

**ANÁLISE DA AÇÃO DO VENTO EM UM EDIFÍCIO DE 40
PAVIMENTOS EM CONCRETO ARMADO UTILIZANDO O
SOFTWARE CYPECAD**

**ANÁLISIS DE LA ACCIÓN DEL VIENTO EN UM EDIFICIO DE 40
PISOS EM CONCRETO ARMADO USANDO EL SOFTWARE
CYPECAD**

LUCAS DE OLIVEIRA ZÚÑIGA

Acadêmico de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Goiás
lucas.zuniga7@gmail.com

JOSÉ HENRIQUE DOS SANTOS

Bacharel em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Goiás
j_henrique_santos@hotmail.com

JULIANO RODRIGUES SILVA

Doutor e Docente da UEG – CCET, Anápolis – GO
julianorodriguessilva@gmail.com

ISABELLA FARIA SANTOS

Acadêmica de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Goiás
isa_bellafsanos@hotmail.com

MARIANNE SILVA GUIMARÃES

Acadêmica de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Goiás
mariannesilvag@gmail.com

Resumo: Os projetos de edifícios esbeltos necessitam de maior atenção com relação aos efeitos do vento na estrutura. Para determinação dos esforços horizontais gerados pelo vento, foram utilizadas as recomendações da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações, publicada em Junho, 1988. A influência da ação do vento no quantitativo de aço dos elementos mostrou que, não somente os pilares são responsáveis por resistir aos esforços horizontais, mas também as vigas e lajes resistem a estes esforços, ficando evidente pelo aumento expressivo da taxa de armadura desses elementos quando comparados com o aumento da taxa dos pilares. No modelo de cálculo do tipo grelha executado pelo *software* Cypecad 2012, foi exemplificada a importância da contribuição das lajes no aumento da rigidez da estrutura. O carregamento axial na fundação também sofre grande influência dos efeitos do vento, representando até 24,97% dos esforços totais atuantes na fundação. Porcentagem esta que aumenta à medida que a velocidade básica de projeto é elevada, pois os esforços gerados pelo carregamento permanente e sobrecarga permanecem constantes.

Palavras-chave: Concreto armado. Cypecad. Vento. ABNT NBR 6123.

Resumen: Los proyectos de edificios delgados necesitan de mayor atención con relación a los efectos del viento en la estructura. Para la determinación de los esfuerzos horizontales generados por el viento, fueron utilizadas las recomendaciones de la ABNT NBR 6123 – Fuerzas debidas al viento en edificaciones, publicada en Junio, 1988. La influencia de la acción del viento en la cantidad de acero de los elementos mostró que, no solamente los pilares son responsables por resistir a los esfuerzos horizontales, sino las vigas y losas resisten a estos esfuerzos, evidenciado por el aumento expresivo de la tasa de armadura de estos elementos cuando comparados con el aumento de la tasa de los pilares. En el modelo de cálculo del tipo parrilla ejecutado por el *software* Cypecad 2012, fue ejemplificada la importancia de la contribución de las losas en el aumento de la rigidez de la estructura. La carga axial en la fundación también sufre gran influencia de los efectos del viento, representando

hasta el 24,97% de los esfuerzos totales actuantes en la fundación. Porcentaje esta que aumenta a la medida que la velocidad básica de proyecto es elevada, pues los esfuerzos generados por la carga permanente y sobrecarga permanecen constantes.

Palabras clave: Concreto Armado. Cypecad. Viento. ABNT NBR 6123.

Introdução

Nos últimos anos, Goiânia sofreu uma reviravolta no mercado imobiliário, onde empreendimentos de alto padrão estão cada vez mais presentes, surgindo assim, edificações cada vez mais altas e esbeltas, com arquitetura arrojada. Essa é a realidade de várias outras grandes cidades, onde terrenos bem localizados são cada vez mais raros e mais valorizados.

Essa realidade, aliada a projetos arquitetônicos inovadores, resulta muitas vezes em estruturas excessivamente esbeltas passíveis de desencadear certas instabilidades. Juntamente com essa necessidade de construir edifícios cada vez mais altos, a ação do vento sobre as edificações torna-se um fator importante no dimensionamento das estruturas de concreto armado.

Com o desenvolvimento dos microcomputadores e de *softwares* cada vez mais sofisticados, tornou-se viável a aplicação de procedimentos mais refinados para os cálculos, que consideram a interação entre os vários elementos estruturais. Dessa forma, gradativamente, os modelos de análise estrutural foram se tornando mais realistas. As vigas passaram a ser consideradas em conjunto, formando uma grelha. Em seguida, as lajes passaram a ser analisadas em conjunto com as vigas numa mesma grelha representativa de todo o pavimento.

Em edificações altas, onde a altura é mais relevante do que as suas dimensões horizontais, a força do vento se torna um agente causador de instabilidade, se não houver atenção especial em seus efeitos. Nesse tipo de construção, ações provocadas pelo vento são variáveis de grande importância, pois podem provocar deslocamentos horizontais significativos e, em consequência, momentos fletores excessivos, que podem acarretar a ruína da edificação.

Tais ações serão o modelo de estudo deste trabalho e com o auxílio do *software* CypeCad 2012 estes efeitos no edifício serão analisados e comparados com cinco situações diferentes de velocidade básica do vento, contemplando as ações do vento apresentadas no mapa de isopletras, utilizadas na ABNT NBR 6123 (1988). Com esses dados será verificado se existe a necessidade de aumento da seção dos elementos estruturais, se ocorre aumento da

taxa de armadura e a variação das cargas nas fundações em função das velocidades consideradas.

Desta maneira, as edificações devem ser suficientemente rígidas, não apenas para resistir aos esforços atuantes, mas também para garantir a estabilidade global da estrutura.

Metodologia

- **Arquitetura do edifício a ser analisado**

O edifício em estudo é constituído pelos seguintes pavimentos: subsolo, térreo, mezanino, G1, lazer, 35 pavimentos tipos e cobertura, totalizando 40 pavimentos, possuindo dois apartamentos por pavimento tipo.

A estrutura é de concreto armado, com $F_{ck} = 45$ MPa usinado com controle rigoroso de qualidade, cobrimento de 2 cm para vigas e pilares e de 1,5 cm para laje, fator $A/C \leq 0,6$, aço em barras nervuradas cortadas e/ou dobradas CA-50 e CA-60, sendo essas especificações de projeto comum às cinco velocidades básicas de vento adotadas.

A fachada do edifício pode ser observada na Figura 1 e sua planta baixa é apresentada na Figura 2.



Figura 1 – Fachada do edifício.
Fonte: Autores, 2017

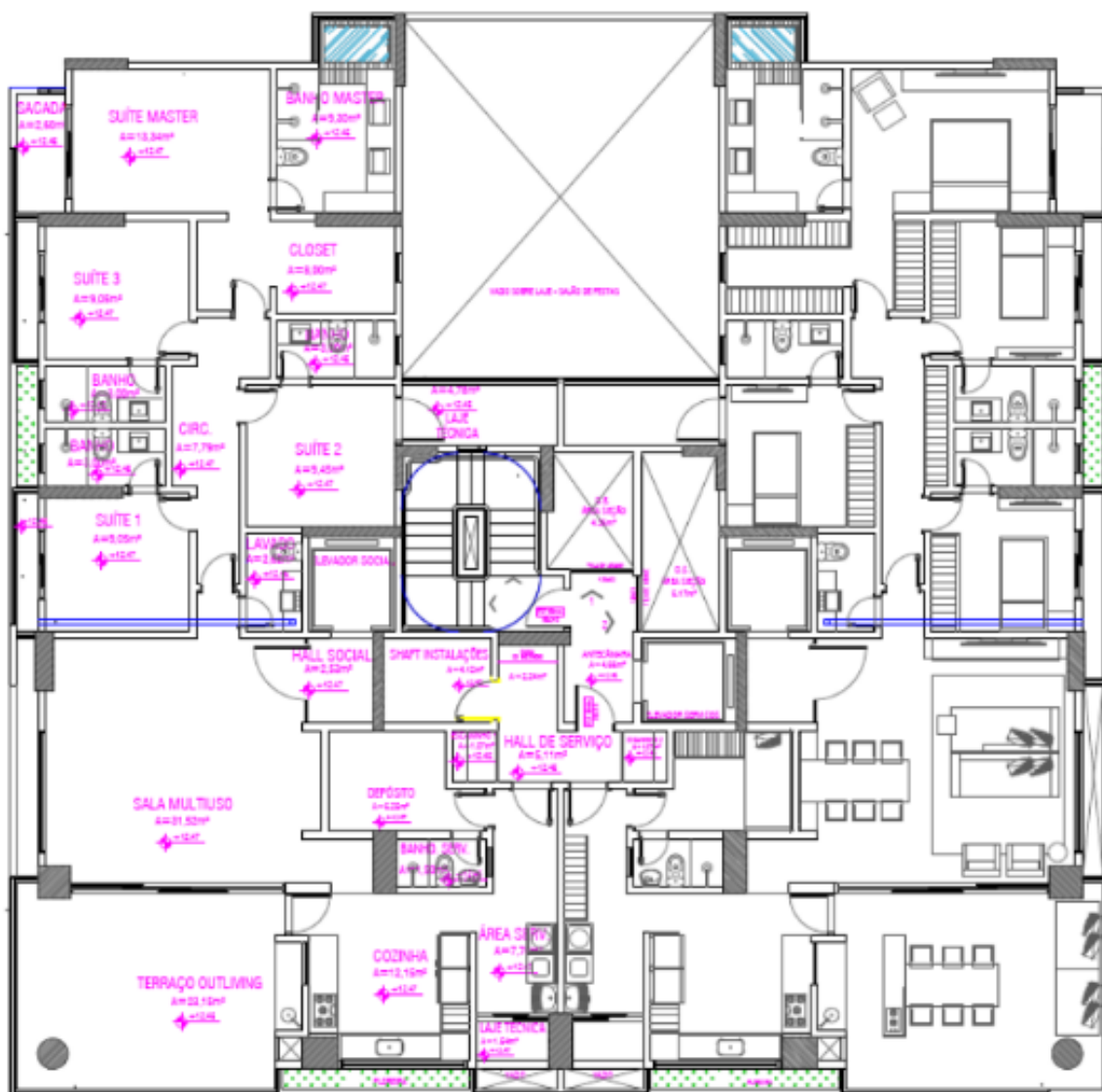


Figura 2 – Planta baixa do edifício.

Fonte: Autores, 2017

- **Dados gerais da estrutura**
- ✓ **Normas consultadas no cálculo**
- **ABNT NBR 6118 (2007) - Projeto de estruturas de concreto**

O projeto estrutural foi elaborado seguindo as recomendações normativas da ABNT NBR 6118 (2007). O meio físico onde o edifício foi construído é de classe de agressividade

ambiental I, mesmo estando em ambiente urbano. A agressividade pode ser considerada mais branda pois, esta será revestida com argamassa e pintura.

Durante a execução, será exigido um controle de qualidade rigoroso com relação a tolerância de variabilidade das medidas, sendo adotados um cobrimento de 2 cm para vigas e pilares e de 1,5 cm para lajes.

▪ **ABNT NBR 6123 (1988) - Forças devidas ao vento em edificações**

Para determinar os esforços gerados pelo vento na estrutura foram utilizadas as especificações da ABNT NBR 6123 (1988). Em projetos comerciais a velocidade básica do vento é determinada utilizando o mapa das isopleias apresentado na Figura 3, de acordo com a região onde o projeto será executado. Porém neste trabalho as velocidades básicas serão adotadas de modo que seja possível analisar o comportamento da estrutura em três velocidades diferentes (30, 40, e 50 m/s) abrangendo as piores situações de vento, representados no mapa das isopleias do Brasil.

Para cálculo das ações do vento segundo a NBR 6123, foram feitas as seguintes considerações:

- Fator topográfico = 1,0;
- Rugosidade do terreno = Categoria V, Classe C;
- Fator probabilístico = 1,0;

As ações verticais atuantes nas lajes, consideradas no projeto são as seguintes:

- q – carga acidental;
- g_1 – carga permanente estrutural (peso próprio da estrutura);
- g_2 – sobrecarga permanente.

Os valores de carga utilizados nas estruturas de edificações são dados pela norma NBR 6120 (ABNT, 1980), item 2.2.1.2, que recomenda que as cargas acidentais nas lajes residenciais devem ser admitidas, salvo casos especiais, uniformemente distribuídas em toda a área, com os valores mínimos recomendados para cada local da edificação. Os carregamentos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Sobrecarga e carga permanente por pavimento

Piso	Sobrecarga (kN/m ²)	C. permanentes (kN/m ²)
COBERTURA ao PISO 1	2.0	0.5
LAZER	2.5	0.5
G1	2.0	0.5
MEZANINO	2.0	0.5
TÉRREO	2.0	0.5
Subsolo	0.5	0.5

Fonte: Autores, 2017

Além dos carregamentos verticais aplicados nas lajes, mostrados na Tabela 1, nas vigas e lajes foram usados carregamentos variados, conforme espessura e altura das paredes, feitas com bloco cerâmico vazado com 13 kN/m³ de peso específico. O cálculo da carga permanente da estrutura foi realizado pelo *software*, em que a vista do pavimento introduzido no programa está apresentado na Figura 3.

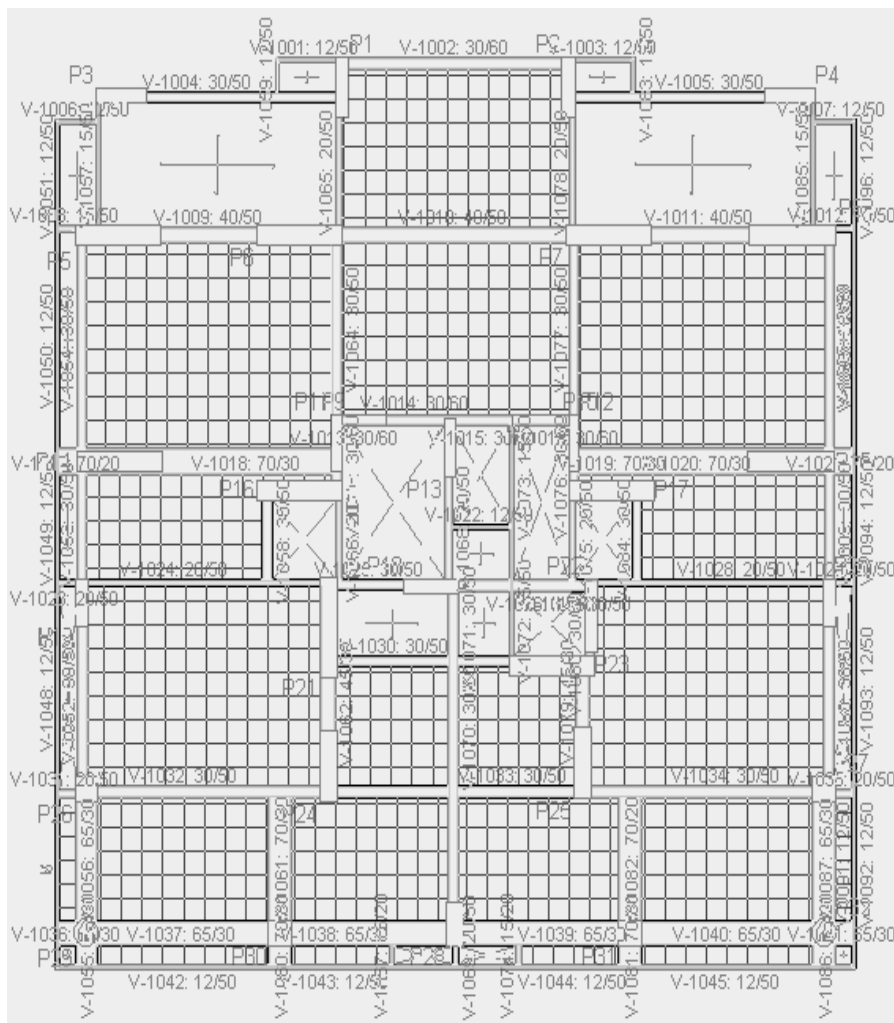


Figura 3 – Laje lançada para cálculo. Fonte: Própria
 Fonte: Autores, 2017

Resultados do cálculo do edifício modelo em estudo

Os carregamentos horizontais gerados pelas diferentes velocidades básicas de vento consideradas na estrutura encontram-se nas Tabelas 2 a 4 abaixo.

Tabela 2 – Cargas horizontais do vento a 30 m/s

Velocidade básica 30 m/s				
Cargas de vento				
Planta	Vento +X (kN)	Vento -X (kN)	Vento +Y (kN)	Vento -Y (kN)
COBERTURA	20.413	-20.413	20.546	-20.546
35	40.469	-40.469	40.732	-40.732
34	40.106	-40.106	40.367	-40.367
33	39.737	-39.737	39.995	-39.995
32	39.361	-39.361	39.617	-39.617
31	38.979	-38.979	39.232	-39.232
30	38.589	-38.589	38.840	-38.840
29	38.192	-38.192	38.440	-38.440
28	37.787	-37.787	38.033	-38.033
27	37.374	-37.374	37.617	-37.617
26	36.952	-36.952	37.193	-37.193
25	36.522	-36.522	36.759	-36.759
24	36.081	-36.081	36.316	-36.316
23	35.630	-35.630	35.862	-35.862
22	35.169	-35.169	35.398	-35.398
21	34.696	-34.696	34.921	-34.921
20	34.210	-34.210	34.433	-34.433
19	33.712	-33.712	33.931	-33.931
18	33.199	-33.199	33.415	-33.415
17	32.672	-32.672	32.884	-32.884
16	32.128	-32.128	32.336	-32.336
15	31.566	-31.566	31.771	-31.771
14	30.985	-30.985	31.186	-31.186
13	30.383	-30.383	30.581	-30.581
12	29.758	-29.758	29.952	-29.952
11	29.108	-29.108	29.297	-29.297
10	28.430	-28.430	28.614	-28.614
9	27.720	-27.720	27.900	-27.900
8	26.974	-26.974	27.150	-27.150
7	26.189	-26.189	26.359	-26.359
6	25.357	-25.357	25.521	-25.521
5	24.470	-24.470	24.629	-24.629
4	23.520	-23.520	23.673	-23.673
3	22.493	-22.493	22.639	-22.639
2	21.370	-21.370	21.509	-21.509
1	20.125	-20.125	20.256	-20.256
LAZER	19.304	-19.304	19.429	-19.429
G1	18.030	-18.030	18.148	-18.148
MEZANINO	15.726	-15.726	15.828	-15.828
TÉRREO	12.893	-12.893	12.977	-12.977

Fonte: Autores, 2017

Tabela 3 – Cargas horizontais do vento a 40 m/s

Velocidade básica 40m/s				
Cargas de vento				
Planta	Vento +X (kN)	Vento -X (kN)	Vento +Y (kN)	Vento -Y (kN)
COBERTURA	36.290	-36.290	36.526	-36.526
35	71.945	-71.945	72.412	-72.412
34	71.299	-71.299	71.763	-71.763
33	70.643	-70.643	71.102	-71.102
32	69.975	-69.975	70.430	-70.430
31	69.295	-69.295	69.746	-69.746
30	68.603	-68.603	69.049	-69.049
29	67.897	-67.897	68.338	-68.338
28	67.177	-67.177	67.614	-67.614
27	66.443	-66.443	66.875	-66.875
26	65.693	-65.693	66.120	-66.120
25	64.927	-64.927	65.349	-65.349
24	64.144	-64.144	64.561	-64.561
23	63.343	-63.343	63.755	-63.755
22	62.522	-62.522	62.929	-62.929
21	61.681	-61.681	62.082	-62.082
20	60.819	-60.819	61.214	-61.214
19	59.932	-59.932	60.322	-60.322
18	59.021	-59.021	59.405	-59.405
17	58.083	-58.083	58.461	-58.461
16	57.116	-57.116	57.487	-57.487
15	56.117	-56.117	56.482	-56.482
14	55.084	-55.084	55.442	-55.442
13	54.014	-54.014	54.366	-54.366
12	52.903	-52.903	53.247	-53.247
11	51.747	-51.747	52.084	-52.084
10	50.541	-50.541	50.870	-50.870
9	49.279	-49.279	49.600	-49.600
8	47.954	-47.954	48.266	-48.266
7	46.558	-46.558	46.860	-46.860
6	45.078	-45.078	45.371	-45.371
5	43.503	-43.503	43.786	-43.786
4	41.814	-41.814	42.086	-42.086
3	39.987	-39.987	40.247	-40.247
2	37.991	-37.991	38.238	-38.238

1	35.779	-35.779	36.011	-36.011
LAZER	34.318	-34.318	34.541	-34.541
G1	32.054	-32.054	32.262	-32.262
MEZANINO	27.957	-27.957	28.138	-28.138
TÉRREO	22.920	-22.920	23.069	-23.069

Fonte: Autores, 2017

Tabela 4 – Cargas horizontais do vento a 50 m/s

Velocidade básica 50m/s				
Cargas de vento				
Planta	Vento +X (kN)	Vento -X (kN)	Vento +Y (kN)	Vento -Y (kN)
COBERTURA	56.703	-56.703	57.071	-57.071
35	112.414	-112.414	113.144	-113.144
34	111.405	-111.405	112.130	-112.130
33	110.380	-110.380	111.097	-111.097
32	109.336	-109.336	110.047	-110.047
31	108.274	-108.274	108.978	-108.978
30	107.192	-107.192	107.889	-107.889
29	106.089	-106.089	106.779	-106.779
28	104.964	-104.964	105.647	-105.647
27	103.817	-103.817	104.492	-104.492
26	102.646	-102.646	103.313	-103.313
25	101.449	-101.449	102.108	-102.108
24	100.225	-100.225	100.877	-100.877
23	98.973	-98.973	99.617	-99.617
22	97.691	-97.691	98.326	-98.326
21	96.377	-96.377	97.004	-97.004
20	95.029	-95.029	95.647	-95.647
19	93.644	-93.644	94.253	-94.253
18	92.220	-92.220	92.820	-92.820
17	90.755	-90.755	91.345	-91.345
16	89.243	-89.243	89.824	-89.824
15	87.683	-87.683	88.253	-88.253
14	86.069	-86.069	86.629	-86.629
13	84.397	-84.397	84.946	-84.946
12	82.662	-82.662	83.199	-83.199
11	80.855	-80.855	81.381	-81.381
10	78.971	-78.971	79.484	-79.484
9	76.999	-76.999	77.500	-77.500

8	74.929	-74.929	75.416	-75.416
7	72.746	-72.746	73.219	-73.219
6	70.435	-70.435	70.893	-70.893
5	67.973	-67.973	68.415	-68.415
4	65.334	-65.334	65.759	-65.759
3	62.480	-62.480	62.886	-62.886
2	59.361	-59.361	59.747	-59.747
1	55.904	-55.904	56.268	-56.268
LAZER	53.621	-53.621	53.970	-53.970
G1	50.084	-50.084	50.410	-50.410
MEZANINO	43.682	-43.682	43.966	-43.966
TÉRREO	35.813	-35.813	36.046	-36.046

Fonte: Autores, 2017

A Tabela 5 mostra os valores resultantes das ações para dimensionamento da fundação, gerados pela carga permanente e sobrecarga, que são iguais mesmo adotando, no cálculo da estrutura, diferentes velocidades de vento.

Tabela 5 – Esforços na fundação gerados pela carga permanente e sobrecarga

Esforços em elementos de Fundação		
Pilar	Carga Permanente (KN)	Sobrecarga (KN)
P1	5012.6	935.4
P2	5009.6	934.2
P3	4277.7	671.8
P4	4246.4	666.0
P5	9517.0	1740.1
P6	9998.6	2011.2
P7	9989.7	2012.3
P8	9430.6	1721.0
P9	2136.5	362.1
P10	2781.2	471.5
P11	2873.9	493.7
P12	2843.4	485.3
P13	2836.7	484.0
P14	10107	1908.1
P15	9920.4	1865.3
P16	8253.1	1401.0
P17	8126.7	1369.7
P18	4371.7	767.4
P19	4355.0	901.9
P20	4276.0	884.0
P21	9332.0	1734.2
P22	5298.7	945.6
P23	9027.5	1611.9
P24	8181.2	1630.4
P25	7813.4	1529.3
P26	5164.1	1099.2
P27	5095.9	1088.1
P28	6111.7	1182.6

P29	4269.1	854.0
P30	5145.5	1035.4
P31	5050.6	1018.1
P32	4219.4	846.3

Fonte: Autores, 2017

- **Esforços e quantitativos da estrutura para a velocidade básica de 30 m/s**

A tabela 6 apresenta um resumo dos quantitativos totais de materiais da obra a uma velocidade de 30m/s.

Tabela 6 – Total de materiais da obra com velocidade de vento a 30 m/s

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes maciças	4061,64	462,71	28106
Nervuradas	11060,22	1016,99	75554
Vigas: fundo	3115,91	1758,69	140882
Forma lateral	7245,7		
Pilares (Sup. Formas)	12804,2	2296,77	203745
Total	38287,67	5535,16	448287

Fonte: Autores, 2017

A tabela 7 apresenta os índices de consumo de concreto em m³/m² e consumo de aço em Kg/m³ da obra com $V_0 = 30\text{m/s}$:

Tabela 7 – Índice de consumo da obra com velocidade de vento a 30 m/s

Elemento	m ³ /m ²	Kg/m ³
Lajes Maciças	0,11	60,74
Lajes Nervuradas	0,09	74,29
Vigas	0,17	80,11
Pilares	0,18	88,71
Total	0,14	80,99

Fonte: Autores, 2017

- **Esforços e quantitativos da estrutura para a velocidade básica de 40 m/s**

A tabela 8 apresenta um resumo dos quantitativos totais de materiais da obra a uma velocidade de 40 m/s.

Tabela 8 – Total de materiais da obra com velocidade de vento a 40 m/s

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes maciças	4061,64	462,71	29951
Nervuradas	11060,22	1016,99	91846
Vigas: fundo	3115,91	1759,04	162972
Forma lateral	7245,7		
Pilares (Sup. Formas)	12804,2	2296,77	206276
Total	38287,67	5535,51	491045

Fonte: Autores, 2017

A tabela 9 apresenta os índices de consumo de concreto em m³/m² e consumo de aço em Kg/m³ da obra com $V_0 = 40\text{m/s}$

Tabela 9 – Índice de consumo da obra com velocidade de vento a 40 m/s

Elemento	m ³ /m ²	Kg/m ³
Lajes Maciças	0,11	64,73
Lajes Nervuradas	0,09	90,31
Vigas	0,17	92,65
Pilares	0,18	89,81
Total	0,14	88,71

Fonte: Autores, 2017

- **Esforços e quantitativos da estrutura para a velocidade básica de 50 m/s**

A tabela 10 apresenta um resumo dos quantitativos totais de materiais da obra a uma velocidade de 50 m/s.

Tabela 10 – Total de materiais da obra com velocidade de vento a 50 m/s

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Lajes maciças	4059,97	462,53	33031
Nervuradas	11060,22	1016,99	116377
Vigas: fundo	3117,67	1763,66	202139
Forma lateral	7253,48		
Pilares (Sup. Formas)	12793,7	2294,93	210337
Total	38285,04	5538,11	561884

Fonte: Autores, 2017

A tabela 11 apresenta os índices de consumo de concreto em m³/m² e consumo de aço em Kg/m³ da obra com $V_0 = 50\text{m/s}$.

Tabela 11 – Índice de consumo da obra com velocidade de vento a 50 m/s

Elemento	m ³ /m ²	Kg/m ³
Lajes Maciças	0,11	71,41
Lajes Nervuradas	0,09	114,43
Vigas	0,17	114,61
Pilares	0,18	91,65
Total	0,14	101,46

Fonte: Autores, 2017

As Figuras 4 e 5 a seguir mostram a deformação da estrutura sob o efeito das combinações de carregamento consideradas no cálculo estrutural, estando em azul as áreas que sofrem menor deslocamento, e em vermelho as regiões onde o deslocamento é mais acentuado.

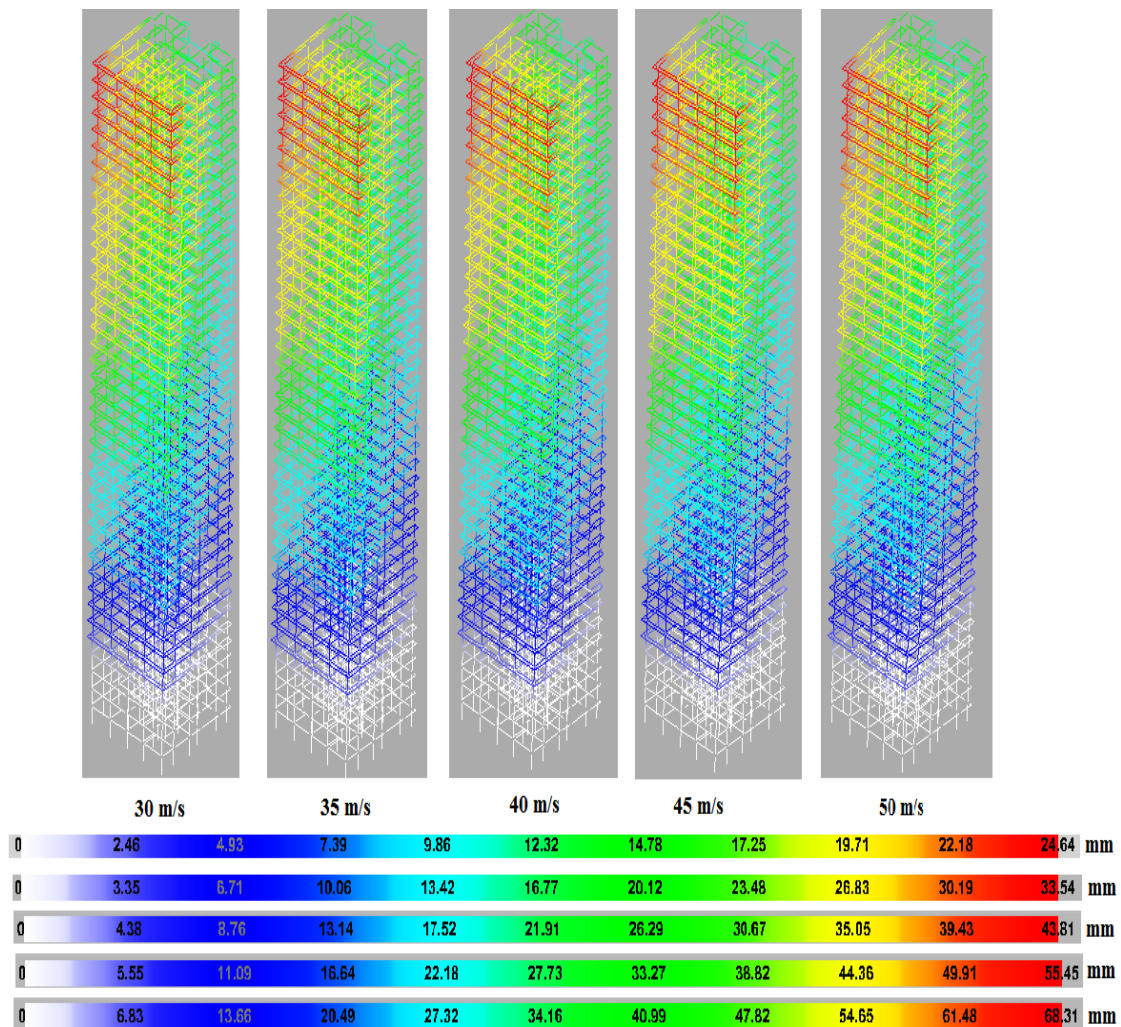


Figura 4 – Deformação da estrutura devido a ação do vento.

Fonte: Autores, 2017

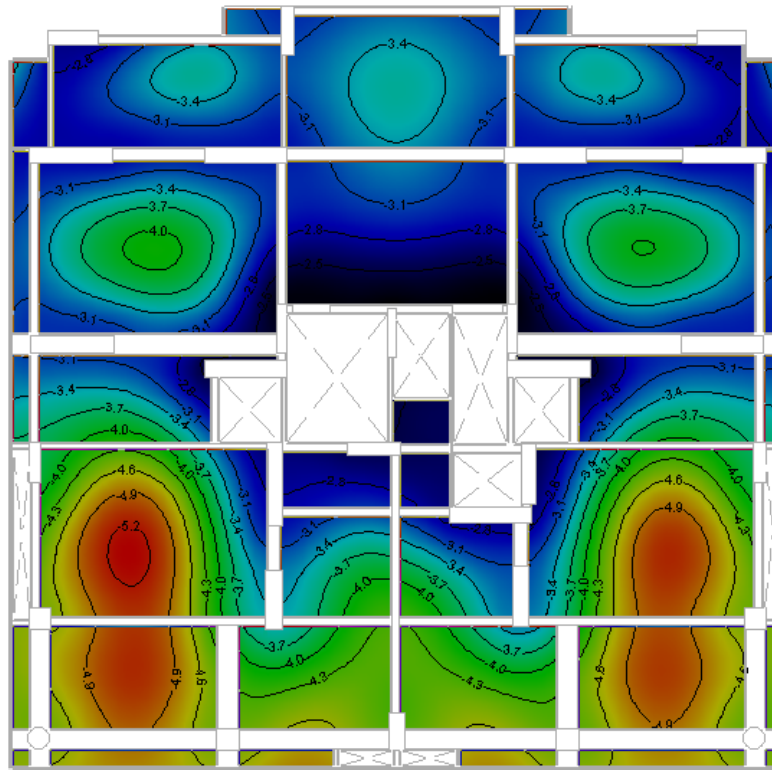


Figura 5 – Deformações das lajes do pavimento tipo, para $V_0 = 30\text{m/s}$.
Fonte: Autores, 2017

Análise dos resultados de cálculo do edifício modelo em estudo

Durante o processo de lançamento da estrutura para dimensionamento no *software*, a configuração inicial planejada para a subestrutura de contraventamento não foi possível por limitação do programa utilizado. A ideia inicial era elaborar um núcleo de rigidez, constituído por pilares parede no centro da estrutura abrangendo a escada, dutos de ventilação e poços de elevador, associado a um pórtico de contraventamento trazido para a face da estrutura, onde estariam concentrados os elementos de maior rigidez.

No entanto, como não é possível utilizar pilares parede no núcleo de rigidez, a solução utilizada foi lançar a estrutura aumentando a seção transversal dos pilares e vigas (inclusive elementos que compõem a subestrutura contraventada), o que garantiu a estabilidade global necessária, para resistir às ações do vento.

A tabela 12 mostra um comparativo entre as taxas de aço obtidas no cálculo com as velocidades básicas de vento adotadas.

Tabela 12 – Comparativo entre taxas de aço

Elemento	Taxa de aço em Kg/m ³		
	Velocidade básica em m/s		
	30	40	50
Lajes Maciças	60,74	64,73	71,41
Lajes Nervuradas	74,29	90,31	114,43
Vigas	80,11	92,65	114,61
Pilares	88,71	89,81	91,65

Fonte: Autores, 2017

A Figura 6 exibe um gráfico que ilustra os dados da Tabela 12.

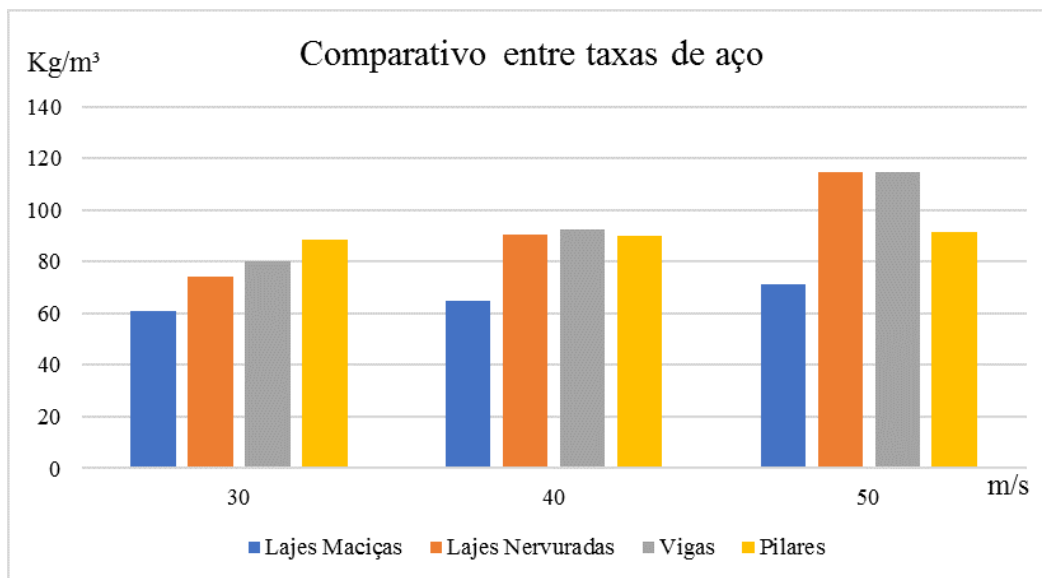


Figura 6 – Gráfico com valores de taxas de aço obtidas.

Fonte: Autores, 2017

O aumento da velocidade básica do vento gerou um acréscimo no carregamento horizontal suportado pela estrutura, como esperado, elevando a taxa de aço dos elementos. Na Figura 6 é possível observar um aumento maior na taxa de aço das lajes nervuradas e das vigas, reforçando que o modelo de cálculo do tipo grelha é o que mais se aproxima da situação real, ilustrando o comportamento real da estrutura, quando solicitada aos esforços de vento (horizontais) e ações gravitacionais. A contribuição das lajes e das vigas para resistir aos carregamentos gerados pelo vento se mostrou evidente, pois com o aumento da taxa de aço, a estrutura não sofreu aumento na seção transversal em seus elementos.

A Figura 7, mostra o aumento do carregamento horizontal provocado pelo vento na estrutura. O acréscimo das ações horizontais é linear, representando um valor médio de 58,36% em relação aos esforços anteriores.

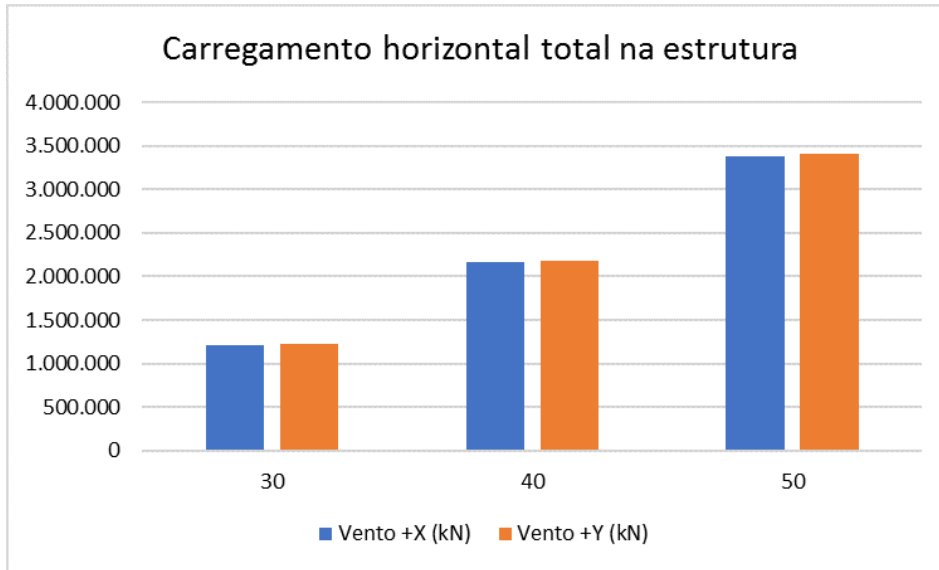


Figura 7 – 1 Resumo das cargas de vento na estrutura. **Fonte:** Autores, 2017

As Tabelas 13 e 14 mostram um resumo dos esforços gerados na fundação.

Tabela 13 - Resumo dos momentos para dimensionamento da fundação

Hipóteses	30		40		50	
	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mx (kN·m)	My (kN·m)
Permanente	206,60	300,40	206,60	300,40	212,40	278,90
Sobrecarga	80,80	85,40	80,80	85,40	86,20	79,70
Vento +X	7148,70	758,00	12708,90	1348,10	19510,10	2084,00
Vento +Y	282,30	4614,30	501,50	8203,00	717,80	12480,20

Fonte: Autores, 2017

Tabela 14 - Carregamento axial na fundação

Hipóteses	30	40	50
	(kN)	(kN)	(kN)
Permanente	195072,9	195072,9	195114,9
Sobrecarga	36661,1	36661,1	36661,5
Vento +X	12617,5	22431,1	35033,6
Vento +Y	15079,7	26809	42097,8

Fonte: Autores, 2017

A Figura 8 ilustra os dados da Tabela 14.

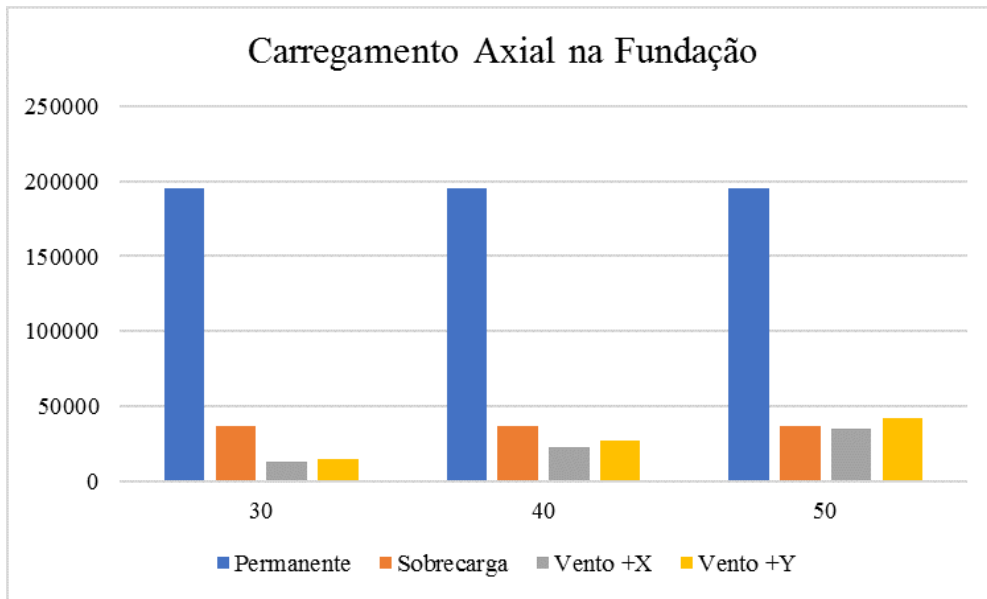


Figura 8 – Comparação entre carregamentos axiais nas fundações.

Fonte: Autores, 2017

O gráfico da Figura 8 mostra que os carregamentos horizontais gerados pelo vento causam um acréscimo nos esforços axiais nas fundações. Com o aumento da velocidade básica do vento esse acréscimo aumenta. Com esta velocidade a 50m/s, por exemplo, os esforços axiais gerados pelo vento na fundação representam 24,97% dos esforços totais.

A Tabela 15 relaciona o custo dos principais materiais utilizados na construção da estrutura, sendo possível estimar o aumento do custo proporcional ao aumento da velocidade do vento.

Tabela 15 - Custo estimado da estrutura

Velocidade Básica do Vento (m/s)	Quantidade Aço (Kg)		Formas (m²) Compensado Plastificado 1,22m x 2,44m x 18mm	Concreto Bombeado (m³) Fck = 45 MPa Brita 01	EPS (m²) EPS h=16 Cm	Preço Total (R\$)
	CA-50	CA-60				
30	420181,00	28106,00	38287,67	5535,16	9837,75	6.149.320,30
40	461094,00	29951,00	38287,67	5535,51	9837,75	6.259.699,02
50	528853,00	33031,00	38285,04	5538,11	9837,75	6.443.117,78

Fonte: Autores, 2017

Conclusões

A análise da ação do vento no edifício em estudo está de acordo com as prescrições das normas técnicas ABNT NBR 6118 (2007) e NBR 6123 (1988), que foram utilizadas como referência durante o processo de cálculo.

O arranjo da estrutura de contraventamento foi desenvolvido de forma a contribuir com o aumento da rigidez, resistindo à ação do vento. O *software* possui algumas limitações que foram contornadas aumentando a inércia dos elementos. A impossibilidade da utilização de pilares paredes no núcleo de rigidez da estrutura foi compensada aumentando as dimensões dos demais pilares da estrutura contraventada, que resultou em um sistema estrutural de nós fixo com $\gamma_z \leq 1,1$.

A influência da ação do vento no quantitativo de aço, das vigas e lajes nervuradas em especial sofreu maior acréscimo com o aumento da velocidade do vento. O modelo de cálculo desenvolvido pelo *software*, calculando a estrutura como um todo e simulando simultaneamente as ações gravitacionais e horizontais, mostrou que as lajes e as vigas contribuem na resistência às solicitações geradas pelo vento, o que pode ser comprovado pelo aumento superior em comparação com os outros elementos estruturais. O volume de concreto permaneceu constante pois não houve alteração nas seções transversais dos elementos.

Por meio de gráficos e planilhas baseado nos resultados de cálculo fornecidos pelo *software* para os efeitos da ação do vento no edifício em três situações de velocidade (a 30 m/s, 40 m/s e 50 m/s), verificou-se que o carregamento do vento gera também esforços axiais na fundação, além dos momentos nas direções X e Y.

Aumentando o percentual de contribuição proporcional ou aumentando a velocidade do vento, como constatado no modelo estudado, esse acréscimo chegou a 24,97% do total do carregamento axial com a velocidade básica do vento a 50m/s, levando em consideração que esse acréscimo partiu de 10,68% com 30m/s. Isso significa que a velocidade do vento aumentou 66,66% e a contribuição do carregamento axial na fundação mais que dobrou. Com relação à taxa de aço, a porcentagem de aumento da velocidade de partida até a maior velocidade considerada no projeto foi de 3,31%.

Referências

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto**, NBR 6118, Rio de Janeiro, 2007.

CYPE INGINIEROS S. A. **Cype – Software para Engenharia e Construção**. Disponível em: <<http://www.cype.pt/>>. Acesso em: 05 nov. 2012.