



**FAPAC - FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS PORTO LTDA
ENGENHARIA CIVIL**

MATEUS BORBA TEIXEIRA

**VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS NORMATIVOS NA CONSIDERAÇÃO DA
AÇÃO DO VENTO NO DIMENSIONAMENTO DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO
ARMADO**

**PORTO NACIONAL-TO
2019/1**

MATEUS BORBA TEIXEIRA

**VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS NORMATIVOS NA CONSIDERAÇÃO DA
AÇÃO DO VENTO NO DIMENSIONAMENTO DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO
ARMADO**

Projeto de conclusão do curso de Engenharia Civil da FAPAC/ITPAC PORTO NACIONAL como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área: Estruturas.

Orientador: Douglas Freitas Augusto dos Santos.

MATEUS BORBA TEIXEIRA

**Verificação dos Parâmetros Normativos na Consideração da Ação do Vento no
Dimensionamento de Edifícios de Concreto Armado**

Projeto de pesquisa submetido ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda., como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Apresentada e defendida em ____/____/____ pela Banca examinadora constituída pelos professores:

Professor: Me. Douglas Freitas Augusto dos Santos (Orientador)

Professor: Alesi Teixeira Mendes

Engenheiro Civil: Marcos Rodrigues dos Santos

RESUMO

A consideração da ação do vento em edificações de concreto armado é de suma importância, pois sabe-se que quaisquer considerações equivocadas podem comprometer a segurança da edificação. Em um projeto estrutural o vento é representado como uma velocidade incidindo na edificação. As características do vento gerado em um edifício dependem de uma série de fatores como a geometria, a região onde ela se encontra, tipo do terreno e os obstáculos nas suas proximidades. A pesquisa tem por objetivo avaliar a influência dos parâmetros normativos considerados na ação do vento nas edificações e gerar uma reflexão da insegurança que pode acarretar caso não a consideramos, podendo levar a problemas de instabilidade que comprometeria a utilização e conforto do usuário ou até mesmo levando a estrutura ao colapso. Para este propósito foi realizado três modelos computacional no software Robot Structural Analysis, tendo como parâmetro a altura da edificação, a velocidade básica do vento e as edificações vizinhas. Observou-se que os parâmetros quando considerados de forma equivocadas ou não considerados, podem gerar uma estrutura insegura, variações dos momentos nos pilares e deslocamentos.

Palavra-chave: Concreto Armado. Análise Estrutural. Vento. Edifícios.

Abstract

Considerations of wind action on reinforced concrete constructions are of paramount importance, as it is known that any misconceptions may compromise the safety of the building. In a structural design the wind is represented as a velocity focusing on the building. The characteristics of the wind generated in a building depend on a number of factors such as the geometry, the region where it is located, the type of terrain and obstacles in its vicinity. The research aims to evaluate the influence of the normative parameters considered in the wind action in the buildings and generate a reflection of the insecurity that can cause if we do not consider it, being able to lead to problems of instability that would compromise the use and comfort of the user or even leading the structure to collapse. For this purpose, three computational models were performed in Robot Structural Analysis software, based on the height of the building, the basic wind speed and neighboring buildings. It was observed that the parameters when mistakenly considered or not considered, can generate an insecure structure, variations of the moments in the pillars and displacements.

Keywords: Reinforced Concrete; Structure Analysis; Wind; Buildings

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1. OBJETIVO GERAL	9
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1 ANÁLISES GLOBAIS.....	10
3.1.1 EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM.....	10
3.1.2. NÃO LINEARIDADE FÍSICA.....	11
3.1.3. INSTABILIDADE α	11
3.1.4. GAMA-Z(γ_z)	13
3.1.5. P-DELTA (P- Δ)	13
3.2. ESTUDO DA INFLUENCIA DO VENTO ESTATICA E DINAMICA.....	15
3.2.1. NBR 6123 (1988) - FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES ..	15
3.2.2. ANALISE DO VENTO DE FORMA DINÂMICA.....	19
3.2.3. MÉTODO SIMPLIFICADO NBR 6123 (1988)	19
3.2.4. MÉTODO DISCRETO NBR 6123 (1988).....	20
3.2.5. MÉTODO DOS VENTOS SINTÉTICOS	22
3.2.6. CÁLCULO DOS ESFORÇOS DO VENTO EM TORRES DE LINHA DE TRANSMISSÃO.....	23
3.2.7. TÚNEL DE VENTO.....	23
4. METODOLOGIA	25
4.1. DESCRIÇÃO DO PRÉDIO.....	25
4.1.1. LEVANTAMENTO DOS CARREGAMENTOS.....	25
4.1.3. MATÉRIAS DA SUPERESTRUTURA	26
4.1.4. COMBINAÇÕES.....	26
4.2 MÉTODOS PARA A OBTENÇÃO DOS ESFORÇOS DO VENTO	27
4.3 MODELOS ANALISADOS	29
5.CRONOGRAMA	30
6. RESULTADOS ESPERADOS	31
ANEXOS	32
ANEXO A – CORTE ESQUEMÁTICO	32
ANEXO B – CORTE ESQUEMÁTICO	33
ANEXO C – CORTE ESQUEMÁTICO	34
REFERÊNCIAS.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Surgimento do efeito P-Delta devido o vento	14
Figura 2 - Mapa de isópletas, velocidade básica do vento em m/s	16
Figura 3 - Esquema para modelo dinâmico discreto	21
Figura 4 - Planta baixa da edificação	25
Figura 5 - Gráfico da velocidade básica do vento ao longo dos anos	27

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço dos métodos construtivos e o crescimento tecnológico dos materiais, softwares cada vez mais avançados tem possibilitado a construção de estruturas maiores mais esbeltas e mais sofisticadas. Contudo ainda estamos longe de conhecer todos os reais comportamentos que ocorrem nas edificações ao longo de toda sua vida útil, um exemplo é forma de consideração dos esforços do vento nas edificações, considerando o vento incidindo de maneira estática em toda a estrutura do edifício, estudos científicos realizados caracterizam o vento como um escoamento de um fluido no estado gasoso.

Na maioria dos escritórios de projeto estrutural a ação do vento é considerada como uma carga estática, mais sabe-se que os efeitos do vento devem ser analisados como um fluido incidindo na estrutura gerando assim um esforço dinâmica.

O método teórico mais eficiente para se obter o valor das cargas do vento na estrutura e prescrito na NBR 6123(1988) onde é apresentado parâmetros que devem ser levados em consideração para a realização dos cálculos, sendo eles rugosidade do terreno, topografia do terreno, velocidade básica do vento, construções vizinhas.

Dessa maneira o objetivo deste trabalho é verificar qual será o comportamento da estrutura quando se aplica os esforços do vento de forma estática e dinâmica analisando instabilidade global, coeficiente gama - z, os deslocamentos e por fim os momentos nos pilares.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como finalidade realizar a verificação dos parâmetros normativos nas considerações da ação do vento no dimensionamento de edifícios de concreto armado.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar o modelo considerando os esforços do vento de maneira estática e dinâmica.
- Verificar a influência do vento nas tensões deformações dos pilares, pela análise do métodos de elementos finitos.
- Analisar os efeitos de segunda ordem com os parâmetros $\gamma - z$ e $P - \delta$.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ANÁLISES GLOBAIS

Com o avanço da tecnologia atualmente a tendência dos edifícios é ser cada vez mais altos e mais esbeltos, conseqüentemente estarão sujeitos a maiores cargas verticais e horizontais. Com isso se torna mais importante a consideração de parâmetros que antes eram dispensados como a não linearidade física não linearidade geométrica e os efeitos de segunda ordem

3.1.1 EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM

Em virtude das cargas horizontais, sejam essas cargas do vento, cargas equivalentes ao desaprumo construtivo e assimetria de carregamentos verticais, os edifícios de concreto armado serão solicitados por flexão composta, com isso os efeitos de segunda ordem devem ser considerados nos cálculos (FEITOSA E ALVES 2015).

Feitosa e Alves 2015 caracterizam efeitos 2º ordem (considerados efeitos adicionais) como consequência da deformação das estruturas. Sendo eles responsáveis por provocar um comportamento não linear na estrutura (não linearidade geométrica e física).

A ABNT NBR 6118 2014, definem dois parâmetros de análise que possibilitam a dispensa da verificação dos efeitos de 2º ordem: instabilidade α , coeficiente γ_z . Estes servem de parâmetro para classificar a estrutura, como de nós fixos ou nós moveis, no caso do coeficiente γ_z (gama – z), leva-se em consideração $\gamma_z < 1,1$ como nós fixos. Nas estruturas de nós moveis quando $\gamma_z \leq 1,3$, os esforços de 1º ordem servem de parâmetro para calcular os de 2º ordem, sendo majorado por $0,95\gamma_z$. Já em estruturas que possuem $\gamma_z > 1,3$ os cálculos dos efeitos de 2º ordem devem ser verificados utilizando o método P – delta.

3.1.2. NÃO LINEARIDADE FÍSICA

A linearidade física está relacionada a como o material se comporta que no caso do concreto armado, se considera um material não linear. Quando se combina aço e concreto tem-se um comportamento não linear, isso acaba gerando uma tensão deformação não linear, gerando um comportamento não elástico do material, modificando sua rigidez. O resultado das fluências, retração e fissuras causadas no concreto prejudicam o valor final do módulo de elasticidade do concreto (Freitas, Luchi, Ferreira 2016).

Para a análise da estabilidade global a NBR 6118, demonstra no item 15.7.3 a consideração a não linearidade física de maneira aproximada, adotando como rigidez dos elementos estruturais os valores seguintes:

- Lajes: $(EI)_{sec} = 0,3 E_c I_c$
- Vigas:
 - $(EI)_{sec} = 0,4 E_c I_c$ para $A_s' \neq A_s$
 - $(EI)_{sec} = 0,5 E_c I_c$ para $A_s' = A_s$
- Pilares: $(EI)_{sec} = 0,8 E_c I_c$
- Pilares e Vigas $(EI)_{sec} = 0,7 E_c I_c$

Onde:

I_c é o momento de inércia da seção bruta de concreto,

E_c é o valor representativo do módulo de deformação do concreto

A não linearidade física, presente nas estruturas de concreto armado, deve ser obrigatoriamente considerada, segundo o item 15.3 da norma 6118 (NBR, 2014, pg.100)

3.1.3. INSTABILIDADE α

A estabilidade global das estruturas de concreto pode ser avaliada por meio do parâmetro α , e através dele é capaz de se obter uma deformação horizontal da estrutura. Acima de certo valor limite, classifica a estrutura como de nós moveis, tornando assim necessário a consideração da análise de segunda ordem (MONCAYO, 2011).

Segundo a ABNT 6118 (2014, pg.104) estabelece no item 15.5.2 Parâmetro de instabilidade α , pode ser classificado:

- $\alpha \leq 0,7$: para sistemas compostos apenas por paredes.
- $\alpha \leq 0,6$: para sistemas mistos.
- $\alpha \leq 0,5$: para sistemas compostos apenas por pórticos.

Deduzida em 1967 por Beck e Konig, baseando-se na teoria de Euler, foi definida como parâmetro de instabilidade. (FRANCO; VASCONCELOS, 1991)

$$\alpha = H \sqrt{\frac{P}{EI}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

α : parâmetro de estabilidade

H: altura total do edifício

P: peso total da edificação

EI: rigidez à flexão do sistema de contraventamento

A proporção da rigidez dos componentes de contraventamento da estrutura é calculada quando se aplica em toda altura da edificação uma carga lateral característica, determinando assim o deslocamento do topo da edificação (Freitas, Luchi, Ferreira 2016).

Encontrando o valor de deslocamento do topo do edifício, adota para um novo pilar equivalente em balanço, com rigidez equivalente constante, sob a ação da mesma carga, este pilar em balanço irá sofrer o mesmo deslocamento na sua extremidade em balanço. Considerando sobre toda altura da edificação uma carga constante tem-se:

$$EI = qk \cdot H/8 \cdot \delta \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

EI: rigidez à flexão do sistema de contraventamento

qk : carga lateral característica.

H: altura total do edifício.

δ : deslocamento do topo da edificação.

3.1.4. GAMA-Z(γ_z)

Segundo Moncoyo, (2011) o coeficiente gama-z é um parâmetro que avalia, de maneira simples e eficiente, a estabilidade global das edificações de concreto armado. Através dele é possível estimar os esforços de segunda ordem por uma simples majoração dos esforços de primeira ordem.

A NBR 6118 (2014) relata que o coeficiente γ_z que analisa os esforços de segunda ordem globais é válido para edificações de no mínimo 4 andares, e pode ser determinado através da análise linear dos efeitos de primeira ordem para cada caso de carregamento, levando em consideração o valor de rigidez aproximada a não linearidade física. Para a combinação de carregamento, calcula-se o valor γ_z através da seguinte.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M}{M_1}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

ΔM - acréscimos de deslocamentos oriundo dos carregamentos verticais.

M_1 - momento de primeira ordem.

Após ter encontrado o valor de γ_z é possível fazer a classificação da estrutura como indeslocáveis (nós fixos) se $\gamma_z \leq 1,1$ ou deslocáveis (nós moveis) se o valor for $\gamma_z > 1,1$.

O coeficiente gama – z é utilizado como um majorador dos esforços de primeira ordem, e através dele se obtém os esforços finais. Esse método foi empregado com sucesso em grandes edificações onde o valor de γ_z é igual a 1,2 ou maior. Vasconcelos (1996) relata que este processo é válido para valores de γ_z inferior 1,10 (CHINEM, 2010).

3.1.5. P-DELTA (P- Δ)

O método P – delta é um procedimento iterativo utilizado na análise dos efeitos de segunda ordem de estruturas, onde o efeito dos deslocamentos laterais sucessivos é transformado em forças horizontais equivalente. Este método consiste em se realizar os efeitos em uma determinada estrutura considerando os

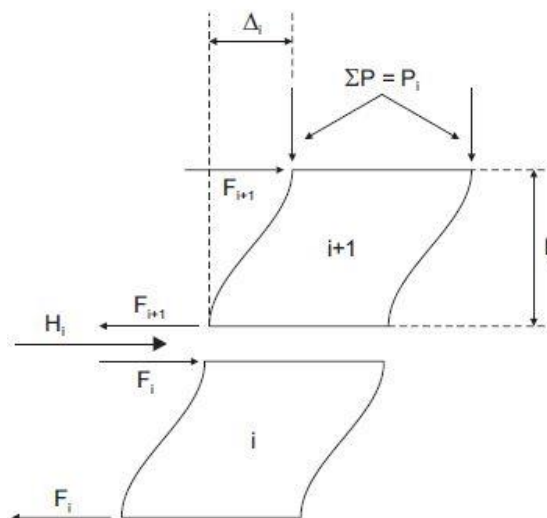
carregamentos verticais e horizontais, e a partir do deslocamento encontrados, que se define as cargas horizontais fictícias equivalentes ao carregamento de segunda ordem.

O P – delta não considera a não linearidade geométrica de um modo rigoroso. A preparação de dados é de uma maneira simples e o tempo de processamento é bem menor do que em processos rigorosos. Contudo, ainda é um procedimento iterativo as demais avaliações de acréscimo de segunda ordem (CAMPOÓ; CORRÊA; RAMALHO, 2005).

Teixeira, (2008) relata que as forças horizontais (peso próprio e sobrecarga) geram momentos de segunda ordem que acabam gerando deslocamentos adicionais, conhecidos como P – delta. O efeito P – delta está relacionado a um acréscimo de momentos gerando uma deformação na estrutura, que seria um deslocamento horizontal, e por consequência acaba alterando o ponto de aplicação das cargas verticais.

A primeira análise estrutural leva em consideração as ações verticais e horizontais, resultando os deslocamentos Δ_i para cada andar, proporcionando um acréscimo de momento ($P_i \cdot \Delta_i$) sobre toda edificação. Os acréscimos de momento são, então substituídos por um binário de mesmo efeito ($F_{i,1i}$) causados por forças horizontais equivalentes ($F_i = (P_i \cdot \Delta_i)/l_i$) conforme a (Fig.1).

Figura 1 - Surgimento do efeito P-Delta devido o vento



Fonte: Campoó; Corrêa; Ramalho (2005).

Na segunda etapa, realizada o processamento novamente da estrutura, levando em consideração agora as ações originais e os acréscimos produzidos

obtendo novos deslocamentos nodais, que conseqüentemente provocam acréscimo dos momentos e novas forças horizontais, esse processo se repete até que esses deslocamentos sejam pequenos para que possa admitir sua uniformidade.

3.2. ESTUDO DA INFLUENCIA DO VENTO ESTATICA E DINAMICA

O vento é caracterizado como um escoamento de um fluido no estado gasoso, isto é, massas de ar que se deslocam ao longo da camada limite atmosférica, das quais interessa identificar o tipo de regime.

Em um projeto estrutural o vento é representado como uma velocidade incidindo na edificação. As características do vento gerado em um edifício dependem de uma série de fatores como a geometria, a região onde ela se encontra, tipo do terreno e os obstáculos nas suas proximidades.

3.2.1. NBR 6123 (1988) - FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES

Para determinação da força do vento nas edificações segue a determinação da norma brasileira NBR 6123 – 1988 (Forças devido ao vento em edificações), que determina um procedimento de cálculo para projetos levando em consideração os efeitos do vento que atuam sobre a edificação

As pressões dinâmicas dos esforços do vento são transformadas e cargas estáticas que atuam perpendicularmente à direção do vento. Para que se possa fazer a análise dos esforços do vento nas edificações é necessário conhecer a componente da força que atua na direção do vento. Este componente é conhecido como força de arrasto (F_a), determinada pela equação 3.1 da NBR 6123.

$$F_a = C_a \times q_v \times A \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- F_a : força de arrasto.
- C_a : coeficiente de arrasto.
- q_v : pressão dinâmica do vento.
- A : área efetiva.

A pressão dinâmica do vento (q_v) é determinada através equação 3.2 apresentada pela NBR 6123.

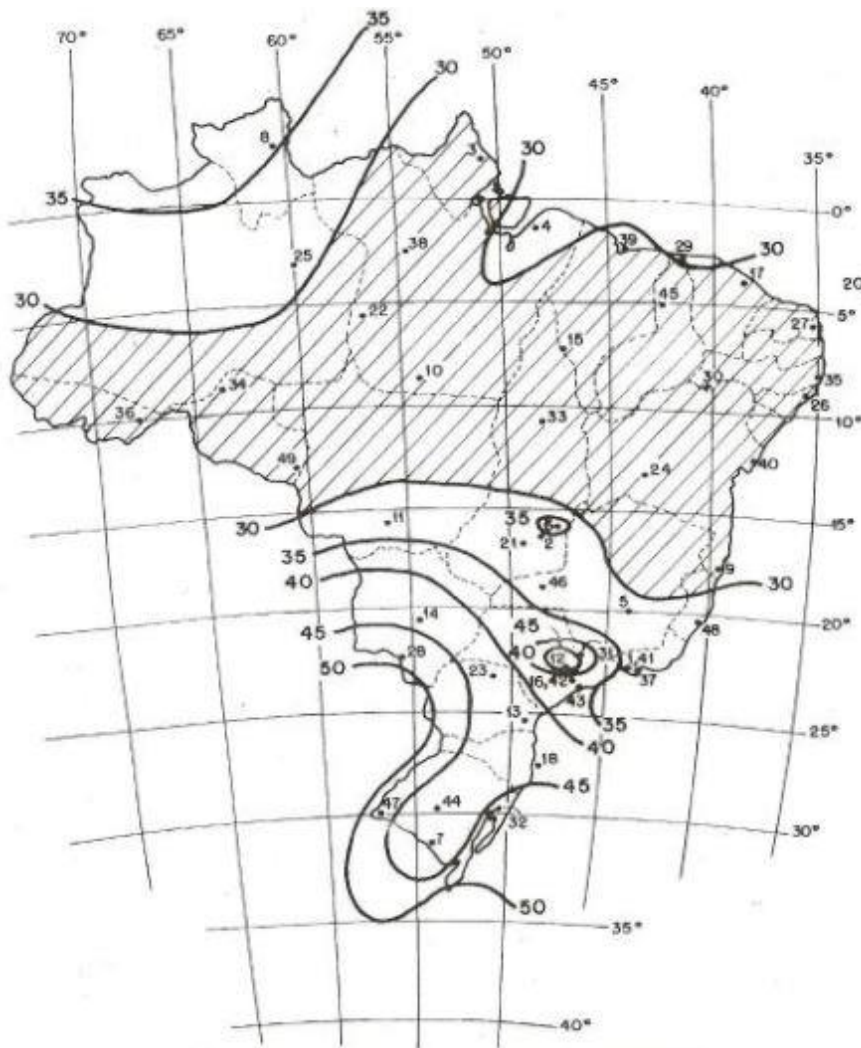
$$q = 0,613 \cdot V_k^2 = 0,613 \cdot (V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3)^2 \quad \text{Equação 5}$$

Onde, V_k Velocidade característica do vento;

- V_0 Velocidade básica do vento (em m/s);
- S_1 Fator topográfico;
- S_2 Fator que combina os efeitos da rugosidade do terreno, da variação da velocidade com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação considerada;
- S_3 Fator estatístico.

Para a determinação da velocidade básica do vento (V_0) recomenda-se a utilização do gráfico de isópetas do Brasil. Para a cidade de Palmas - TO, pode-se adotar V_0 igual a 30 m/s, conforme demonstrado.

Figura 2 - Mapa de isópetas, velocidade básica do vento em m/s



Fonte: NBR 6123 (1988).

O fator topográfico S1 leva em consideração as variações do relevo do terreno. No caso, definiu-se que a estrutura se encontra em um local aberto e plano. Dessa forma, para estas condições, a norma recomenda adotar um valor unitário para S1.

O fator S2 é o fruto da combinação dos efeitos da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação e da altura sobre o terreno, dado no quadro 1 partir da descrição do ambiente onde a edificação será construída obtém a categoria.

Quadro 1- Definição de categorias para determinação do coeficiente S_2

Categoria	Descrição do ambiente
I	Mar calmo, lagos, rios, pântanos.
II	Campos de aviação, fazendas.
III	Casas de campo, fazendas com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 3,0 m.
IV	Cidades pequenas, subúrbios densamente construídos, áreas industriais desenvolvidas, com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 10,0 m.
V	Florestas com árvores altas, centros de grandes cidades, com altura média igual ou superior a 25,0 m.

Fonte: NBR 6123 (1988).

No Quadro 2 de acordo com a descrição da altura da edificação obtém a classe.

Quadro 2- Dimensões da edificação

Classe	Descrição
A	Maior dimensão da superfície frontal menor ou igual a 20 metros
B	Maior dimensão da superfície frontal entre 20 e 50 metros
C	Maior dimensão da superfície frontal que 50 metros

Fonte: NBR 6123 (1988).

Após a classificação conforme a NBR 6123 (1988) que classifica a rugosidade e dimensões da estrutura em categorias e classes, respectivamente. A que melhor representa a região avaliada da estrutura é a Categoria IV (“Cidades pequenas, subúrbios densamente construídos, áreas industriais desenvolvidas, com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 10,0 m”) e a Classe A (“maior dimensão da superfície frontal menor ou igual a 20 metros”).

Quadro 3- Fator S_2

Z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,86	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: NBR 6123 (1988).

Já o fator S_3 baseia-se em conceitos estatísticos, considerando o grau de segurança requerido para a edificação e sua vida útil. O quadro 4 apresenta os valores desse fator, na qual a estrutura analisada ocupa o Grupo 2 ("Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação - depósitos, silos, construções rurais, etc."), o qual considera S_3 igual a 1.

Quadro 4-Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residenciais. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção.	0,83

Fonte: NBR 6123 (1988).

3.2.2. ANALISE DO VENTO DE FORMA DINÂMICA

Os esforços do vento que incidem nas edificações são de caráter dinâmico, contudo na maioria das edificações considera-se esses esforços de maneira estática equivalente. Em edificações que possuam maior esbeltes e são mais flexíveis, principalmente aquelas que possuam baixa frequência de vibração ($F_z < 1,0$ Hz), os efeitos dinâmicos devem ser considerados.

3.2.3. MÉTODO SIMPLIFICADO NBR 6123 (1988)

A NBR 6123 (1988) apresenta no item 9 dois métodos para avaliar os efeitos dinâmico devido a turbulência atmosférica. O primeiro é o método simplificado, é aplicado a estruturas apoiadas exclusivamente na base e com alturas inferiores a 150 metros. Para este método calcula – se apenas a resposta dinâmica de modo fundamental.

A pressão dinâmica vai variar conforme a altura pela equação.

$$V_p = 0,69 \cdot V_o \cdot S_1 \cdot S_3$$

Equação 6

$$q(z)=q_0.b^2[(z/z_r)^{2p}+(h/z_r).(z/h)^\gamma (1+2\gamma/1+\gamma+p)\xi] \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

- $q(z)$: função continua da altura z sobre o terreno;
- V_p : velocidade de projeto;
- q_0 : pressão básica em N/m^2 ;
- z : altitude do ponto de interesse;
- z_r : altitude de referência de 10 metros;
- b e p : rugosidade do terreno;
- γ : expoente da lei potencial de expressão do modo de vibração;
- ξ : coeficiente de amplificação dinâmica em função das dimensões da edificação;

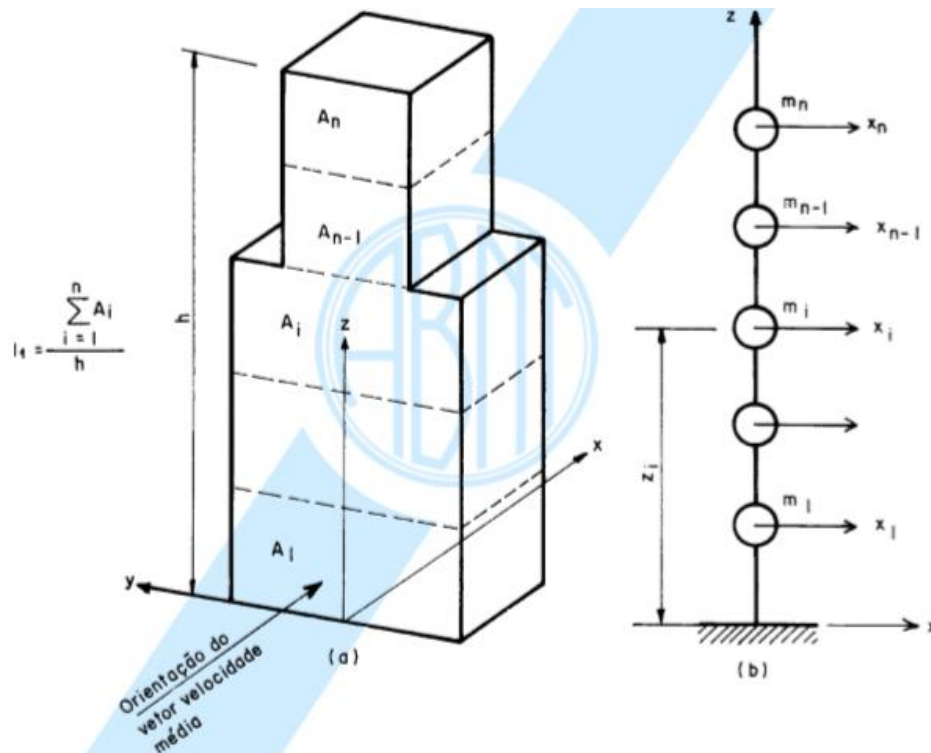
3.2.4. MÉTODO DISCRETO NBR 6123 (1988)

Este método consiste em realizar os esforços dinâmico em edificações onde as propriedades do edifício mudam de acordo com a sua altura como e mostrado na figura 3

Onde:

- X_i - deslocamento correspondente à coordenada i ;
- A_i - Área de influência correspondente à coordenada i ;
- M_i - Massa discreta correspondente à coordenada i ;
- C_{ai} - coeficiente de arrasto correspondente à coordenada i ;
- Z_i - altura do elemento i sobre o nível do terreno;
- Z_r - altura de referência: $z_r = 10$ m;
- N - Número de graus de liberdade ($i = 1, 2, \dots, n$). No caso de estruturas verticais com um plano de simetria, n é também igual ao número de elementos em que for dividida a estrutura;

Figura 3 - Esquema para modelo dinâmico discreto



Fonte: NBR 6123 (1988).

O método discreto utiliza a mesma definição da velocidade de projeto V_p citado no método simplificado, onde para cada modo j de vibração com componentes $(X_i)_j = X_{ij}$, a força total X_i é obtida pela soma da força média X_{ij} com a força flutuante X_{if} .

$$X_i = X_{ij} + X_{if} \quad \text{Equação 8}$$

Onde a força média é calculada

$$X_{ij} = q_0 b^2 C_{ai} A_i \left(\frac{z_i}{z_r} \right)^{2p} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

- q_0 : pressão básica em N/m^2 ;
- A_i - Área de influência correspondente à coordenada i ;
- C_{ai} - coeficiente de arrasto correspondente à coordenada i ;
- Z_i - altura do elemento i sobre o nível do terreno;
- Z_r - altura de referência: $z_r = 10$ m;
- b e p são função da categoria do terreno;

Componente flutuante é dado por:

$$X_{if} = F_h \Psi_i X_{ij} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

- F_h é a força referente a parcela flutuante;
- Ψ_i é a razão entre a massa discreta (m_i) e a massa arbitrária de referência (m_o);
- X_i é o deslocamento correspondente a coordenada i ;

Sendo que a Força F_h é:

$$F_h = q_o b^2 A_o \left(\frac{\sum_{i=1}^n \beta_i X_i}{\sum_{i=1}^n \Psi_i X_i^2} \right) \xi \quad \text{Equação 11}$$

- q_o : pressão básica em N/m^2 ;
- A_o é a área arbitrária de referência, que é tomada como o somatório das áreas A_i ;
- N é o número de coordenadas;
- ξ : coeficiente de amplificação dinâmica em função das dimensões da edificação;

O valor de β_i é calculado:

$$\beta_i = C_{ai} \left(\frac{A_i}{A_o} \right) \left(\frac{Z_i}{Z_r} \right) \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

- A_i - Área de influência correspondente à coordenada i ;
- A_o é a área arbitrária de referência, que é tomada como o somatório das áreas A_i ;
- C_{ai} - coeficiente de arrasto correspondente à coordenada i ;
- Z_i - altura do elemento i sobre o nível do terreno;
- Z_r - altura de referência: $z_r = 10$ m;

3.2.5. MÉTODO DOS VENTOS SINTÉTICOS

A NBR 6123 (1988) divide a ação do vento em duas parcelas sendo ela média e flutuante. A parcela média corresponde a análise estática que está relacionada a velocidade média do vento. Já a flutuante é obtida da soma de um número finitos de funções harmônicas.

Segundo Franco, (1993) o método dos ventos sintéticos, representa a soma harmônica de diversas frequências, escolhida por fases aleatórias, para que se possa definir a parcela flutuante da velocidade do vento, possibilitando a determinação da resposta dinâmica de um edifício sob a ação do vento ao longo da sua vida útil.

Franco, (1993) apresentou uma diferenciação entre vento médio e rajada. O vento médio é medido em intervalo de 10 minutos a 1 hora, é através dele foi definido a velocidade média do vento com duração de 10 minutos. Já a rajada ocorre em um intervalo de tempo mais curto variando de 2 a 5 segundos, e através dele

definiu a velocidade de pico com duração de 3 segundos, bem como a pressão de pico.

3.2.6. CÁLCULO DOS ESFORÇOS DO VENTO EM TORRES DE LINHA DE TRANSMISSÃO

A consideração dos esforços do vento no projeto das linhas de transmissão é de suma importância e deve ser analisada de maneira bastante criteriosa. Em linhas áreas onde possuem grandes vãos, o elemento estrutural mais afetado são os cabos, que conseqüentemente geram esforços no topo da estrutura de suporte, gerando solicitações preponderantes em toda a estrutura.

Sendo assim a NBR 5422 (1985) estabelece no seu item 4 parâmetros de cálculo para a velocidade do vento de projeto em LT's.

Velocidade do vento de projeto

$$V_p = K_r \cdot K_d \cdot \left(\frac{H}{10}\right)^{1/n} \cdot V_t \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

- K_r – coeficiente de rugosidade;
- K_d – categoria do terreno;
- H – altura sobre o solo em metros;
- n – expoente de correção da altura para velocidade do vento, adimensional;
- V_t – velocidade do vento referida a outro período de retorno;

Velocidade do vento referida a outro período de retorno:

$$V_t = \beta - \text{Ln} \left[\frac{-\text{Ln} \left(1 - \frac{1}{t} \right)}{\alpha} \right] \quad \text{Equação 14}$$

Onde

- β – estimador do fator de posição da distribuição de Gumbel;
- α – estimador do fator de escala da distribuição de Gumbel;

3.2.7. TÚNEL DE VENTO

Os túneis de vento são equipamentos que proporcionam a simulação do comportamento aerodinâmico do ar em relação a diversos tipos de objetos em escala

dimensional, como aviões, carros e até mesmo na construção civil. Sua construção favorece a observação do movimento do ar ao redor dos modelos reduzidos inseridos dentro dele, o que não seria possível realizar em uma situação normal, e verificar qualitativamente o comportamento do vento sobre as formas geométricas por meio dos coeficientes aerodinâmicos.

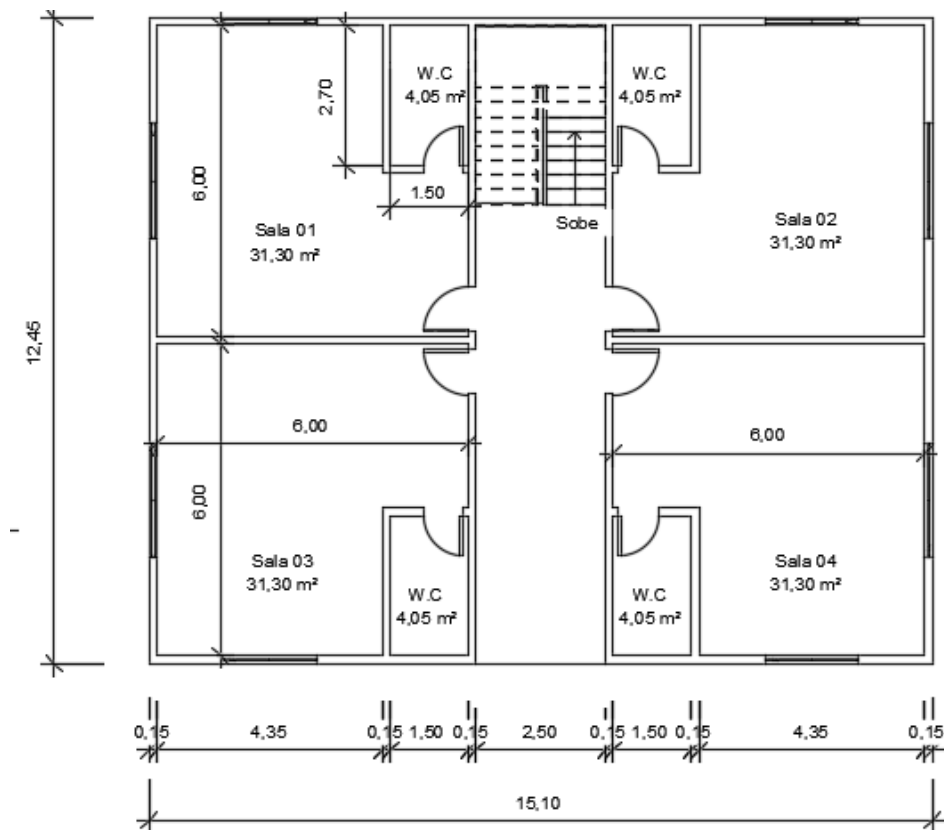
4. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados aspectos ligados a descrição do prédio que será objeto de estudo, metodologias de cálculo para os esforços do efeito do vento levando em consideração as cargas de forma estática e dinâmica.

4.1. DESCRIÇÃO DO PRÉDIO

O Prédio de estudo é situado na cidade de Palmas Tocantins. O estudo será realizado em uma edificação hipotética. Se trata de uma edificação com quatro salas, com um banheiro em cada sala, hall social e escada.

Figura 4 - Planta baixa da edificação



Fonte: Autor próprio.

4.1.1. LEVANTAMENTO DOS CARREGAMENTOS

Para a edificação foram admitidos os seguintes carregamentos, representados na Tabela 1, baseadas na NBR 6120 (1980). De modo a simplificar a

consideração da carga de revestimento no projeto do edifício comercial, foi adotado o valor recomendando pela NBR 6120 (1980) para acabamentos simples de 1 kN/m².

Tabela 1: carregamentos

Carregamento	Peso específico dos materiais (kN/m³)
Peso próprio da estrutura	25,0 (kN/m ³)
Parede	13,0 (kN/m ³)
Carregamento	Valores mínimos das cargas verticais (kN/m²)
Revestimento	1,0 (kN/m ²)
Sobrecarga Cobertura	0,5 (kN/m ²)
Sobrecarga Tipo	2,0 (kN/m ²)

Fonte: Autor próprio.

4.1.3. MATÉRIAS DA SUPERESTRUTURA

As paredes externas e internas são constituídas por blocos de tijolos cerâmicos e a resistência característica em projeto do concreto das vigas, lajes e pilares é de 30 MPa.

O elemento da superestrutura foi modelado no software Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018, as vigas e pilares foram considerados como elementos de barras e a laje como elemento de casca, devido a sua rigidez os esforços laterais são transmitido aos pilares. O concreto possui um fck de 30 MPa e módulo de elasticidade calculado pela expressão $E = 5600\sqrt{fck}$.

4.1.4. COMBINAÇÕES

Toda estrutura está sujeita a ações seja externa ou interna, a consideração dessas ações é de grande importância para estrutura, como já se sabe a estrutura deve ser dimensionado para o estado limite de serviço e o estado limite último, para o caso analisado foram as combinações foram tomadas como base o estado limite último, quando a estrutura entra em colapso levando a mesma a ruína da peça. A seguir são mostradas as algumas combinações:

- ELU1- $F_d = \text{Dead}.1,0 + \text{Revestimento}.1,0 + \text{parede}.1,0 + \text{cobertura}.1,0$
- ELU 2- $F_d = \text{Dead}.1,4 + \text{Revestimento}.1,4 + \text{parede}.1,4 + \text{cobertura}.1,4$
- ELU 3- $F_d = \text{PERMANENTE_FAV} + \text{SC}.1,4 + \text{Vx}.0,84$
- ELU 4- $F_d = \text{PERMANENTE_FAV} + \text{Vx}.1,4 + \text{SC}.0,98$

- $ELU\ 5-Fd = PERMANENTE_FAV + SC.1,4 + Vx.0,84$
- $ELU\ 6-Fd = PERMANENTE_FAV + SC.1,4 + Vx.0,98$
- $ELU\ 7-Fd = PERMANENTE_DESF + SC.1,4 + Vx.0,84$
- $ELU8-Fd = PERMANENTE_DESF + Vx.1,4 + SC.0,98$

Onde:

Perm: cargas permanentes;

DESF. Cargas desfavoráveis

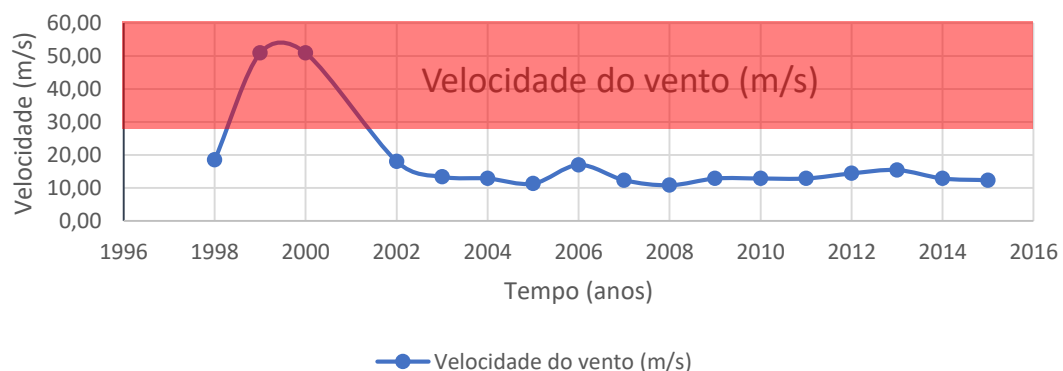
SC: sobrecarga;

Vx e Vy são esforços do vento conforme as coordenadas da planta.

4.2 MÉTODOS PARA A OBTENÇÃO DOS ESFORÇOS DO VENTO

Para que seja necessário modelar uma estrutura mais próxima da realidade, algumas variáveis devem ser levadas em consideração como a velocidade básica do vento da região onde será realizado o estudo, rugosidade do terreno, dimensões da edificação, topografia do terreno e as edificações vizinhas. Obtendo – se toda essa informação é possível realizar a simulação com o auxílio do software Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018. Para que seja possível realizar a análise de forma estática e dinâmica é necessário fazer um levantamento da velocidade média do vento ao longo dos anos, para coleta dessas informações teve como auxílio [ICEA 17], onde foi possível observa que a velocidade do vento ultrapasso 30m/s em dois anos.

Figura 5 - Gráfico da velocidade básica do vento ao longo dos anos



Fonte: Autor próprio.

Tabela 2: Cálculo dos efeitos do vento

MODELO	DESCRIÇÃO DO MODELO	DESCRIÇÃO DO MODELO
Cálculo força de arrasto (Fa)	• Fa: força de arrasto. • Ca: coeficiente de arrasto. • qv: pressão dinâmica do vento. • A: área efetiva	$Fa = Ca \times qv \times A$
Pressão estática do vento (qv)	• V_0 Velocidade básica do vento (em m/s); • S_1 Fator topográfico; • S_2 Fator que combina os efeitos da rugosidade do terreno; • S_3 Fator estatístico:	$q = 0,613 \cdot V_k^2$ $q = 0,613 \cdot (V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3)^2$
Cálculo dinâmico pelo método simplificado	• q (z): função continua da altura z sobre o terreno • V_p: velocidade de projeto • q_0: pressão básica • z: altitude do ponto de interesse • zr: altitude de referência de 10 metros • b e p: rugosidade do terreno • γ: expoente da lei potencial d expressão do modo de vibração • ξ: coeficiente de amplificação dinâmica em função das dimensões da edificação	$V_p = 0,69 \cdot V_0 \cdot S_1 \cdot S_3$ $q(z) = q_0 \cdot b^2 \left[\left(\frac{z}{z_r} \right)^{2p} + \left(\frac{h}{z_r} \right) \cdot \left(\frac{z}{h} \right)^\gamma \right] \cdot \xi$

Cálculo dinâmico pelo método discreto

- q_0 : pressão básica em N/m^2 ;
- A_i - Área de influência correspondente à coordenada i ;
- C_{ai} - coeficiente de arrasto correspondente à coordenada i ;
- Z_i - altura do elemento i sobre o nível do terreno;
- Z_r - altura de referência: $z_r = 10$ m;
- b e p são função da categoria do terreno
- F_h é a força referente a parcela flutuante;
- Ψ_i é a razão entre a massa discreta (m_i) e a massa arbitrária de referência (m_0);
- X_i é o deslocamento correspondente a coordenada i ;
- A_0 é a área arbitrária de referência, que é tomada como o somatório das áreas A_i ;
- N é o número de coordenadas;
- ξ : coeficiente de amplificação dinâmica em função das dimensões da edificação;

$$X_i = X_i + X_i$$

$$X_i = q_0 b^2 C_{ai} A_i \left(\frac{Z_i}{Z_r} \right)^{2p}$$

$$F_h = q_0 b^2 A_0 \left(\frac{\sum_{i=1}^n \beta_i X_i}{\sum_{i=1}^n \Psi_i X_i^2} \right) \xi$$

$$X_i = F_h \Psi_i X_i$$

$$\beta_i = C_{ai} \left(\frac{A_i}{A_0} \right) \left(\frac{Z_i}{Z_r} \right)$$

Fonte: Autor próprio.

4.3 MODELOS ANALISADOS

Será analisado três modelos estruturas, composto pela mesma planta baixa, possuindo como variação de parâmetro apenas a altura da edificação. No primeiro modelo o edifício possui 18 metros, no segundo 33 e no terceiro 48 metros. Em todos a estrutura será analisada no software Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018, os elementos lineares como pilar e viga foram considerados como elemento de barra e a laje como elemento de casca (Shell), simulando o comportamento conjunto do pórtico e lajes. Para este primeiro modelo será realizado a aplicação dos esforços do vento de forma estática conforme a NBR 6123(1988), e posteriormente será realizado a aplicação dos esforços do vento de modo dinâmico pelos métodos simplificados e discreto conforme item 9 da NBR 6123(1988), depois de modelado e lançados as cargas do vento de forma estática e dinâmica será analisado, instabilidade global, coeficiente gama - z, os deslocamentos e por fim os momentos nos pilares.

5.CRONOGRAMA

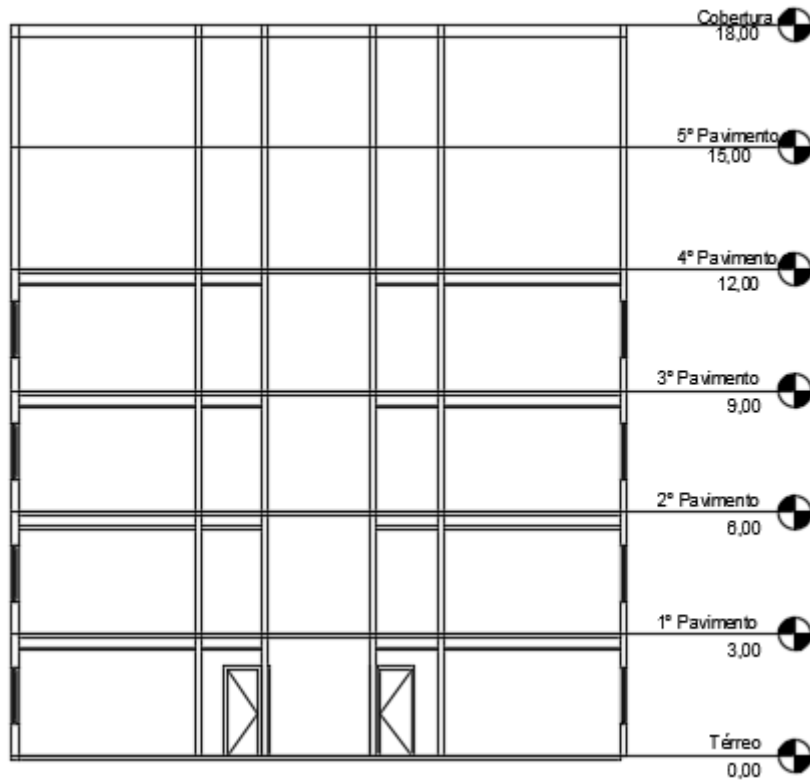
Quadro 5- Cronograma da pesquisa

	2019/1				2019/2				
Atividade	MESES				MESES				
	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Concepção do projeto	β								
Revisão de literatura		β							
Metodologia		β	β	β					
Defesa do projeto				β					
Cadastramento do projeto					β				
Tabulação dos dados						β			
Análise estatística e dinâmica							β		
Dircurso dos dados							β		
Conclusão								β	
Redação final									β

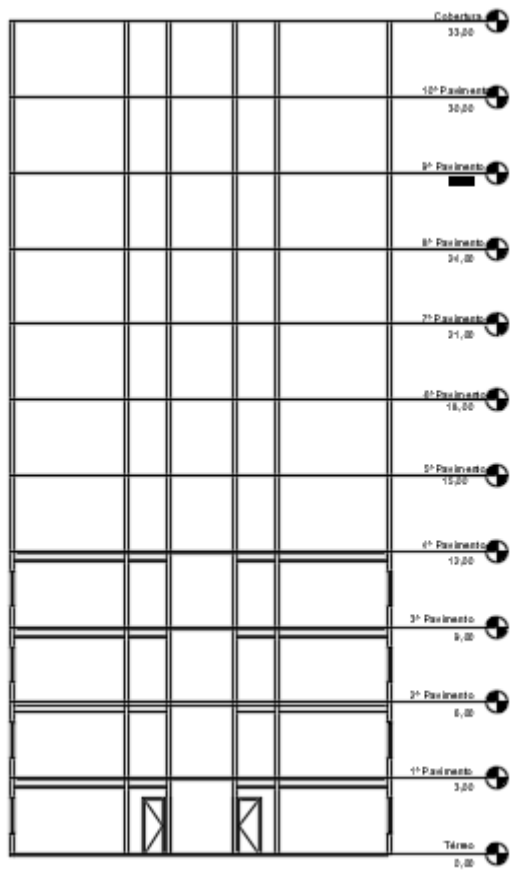
Fonte: Autor próprio.

6. RESULTADOS ESPERADOS

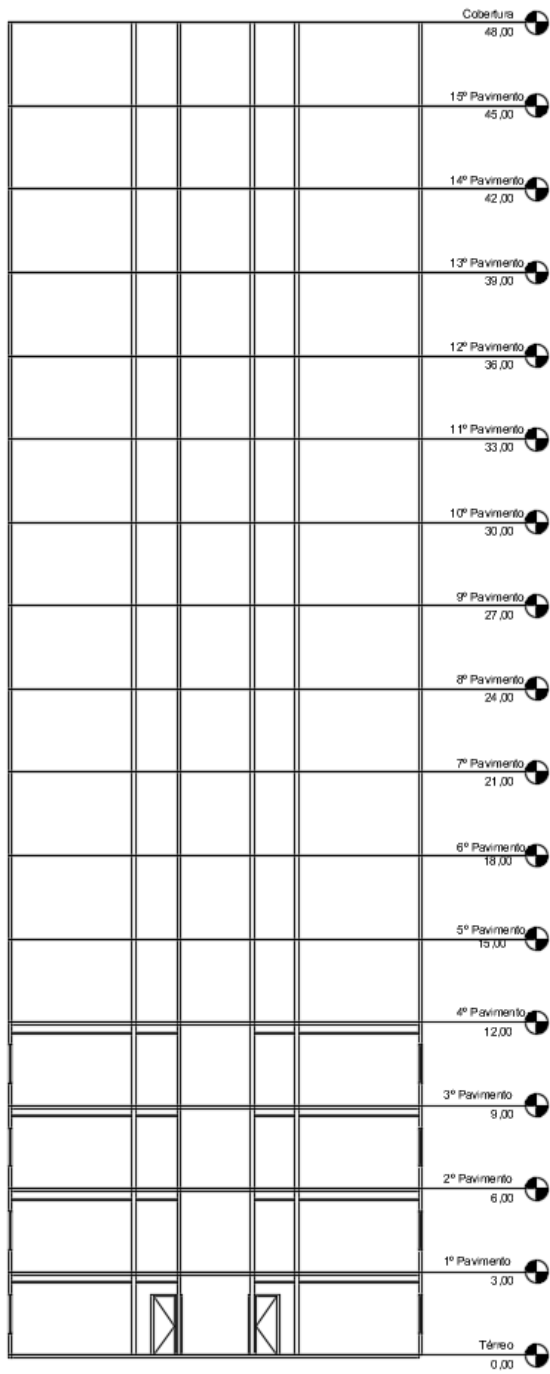
Espera-se por meio dos três modelos estudados, analisando os efeitos do vento de forma estática e dinâmica, comprovar que a carga gerada pelo vento tem influência sobre a estrutura da edificação, pois gera uma redistribuição dos esforços, acarretando a uma consideração de fatores que podem influenciar de forma significativa o desempenho da edificação, principalmente nos últimos pavimentos, onde se tem a maior aplicação de cargas, gerando uma estrutura mais onerosa, entretanto mais segura se comparada ao modelo usual.

ANEXOS**ANEXO A – CORTE ESQUEMÁTICO**

ANEXO B – CORTE ESQUEMÁTICO



ANEXO C – CORTE ESQUEMÁTICO



REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6118: Projeto de Estrutura de Concreto-Procedimento**. 2014. 256f. Rio de Janeiro, 2014. Disponível: https://rotaacessivel.com.br/_files/2000003318d02e8df9a/Projeto%20de%20estruturas%20de%20concreto.pdf
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6123: Forças devidas ao vento em edificações**. 2013. 66f. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível: http://www.professormendoncaenf.com.br/crr_nbr_6123_forcasvento.pdf
- CAMPOÓ, Leandro B.; CORRÊA, Marcio R.S.; RAMALHO, Marcio A. **Efeitos de segunda ordem em edifícios de alvenaria estrutural**. Revista: Minerva-Tecnologia e Pesquisa 2005, volume 2, p.173-213.. Disponível:<[http://fipai.org.br/Minerva%2002\(02\)%2007.pdf](http://fipai.org.br/Minerva%2002(02)%2007.pdf)> Acesso: 31 de agosto de 2017
- CARVALHO, Hermes. **Avaliação dos efeitos de vento em linhas de transmissão**. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia. 2015. Disponível: <http://www.pos.dees.ufmg.br/defesas/691D.PDF>
- CHINEM, Rodolpho Mendonça. **Avaliação da estabilidade global de edifícios**. Monografia - Faculdade de Engenharia. Universidade Federal de Goiás. 2010. Disponível:https://www.eec.ufg.br/up/140/o/AVALIA%C3%87%C3%83O_DA_ESTABILIDADE_GLOBAL_DE_EDIFICIOS.pdf
- FEITOSA, Leo; ALVES, Elcio. **Estudo da estabilidade global de edifícios altos com lajes protendidas**. Revista IBRACON 2015, Volume 8, p. 211. ISSN 1983-4195.. Disponível: <http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/600>
- FRANCO, M.; VASCONCELOS, A.C. **Practical assessment of second order effects in tall buildings**. In: COLOQUIUM ON THE CEB-FIP MC90, Rio de Janeiro. *Proceedings*, p.307-323, 1991. Disponível: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198341952013000100005>
- FREITAS, Felipe Coelho; LUCHI,Lorenzo, Augusto Ruschi.;FERREIRA, Walnório Graça. **Análise da estabilidade global das estruturas e ações de controle dos seus efeitos** . Revista INBRACON 2016, volume 9,p. 192-213.Abril de 2016. ISSN 19834195Disponível:<<http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/695>>
- MARTINS, Yuri Luiz Dias. **Ação dinâmica do vento em edifícios altos**. Monografia - Faculdade de Engenharia. Universidade Federal de Goiás. 2018. Disponível: https://www.eec.ufg.br/up/140/o/A%C3%87%C3%83O_DIN%C3%82MICA_DO_VENTO_EM_EDIF%C3%8DCIOS_ALTOS.pdf
- MONCAYO, Winston Junior Zumaeta. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. 2011. 221f. Dissertação (Mestre em Ciências). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo.

TEIXEIRA, Ana Maria da Costa. **Análise dos efeitos de segunda ordem de estruturas de Edifícios de betão Armado- avaliação da aplicação em Projecto das metodologias preconizadas no EC2.** Tese (Mestrado em engenharia civil) – Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 2008. Disponível: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58940/1/000129467.pdf>

