia de que os programas e software fazem tudo. Muito pelo contrário, o programa facilita a obtenção dos resultados não precisando de fazer longos cálculos a mão, porém necessita de um conhecimento para compreender e entender o que está sendo realizado.

Nesse trabalho, utilizou-se de um modelo estrutural simplificado de um edifício para o estudo da estabilidade global, e para compreender os efeitos e deformações causadas no edifício será utilizado o software estrutural SAP2000.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO

Realizar uma verificação da estabilidade global em edifícios altos através dos resultados obtidos a partir da não linearidade geométrica da edificação.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

A partir do objetivo primário, traz-se os objetivos secundários para direcionamento, sendo:

- Analisar a não-linearidade geométrica de um edifício de concreto armado, utilizando como referência um edifício para melhor visualização do efeito.
- Calcular os deslocamentos causado pelo efeito P-Delta, considerando o coeficiente γ_z que tem o principal objetivo classificar a estrutura quanto o deslocamento dos nós, mostrando quanto é importante uma análise de segunda ordem.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão bibliográfica se desenvolveu, mostrando os métodos que serão utilizados, fontes da pesquisa, sendo essa base teórica que irá garantir a análises feitas e os resultados esperados.

3.1 ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise estrutural propõe a identificação dos esforços decorrentes das ações que estão aplicadas em uma estrutura, obtendo resultados para o cálculo das verificações do estado limite último e estado limite de serviço. É por meio da análise estrutural que o projetista estabelece os pontos que serão considerados no projeto e, a partir do modelo estrutural escolhido, identificar as distribuições de esforços internos, deslocamento, tensões e deformações da estrutura (NBR 6118, 2014).

Segundo Kimura (2007), a análise estrutural é a parte mais essencial na elaboração de um projeto. É a etapa onde se determina os parâmetros para a escolha de um modelo estrutural.

3.2 ANÁLISE LINEAR

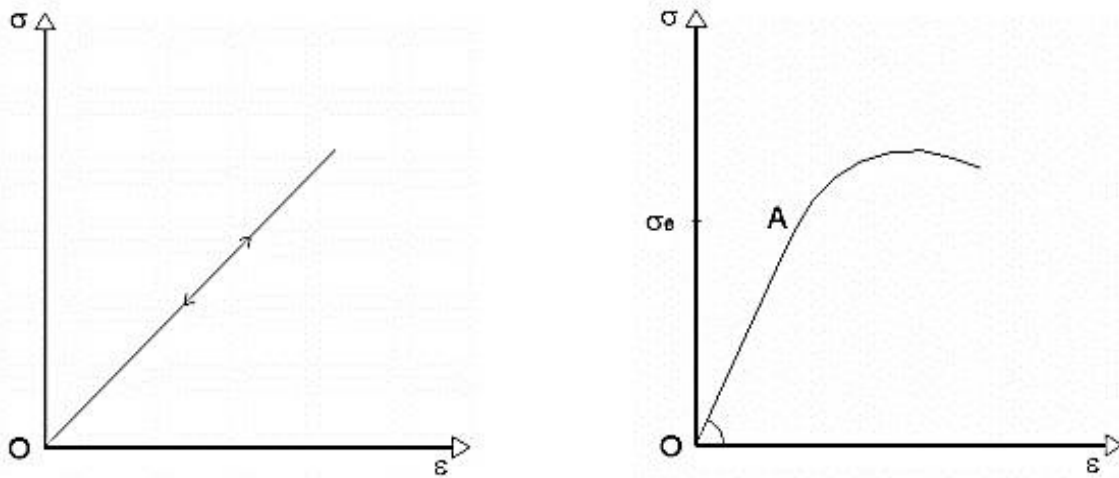
De acordo com Banki (1999), define análise estrutural como:

A análise de uma estrutura é considerada linear quando se admite o comportamento elástico-linear para os materiais e quando a estrutura sofre deslocamentos suficientemente pequenos, tais que a mudança na geometria e nos pontos de aplicação das cargas não altere os resultados obtidos.

Conforme prevê a NBR 6118/2014, no item 14.5.2, na análise global, as características geométricas podem ser determinadas pela seção bruta de concreto dos elementos estruturais. Em análises locais para cálculo dos deslocamentos, na eventualidade da fissuração, esta deve ser considerada.

No primeiro gráfico da Figura 1, a reta apresenta-se em perfeita linearidade elástica do material, independente da tensão sofrida, já o segundo gráfico, se observa que o material se comporta linear apenas até o valor de tensão corresponde a σ_e , onde o gráfico deixa de ser linear, como citado por Fontes (2005).

Figura 1: Comportamento tensão versus deformação



Fonte: Fontes (2005)

3.3 ANÁLISE NÃO-LINEAR

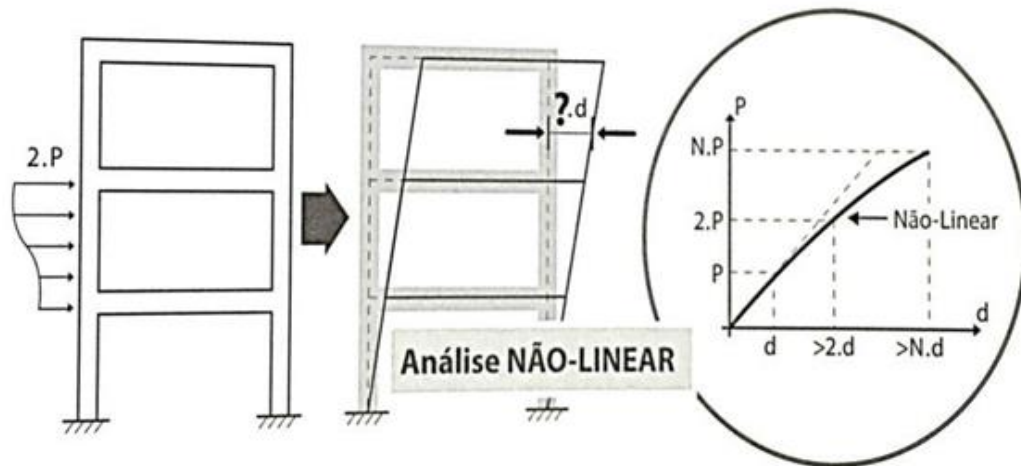
Em edificações de concreto armado é preciso considerar a não linearidade seja a mesma física ou geométrica, pois sabe-se que o material que compõe não possui comportamento elástico perfeito e que em edificações altas surgirão ações advindas do deslocamento horizontal da estrutura.

É obrigatório considerar a ação da não linearidade física e da não linearidade geométrica na fase final de equilíbrio do edifício estudado, para que possa obter uma análise confiável (PINTO & RAMALHO, 2002).

A NBR 6118/2014, no item 14.5.5, diz que Análises não lineares podem ser adotadas tanto para verificações de estados-limites últimos como para verificações de estados-limites de serviço.

Na Figura 2, a resposta da estrutura ao carregamento “2.P” aplicado mostra um deslocamento desproporcional na análise não-linear, não sendo possível se estabelecer uma constante de proporcionalidade pelo gráfico P versus d.

Figura 2: Análise não-linear



Fonte: Kimura (2007).

3.3.1 Não-linearidade Física

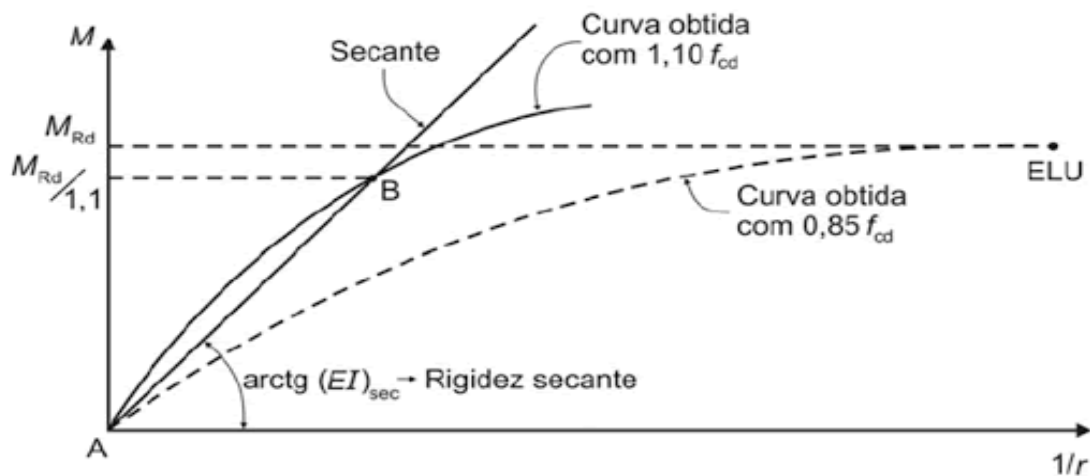
Ao se caracterizar um material não-linear, o módulo de elasticidade (E), e a rigidez (EI), segue valores desiguais, em seguida a deformação torna-se mais difícil que na forma linear. Já que na forma linear os agregados estão vinculados ao modo de elasticidade (E), ou seja, o concreto se deforma proporcional a carga aplicada sobre o mesmo.

Segundo a NBR 6118/2014, no item 15.3, A não linearidade física, presente nas estruturas de concreto armado, deve ser obrigatoriamente considerada, quando houver necessidade do cálculo da análise de segunda ordem.

A deformação dos elementos necessita ser avaliada com apoio nos diagramas tensão-deformação dos agregados escolhidos. A maior tensão do concreto precisa ser igual a $1,10 f_{cd}$, já contido o resultado de carga conservada (Rüsch), e a do aço deve ser idêntico a f_{yd} , com os valores de γ_c e γ_s aproveitados para o ELU.

A NBR 6118/2014, no item 15.3.1, diz que o principal efeito da não linearidade física pode, em geral, ser considerado através da construção da relação momento-curvatura para cada seção, com armadura suposta conhecida, e para o valor da força normal atuante.

Figura 3: Gráfico momento curvatura



Fonte: ABNT, NBR 6118/2014

Considerando o gráfico momento curvatura, ilustrado na Figura 3: A curva AB cheia, que, a favor da segurança, pode ser linearizada pela reta AB, é utilizada no cálculo das deformações. A curva tracejada, obtida com os valores de cálculo das resistências do concreto e do aço, é utilizada somente para definir o esforço resistente M_{Rd} correspondente a N_{Rd} (ponto máximo). A reta AB é caracterizada pela rigidez secante $(EI)_{sec}$, que pode ser utilizada em processos aproximados para flexão composta normal ou oblíqua.

No item 15.7.3, mostra um método através da análise linear mais simplificado para ajustar a não linearidade física. Pois é bem mais complexo entender o gráfico momento curvatura sem o auxílio de um computador.

3.3.2 Não-linearidade Geométrica

Análise da não-linearidade geométrica, segundo Martins (1997), tem a função de verificar e determinar os acréscimos nas deformações e nos esforços que uma estrutura sofre ao longo do seu processo de carregamento.

Para realizar essa análise é verificada o estado da estrutura tanto na condição geométrica inicial como, na deformada.

Quando a estrutura perde sua configuração geométrica inicial, as ações geram momentos adicionais que não existiam inicialmente, conhecidos na literatura técnica como efeitos de segunda ordem (RIBEIRO, 2010).

3.4 COEFICIENTE YZ

O coeficiente gama z serve para classificar a estrutura devido aos deslocamentos dos nós, e destacando a grande importância da análise de 2º ordem em uma estrutura alta.

O coeficiente Gama-z mostrado por Franco e Vasconcelos, com o desígnio de aferir de maneira simplificada a estabilidade global de uma estrutura em concreto armado vai fornecer uma estimativa dos valores de esforços de segunda ordem atuantes na estrutura, através da majoração dos esforços de primeira ordem (MONCAYO, 2011).

Conforme a NBR 6118/2014, no item 15.5.3, O coeficiente z de verificação da importância dos esforços de segunda ordem globais é correto para edifícios reticulados de no mínimo quatro pavimentos. Ele pode ser verificado partir-se das decorrências de uma análise linear de primeira ordem, para cada caso de carregação, usando os valores de rigidez dados em 15.7.3. A estimativa de z para cada combinação de carga é dado pela expressão:

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

Onde:

$M_{1,tot,d}$: é o momento de tombamento, ou seja, o somatório dos momentos de todas as forças horizontais da combinação acatada, com seus resultados de cálculo, em relação à base da edificação.

$\Delta M_{tot,d}$: é a adição dos produtos de todas as forças verticais influentes na estrutura, na combinação estimada, com seus resultados de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus referentes pontos de aplicação, adquiridos da análise de 1ª ordem. Considera-se que a edificação é de nós fixos se for correspondida a condição $\gamma_z \leq 1,1$.

Segundo a NBR 6118/2014, é possível determinar os esforços finais (1ª ordem + 2ª ordem) fazendo a multiplicação dos esforços horizontais de primeira ordem por $0,95 \times \gamma_z$.

Em relação os parâmetros apresentados, Santurian (2008), afirma que O uso de critérios simplificados para a avaliação dos efeitos de 2ª ordem deve ser pouco a

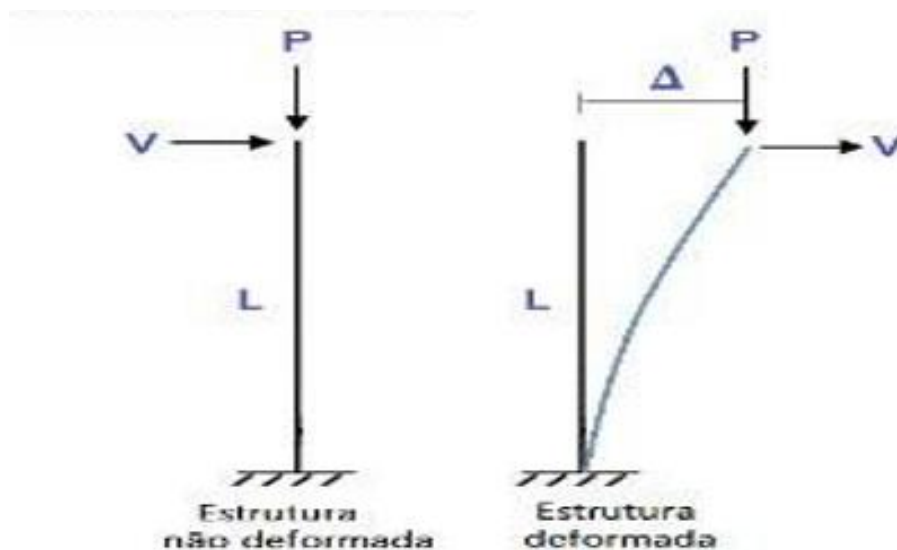
pouco substituído por processos que considerem a não linearidade geométrica da estrutura.

3.5 PROCESSO P-DELTA

Segundo Iglesia (2016), “Em edifícios com cargas laterais ou simetrias geométricas de rigidez ou massa, ocorrem deslocamentos laterais nos pavimentos. Cargas verticais causam momentos adicionais idênticos à adição da carga vertical "P" multiplicada por compensações "laterais". É por esse motivo que o efeito é conhecido como “P-Delta”.

Na posição não deformada da edificação, conhecida como análise de primeira ordem, o momento fletor na base será $M = V \cdot L$. Note que a carga P não dá momento fletor na base na figura 4.

Figura 4: Estados não deformado da estrutura



Fonte: IGLESIA (2016).

Para encontrar o deslocamento lateral utiliza a equação:

$$\Delta = \frac{VL^3}{3EI} \quad (2)$$

Como $M = V \times L$:

$$\Delta = \frac{VL^2}{3EI} \quad (3)$$

Se considerar a condição deformada do pilar, o momento-fletor na base será:

$$M = V * L + P * \Delta \quad (4)$$

E o deslocamento lateral:

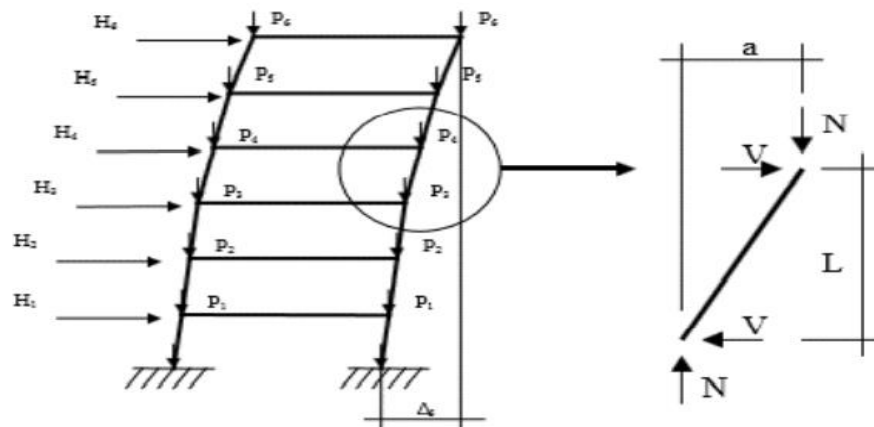
$$\Delta = \frac{ML^2}{3EI} = \frac{(VL+P\Delta)L^2}{3EI} = \frac{VL^3}{3EI} + \frac{P\Delta L^2}{3EI} \quad (5)$$

Banki (1999) mostra o processo P-Delta de maneira mais simples para compreensão inicial do seguinte jeito:

A avaliação da parcela P- Δ do procedimento não linear geométrico de uma estrutura pode ser considerada imediata. Separando-se uma barra da edificação no seu estado deformado, nota-se o desvio Δ na aplicação da carga, considerada entre duas extremidades. Ao invés de inserir explicitamente a alteração da geometria na análise da estrutura, pode-se simplificar muito o processo substituindo o momento adicional causado pela excentricidade P- Δ por um binário de cargas horizontais auto equilibradas.

Banki (1999) ainda apresenta a imagem abaixo para entender melhor o processo.

Figura 5: Processo P-Delta - Barra isolada



Fonte: Banki (1999)

Conforme a figura 5, acima, Banki (1999), afirma dizendo que: “É adicionada cargas horizontais fictícias (V) nas extremidades de cada barra da edificação, que é dimensionada pela equação abaixo, através do equilíbrio das forças”.

$$V = \frac{N * a}{L} \quad (6)$$

Onde:

L = É a extensão da barra.

N = É a força normal atuante

A = É o deslocamento relativo entre as extremidades da barra.

V = É a carga horizontal fictícia que será aplicada na análise.

3.6 AÇÃO DO VENTO NA ESTRUTURA

Segundo Pereira & Ramalho, (2007), “A partir do momento que um edifício recebe à atuação lateral do vento, sabe-se que toda a edificação é afetada, pois este esforço causa o deslocamento horizontal na estrutura”.

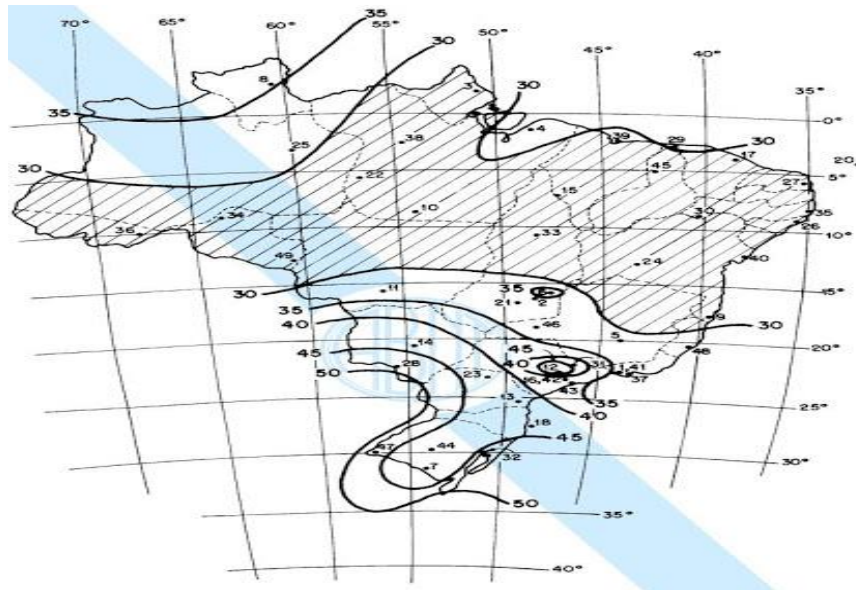
Dois fatores têm influência na ação do vento: fator aerodinâmico, conforme a arquitetura da estrutura o vento poderá ter caminhos diferentes. Já o fator meteorológico, é caracterizado pela rugosidade do terreno, tipo do terreno, local da estrutura, altura da edificação e o tipo de ocupação na região.

3.6.1 Velocidade do Vento

Fica claro lembrar, que a velocidade do vento não é a mesma para todos os lugares. A NBR 6123/1988 através do mapa das isopletas é possível encontrar a velocidade básica do vento (V_o) para determinadas regiões do Brasil.

Segundo a NBR 6123/1988 a velocidade básica do vento, V_o , é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano.

Figura 6: Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s)



Fonte: ABNT, NBR 6128/1988, p. 6

Após encontrar a velocidade básica do vento, considerando-se os fatores topográfico (S_1), rugosidade do terreno, dimensões da estrutura e altura sobre o terreno (S_2) e estatístico (S_3), logo determina-se a velocidade característica, (V_k), a qual será utilizada sobre o edifício a ser estudado. a seguir a equação que define a velocidade.

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (7)$$

Onde:

S_1 = fator topográfico;

S_2 = fator rugosidade, que depende da rugosidade do terreno e das dimensões da edificação;

S_3 = fator estatístico.

3.6.2 Pressão Dinâmica do Vento

Pode-se mostrar que essa pressão dinâmica é função da forma e rugosidade da estrutura que está exposta, e do ângulo de incidência e velocidade do vento. Após encontrar a velocidade característica e aplicando na formula abaixo, encontra se a pressão dinâmica.

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad (8)$$

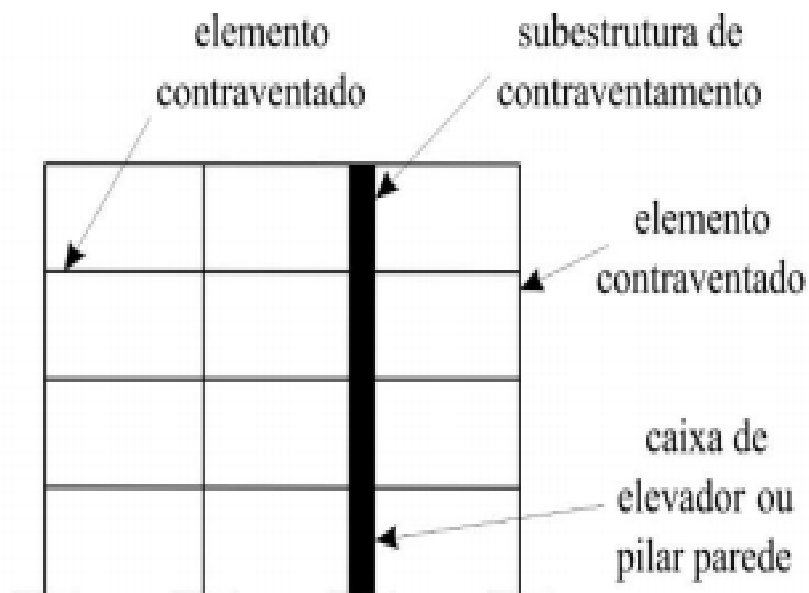
3.7 CONTRAVENTAMENTO NA ESTRUTURA

De acordo com a análise dos efeitos de segunda ordem gerados na estrutura, pode acontecer de haver necessidade de um aumento na rigidez da edificação, isso se os valores limites ultrapassar aos obtidos na análise de estabilidade global. É necessária uma estrutura de contraventamento para diminuir os efeitos de segunda ordem, fazendo com que a estrutura permaneça estável.

Segundo Fusco (1995, p. 366): quando se organiza o arranjo geral das estruturas de edificações altas, é indispensável que os pilares que são utilizados na edificação sejam contraventados por elementos estruturais, suficientemente rígidos para garantir a estabilidade global da construção.

Em uma edificação alta, é de fundamental importância haver o contraventamento adequado dos pilares, de forma que os esforços de contraventamento que geram o equilíbrio dos pilares contraventados permita-se transmitir desde os elementos contraventados através das lajes e vigas de cada andar até os elementos de contraventamento. (FUSCO, 1995).

Figura 7: Subestruturas de contraventamento e elementos contraventados



Fonte: ApostilaCA

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa é classificada como uma observação teórica com estudo de caso, por se tratar de um estudo da aplicação de teorias em um projeto estrutural geral a ser analisado. Sobre o objeto da pesquisa, é uma pesquisa bibliográfica, pois será formada a partir de materiais já expostos.

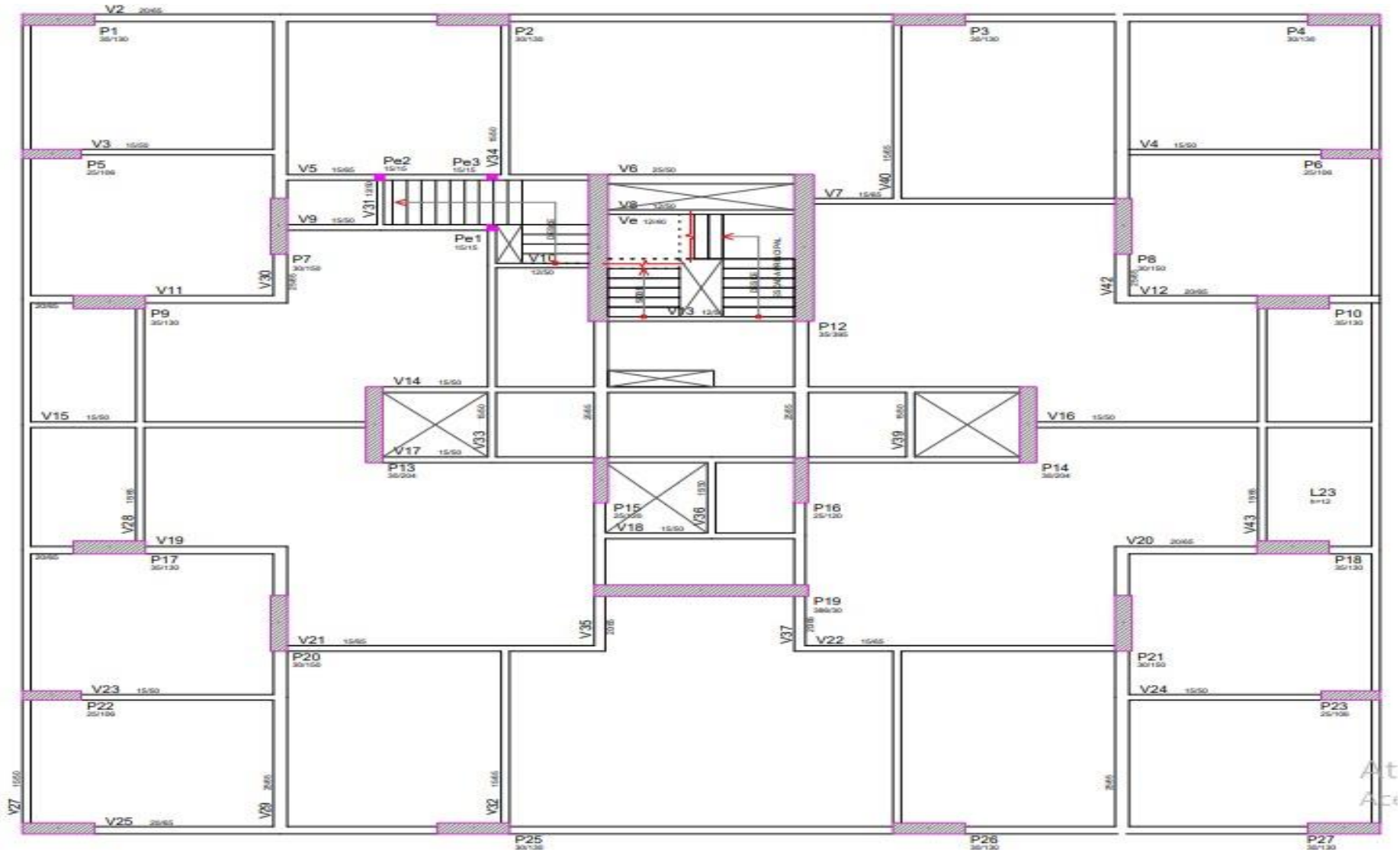
4.1 ESTRUTURA ANALISADA

Com a utilização do software estrutural SAP2000, foi calculado e analisado a estabilidade global em uma edificação com estrutura em concreto armado. O exemplo estrutural é verificado e estudado com o uso do parâmetro de estabilidade global γ_z , com respaldo na NBR 6118 (ABNT, 2014). Esse parâmetro foi adotado como um coeficiente de majoração para adquirir os valores finais da estrutura, e assim calcular os deslocamentos gerados pela ação do vento, levando em consideração os efeitos da não-linearidade física e geométrica.

Para fins de cálculos considerou-se um edifício residencial, em concreto armado com 30 pavimentos ainda em prancha para essa análise. A análise toma como base para os cálculos estruturais, a velocidade do vento, rugosidade do terreno da cidade de Ariquemes-RO.

A altura total do edifício é 90 metros. As dimensões dos pilares e vigas são variadas, com medidas especificadas no projeto arquitetônico, já as lajes foram todas padronizadas com a mesma espessura de 12 cm. Abaixo na figura 7, poderá ser visualizado uma vista em planta da edificação no Auto Cad com dimensões de 21,92 x 24,39 metros.

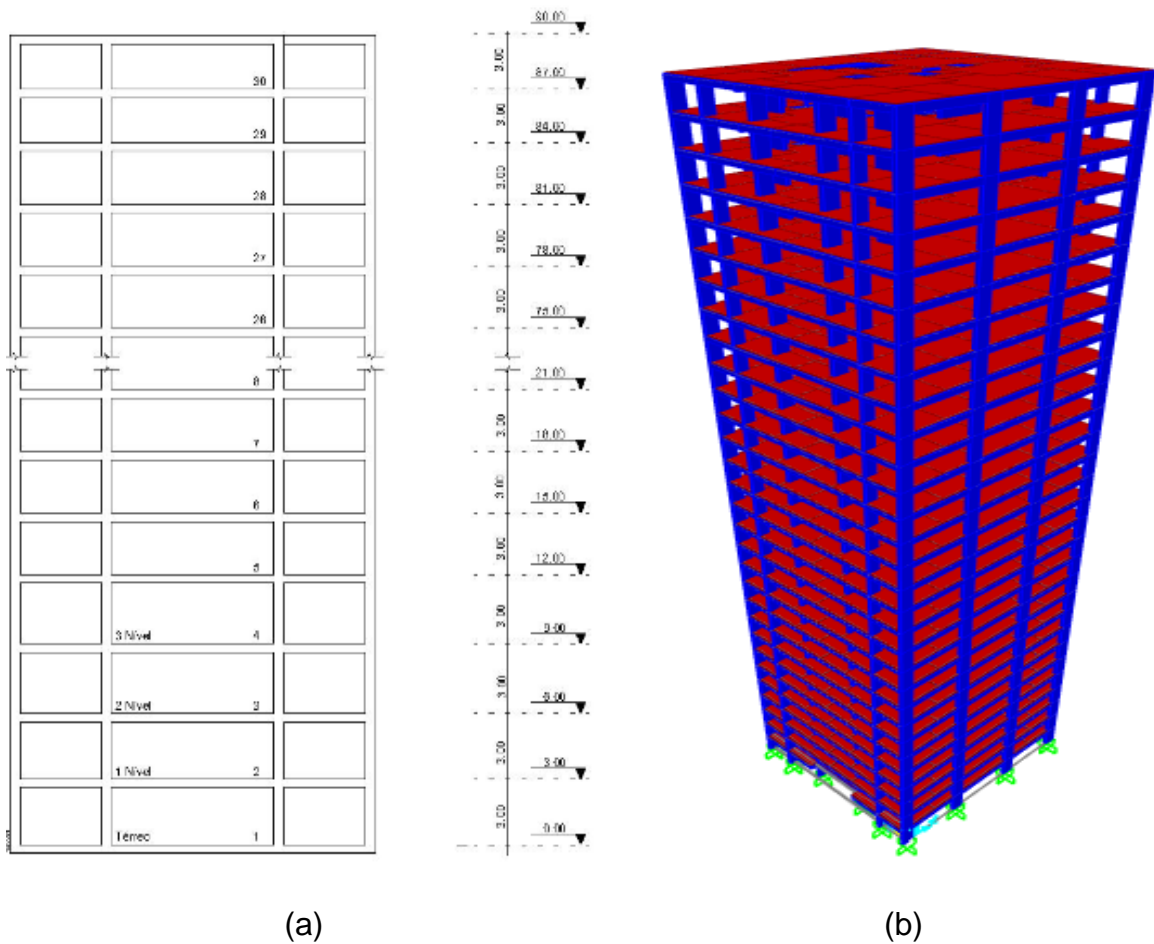
Figura 8: Vista em planta



Fonte: Autor próprio, (2020)

A figura 8 (a) mostra um corte esquemático da estrutura, mostrando os pavimentos e suas alturas, em seguida a figura 8 (b) mostra o modelo 3D da estrutura gerada no SAP2000, mostrando sua forma real.

Figura 9: Corte esquemático sem escala, visão 3D



Fonte: Autor próprio, (2020)

4.2 MODELO OCUPACIONAL

4.2.1 Pressão Dinâmica do Vento

O concreto armado é um tipo de estrutura que possui suas armações feitas com barras de aço. Esse aço é utilizado devido o concreto ter alta resistência aos esforços de compressão e baixa resistência a tração.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), em relação à localidade do prédio e as condições ambientais é determinada a classe de agressividade ambiental.

Assim como mostra a tabela 1, a estrutura tem pequeno risco de deterioração, sua classe de agressividade ambiental é II, sua agressividade é moderada e a classificação para efeito do projeto é urbana.

Tabela 1: Classes de agressividade ambiental (CCA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	
^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura). ^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove. ^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.			

Fonte: ABNT NBR 6118, (2014).

4.3 AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA

O software SAP2000 não possui recursos suficientes para considerar a norma brasileira NBR 6123, logo a norma que foi utilizada pelo programa foi a ASCE 7-10, a mesma foi adaptada e configurada com os coeficientes especificados na NBR 6123.

De acordo com a NBR 6120, edifícios residenciais a sobrecarga sobre a laje é $2 \text{ KN}\cdot\text{m}^2$. A tabela 2, relaciona o peso próprio e a influencias do vento em relação as 5 direções sobre diferentes ângulos.

Tabela 2: Cargas atuantes

CASO	PREFIXO	ÂNGULO	EXENCÊNTRICIDADE
----	PP	----	----
----	PERMANENTE	----	----
1	VENTO 1	0	----
1	VENTO 2	90	----
1	VENTO 3	0	0,15
1	VENTO 4	0	-0,15
1	VENTO 5	90	0,15
1	VENTO 6	90	-0,15

Fonte: Autor próprio, (2020).

4.4 VENTO

Para realização do cálculo devido ações eólicas submetidas na estrutura foi adotado os procedimentos e determinações segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988). O programa em suas configurações existe uma janela que possibilita a entrada dos dados relacionados a localidade geométrica, rugosidade do terreno, entre outros fatores da edificação.

De acordo com o mapa das isopletas figura 6, descrita acima, a velocidade característica da cidade de Ariquemes-RO é de 42 m/s, portanto, a mesma foi considerada para base de cálculo, transformada em média pelo programa utilizado.

Para fins de cálculos, de acordo com a formula (8) foi considerado um terreno plano ou fracamente acidentado com edificação residencial, sendo: V_0 : Velocidade básica que equivale a 42 m/s, $S_1 = 1,0$ devido a topografia da cidade, tendo a edificação uma altura máxima de $h = 90$ m (Classe C) especificado na NBR 6118-2014, logo obtém-se $S_2 = 0,99$ e proveniente do tipo de edificação encontra-se $S_3 = 1$.

$$VK: V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

$$VK = 42 \times 1,00 \times 0,99 \times 1,00$$

$$VK = 41,58 \text{ m/s}$$

Logo a pressão dinâmica;

$$q = 0,613 \times 41,58^2$$

$$q = 1059,81 \text{ N/m}^2$$

4.5 COMBINAÇÃO DE AÇÕES DA ESTRUTURA

Para a verificar as tensões em uma estrutura, é essencial que se faça todas as combinações possíveis das cargas atuantes. Assim com o resultado do dimensionamento, irá considerar os esforços mais desfavoráveis no edifício entre as combinações feitas. Seja elas: no estado limite ultimo (ELU), ou no estado limite de serviço (ELS).

As combinações aplicadas a estrutura são compostas por peso próprio, carga permanente e vento. A tabela 3, mostra as combinações que estão atuando na estrutura.

Tabela 3: Combinações atuantes

COMB 1	COMB 2	COMB 3	COMB 4	COMB 5	COMB 6
Sobrecarga	Sobrecarga	Sobrecarga	Sobrecarga	Sobrecarga	Sobrecarga
Peso próprio	Peso próprio	Peso próprio	Peso próprio	Peso próprio	Peso próprio
Vento 1	Vento 2	Vento 3	Vento 4	Vento 5	Vento 6

Fonte: Autor próprio, (2020).

4.6 ELEMENTOS FINITOS

As vigas e pilares da estrutura foram projetadas pelo método tipo frames, onde considera-se barras. A conexão entre os mesmos foi feita por meio de links, onde tem rigidez infinita, fazendo a função de uma barra rígida e transferindo a resistência correta de uma viga para um pilar. As lajes foram modeladas por elementos shell.

5 RESULTADOS E ANÁLISE

5.1 DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

Analisou-se os deslocamentos máximos no topo da estrutura, conforme as combinações que foram aplicadas.

Na tabela 4, estão representados a direção, deslocamento calculado e o deslocamento permitido para cada combinação.

Tabela 4: Deslocamentos máximos no topo da estrutura

Caso	Direção do Vento	Desl. Encontrado (cm)	Desl. Permitido H/1700 (cm)
Comb1	0°	2,42	5,29
Comb 2	90°	1,52	5,29
Comb 3	0°	2,42	5,29
Comb 4	0°	2,42	5,29
Comb 5	90°	1,52	5,29
Comb 6	90°	1,51	5,29

Fonte: Autor próprio, (2020).

Percebe que houve um deslocamento maior, de 2,42 cm, quando o vento atingiu a estrutura a 0°, esse motivo ocorreu devido a posição dos pilares.

O limite máximo de deslocamento prescrito na NBR 6118-2014 é dado pela fórmula $H/1700$, onde verificou-se na estrutura e a mesma está dentro do limite que é 5,29cm.

5.2 PARÂMETRO GAMA Z

As tabelas 5 à 10, mostram resultados obtidos no SAP2000, logo para encontrar o coeficiente Gama z utiliza-se a fórmula prescrita na NBR 6118- 2014. Onde necessita do somatório dos momentos de todas as forças horizontais da combinação acatada e a adição dos produtos de todas as forças verticais influentes na estrutura, na combinação estimada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus referentes pontos de aplicação, adquiridos da análise de 1ª ordem. Este mesmo processo foi feito para cada combinação analisada.

Tabela 5: Resultados de momentos M_{tot} e M_{1,tot} devido a combinação 1

Pavimentos	VENTO 1								
	M,tot,d (KN-m)	ALTURA (m)	ALTURA (ft)	KZ	q (psf)	q (KN/m2)	ESPOSIÇÃO (m2)	FORÇA HOR.	M1 (KNm)
1	4727,53	3	9,84	0,8489	9,0511	0,4334	98,64	42,75	128,24
2	813,92	6	19,69	0,8989	9,5843	0,4589	65,76	30,18	181,06
3	1566,48	9	29,53	0,9790	10,4383	0,4998	65,76	32,87	295,79
4	763,68	12	39,37	1,0401	11,0901	0,5310	65,76	34,92	419,02
5	727,11	15	49,22	1,0901	11,6235	0,5565	65,76	36,60	548,96
6	4383,90	18	59,06	1,1328	12,0783	0,5783	65,76	38,03	684,53
7	5406,20	21	68,90	1,1702	12,4767	0,5974	65,76	39,28	824,96
8	6427,75	24	78,74	1,2035	12,8324	0,6144	65,76	40,40	969,70
9	7426,23	27	88,59	1,2337	13,1546	0,6298	65,76	41,42	1118,30
10	8381,61	30	98,43	1,2614	13,4497	0,6440	65,76	42,35	1270,42
11	9275,75	33	108,27	1,2870	13,7222	0,6570	65,76	43,21	1425,79
12	10092,51	36	118,12	1,3108	13,9759	0,6692	65,76	44,00	1584,16
13	10817,60	39	127,96	1,3330	14,2134	0,6805	65,76	44,75	1745,34
14	11438,28	42	137,80	1,3540	14,4369	0,6912	65,76	45,46	1909,15
15	11943,37	45	147,65	1,3738	14,6482	0,7014	65,76	46,12	2075,45
16	12323,01	48	157,49	1,3926	14,8485	0,7109	65,76	46,75	2244,09
17	12568,44	51	167,33	1,4105	15,0393	0,7201	65,76	47,35	2414,98
18	12671,93	54	177,17	1,4276	15,2213	0,7288	65,76	47,93	2587,99
19	12626,47	57	187,02	1,4439	15,3956	0,7371	65,76	48,47	2763,04
20	13614,89	60	196,86	1,4596	15,5627	0,7451	65,76	49,00	2940,04
21	12062,86	63	206,70	1,4747	15,7234	0,7528	65,76	49,51	3118,91
22	11531,55	66	216,55	1,4892	15,8782	0,7602	65,76	49,99	3299,59
23	10823,41	69	226,39	1,5032	16,0274	0,7674	65,76	50,46	3482,00
24	9927,58	71	232,95	1,5122	16,1241	0,7720	65,76	50,77	3604,55
25	8827,69	74	242,79	1,5255	16,2652	0,7788	65,76	51,21	3789,73
26	7498,75	77	252,64	1,5383	16,4019	0,7853	65,76	51,64	3976,50
27	5897,41	80	262,48	1,5507	16,5344	0,7917	65,76	52,06	4164,80
28	3979,63	83	272,32	1,5628	16,6631	0,7978	65,76	52,47	4354,60
29	1557,16	87	285,45	1,5783	16,8290	0,8058	98,64	79,48	6914,88
30	-1150,10	90	295,29	1,5897	16,9495	0,8115	0	0	0,00
	2289,53								64836,58

Fonte: Próprio Autor (2020).

Tabela 6: Resultados de momentos Mtot e M1, tot devido à combinação 2.

vento 2									
Pavimentos	M,tot,d (KN-m)	ALTURA (m)	ALTURA (ft)	KZ	q (psf)	q (KN/m2)	AREA DE ESPOSIÇÃO (m2)	FORÇA HOR.	M1 (KNm)
1	3817,81	3	9,84	0,8489	9,05	0,4334	109,755	47,56	142,69
2	-23986,36	6	19,69	0,8989	9,58	0,4589	73,17	33,58	201,46
3	5685,13	9	29,53	0,9790	10,44	0,4998	73,17	36,57	329,13
4	20197,14	12	39,37	1,0401	11,09	0,5310	73,17	38,85	466,23
5	29832,28	15	49,22	1,0901	11,62	0,5565	73,17	40,72	610,82
6	83168,50	18	59,06	1,1328	12,08	0,5783	73,17	42,31	761,67
7	123440,26	21	68,90	1,1702	12,48	0,5974	73,17	43,71	917,92
8	37768,01	24	78,74	1,2035	12,83	0,6144	73,17	44,96	1078,96
9	161710,73	27	88,59	1,2337	13,15	0,6298	73,17	46,09	1244,31
10	176449,17	30	98,43	1,2614	13,45	0,6440	73,17	47,12	1413,58
11	188719,48	33	108,27	1,2870	13,72	0,6570	73,17	48,07	1586,45
12	198769,26	36	118,12	1,3108	13,98	0,6692	73,17	48,96	1762,67
13	206778,05	39	127,96	1,3330	14,21	0,6805	73,17	49,80	1942,01
14	212874,19	42	137,80	1,3540	14,44	0,6912	73,17	50,58	2124,28
15	217149,80	45	147,65	1,3738	14,65	0,7014	73,17	51,32	2309,31
16	219673,37	48	157,49	1,3926	14,85	0,7109	73,17	52,02	2496,96
17	220497,37	51	167,33	1,4105	15,04	0,7201	73,17	52,69	2687,10
18	219664,35	54	177,17	1,4276	15,22	0,7288	73,17	53,33	2879,61
19	217208,23	57	187,02	1,4439	15,40	0,7371	73,17	53,94	3074,38
20	213155,47	60	196,86	1,4596	15,56	0,7451	73,17	54,52	3271,33
21	207519,83	63	206,70	1,4747	15,72	0,7528	73,17	55,09	3470,36
22	200295,64	66	216,55	1,4892	15,88	0,7602	73,17	55,63	3671,40
23	191442,60	69	226,39	1,5032	16,03	0,7674	73,17	56,15	3874,37
24	180861,08	71	232,95	1,5122	16,12	0,7720	73,17	56,49	4010,72
25	168348,11	74	242,79	1,5255	16,27	0,7788	73,17	56,98	4216,77
26	153527,38	77	252,64	1,5383	16,40	0,7853	73,17	57,46	4424,58
27	135726,60	80	262,48	1,5507	16,53	0,7917	73,17	57,93	4634,10
28	113793,68	83	272,32	1,5628	16,66	0,7978	73,17	58,38	4845,29
29	85759,98	87	285,45	1,5783	16,83	0,8058	109,755	88,44	7694,06
30	35146,36	90	295,29	1,5897	16,95	0,8115	0	0,00	0
	42011,76								72142,52

Fonte: Próprio Autor (2020).

Tabela 7: Resultados de momentos M_{tot} e M_{1,tot} devido a combinação 3

Pavimentos	VENTO 3								
	M _{tot,d} (KN-m)	ALTURA (m)	ALTURA (ft)	KZ	q (psf)	q (KN/m ²)	AREA DE ESPOSIÇÃO (m ²)	FORÇA HOR.	M ₁ (KNm)
1	4614,80	3	9,84	0,8489	9,0511	0,4334	98,64	42,75	128,24
2	813,92	6	19,69	0,8989	9,5843	0,4589	65,76	30,18	181,06
3	1566,48	9	29,53	0,9790	10,438	0,4998	65,76	32,87	295,79
4	763,68	12	39,37	1,0401	11,09	0,5310	65,76	34,92	419,02
5	727,11	15	49,22	1,0901	11,623	0,5565	65,76	36,60	548,96
6	5149,12	18	59,06	1,1328	12,078	0,5783	65,76	38,03	684,53
7	5406,20	21	68,90	1,1702	12,477	0,5974	65,76	39,28	824,96
8	6427,75	24	78,74	1,2035	12,832	0,6144	65,76	40,40	969,70
9	7426,23	27	88,59	1,2337	13,155	0,6298	65,76	41,42	1118,30
10	8381,61	30	98,43	1,2614	13,45	0,6440	65,76	42,35	1270,42
11	9058,44	33	108,27	1,2870	13,722	0,6570	65,76	43,21	1425,79
12	10092,51	36	118,12	1,3108	13,976	0,6692	65,76	44,00	1584,16
13	-207753,03	39	127,96	1,3330	14,213	0,6805	65,76	44,75	1745,34
14	11438,28	42	137,80	1,3540	14,437	0,6912	65,76	45,46	1909,15
15	11943,37	45	147,65	1,3738	14,648	0,7014	65,76	46,12	2075,45
16	12323,01	48	157,49	1,3926	14,849	0,7109	65,76	46,75	2244,09
17	12568,44	51	167,33	1,4105	15,039	0,7201	65,76	47,35	2414,98
18	12671,93	54	177,17	1,4276	15,221	0,7288	65,76	47,93	2587,99
19	12626,47	57	187,02	1,4439	15,396	0,7371	65,76	48,47	2763,04
20	12425,59	60	196,86	1,4596	15,563	0,7451	65,76	49,00	2940,04
21	12062,86	63	206,70	1,4747	15,723	0,7528	65,76	49,51	3118,91
22	11531,55	66	216,55	1,4892	15,878	0,7602	65,76	49,99	3299,59
23	10823,41	69	226,39	1,5032	16,027	0,7674	65,76	50,46	3482,00
24	9927,58	71	232,95	1,5122	16,124	0,7720	65,76	50,77	3604,55
25	8827,69	74	242,79	1,5255	16,265	0,7788	65,76	51,21	3789,73
26	7498,75	77	252,64	1,5383	16,402	0,7853	65,76	51,64	3976,50
27	5897,41	80	262,48	1,5507	16,534	0,7917	65,76	52,06	4164,80
28	3979,63	83	272,32	1,5628	16,663	0,7978	65,76	52,47	4354,60
29	1557,16	87	285,45	1,5783	16,829	0,8058	98,64	79,48	6914,88
30	-1150,10	90	295,29	1,5897	16,95	0,8115	0	0,00	0
	96,28								64836,58

Fonte: Próprio Autor (2020).

Tabela 8: Resultados de momentos M_{tot} e $M1_{,tot}$ devido a combinação 4

Pavimentos	VENTO 4								
	M,tot,d (KN-m)	ALTURA (m)	ALTURA (ft)	KZ	q (psf)	q (KN/m2)	AREA DE ESPOSIÇÃO (m2)	FORÇA HOR.	M1 (KNm)
1	-172,30	3	9,84	0,8489	9,0511	0,4334	98,64	42,75	128,24
2	813,92	6	19,69	0,8989	9,5843	0,4589	65,76	30,18	181,06
3	1566,48	9	29,53	0,979	10,438	0,4998	65,76	32,87	295,79
4	763,68	12	39,37	1,0401	11,09	0,5310	65,76	34,92	419,02
5	727,11	15	49,22	1,0901	11,623	0,5565	65,76	36,60	548,96
6	5149,12	18	59,06	1,1328	12,078	0,5783	65,76	38,03	684,53
7	5406,20	21	68,90	1,1702	12,477	0,5974	65,76	39,28	824,96
8	6427,75	24	78,74	1,2035	12,832	0,6144	65,76	40,40	969,70
9	7426,23	27	88,59	1,2337	13,155	0,6298	65,76	41,42	1118,30
10	8381,61	30	98,43	1,2614	13,45	0,6440	65,76	42,35	1270,42
11	9275,75	33	108,27	1,287	13,722	0,6570	65,76	43,21	1425,79
12	10092,51	36	118,12	1,3108	13,976	0,6692	65,76	44,00	1584,16
13	10817,60	39	127,96	1,333	14,213	0,6805	65,76	44,75	1745,34
14	11438,28	42	137,80	1,354	14,437	0,6912	65,76	45,46	1909,15
15	11943,37	45	147,65	1,3738	14,648	0,7014	65,76	46,12	2075,45
16	12323,01	48	157,49	1,3926	14,849	0,7109	65,76	46,75	2244,09
17	12568,44	51	167,33	1,4105	15,039	0,7201	65,76	47,35	2414,98
18	12671,93	54	177,17	1,4276	15,221	0,7288	65,76	47,93	2587,99
19	12626,47	57	187,02	1,4439	15,396	0,7371	65,76	48,47	2763,04
20	12425,59	60	196,86	1,4596	15,563	0,7451	65,76	49,00	2940,04
21	12062,86	63	206,70	1,4747	15,723	0,7528	65,76	49,51	3118,91
22	11531,55	66	216,55	1,4892	15,878	0,7602	65,76	49,99	3299,59
23	10823,41	69	226,39	1,5032	16,027	0,7674	65,76	50,46	3482,00
24	9927,58	71	232,95	1,5122	16,124	0,7720	65,76	50,77	3604,55
25	8827,69	74	242,79	1,5255	16,265	0,7788	65,76	51,21	3789,73
26	7498,75	77	252,64	1,5383	16,402	0,7853	65,76	51,64	3976,50
27	5897,41	80	262,48	1,5507	16,534	0,7917	65,76	52,06	4164,80
28	3979,63	83	272,32	1,5628	16,663	0,7978	65,76	52,47	4354,60
29	1557,16	87	285,45	1,5783	16,829	0,8058	98,64	79,48	6914,88
30	-1150,10	90	295,29	1,5897	16,95	0,8115	0	0,00	0
	2236,29								64836,58

Fonte: Próprio Autor (2020).

Tabela 9: Resultados de momentos Mtot e M1,tot devido a combinação 5

Pavimentos	vento 5								
	M,tot,d (KN-m)	ALTURA (m)	ALTURA (ft)	KZ	q (psf)	q (KN/m2)	AREA DE ESPOSIÇÃO (m2)	FORÇA HOR.	M1 (KNm)
1	-35682,23	3	9,84	0,8489	9,05	0,4334	109,76	47,56	142,69
2	-23986,36	6	19,69	0,8989	9,58	0,4589	73,17	33,58	201,46
3	5685,13	9	29,53	0,9790	10,44	0,4998	73,17	36,57	329,13
4	20197,14	12	39,37	1,0401	11,09	0,5310	73,17	38,85	466,23
5	29832,28	15	49,22	1,0901	11,62	0,5565	73,17	40,72	610,82
6	82340,04	18	59,06	1,1328	12,08	0,5783	73,17	42,31	761,67
7	123440,26	21	68,90	1,1702	12,48	0,5974	73,17	43,71	917,92
8	144175,58	24	78,74	1,2035	12,83	0,6144	73,17	44,96	1078,96
9	161710,73	27	88,59	1,2337	13,15	0,6298	73,17	46,09	1244,31
10	39785,70	30	98,43	1,2614	13,45	0,6440	73,17	47,12	1413,58
11	188719,48	33	108,27	1,2870	13,72	0,6570	73,17	48,07	1586,45
12	198769,26	36	118,12	1,3108	13,98	0,6692	73,17	48,96	1762,67
13	206778,05	39	127,96	1,3330	14,21	0,6805	73,17	49,80	1942,01
14	212874,19	42	137,80	1,3540	14,44	0,6912	73,17	50,58	2124,28
15	217149,80	45	147,65	1,3738	14,65	0,7014	73,17	51,32	2309,31
16	219673,37	48	157,49	1,3926	14,85	0,7109	73,17	52,02	2496,96
17	192409,32	51	167,33	1,4105	15,04	0,7201	73,17	52,69	2687,10
18	219664,35	54	177,17	1,4276	15,22	0,7288	73,17	53,33	2879,61
19	217208,23	57	187,02	1,4439	15,40	0,7371	73,17	53,94	3074,38
20	213155,47	60	196,86	1,4596	15,56	0,7451	73,17	54,52	3271,33
21	207519,83	63	206,70	1,4747	15,72	0,7528	73,17	55,09	3470,36
22	200295,64	66	216,55	1,4892	15,88	0,7602	73,17	55,63	3671,40
23	191442,60	69	226,39	1,5032	16,03	0,7674	73,17	56,15	3874,37
24	180861,08	71	232,95	1,5122	16,12	0,7720	73,17	56,49	4010,72
25	168348,11	74	242,79	1,5255	16,27	0,7788	73,17	56,98	4216,77
26	153527,38	77	252,64	1,5383	16,40	0,7853	73,17	57,46	4424,58
27	135726,60	80	262,48	1,5507	16,53	0,7917	73,17	57,93	4634,10
28	113793,68	83	272,32	1,5628	16,66	0,7978	73,17	58,38	4845,29
29	85759,98	87	285,45	1,5783	16,83	0,8058	109,76	88,44	7694,06
30	35146,36	90	295,29	1,5897	16,95	0,8115	0,00	0,00	0,00
	41063,21								72142,52

Fonte: Próprio Autor (2020).

Tabela 10: Resultados de momentos Mtot e M1, tot devido a combinação 6

Pavimentos	vento 6								
	M,tot,d (KN-m)	ALTURA (m)	ALTURA (ft)	KZ	q (psf)	q (KN/m2)	AREA DE ESPOSIÇÃO (m2)	FORÇA HOR.	M1 (KNm)
1	-35682,23	3	9,84	0,8489	9,05	0,4334	109,76	47,56	142,69
2	-23986,36	6	19,69	0,8989	9,58	0,4589	73,17	33,58	201,46
3	5685,13	9	29,53	0,9790	10,44	0,4998	73,17	36,57	329,13
4	20197,14	12	39,37	1,0401	11,09	0,5310	73,17	38,85	466,23
5	29832,28	15	49,22	1,0901	11,62	0,5565	73,17	40,72	610,82
6	83168,50	18	59,06	1,1328	12,08	0,5783	73,17	42,31	761,67
7	123440,26	21	68,90	1,1702	12,48	0,5974	73,17	43,71	917,92
8	144175,58	24	78,74	1,2035	12,83	0,6144	73,17	44,96	1078,96
9	161710,73	27	88,59	1,2337	13,15	0,6298	73,17	46,09	1244,31
10	176449,17	30	98,43	1,2614	13,45	0,6440	73,17	47,12	1413,58
11	188719,48	33	108,27	1,2870	13,72	0,6570	73,17	48,07	1586,45
12	198769,26	36	118,12	1,3108	13,98	0,6692	73,17	48,96	1762,67
13	206778,05	39	127,96	1,3330	14,21	0,6805	73,17	49,80	1942,01
14	212874,19	42	137,80	1,3540	14,44	0,6912	73,17	50,58	2124,28
15	217149,80	45	147,65	1,3738	14,65	0,7014	73,17	51,32	2309,31
16	219673,37	48	157,49	1,3926	14,85	0,7109	73,17	52,02	2496,96
17	220497,37	51	167,33	1,4105	15,04	0,7201	73,17	52,69	2687,10
18	219664,35	54	177,17	1,4276	15,22	0,7288	73,17	53,33	2879,61
19	217208,23	57	187,02	1,4439	15,40	0,7371	73,17	53,94	3074,38
20	213155,47	60	196,86	1,4596	15,56	0,7451	73,17	54,52	3271,33
21	207519,83	63	206,70	1,4747	15,72	0,7528	73,17	55,09	3470,36
22	200295,64	66	216,55	1,4892	15,88	0,7602	73,17	55,63	3671,40
23	191442,60	69	226,39	1,5032	16,03	0,7674	73,17	56,15	3874,37
24	180861,08	71	232,95	1,5122	16,12	0,7720	73,17	56,49	4010,72
25	168348,11	74	242,79	1,5255	16,27	0,7788	73,17	56,98	4216,77
26	153527,38	77	252,64	1,5383	16,40	0,7853	73,17	57,46	4424,58
27	135726,60	80	262,48	1,5507	16,53	0,7917	73,17	57,93	4634,10
28	113793,68	83	272,32	1,5628	16,66	0,7978	73,17	58,38	4845,29
29	85759,98	87	285,45	1,5783	16,83	0,8058	109,76	88,44	7694,06
30	35146,36	90	295,29	1,5897	16,95	0,8115	0,00	0,00	0,00
	42719,01								72142,52

Fonte: Próprio Autor, (2020).

Com os resultados obtidos nas tabelas de cada combinação foi encontrado o parâmetro de estabilidade da estrutura, após o processamento. Mostrado abaixo na tabela 11.

Tabela 11: Combinações, direção do vento e gama z

Caso	Direção Vento	Yz
Comb1	0°	1,0
Comb 2	90°	2,4
Comb 3	0°	1,0
Comb 4	0°	1,0
Comb 5	90°	2,3
Comb 6	90°	2,5

Fonte: Próprio Autor, (2020).

Ao analisar a Tabela 11 e devido a quantidade de pavimentos, alguns valores de gama z ultrapassaram o limite estabelecido pela norma brasileira que é 1,1, como pode ser observado nas Combinações 2, 5 e 6. Sendo assim terá a necessidade de considerar os efeitos de segunda ordem gerado na estrutura.

Abaixo é possível perceber como a estrutura se deforma com a aplicação de cada combinação.

Na figura 10 é aplicada a combinação 1, que é composta por peso próprio da estrutura, carga permanente e vento na direção X a 0°. A Figura 11 mostra a estrutura e como ela atua ao aplicar a carga.

Figura 10: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 1;

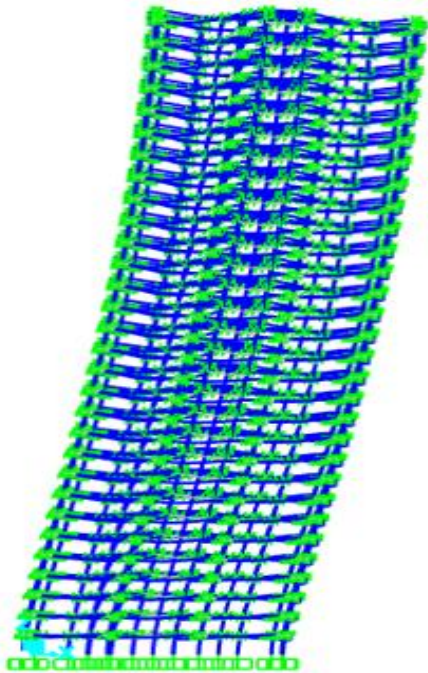
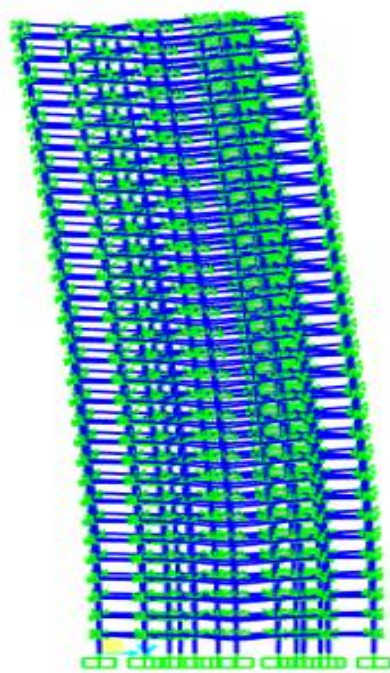


Figura 11: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 1.



Fonte: Próprio Autor, (2020).

Nas figuras 12 e 13 é aplicada a combinação 2 que contém as mesmas cargas, porém a direção que o vento atua é a 90°.

Figura 12: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 2.

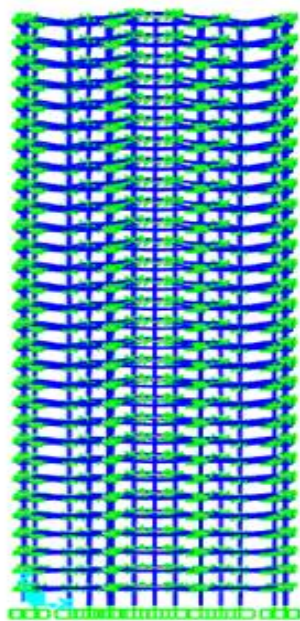
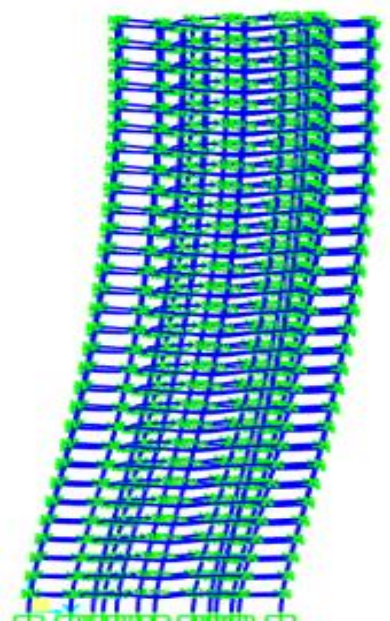


Figura 13: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 2.



Fonte: Próprio Autor, (2020).

Nas figuras 14 e 15 foi aplicado a combinação 3, onde o vento está incidindo a 0° , porém a estrutura está com excentricidade positiva de primeira ordem no plano X. Tal influência ocorre devido à existência de momentos fletores solicitantes que existem ao longo do comprimento do pilar, ou devido ao ponto teórico de aplicação da força normal estar localizado fora do centro de gravidade da seção transversal.

Figura 14: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 3.

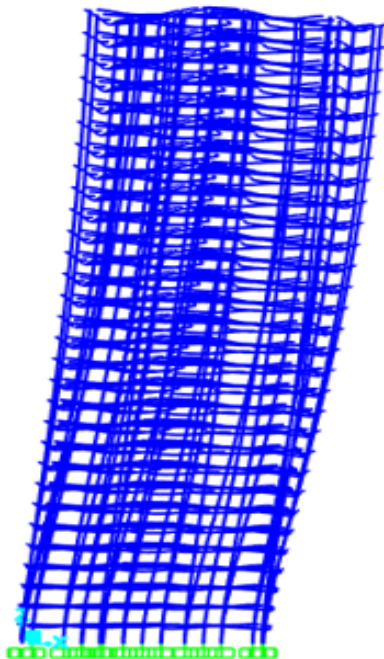
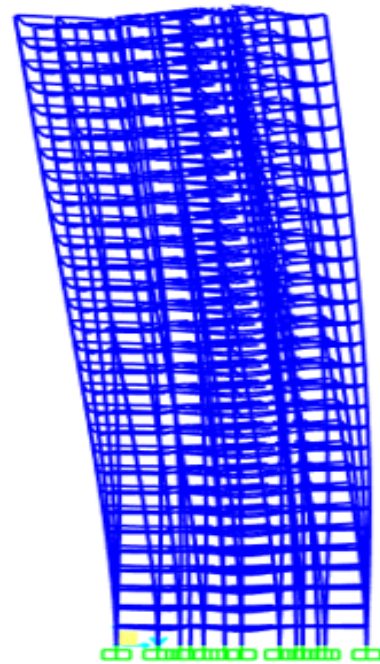


Figura 15: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 3.



Fonte: Próprio Autor, (2020).

Nas figuras 16 e 17 atua a combinação 4, os resultados são quase idênticos com a figura 12, anterior, o vento atua na mesma direção X, porém, a mesma tem excentricidade com valor negativo, fazendo com que haja uma força chamado de momento torço.

Figura 16: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 4.

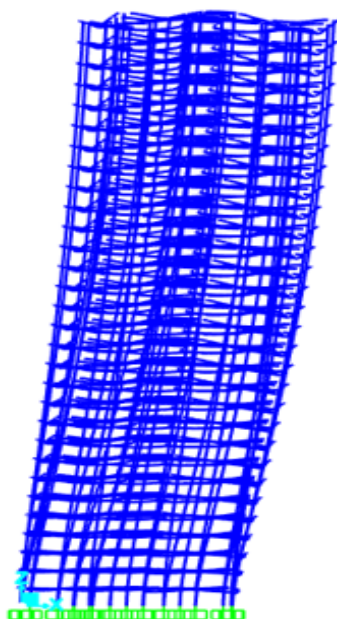
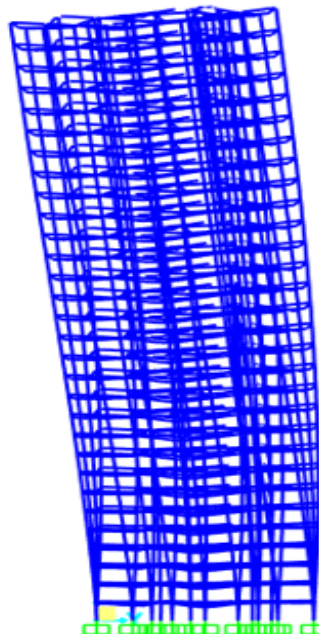


Figura 17: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 4.



Fonte: Autor próprio, (2020).

A combinação 5 é aplicada na estrutura da figura 18 e 19, o vento está incidindo a 90° e com excentricidade de primeira ordem no plano Y. Essa excentricidade surge devido a carga não está aplicada teoricamente no centro da edificação.

Figura 18: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 5.

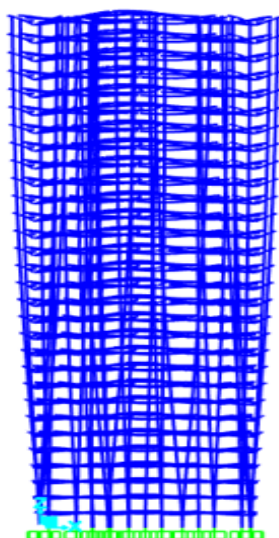
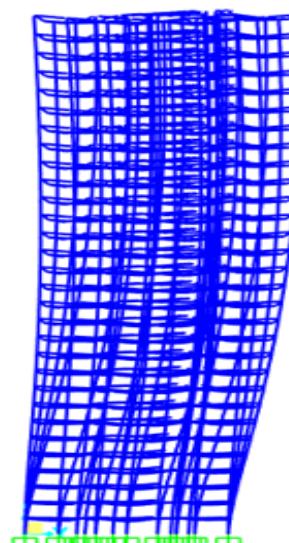


Figura 19: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 5.



Fonte: Próprio Autor, (2020).

Na última combinação que foi analisada mostra como a estrutura se comporta com a carga que está sendo aplicada, vento a 90° , assim gerou uma excentricidade negativa no plano Y, mostrado nas figuras 20 e 21.

Figura 20: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 6;

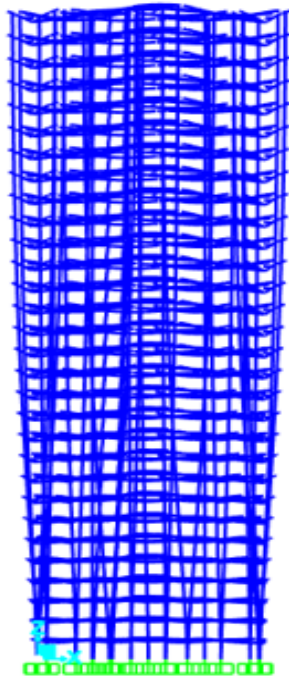
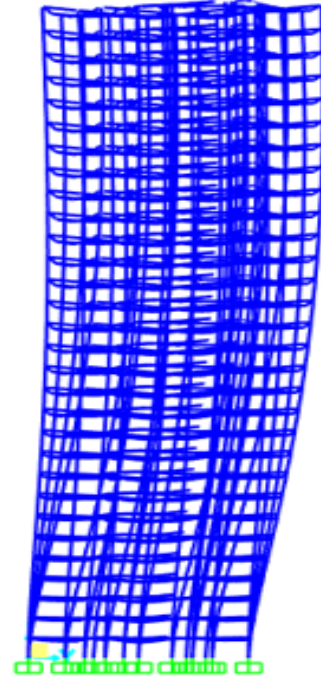


Figura 21: Plano XZ e YZ - Atuação da combinação 6.



Fonte: Próprio Autor, (2020).

Portanto, cada combinação apresenta resultados de parâmetros de estabilidade, por meio de combinações relacionadas a direção do vento e gama Z. sendo utilizado seis combinações com direção do vento de 0° a 90° e Yz (gama z) que varia de 1,0 a 2,5. Ressalvando ainda que diante das condições de quantidades de pavimentos, os valores base de Gama z ultrapassaram os limites estabelecidos de acordo com a norma técnica brasileira, sendo este de 1,1. Como finalidade a extração de resultados e apontamento de como os coeficientes atuam nas edificações.

6 CONCLUSÃO

Objetivo deste trabalho foi a análise da estabilidade global na estrutura de concreto armado, focando nos deslocamentos horizontais e utilizando a aplicação do coeficiente γ_z . Com isso foi necessário o estudo mais aprofundado em estruturas de concreto armado.

A influência do vento é uma das ações principais responsáveis por gerar efeitos de segunda ordem global nos edifícios, pois o efeito p-delta ocorre a partir do deslocamento horizontal causado pelo vento e quanto mais alto for a edificação, maior será a carga do vento sobre ela.

A análise da estabilidade global foi feita considerando o parâmetro gama z, sendo assim os resultados obtidos foram satisfatórios, pois, estava conforme as especificações recomendadas, mostrando que a estrutura está estável.

Conclui-se que para esse tipo análise da estabilidade global da estrutura, o projetista precisa ter um conhecimento estrutural mais profundo referente a uma análise não linear. Além disso, conhecer os campos de aplicação de cargas do software, para que assim a estrutura possa estar em sua melhor forma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASCE. ASCE/SEI 7-10 **Minimum design loads for buildings and other structures**.

Virginia: **ASCE 2010**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2014**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 221p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120** – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123/**: Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1988. 66p.

BANKI, A. L. **Estudo sobre a inclusão da não linearidade geométrica em projetos de edifícios**. 1999. 291f. Tese (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

FONTES, Fernando Fernandes. **Análise estrutural de elementos lineares segundo a NBR 6118:2003**. 2005. 120fls. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 2005.

IGLESIA, SOCRATE MUÑOZ. Ebook: **O efeito P-Delta nas estruturas de edifícios**. 2016. Elaborado por AltoQi. Disponível em: Acesso em: 16 nov. 2016.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. 1º Ed. São Paulo: Editora PINI LTDA, 2007.

LIMA, Juliana Soares. **Verificações da punção e da estabilidade global de edifícios de concreto: desenvolvimento e aplicação de recomendações normativas**. 2001. 225p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2001. Disponível em: <<http://goo.gl/vPpDB1>> Acesso em 03/06/2016

MARTINS, J. J. G. **Análise não linear geométrica de estruturas reticuladas espaciais**. 1997. 262 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 1997.

MONCAYO, W. J. Z. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. 2011. 221f. Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PEREIRA, G. S.; RAMALHO, M. A. Contribuições à análise de estruturas de contraventamento de edifícios em concreto armado. **Cadernos de engenharia de estruturas**, São Carlos, v. 9, n. 36, p. 19-47, 2007.

PINTO, R. S.; RAMALHO, M. A. Não-linearidade física e geométrica no projeto de edifícios usuais de concreto armado. **Cadernos de engenharia de estruturas**, São Carlos, n. 19, p. 171-206, 2002.

RIBEIRO, J. F. **Estabilidade global em edifícios**: análise dos efeitos de segunda ordem nas estruturas de concreto. 2010. 81f. Dissertação (Diplomação).

BASTOS, S.D.S.B **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru – SP. Agosto de 2006. Estruturas de concreto I.

REIS, J.J. **Estabilidade Global em Edifícios Altos**. Florianópolis – SC. 2013. Centro Tecnológico de Graduação em Engenharia Civil.