

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC

***Importância dos Efeitos de Vizinhança na
Resposta Dinâmica de um Edifício
à Ação do Vento***

Augusto César Dias Fontes

**Dissertação para obtenção do título de
Mestre em Engenharia**

**Porto Alegre
Fevereiro de 2003**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC

***Importância dos Efeitos de Vizinhança na
Resposta Dinâmica de um Edifício
à Ação do Vento***

Augusto César Dias Fontes

Dissertação apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de ***Mestre em Engenharia.***

**Porto Alegre
Fevereiro de 2003**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de *Mestre em Engenharia* e aprovada em sua forma final pelos Orientadores e pela banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Prof. Acir Mércio Loredou-Souza
Ph.D., University of Western Ontario, Canadá
Orientador da dissertação

Prof. Marcelo Maia Rocha
Dr. techn., Universität Innsbruck, Áustria
Orientador da dissertação

Prof. Francisco de Paula Simões Lopes Gastal
Coordenador do PPGEC / UFRGS

Banca Examinadora:

- *Prof. Francisco P. S. L. Gastal*
PhD., North Carolina State University, USA, 1986

- *Prof. Mário José Paluch*
D.Sc., UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

- *Prof. Ronald José Ellwanger*
D.Sc., UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

A minha família
Sempre presente em minha vida.
Por seu amor, apoio e compreensão.
Dedico este trabalho.

Agradecimentos

Aos meus orientadores e amigos, Prof. Acir Mércio Loredo-Souza e Prof. Marcelo Maia Rocha, agradeço pela dedicação, apoio e estímulo durante minha formação e realização deste trabalho. Um agradecimento especial ao Prof. Acir por, junto com Daniella minha esposa, sempre ter acreditado.

Ao companheiro Paulo Francisco Bueno pelo apoio e estímulo em todos os momentos no túnel de vento. Ao amigo Wilson Reis, pelo apoio para digitalização de algumas figuras.

Aos meus amigos e colegas Rodrigo Matos e Igor Araújo que conviveram comigo e me deram todo o apoio e incentivo, principalmente na fase final, para que eu pudesse me dedicar integralmente a este trabalho.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pelo conhecimento transmitido, do PPGEC. A Universidade Estadual de Feira de Santana por ter criado as condições de realização deste mestrado e a Universidade Federal da Bahia pela minha liberação das minhas atividades de docente para que eu pudesse realizar este curso.

A CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

Aos meus Pais, principalmente Aldely Rocha minha mãe, pelo apoio incondicional e incentivo, durante todo este período.

E um agradecimento especial a quem eu dediquei e dedicarei sempre, não só esta dissertação como todos os feitos de minha vida, minha esposa Daniella, que pacientemente e com muito amor suportou a minha ausência, as dificuldades e principalmente, junto comigo, sonhou com a realização de mais esta etapa da minha vida.

Sumário

Lista de Tabelas	vii
Lista de Gráficos	xiii
Lista de Figuras	xvii
Lista de Símbolos	xix
Resumo	xxiv
Abstract	xxv
1 Introdução	1
1.1 Condições Gerais	1
1.2 Efeitos do vento em edifícios	2
1.2.1 Ação do vento no sentido horizontal	2
1.2.2 Desprendimento de vórtices	3
1.2.3 Momento torçor	4
1.2.4 Conforto dos usuários	4
1.2.5 Deflexão do vento na direção vertical	4
1.2.6 Efeito Venturi	5
1.2.7 Turbulência da esteira	5
1.2.8 Pressões sobre as fachadas	5
1.3 Revisão bibliográfica	6
1.4 Objetivos do trabalho	7
2 Metodologias Estudadas	8
2.1 Resposta na direção do escoamento	8
2.1.1 Análise estática	10
2.1.2 Análise dinâmica	14
2.1.2.1 NBR - 6123	15
2.1.2.2 NBCC	21
2.2 Torção	26

2.3 Apresentação do caso	30
3 Ensaio no túnel de vento	34
3.1 Túnel de Vento	34
3.2 Simulação do vento natural	36
3.3 Ensaio estático	38
3.3.1 Determinação experimental das pressões médias	38
3.3.2 Modelos estáticos	38
3.3.3 Procedimentos de ensaios	40
3.3.4 Equipamentos utilizados	44
3.3.5 Cálculo dos coeficientes aerodinâmicos	46
4 Análise da resposta de um edifício flexível	47
4.1 Modelo em elementos finitos	47
4.2 Determinação das características dinâmicas	49
4.3 Determinação das respostas	51
4.3.1 Usando a NBR análise estática	52
4.3.2 Usando a NBR análise dinâmica	56
4.3.3 Usando a NBC	65
4.3.4 Determinação das excentricidades de torção	73
5 Análise dos resultados	75
5.1 Resultados comparativos	75
5.2 Análise dos resultados - resposta na direção do escoamento	89
5.3 Análise dos resultados - torção	124
6 Conclusões	129
7 Referências bibliográficas	131
ANEXO - I	134

Lista de Tabelas

Tabela 4.1	- coordenadas dos modos de vibração para o primeiro e segundo modos	51
Tabela 4.2	- Frequências naturais, primeiro, segundo e terceiro modos de vibração	52
Tabela 4.3	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força C_f – modelo sem vizinhança $p=0,11$	54
Tabela 4.4	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo sem vizinhança $p=0,34$	54
Tabela 4.5	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 1B $p=0,34$	54
Tabela 4.6	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 1A $p=0,34$	55
Tabela 4.7	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 2A $p=0,34$	55
Tabela 4.8	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 3A $p=0,34$	55
Tabela 4.9	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança real	56
Tabela 4.10	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força C_f – modelo sem vizinhança $p=0,11$	59
Tabela 4.11	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo sem vizinhança $p=0,34$	60
Tabela 4.12	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 1B $p=0,34$	61
Tabela 4.13	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 1A $p=0,34$	62
Tabela 4.14	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 2A $p=0,34$	62
Tabela 4.15	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 3A $p=0,34$	63
Tabela 4.16	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança real	64

Tabela 4.17 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo sem vizinhança $p=0,11$	67
Tabela 4.18 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo sem vizinhança $p=0,34$	68
Tabela 4.19 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 1B $p=0,34$	69
Tabela 4.20 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 1A $p=0,34$	69
Tabela 4.21 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 2A $p=0,34$	70
Tabela 4.22 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança 3A $p=0,34$	71
Tabela 4.23 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f – modelo com vizinhança real	72
Tabela 4.24 - Determinação excentricidades relativas ao longo do eixo “y”, para modelos sem vizinhança (e_a/a)	73
Tabela 4.25 - Determinação excentricidades relativas ao longo do eixo “y”, para modelos com vizinhança (e_a/a)	73
Tabela 4.26 - Determinação excentricidades relativas ao longo do eixo “x”, para modelos com vizinhança (e_b/b)	74
Tabela 4.27 - Determinação excentricidades relativas ao longo do eixo “x”, para modelos com vizinhança (e_b/b)	74
Tabela 5.1 - Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR - padrão	76
Tabela 5.2 - Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo s/ viz. $p=0,11$	96
Tabela 5.3 - Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo s/ viz. $p=0,34$	77
Tabela 5.4 - Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo c/ viz. 1B $p=0,34$	77
Tabela 5.5 - Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo c/ viz. 1A $p=0,34$	77
Tabela 5.6 - Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo c/ viz. 2B $p=0,34$	78
Tabela 5.7 - Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo c/ viz. 3A $p=0,34$	78
Tabela 5.8 - Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo c/ viz. local $p=0,34$	79
Tabela 5.9 - Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) - padrão	80
Tabela 5.10 - Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo s/ viz. $p=0,11$	80

Tabela 5.11	- Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo s/ viz. $p=0,34$	81
Tabela 5.12	- Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo c/ viz. 1B $p=0,34$	81
Tabela 5.13	- Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo c/ viz. 1A $p=0,34$	81
Tabela 5.14	- Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo c/ viz. 2B $p=0,34$	82
Tabela 5.15	- Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo c/ viz. 3A $p=0,34$	82
Tabela 5.16	- Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo c/ viz. 3A $p=0,34$	83
Tabela 5.17	- Resultados comparativos entre a NBR padrão e a NBR com os coeficientes obtidos em TV, para os ensaios específicos deste estudo	84
Tabela 5.18	- Resultados comparativos entre a NBR padrão e a NBR com os coeficientes obtidos em TV simulando a vizinhança local	85
Tabela 5.19	- Resultados comparativos entre a NBR padrão e a NBR com os coeficientes obtidos em TV, para os ensaios específicos para este estudo	86
Tabela 5.20	- Resultados comparativos entre a NBR padrão e a NBR com os coeficientes obtidos em TV, para os ensaios específicos para este estudo	86
Tabela 5.21	- Resultados comparativos entre o NBC padrão e o NBC com os coeficientes obtidos em TV, para os ensaios específicos para este estudo	87
Tabela 5.22	- Resultados comparativos entre a NBC padrão e a NBC com os coeficientes obtidos em TV simulando a vizinhança local	88
Tabela I.1	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática – alta turbulência, para vento a 0°	135
Tabela I.2	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática – alta turbulência, para vento a 90°	136
Tabela I.3	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática – baixa turbulência, para vento a 0°	137
Tabela I.4	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática – baixa turbulência, para vento a 90°	138
Tabela I.5	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força C_x – modelo sem vizinhança $p=0,11$	139
Tabela I.6	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força C_y – modelo sem vizinhança $p=0,11$	139
Tabela I.7	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força C_x – modelo sem vizinhança $p=0,34$	139
Tabela I.8	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força C_y – modelo sem vizinhança $p=0,34$	139

Tabela I.9	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força Cx – modelo com vizinhança 1B p=0,34	140
Tabela I.10	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força Cy – modelo com vizinhança 1B p=0,34	140
Tabela I.11	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força Cx – modelo com vizinhança 1A p=0,34	140
Tabela I.12	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força Cy – modelo com vizinhança 1A p=0,34	140
Tabela I.13	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força Cx – modelo com vizinhança 2A p=0,34	141
Tabela I.14	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força Cy – modelo com vizinhança 2A p=0,34	141
Tabela I.15	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força Cx – modelo com vizinhança 3A p=0,34	141
Tabela I.16	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise estática, para o coeficiente de força Cy – modelo com vizinhança 3A p=0,34	141
Tabela I.17	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica – alta turbulência, para vento a 0°	142
Tabela I.18	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica – alta turbulência, para vento a 90°	143
Tabela I.19	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica – baixa turbulência, para vento a 0°	144
Tabela I.20	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica – baixa turbulência, para vento a 90°	145
Tabela I.21	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cx – modelo sem vizinhança p=0,11	145
Tabela I.22	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cy – modelo sem vizinhança p=0,11	146
Tabela I.23	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cx – modelo sem vizinhança p=0,34	146
Tabela I.24	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cy – modelo sem vizinhança p=0,34	146

Tabela I.25	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cx – modelo com vizinhança 1B p=0,34	146
Tabela I.26	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cy – modelo com vizinhança 1B p=0,34	147
Tabela I.27	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cx – modelo com vizinhança 1A p=0,34	147
Tabela I.28	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cy – modelo com vizinhança 1A p=0,34	147
Tabela I.29	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cx – modelo com vizinhança 2A p=0,34	147
Tabela I.30	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cy – modelo com vizinhança 2A p=0,34	147
Tabela I.31	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cx – modelo com vizinhança 3A p=0,34	148
Tabela I.32	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123 análise dinâmica, para o coeficiente de força Cy – modelo com vizinhança 3A p=0,34	148
Tabela I.33	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC - alta turbulência, para vento a 0°	149
Tabela I.34	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC – alta turbulência, para vento a 90°	150
Tabela I.35	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC – baixa turbulência, para vento a 0°	151
Tabela I.36	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC – baixa turbulência, para vento a 90°	152
Tabela I.37	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força Cx – modelo sem vizinhança p=0,11	152
Tabela I.38	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força Cy – modelo sem vizinhança p=0,11	153
Tabela I.39	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força Cx – modelo sem vizinhança p=0,34	153
Tabela I.40	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força Cy – modelo sem vizinhança p=0,34	153
Tabela I.41	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força Cx – modelo com vizinhança 1B p=0,34	153
Tabela I.42	- Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força Cy – modelo com vizinhança 1B p=0,34	154

Tabela I.43 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_x – modelo com vizinhança 1A $p=0,34$	154
Tabela I.44 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_y – modelo com vizinhança 1A $p=0,34$	154
Tabela I.45 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_x – modelo com vizinhança 2A $p=0,34$	154
Tabela I.46 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_y – modelo com vizinhança 2A $p=0,34$	155
Tabela I.47 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_x – modelo com vizinhança 3A $p=0,34$	155
Tabela I.48 - Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_y – modelo com vizinhança 3A $p=0,34$	155

Lista de Gráficos

Gráfico 5.1	- Recomendações da NBR referente a análise estática e dinâmica para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento	89
Gráfico 5.2	- Recomendações da NBR referente a análise estática e dinâmica para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Cortante	89
Gráfico 5.3	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento	90
Gráfico 5.4	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise dinâmica, para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento	90
Gráfico 5.5	- Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento	91
Gráfico 5.6	- Aplicação das recomendações da NBR referente a análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência sem o efeito de vizinhança – Cortante	92
Gráfico 5.7	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento	93
Gráfico 5.8	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise Dinâmica, para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento	93
Gráfico 5.9	- Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 1B - Momento	94
Gráfico 5.10	- Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 1B - Cortante	94
Gráfico 5.11	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento	95
Gráfico 5.12	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise Dinâmica, para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento	95
Gráfico 5.13	- Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 1A - Momento	96
Gráfico 5.14	- Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 1A - Cortante	97
Gráfico 5.15	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência vizinhança 1A - Momento	97
Gráfico 5.16	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise dinâmica, para o vento de alta turbulência com vizinhança 1A - Momento	98

Gráfico 5.17	- Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 2A - Momento	98
Gráfico 5.18	- Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 2A - Cortante	99
Gráfico 5.19	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência para vizinhança 2A - Momento	99
Gráfico 5.20	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise dinâmica, para o vento de alta turbulência para de vizinhança 2A - Momento	100
Gráfico 5.21	- Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 3A - Momento	100
Gráfico 5.22	- Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 3A - Momento	101
Gráfico 5.23	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência para vizinhança 3A - Momento	101
Gráfico 5.24	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise dinâmica, para o vento de alta turbulência para vizinhança 3A - Momento	102
Gráfico 5.25	- Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança local - Momento	102
Gráfico 5.26	- Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança local - Cortante	103
Gráfico 5.27	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência para vizinhança local - Momento	123
Gráfico 5.28	- Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise dinâmica, para o vento de alta turbulência para vizinhança local - Momento	104
Gráfico 5.29	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento	105
Gráfico 5.30	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Cortante	105
Gráfico 5.31	- Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo sem vizinhança - baixa turbulência	106
Gráfico 5.32	- Aplicação das recomendações do NBC padrão e os resultados para o modelo sem vizinhança - baixa turbulência	106
Gráfico 5.33	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento	108
Gráfico 5.34	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Cortante	108
Gráfico 5.35	- Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo sem vizinhança - alta turbulência	109

Gráfico 5.36	- Aplicação das recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo sem vizinhança - alta turbulência	109
Gráfico 5.37	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 1B - Momento	110
Gráfico 5.38	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 1B - Cortante	110
Gráfico 5.39	- Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 1B - alta turbulência	111
Gráfico 5.40	- Aplicação das recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 1B - alta turbulência	111
Gráfico 5.41	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 1A - Momento	112
Gráfico 5.42	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 1A - Cortante	113
Gráfico 5.43	- Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 1A - alta turbulência	114
Gráfico 5.44	- Aplicação das recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 1A - alta turbulência	114
Gráfico 5.45	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 2A - Momento	115
Gráfico 5.46	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 2A - Cortante	115
Gráfico 5.47	- Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 2A - alta turbulência	116
Gráfico 5.48	- Aplicação das recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 2A - alta turbulência	117
Gráfico 5.49	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 3A - Momento	118
Gráfico 5.50	- Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 3A - Cortante	118
Gráfico 5.51	- Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 3A - alta turbulência	119
Gráfico 5.52	- Aplicação das recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 3A - alta turbulência	120
Gráfico 5.53	- Recomendações da NBR ao NBC para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança local - Momento	121
Gráfico 5.54	- Recomendações da NBR ao NBC para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança local - Cortante	121
Gráfico 5.55	- Recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo com vizinhança local - alta turbulência	122
Gráfico 5.56	- Recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo com vizinhança local - alta turbulência	122
Gráfico 5.57	- Respostas segundo da NBR padrão e com os coeficientes determinados através dos ensaios para os modelos com e sem vizinhança - alta turbulência	123
Gráfico 5.58	- Respostas segundo da NBC padrão e com os coeficientes determinados através dos ensaios para os modelos com e sem vizinhança - alta turbulência	124
Gráfico 5.59	- Excentricidade relativa para a face maior da edificação	125

Gráfico 5.60 - Excentricidade relativa para a face menor da edificação	125
Gráfico 5.61 - Excentricidade relativa para a face maior da edificação, modelos sem vizinhança, resultados dos ensaios e padrões da norma	126
Gráfico 5.62 - Excentricidade relativa para a face menor da edificação, modelos sem vizinhança, resultados dos ensaios e padrões da norma	126
Gráfico 5.63 - Excentricidade relativa para a face maior da edificação, modelos com vizinhança, resultados dos ensaios e padrões da norma	127
Gráfico 5.64 - Excentricidade relativa para a face menor da edificação, modelos com vizinhança, resultados dos ensaios e padrões da norma	127

Lista de Figuras

Figura 2.1	- Coeficiente de arrasto C_a para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência	11
Figura 2.2	- Coeficiente de arrasto C_a para edificações paralelepípedicas em vento de alta turbulência	12
Figura 2.3a	- Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria I e $L1/h = 0$	19
Figura 2.3b	- Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria I e $L1/h \geq 2$	19
Figura 2.4a	- Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria II e $L1/h = 0$	19
Figura 2.4b	- Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria II e $L1/h \geq 2$	19
Figura 2.5a	- Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria III e $L1/h = 0$	20
Figura 2.5b	- Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria III e $L1/h \geq 2$	20
Figura 2.6a	- Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria IV e $L1/h = 0$	20
Figura 2.6b	- Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria IV e $L1/h \geq 2$	20
Figura 2.7a	- Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria IV e $L1/h = 0$	21
Figura 2.7b	- Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria IV e $L1/h \geq 2$	21
Figura 2.8	- Fator de redução de dimensão, como uma função da largura, altura e frequência reduzida da estrutura	25
Figura 2.9	- Fator da energia de rajada como uma função do número de onda	25
Figura 2.10	- Fator de resposta turbulenta, função da largura e da altura da estrutura	26
Figura 2.11	- Locação dos pontos de tomada de pressão em relação ao eixo de torção	28
Figura 2.12	- Ilustração das situações de vizinhança ensaiadas	31
Figura 2.13	- Ilustração das situações de vizinhança ensaiadas	32
Figura 2.14	- Ilustração da vizinhança, da época, onde o edifício em estudo esta inserido	33
Figura 2.15	- Ilustração incidência do vento	33
Figura 3.1	- Túnel de Vento <i>Prof. Joaquim Blessmann (TV-2)</i>	34
Figura 3.2	- Circuito aerodinâmico do Túnel de Vento <i>Prof. Joaquim Blessmann (Blessmann, 1990)</i>	35
Figura 3.3	- Características do vento deslizando e turbulento simulado com expoente $p=0,11$	37
Figura 3.4	- Características do vento deslizando e turbulento simulado com expoente $p=0,34$	37

Figura 3.5	- Modelo mudo e modelo monitorado revestido com alumínio no interior do túnel de vento, com simuladores da rugosidade	38
Figura 3.6	- Modelo mudo e modelo monitorado revestido com alumínio no interior do túnel de vento	39
Figura 3.7	- Modelo monitorado revestido com alumínio, isolado, no interior do túnel de vento, com simuladores da rugosidade	39
Figura 3.8	- Dimensões dos modelos estáticos [mm] e localização das tomadas de pressão	41
Figura 3.9	- Modelo sem vizinhança com $p=0,34$	42
Figura 3.10	- Modelo com vizinhança 1A com $p=0,34$	42
Figura 3.11	- Modelo com vizinhança 2A com $p=0,34$	43
Figura 3.12	- Modelo com vizinhança 3A com $p=0,34$	43
Figura 3.13	- Referência para o ângulo de incidência do vento	44
Figura 3.14	- Foto do Multimanômetro para uma das situações ensaiadas	45
Figura 3.15	- Foto do Micromanômetro de água tipo Betz	45
Figura 4.1	- Discretização, identificação dos nós	49

Lista de Símbolos

Letras Romanas Maiúsculas:

A	<i>área</i>
A	<i>maior dimensão da projeção horizontal do modelo</i>
A_e	<i>área frontal efetiva</i>
A_i	<i>área de influencia de cada ponto de tomada de pressão</i>
$A_{tot(x)}$	<i>Área total da face paralela ao eixo X</i>
$A_{tot(y)}$	<i>área total da face paralela ao eixo Y</i>
B	<i>menor dimensão da projeção horizontal do modelo</i>
B	<i>fator de resposta turbulenta</i>
C	<i>fator de correção em função da temperatura do ar e pressão atmosférica</i>
C_a	<i>coeficiente de arrasto = $F_a / q A$</i>
C_{ai}	<i>coeficiente de arrasto correspondente a coordenada i</i>
C_e	<i>fator de exposição</i>
C_{eH}	<i>fator de exposição para o topo da edificação</i>
C_f	<i>coeficiente de força resultante</i>
C_g	<i>fator de efeito da rajada</i>
C_p	<i>coeficiente de pressão</i>
C_t	<i>coeficiente de momento torção</i>
C_x	<i>coeficiente de força ao longo do eixo X</i>
C_y	<i>coeficiente de força ao longo do eixo Y</i>
E_c	<i>modulo de Young do concreto armado</i>
F	<i>força resultante na base da edificação</i>

F_a	<i>força de arrasto</i>
F_i	<i>força total devida ao vento, para a coordenada i, para um determinado modo de vibração</i>
\overline{F}_i	<i>força média</i>
\hat{F}_i	<i>força flutuante</i>
F_i	<i>força correspondente a cada ponto de medição de Δp_e</i>
F_r	<i>fator de rajada, sempre correspondendo a categoria II</i>
F_{x_i}	<i>Força devido ao vento em “x” referente a coordenada i</i>
F_x	<i>Força total, na base da edificação, devido a o vento em “x”</i>
F_{y_i}	<i>Força devido ao vento em “y” referente a coordenada i</i>
F_y	<i>Força total, na base da edificação, devido a o vento em “y”</i>
H	<i>altura da edificação</i>
I_1	<i>intensidade da componente longitudinal da turbulência = σ_1 / V</i>
L	<i>dimensão característica, comprimento</i>
L_1	<i>macroescala da componente longitudinal da turbulência</i>
M	<i>momento fletor, resultante, na base da edificação</i>
M_{x_i}	<i>momento fletor em torno do eixo “x” referente a coordenada i</i>
M_x	<i>momento fletor na base da edificação em torno do eixo “x”</i>
M_{y_i}	<i>momento fletor em torno do eixo “y” referente a coordenada i</i>
M_y	<i>momento fletor na base da edificação em torno do eixo “y”</i>
M_t	<i>momento torçor</i>
$S1$	<i>fator topográfico</i>
$S2$	<i>rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o solo</i>
$S3$	<i>fator estatístico</i>

V	<i>velocidade média do vento</i>
$V(z)$	<i>velocidade média do vento na altura z</i>
V_H	<i>velocidade média horária no topo da edificação</i>
V_k	<i>velocidade característica do vento</i>
V_o	<i>velocidade básica do vento</i>
V_p	<i>velocidade de projeto</i>
V_{ref}	<i>velocidade média em uma altura de referência</i>

Letras Romanas Minúsculas:

a	<i>maior dimensão da projeção horizontal do edifício</i>
b	<i>parâmetro meteorológico utilizado para determinação de $S2$</i>
c_{pe}	<i>coeficiente de pressão externa = $\Delta p_e / q$</i>
c_{pei}	<i>coeficiente de pressão externa de cada ponto de medição</i>
e_a	<i>excentricidade correspondente a face maior da edificação</i>
e_b	<i>excentricidade correspondente a face menor da edificação</i>
f	<i>freqüência</i>
f_1, f_2, \dots	<i>freqüências correspondentes ao 1º, 2º, ... modos de vibração</i>
f_i	<i>freqüência natural correspondente ao modo de vibração i</i>
f_n	<i>freqüência natural ou fundamental de vibração da estrutura, também denominada de n_o</i>
g_p	<i>fator de pico</i>
h	<i>altura da edificação, modelo ou protótipo</i>
k_o	<i>coeficiente do túnel de vento que vincula q e Δp_a</i>
l_1	<i>dimensão horizontal da edificação perpendicular a direção do vento</i>

l_2	<i>dimensão horizontal da edificação na direção do vento</i>
l_i	<i>posição do ponto de tomada de pressão em relação ao eixo de torção</i>
m_i	<i>massa discreta referente a coordenada i</i>
m_o	<i>massa arbitrária de referência</i>
n_o	<i>freqüência natural ou fundamental de vibração da estrutura</i>
p	<i>expoente da curva de potência teórica ajustada ao perfil de velocidades médias</i>
q	<i>pressão dinâmica ao longe = $(1/2)\rho V^2$</i>
q_p	<i>pressão dinâmica de projeto</i>
x_i	<i>deslocamento correspondente a forma a coordenada i, na direção X</i>
y_i	<i>deslocamento correspondente a forma a coordenada i, na direção Y</i>
z	<i>cota acima de um nível de referência</i>
z_i	<i>cota acima de um nível de referência da ordenada i</i>
z_{ref}	<i>cota de referência = 10m</i>

Letras Gregas Minúsculas:

λ	<i>comprimento de onda</i>
μ	<i>valor médio do efeito total do carregamento</i>
v	<i>razão de flutuação</i>
σ	<i>desvio padrão do efeito total do carregamento</i>
ρ	<i>massa específica do ar</i>
ξ	<i>fator de amplificação dinâmica</i>
ζ	<i>razão de amortecimento crítico</i>

Letras Gregas Maiúsculas:

Δp_a *pressão de referência (diferença de pressão entre os anéis piezométricos)*

Δp_e *pressão estática efetiva média na superfície externa*

Ψ_i *razão entre as massas m_i e m_o*

Resumo

A crescente valorização imobiliária das áreas urbanas, que força acréscimos na altura dos edifícios, associada ao desenvolvimento de materiais mais resistentes e técnicas construtivas modernas, que promovem uma tendência ao projeto de estruturas mais esbeltas e flexíveis, formam um cenário propício à ocorrência de problemas associados à resposta dinâmica frente à ação do vento, principalmente à parte flutuante decorrente da turbulência atmosférica.

A experiência tem mostrado que o engenheiro estruturalista comum tem pouco ou nenhum conhecimento sobre os efeitos dinâmicos do vento e as conseqüências da vizinhança sobre este carregamento. Por estas razões justifica-se todo o esforço feito no sentido de se estudar, divulgar e tornar mais acessíveis os métodos disponíveis para análise da resposta estrutura à ação dinâmica do vento e os efeitos de vizinhança. Este é o objetivo central do trabalho de dissertação aqui proposto, consiste no estudo crítico, na aplicação prática e na comparação de métodos disponíveis de análise, quais sejam: a Norma Brasileira NBR – 6123, a sua análise estática e dinâmica (Capítulo 9), a Norma Canadense NBCC (1985). Como parte do trabalho foram realizadas análises estruturais detalhadas com programas de elementos finitos, bem como práticas experimentais sobre modelos rígidos no Túnel de Vento *Prof. Joaquim Blessmann* (TV-2) da UFRGS.

Os resultados obtidos através da instrumentação dos modelos ensaiados em túnel de vento foram aplicados às prescrições das normas aqui estudadas. As respostas assim obtidas comparadas com as oriundas da aplicação das recomendações padrão destas normas foram avaliadas comparativamente. Sendo possível concluir que os resultados determinados através das prescrições da norma brasileira de vento apresentaram-se mais consistentes que os da norma canadense. Mesmo assim, alguns pontos necessitam de um estudo maior e mais aprofundado principalmente as considerações referentes à torção, que se mostraram na maioria das vezes contra a segurança, além do efeito da vizinhança que, muitas vezes, causa efeitos imprevisíveis sobre a edificação.

Abstract

The increasing values of new estate developments in urban areas, which induces the construction of taller buildings, together with the development of more resistant materials and new construction techniques, which allows the design of more slender and flexible structures, create a propitious scenario to the occurrence of problems associated with the dynamic effects of wind, mainly those due to the atmospheric turbulence.

Experience has shown that the design engineer does not have enough knowledge regarding the dynamic effects of the wind as well as the effects of neighboring buildings on this loading. For these reasons, every effort to study, publish and make more accessible methodologies for the analysis of the structure response due to such loadings is justified. This is the objective of this work, which consists of a critical review, a practical application and a comparison of two code methods of analysis: the static and dynamic approaches of the Brazilian Wind Code NBR-6123, and the Canadian Wind Code NBCC. As part of the work, detailed structural analyses with finite element software as well as experimental analyses on reduced models in the boundary layer wind tunnel Prof. Joaquim Blessmann of the UFRGS were performed.

The results obtained in the wind tunnel tests were employed together with the code methodologies here indicated. The responses obtained through the different methodologies were compared among each other, being the prescriptions indicated by the Brazilian code more consistent than those from the Canadian code. Some issues need further and deeper studies, especially the considerations regarding torsion, which have demonstrated to be against safety in the codes, as well as the vicinity effects, which have unpredictable effects.

1 Introdução

1.1 Condições gerais

Nos anos 30, quando houve uma das maiores ondas de construções de arranha-céus, a carga devida ao vento recebia um tratamento meramente estático, contudo a rigidez destas edificações camuflava os efeitos dinâmicos.

Até meados dos anos 60 as considerações no projeto estrutural das forças devidas ao vento, apenas levavam em conta os fatores meteorológicos, climatológicos e aerodinâmicos estáticos, desconsiderando totalmente as características mecânicas estruturais das edificações como sua rigidez, seu fator de amortecimento e distribuição das massas. Contudo com a evolução da engenharia dos materiais bem como dos recursos para análise estrutural as edificações tornaram-se mais altas e flexíveis e, com fator de amortecimento menor, resultaram em estruturas mais sensíveis aos efeitos dinâmicos do vento. Tornou-se então indispensável a análise das características dinâmicas das mesmas, tais como sua frequência natural, modos de vibração e amortecimento, no intuito de evitar o desconforto dos usuários e problemas de ressonância.

Um critério simplificado, segundo a norma ASCE 7-95, de determinar se uma edificação é esbelta ou não estabelece que se esta tem frequência natural menor que um (1) Hz ou se a razão entre a altura e a menor dimensão horizontal é maior do que quatro (4), então a mesma é esbelta.

Segundo Davenport (1983) o desafio do vento vem sendo sempre renovado, o que era desafiador em meados dos anos 60, na época do World Trade Center, do Sears Building, da CN Tower dentre outros, hoje já foi absorvido pela rotina de projeto.

O bom comportamento dos edifícios altos à ação do vento, inclusive a furacões, se deve à melhoria da confiabilidade dos sistemas estruturais e principalmente a um estudo mais aprofundado, através de túneis de vento, dos efeitos do vento sobre os arranha-céus. Sendo este, o túnel de vento, a principal ferramenta para vencer os desafios com que a engenharia do vento se depara.

Estudos comparativos têm mostrado a confiabilidade nos resultados obtidos em ensaios em túneis de vento. Isyumov (1993) estudou comparativamente o efeito do furacão Alicia sobre o edifício do Allied Bank Plaza (Houston – Texas) com os dados extraídos do túnel de vento. Concluiu que as respostas oriundas do modelo em escala reduzida são uma ótima estimativa da realidade. Contudo, quando se trata de tempestades tropicais e furacões,

informações mais precisas do meio e da turbulência são fundamentais para precisão dos resultados.

As forças oriundas do vento que atuam nas edificações, de uma forma geral, são obtidas a partir de coeficientes aerodinâmicos contidos em normas, manuais ou relatórios de pesquisa, sendo que estes dados referem-se apenas a edificações isoladas. O efeito da vizinhança é apenas considerado através da escolha do perfil vertical da velocidade média, e em alguns casos, dos parâmetros que definem a turbulência do vento. A vizinhança de uma edificação pode alterar significativamente estes coeficientes ou até mesmo fazer com que surjam efeitos consideráveis como aumento de sucções, inversão dos esforços e momentos torçores. Contudo, não é possível para as normas, códigos, e até mesmo pesquisas e estudos, devido ao grande número de possibilidades, fornecer parâmetros que abranjam todas as possibilidades. Sendo, portanto, necessário, em grande parte das situações, estudos específicos para determinação das forças devidas ao vento nas edificações, considerando o efeito da vizinhança.

1.2 Efeitos do vento em edifícios

1.2.1 Ação do Vento no Sentido do escoamento

Os primeiros estudos das respostas dos edifícios à ação do vento foi na direção do escoamento do vento. O pioneiro foi Liepmann (1952) em um clássico artigo sobre o martelamento. Este trabalho foi a base para Davenport (1961) que propôs os modelos da turbulência do escoamento do vento próximo ao solo, e posteriormente, o mesmo Davenport (1967) desenvolveu os primeiros princípios básicos para estimar a resposta de edifícios altos no sentido do vento. Os conceitos deste trabalho foram incluídos no *Canadian Structural Design Manual* (1975).

De acordo com resultados de atuais pesquisas meteorológicas, a energia das flutuações das velocidades do vento, devidas a turbulência, uma das responsáveis pela resposta dinâmica das edificações na direção do escoamento do vento, decresce significativamente com o aumento da altura em relação ao solo segundo Simiu (1986). A aplicação destas considerações proporcionam projetos mais econômicos. Procedimentos e programas para computadores foram desenvolvidos considerando as premissas supra citadas por Simiu (1979, 1980) e Solari (1981, 1982), inclusive, tendo sido Solari (1982) adaptado para ASCE 7-95, e Simiu (1986). Contudo, estes procedimentos numéricos baseiam-se na premissa básica que

onde a estrutura está instalada o terreno é aproximadamente plano e a rugosidade é razoavelmente uniforme, caso contrário o recomendável é o estudo em túnel de vento.

O tratamento dado ao vento quando este atua em uma das faces da edificação parte do pressuposto que age perpendicularmente à mesma. Por diversos fatores que podem alterar o escoamento como, por exemplo, existência de outras edificações de grande porte, as suposições adotadas nas práticas de projeto correspondem aos valores mais altos da resposta ao longo do vento. No caso de um edifício de base quadrada a resposta é máxima quando a face está perpendicular ao vento, e 80% deste valor quando atua na direção de sua diagonal, Reinhold (1979).

Uma forma simplificada empregada para analisar a resposta estrutural das edificações, na direção do vento, é determinar uma carga equivalente estática para as flutuações instantâneas da velocidade do vento, em torno da média, devido à turbulência. Sendo então a resposta total da estrutura a superposição da resposta estática e dinâmica.

A eficiência da rajada, em termos de gerar um carregamento em uma determinada edificação, depende da relação entre as dimensões de ambas. Portanto, quanto mais altas forem as frequências da rajadas menores serão as áreas de incidência de cada uma delas, e assim o efeito sobre a edificação como um todo será menor do que o contrário, ou seja, os turbilhões com frequências mais baixas atuam em áreas maiores e influenciam mais a resposta do conjunto estrutural. Contudo, as rajadas menores têm velocidades mais altas e portanto forças maiores, mas de ação localizada.

1.2.2 Desprendimento de Vórtices

A principal resposta dinâmica de um edifício esbelto, em geral, deve-se a esforços laterais decorrentes do desprendimento cadenciado de vórtices, em edificações de base quadrada estes esforços são máximos quando o vento age perpendicularmente a uma das faces da edificação. Esta resposta pode levar a movimentos laterais exagerados passando a ser o principal problema do projeto.

Em geral os principais eixos de rigidez de uma edificação são normais às faces, o que proporciona o desacoplamento das respostas transversais ao sentido do vento. Isyumov *et al* (1989) concluiu, através de ensaios de diversos modelos, que a diagonalização dos eixos principais de rigidez traz vantagens como a redução da resposta dinâmica devido à excitação decorrente do desprendimento de vórtices.

1.2.3 Momento Torçor

Tradicionalmente os carregamentos devidos ao vento são tratados como uniformes e simétricos para uma mesma cota da edificação, resultando na não consideração do momento torçor ao longo do eixo vertical da edificação, sendo uma aproximação utilizada pela maioria das normas. Este efeito é considerado apenas quando existe alguma excentricidade entre o centro de torção e a geometria do edifício. Porém, as cargas devidas ao vento raramente são uniformes, mesmo quando a edificação tem sua geometria simétrica, isto se dá pela não uniformidade do escoamento causado pela presença de outras edificações ou pelo mesmo não atuar ao longo do eixo de simetria, que juntamente com a assimetria da geometria e da rigidez do sistema estrutural contribuem com as maiores parcelas da componente estática do momento torçor.

A parcela dinâmica do torque é causada pelo desbalanceamento na distribuição instantânea de pressões e acentuada pela excentricidade da massa aerodinâmica com o centro elástico. Isyumov e Poole (1983) concluiu que o desprendimento de vórtices é o principal responsável em despertar a parcela dinâmica da torção.

Atualmente, há uma tendência da arquitetura em produzir formas cada vez mais complexas para os edifícios, resultando, na maioria das vezes, em assimetrias geométricas, acentuando a não simetria dos sistemas estruturais e aumentando a magnitude dos esforços devido a torção.

1.2.4 Conforto dos Usuários

A resposta da estrutura à ação dinâmica do vento poderá gerar desconforto aos usuários da edificação. Nos edifícios mais altos é freqüente que pessoas enjoem quando da ocorrência de ventos fortes, como se estivessem em uma embarcação em dia de mar agitado. A percepção depende, além da sensibilidade de cada um, da amplitude do movimento e freqüência de oscilação. O enrijecimento do sistema estrutural nem sempre resolve o problema de conforto, pois apesar do mesmo reduzir a amplitude este enrijecimento gera um aumento da freqüência podendo perdurar a sensação desagradável.

1.2.5 Deflexão do Vento na Direção Vertical (Conforto dos Pedestres)

Uma outra espécie de problema causado pelo vento referente ao desconforto e à segurança dos transeuntes é devido às altas velocidades observadas próximas ao terreno nos arredores de um edifício, que necessariamente não tem de ser um arranha-céu. Este efeito tem

como principal causa o fato do edifício estar diretamente exposto ao vento na face de barlavento. Segundo Blessmann (1989) o problema merece atenção sempre que a edificação tiver no mínimo o dobro da altura dos edifícios vizinhos situados a barlavento. Uma forma de evitar o problema em questão é não utilizar fachadas planas expostas perpendicularmente ao vento quando não houver proteção de outras edificações. Quando não for possível alterar a orientação do edifício pode-se fazer uso de quebra-ventos vegetais ou de outras soluções arquitetônicas como alargar os pavimentos inferiores, construção de marquises, projeção horizontal da edificação circular ou cobertura do espaço vazio entre as edificações.

Além do desconforto causado aos pedestres, já citado, este fenômeno pode, devido ao crescimento da velocidade nas zonas próximas ao solo, resultar no aumento e até mesmo inversão das ações do vento sobre as edificações mais baixas a barlavento, principalmente sobre suas coberturas.

1.2.6 Efeito Venturi

Edificações vizinhas podem, por suas dimensões, formas e orientações gerar o aumento da aceleração do escoamento de ar resultando na alteração das pressões. Este efeito pode ocorrer também entre edificações muito próximas, podendo resultar em pressões negativas altíssimas.

1.2.7 Turbulência da Esteira

Edificações situadas a sotavento de outras são significativamente afetadas pela turbulência gerada na esteira da edificação de barlavento, causando importantes efeitos dinâmicos e alterações significativas nas pressões.

1.2.8 Pressões sobre as fachadas

Pode-se incluir neste ponto danos causados pelas oscilações dos edifícios. Observações feitas em edifícios muito flexíveis têm demonstrado que devido a tendência destes inclinarem-se na direção do vento dominante nos primeiros meses estas edificações não oscilam, apresentam apenas “micro-vibrações”. Alguns meses depois, quando a resistência das alvenarias é vencida, estas trincam, ruidosamente, e a edificação passa a oscilar.

Além das oscilações, que são consequência da ação dinâmica do vento, há também os efeitos estáticos sobre os painéis, esquadrias, painéis de revestimento e até mesmo as alvenarias os quais podem ser rompidos pelas pressões exercidas pelo vento.

Nos últimos anos os painéis de vidro e as fachadas, de uma forma geral, têm recebido um destaque muito maior, tendo aumentado a sua importância arquitetônica não só do ponto de vista estético como do técnico. Como, por exemplo, vem sendo criados: sistemas de ventilação mais eficientes, e formas mais eficazes para melhorar o índice de iluminação dos ambientes, além do grande destaque estético que tem sido dado às fachadas de uma forma geral.

A partir deste fato os painéis, sejam de vidro ou apenas de fechamento, passaram a ter grandes dimensões e a necessitar de um maior cuidado com a segurança. Pois, apesar de um dano em um destes painéis ter conseqüências bem menos relevantes que um colapso estrutural, devido as suas grandes dimensões, pode acarretar em grande risco para os pedestres, ou até mesmo, conseqüências desagradáveis para os usuários do imóvel. Além do que danos como estes podem ser muito dispendiosos.

1.3 Revisão bibliográfica

Diversos autores têm estudado os efeitos de prédios colocados em proximidade, Harris (1934) estudou dois edifícios que foram projetados para que fossem executados nas proximidades do Empire State Building, em Nova York, e concluiu que a presença desses quase dobraria o momento torçor máximo na edificação existente, até a uma altura de quase o topo dos dois edifícios projetados.

Bailey e Vincent (1943) constataram o aumento das sucções nas coberturas e das sobrepressões nas paredes de edificações baixas e de média altura, proximamente situadas.

Chien *et al* (1951) ensaiaram edificações baixas e alongadas, e puderam perceber o aumento da sucção nas paredes confrontantes de duas edificações colocadas próximas e paralelas, sendo que para alguns ângulos de incidência do vento estas sucções foram aumentadas em até três vezes.

Scruton e Newberry (1963) alertaram para o fato de que conjuntos de edifícios altos propiciam a ocorrência de altas sucções nas faces confrontantes, para algumas orientações de incidência do vento.

Blessmann (1966) e Leutheusser (1971) verificaram que em edificações prismáticas, colocadas a pequena distância, geravam aumento das sucções de duas a cinco vezes maiores que as correspondentes para edificações isoladas.

Reinhold *et al* (1977) estudaram dois prismas de seção quadrada e puderam observar que as forças de arrasto foram bem menores, contudo os coeficientes de momento torçor foram bem maiores que para edificações isoladas.

Blessmann (1983) estudando o efeito da vizinhança em edifícios alteados, utilizando dois prismas de base quadra, concluiu que as sucções nas coberturas horizontais aumentam cerca de 60%; concluiu que as sucções nas paredes confrontantes aumentam cerca de 60%; a força horizontal aumenta em 35% e o momento torçor aumentava em até 240%.

1.4 Objetivos do trabalho

O objetivo deste trabalho é estudar comparativamente os efeitos que a vizinhança confere sobre a resposta à ação do vento, na direção do escoamento, de um edifício localizado em um grande centro urbano.

Diversos estudos já foram elaborados envolvendo este tema e muito ainda está por fazer, visto a vastidão de variáveis e possibilidades que estão incorporadas ao mesmo. Este estudo tem como objetivo principal comparar as recomendações da norma brasileira pertinente, a NBR 6123, o código canadense, o NBCC 1985 e coeficientes obtidos em ensaios no túnel de vento *Prof. Joaquim Blessmann* (TV-2) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Serão apresentadas de forma detalhada as prescrições das normas citadas traçando, sempre que possível, paralelos entre os fatores e considerações de cada uma. Assim, após a apresentação destas considerações as ações e efeitos do vento, para cada situação ensaiada e também para as recomendações padrão das normas, serão determinados e a partir daí será possível o estudo comparativo dos efeitos e das respostas à ação do vento. Por fim, depois de analisados os dados iniciais e as respostas decorrentes destas recomendações será possível avaliar conclusivamente o conteúdo deste estudo.

2 Metodologias Estudadas

2.1 Resposta na Direção do Escoamento

Os esforços devidos à ação do vento na direção do escoamento apresentam-se, segundo a maioria dos códigos, com uma parcela estática (média) e uma outra dinâmica (flutuante) como já foi dito anteriormente. No princípio, por volta dos anos 30, a consideração do efeito do vento nas edificações coincidiu com os primeiros edifícios altos projetados e construídos, as características dinâmicas dos sistemas estruturais não eram consideradas, sendo dado um tratamento meramente estático. Porém, a elevada rigidez destas edificações camuflava os efeitos dinâmicos.

Fundamentalmente a resposta à ação do vento no sentido do escoamento é a resposta a uma força aplicada nesta direção. Esta consideração sendo estática apenas teremos como fatores determinantes deste carregamento as características climatológicas, a velocidade do vento, as características topográficas da região, a altura, projeção horizontal e as características geométricas da edificação. Fazendo uma consideração dinâmica, ou seja, além dos fatores já citados, as características como amortecimento, frequência natural, e as distribuições das massas também são consideradas e bastante relevantes. Além disso, há também a característica flutuante da ação do vento que interage com as características estruturais citadas.

Os códigos e normas quando determinam os efeitos do vento sobre uma edificação na direção do seu escoamento apenas levam em conta o vento incidindo a 0° , 90° , 180° e 270° . Neste estudo além da análise dos efeitos de vizinhança, também estão sendo avaliados os efeitos do vento com uma variação na sua incidência com o incremento de 15° . Foi simulado um vento de baixa turbulência, equivalente às características da categoria I da NBR 6123 e um vento de alta turbulência equivalente a categoria V da mesma norma. Para os dois casos, neste estudo, os modelos foram ensaiados sem vizinhança, contudo para o vento mais turbulento também foram realizados experimentos com quatro situações de vizinhança distintas (ver figuras 2.3 e 3.9 a 3.12).

O objetivo fundamental deste trabalho é a análise comparativa entre os critérios das normas brasileira e canadense entre si e com resultados obtidos em túnel de vento, no caso o *Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann (TV-2)* da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Fundamentalmente foram determinados no modelo estático ensaiado no túnel os

coeficientes de pressão externa e de força para que estes fossem aplicados junto às formulações dos dois códigos em questão. Assim sendo a determinação destes coeficientes:

$$c_{pei} = \Delta p_{ei} / q \quad (2.1)$$

Onde: c_{pei} – coeficiente de pressão externa de cada ponto de medição;
 Δp_{ei} – pressão efetiva externa de cada ponto de medição, dado fornecido diretamente pelo ensaio;
 q – pressão do vento no topo da edificação medida no ensaio.

$$C_x = \sum (c_{pei} \cdot A_i / A_{tot(Y)}) \quad (2.2)$$

Onde: C_x – coeficiente de força na direção X;
 c_{pei} – coeficiente de pressão externa de cada ponto de medição;
 A_i – área de influência de cada ponto de tomada de pressão da face Y;
 $A_{tot(Y)}$ – área total da face Y.

$$C_y = \sum (c_{pei} \cdot A_i \div A_{tot(X)}) \quad (2.3)$$

Onde: C_y – coeficiente de força na direção Y;
 c_{pei} – coeficiente de pressão externa de cada ponto de medição;
 A_i – área de influência de cada ponto de tomada de pressão da face X;
 $A_{tot(X)}$ – área total da face X.

A partir dos coeficientes de força C_x e C_y podemos obter o coeficiente de força global:

$$C_f = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} \quad (2.4)$$

Onde: C_f – coeficiente de força global;
 C_x – coeficiente de força na direção X;
 C_y – coeficiente de força na direção Y.

Para referência ver figura 3.8.

2.1.1 Análise Estática

Como apenas a NBR - 6123 faz considerações específicas sobre análise estática da ação do vento na direção do escoamento, neste item apenas serão feitas referências a estas considerações.

Nesta análise não são levadas em conta as características estruturais da edificação, apenas são observadas as formas e proporções entre suas dimensões e se a região onde a mesma está inserida confere ao vento uma ação de alta turbulência ou não, sendo que esta consideração definirá o coeficiente de arrasto. Nesta marcha de cálculo apenas é determinada a força de arrasto. Esta análise pode em alguns casos levar a valores mais conservadores e em outras situações subestimar os efeitos do vento em edificações mais flexíveis. A consideração da flexibilidade do sistema estrutural é um tipo de análise mais complexa onde são determinadas as características estruturais e dinâmicas como a rigidez, amortecimento, e distribuição das massas, como é apresentado no item 2.1.2, análise dinâmica (capítulo 9 da NBR - 6123), descrita a seguir. Esta avaliação comparativa também é um dos objetivos deste trabalho.

Este processo de cálculo considera a distribuição das pressões do vento crescente com a altura, mas uniforme para uma mesma elevação, sendo que as variações do carregamento devido à turbulência apenas são consideradas através do fator S_2 e assim determinadas como uma pressão média do vento sobre a edificação, portanto, a resposta estrutural do sistema é tratada neste modelo de cálculo como um evento estático.

Nesta metodologia é determinada a força de arrasto, esta é a componente da força horizontal na direção do vento aplicada à edificação, que, como já foi dito, é crescente com a altura e constante para uma mesma elevação.

A força de arrasto F_a é determinada a seguir:

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e \quad (2.5)$$

Onde:

- F_a – força de arrasto;
- C_a – coeficiente de arrasto (ver figuras 2.1 e 2.2);
- q – pressão dinâmica do vento;
- A_e – área frontal efetiva.

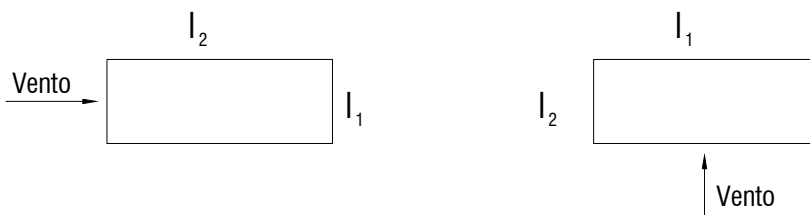
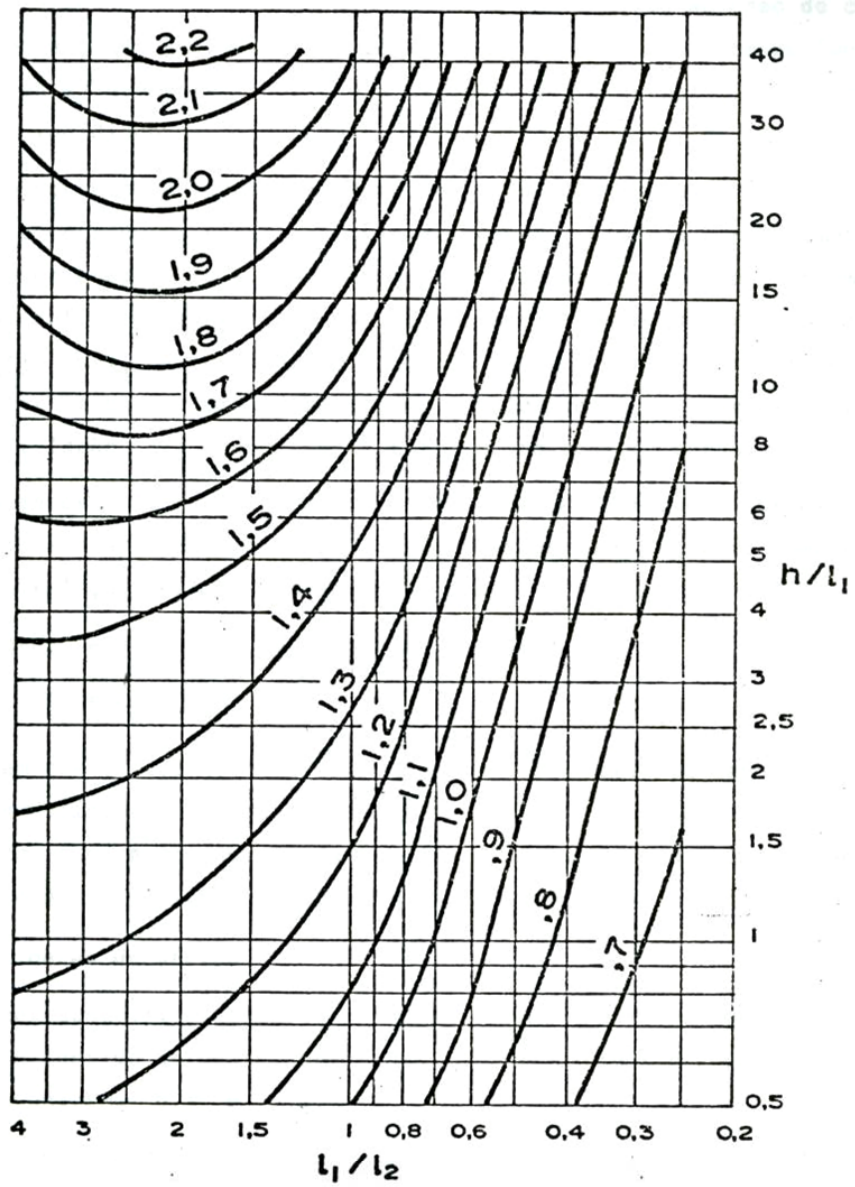


Figura 2.1 – Coeficiente de arrasto C_a para edificações paralelepédicas em vento de baixa turbulência (NBR – 6123).

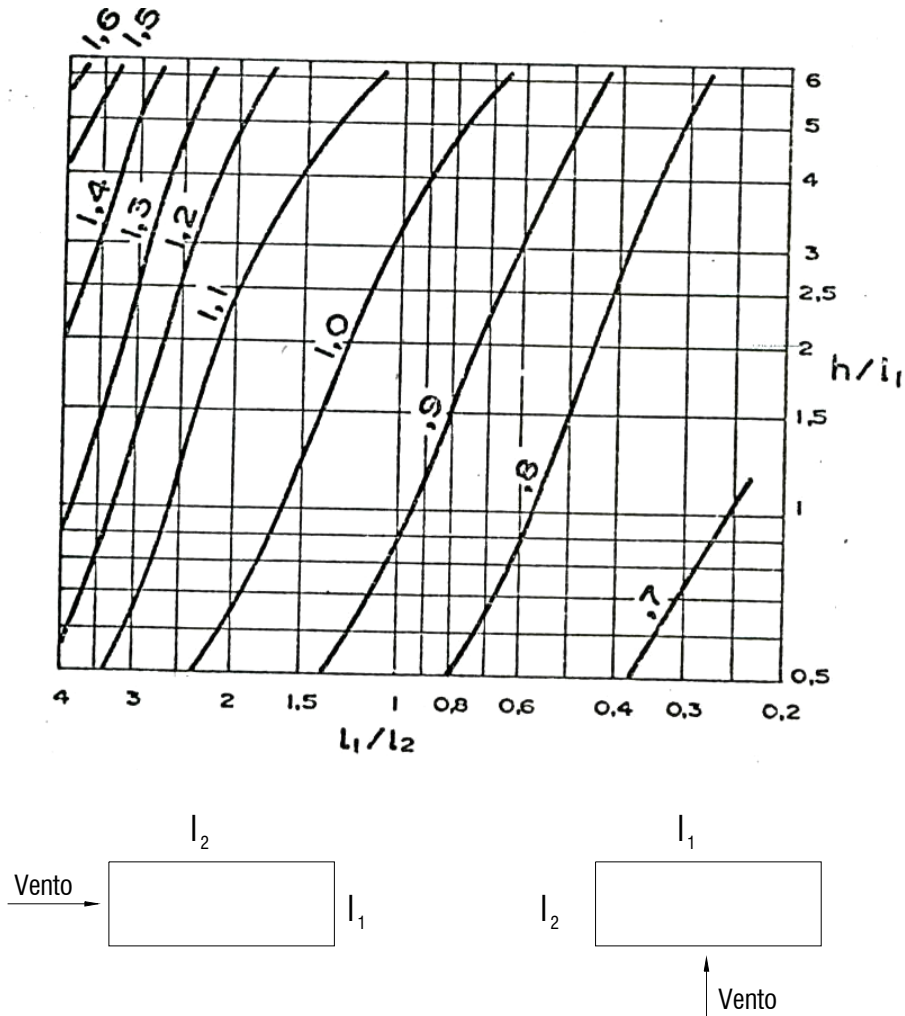


Figura 2.2 – Coeficiente de arrasto C_a para edificações paralelepípedicas em vento de alta turbulência (NBR – 6123).

A pressão dinâmica do vento é função da sua velocidade característica sendo obtida da seguinte forma:

$$q = 0,613 \cdot (V_k)^2 \quad (2.6)$$

Onde: q – pressão dinâmica do vento;

V_k – velocidade característica.

A velocidade característica do vento é determinada a partir da velocidade do vento básica para cada região em função das isopletas, sendo que à velocidade básica são aplicados valores de correção que refletirão as interferências das dimensões da edificação e sua interação com os turbilhões presentes no escoamento, das características topográficas da localidade, dos fatores estatísticos e da localização específica da edificação sobre o valor velocidade final.

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (2.7)$$

Onde:

- V_k – velocidade característica;
- V_o – velocidade básica;
- S_1 – fator topográfico;
- S_2 – rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o solo;
- S_3 – fator estatístico.

Sendo o valor de S_2 :

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot (z_i / z_{ref}) \quad (2.8)$$

Onde:

- b – parâmetro meteorológico utilizado para determinação de S_2 , através deste se passa da categoria II para as demais categorias;
- F_r – fator de rajada, sempre correspondendo a categoria II;
- z_i – cota da coordenada i ;
- z_{ref} – altura de referência, $z_{ref} = 10m$.

A velocidade básica do vento segundo a NBR - 6123 é a velocidade de uma rajada de três segundos, que será excedida na média uma vez a cada 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano.

Ainda segundo a Norma Brasileira, o fator topográfico (S_1) leva em consideração as variações do relevo e de uma forma geral majorando a velocidade quando a edificação se encontra no topo de morros ou taludes e minorando-as a medida que estas se localizam em vales.

O fator estatístico (S_3) para a probabilidade P_m e vida útil da edificação de m anos, reflete estatisticamente a vida útil da edificação e o grau de segurança exigido a mesma.

O fator (S_2) considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do solo e com as dimensões da edificação. À medida que a rugosidade do terreno aumenta, e isso se dá com o aumento da intensidade dos obstáculos e também o aumento das suas dimensões, a velocidade do vento tende a diminuir,

na mesma altura, porém, a turbulência aumenta, sendo a região afetada pela rugosidade bem maior havendo assim a elevação da altura da camada limite atmosférica. À medida que as dimensões da edificação se tornam maiores, o efeito das rajadas de pequenas dimensões, apesar de terem mais energia, torna-se de menor significado global tendo apenas efeitos locais. Contudo, rajadas de maiores dimensões, que têm menos energia, globalmente geram uma resposta mais significativa da edificação.

2.1.2 Análise Dinâmica

A ação do vento é fundamentalmente um carregamento dinâmico, apresentando também uma característica aleatória. A resposta longitudinal à ação do vento da maioria das estruturas se deve à componente longitudinal da turbulência, superposta ao deslocamento médio causado pela componente média do vento. No vento natural tanto o módulo como a orientação da velocidade instantânea do ar apresentam flutuações em torno da velocidade média V , sendo estas flutuações denominadas rajadas.

Uma forma simplificada de descrever a determinação da ação do vento sobre um determinado sistema estrutural como um carregamento estático equivalente, considerando suas características dinâmicas, se dá dividindo este carregamento em duas parcelas sendo uma estática e outra flutuante (dinâmica). A flutuação instantânea da velocidade do vento em torno da média, devido à turbulência, é a parcela de carga que gera na estrutura efeitos puramente estáticos, e assim a resposta a esta ação é designada como resposta média – admite-se que esta velocidade média mantém-se constante por um intervalo de tempo igual ou superior a 10 minutos, apesar das pequenas variações instantâneas. Associada a esta parcela estática está a componente flutuante que corresponde às rajadas. Estas flutuações podem produzir em estruturas muito flexíveis, principalmente nas altas e esbeltas, oscilações importantes na direção da velocidade média, designada como resposta flutuante. Sendo, portanto a resposta total da estrutura a superposição da resposta média e dinâmica.

Para edificações com período fundamental igual ou inferior a um segundo, a parcela da resposta flutuante é pouco significativa. Contudo, para edifícios com período fundamental superior a um segundo, principalmente se for fracamente amortecido, esta parcela poderá representar uma componente significativa da resposta total do sistema.

O efeito da turbulência sobre a edificação dependerá da dimensão do turbilhão e da sua frequência. Turbilhões menores têm frequências maiores e vice – versa.

O comprimento de onda λ é uma medida linear que indica as dimensões dos turbilhões que produzem cargas flutuantes de frequência f para determinadas alturas sobre o terreno (ASCE, 1980).

$$\lambda = V / f \quad (2.9)$$

Onde: λ – comprimento de onda;
 V – velocidade média do vento;
 f – frequência de incidência de rajadas.

Assim, para que o turbilhão seja efetivo e gere um campo de pressões plenamente desenvolvidas em torno da edificação, é necessário que este seja bem maior que a edificação (Blessmann, 1989). Portanto a efetividade da rajada para produzir efeitos dinâmicos sobre o sistema estrutural dependerá da relação entre as dimensões da edificação e a do turbilhão.

NBR - 6123

A norma brasileira, para determinação da ação estática equivalente à ação dinâmica do vento, fundamentalmente se baseia no método proposto por Davenport – Método da Vibração Aleatória – mas difere na determinação dos parâmetros que definem essa ação. Este processo de aplicação encontra-se desenvolvido em Riera e Galindez 1979 e Galindez 1979.

Como já foi citado, a resposta flutuante em edificações com o período fundamental superior a um segundo, e principalmente com um amortecimento baixo, pode ser bastante significativa.

A NBR no seu capítulo 9 que trata dos efeitos dinâmicos devidos à turbulência permite se trabalhar com um modelo contínuo simplificado ou com um modelo discreto, o qual é o objeto de estudo deste trabalho. Esta norma toma como referência a chamada **velocidade de projeto** \bar{V}_p , que corresponde à velocidade média sobre 10 min, a 10 m acima de um terreno com rugosidade equivalente à categoria II sendo obtida através da equação:

$$V_p = 0,69.V_o.S_1.S_3 \quad (2.10)$$

Onde: V_p – velocidade de projeto;

- 0,69 – fator de rajada que corrige a velocidade média em m/s, V_o , sobre 3s para a velocidade média sobre 10 min, \bar{V}_p ;
- V_o – velocidade básica em m/s, velocidade de uma rajada de 3s a 10 m acima do de um terreno de categoria II;
- S_1 – fator topográfico que considera a influência da topografia na vizinhança da edificação;
- S_3 – fator probabilístico, considera a vida útil da construção e o grau de segurança que a mesma necessita.

O valor da pressão dinâmica de projeto, \bar{q}_p , é definida para a categoria II e posteriormente corrigida:

$$\bar{q}_p = 0,613.(V_p)^2 \quad (2.11)$$

- Onde: \bar{q}_p – pressão dinâmica de projeto N/m²;
- 0,613 – fator de correção em função da massa específica do ar, válido para as condições normais de temperatura e pressão;
- V_p – velocidade de projeto m/s.

Para as demais categorias a pressão dinâmica de projeto é obtida através do parâmetro de correção b , como a seguir:

$$\bar{q}_p = 0,613.b.(V_p)^2 \quad (2.12)$$

- Onde: \bar{q}_p – pressão dinâmica de projeto N/m²;
- b – parâmetro de correção definido pela NBR - 6123 para passar da categoria II para as demais categorias;

Para cada modo de vibração j , com componentes $x_i = (x_i)_j$ ou seja, os deslocamentos correspondentes à coordenada i devido a cada um dos modos de vibração (j), uma força total F_i , devida ao vento na direção desta coordenada i , sendo F_i :

$$F_i = \overline{F}_i + \hat{F}_i \quad (2.13)$$

Onde: F_i – força total devida ao vento em N, para a coordenada i , em um determinado modo de vibração;
 \overline{F}_i – força média em N, para a coordenada i ;
 \hat{F}_i – força flutuante em N, para a coordenada i , em um determinado modo de vibração.

Sendo que a parcela da força total referente à velocidade média do vento, acima designada como força média, \overline{F}_i , é determinada como segue:

$$\overline{F}_i = \overline{q}_p \cdot b^2 \cdot C_{ai} \cdot A_i \cdot (z_i / z_{ref})^{2p} \quad (2.14)$$

Onde: \overline{F}_i – força média em N, para a coordenada i ;
 \overline{q}_p – pressão dinâmica de projeto N/m², para a categoria II a uma altura de 10 m.
 b – parâmetro de correção definido pela NBR - 6123 para passar da categoria II para as demais categorias;
 C_{ai} – coeficiente de arrasto para a coordenada i ;
 A_i – Área de influência correspondente a coordenada i ;
 z_i – cota da coordenada i ;
 z_{ref} – altura de referência, $z_{ref} = 10m$;
 p – expoente da lei potencial do perfil de velocidades médias do vento.

Portanto, como podemos perceber e já havia sido definido, a força média \overline{F}_i independe das características dinâmicas.

A componente relativa à parcela referente à componente dinâmica é dada por \hat{F}_i , designada como componente flutuante da força total para um determinado modo de vibração, sendo calculada através da seguinte formulação:

$$\hat{F}_i = F_H \cdot \Psi_i \cdot x_i \quad (2.15)$$

Onde: \hat{F}_i – força flutuante em N, para a coordenada i ;

$$\Psi_i = m_i / m_o \quad (2.16)$$

Onde: Ψ_i – razão entre as massas m_i e m_o ;

m_i – massa discreta referente à coordenada i ;

m_o – massa arbitrária de referência.

$$F_H = \bar{q}_p \cdot b^2 \cdot A_o \cdot \left(\sum_{i=1}^N \beta_i \cdot x_i / \sum_{i=1}^N \Psi_i \cdot x_i^2 \right) \cdot \xi \quad (2.17)$$

Onde: \bar{F}_H – força em N;

\bar{q}_p – pressão dinâmica de projeto N/m²;

b – parâmetro de correção definido pela NBR 6123 para passar da categoria II para as demais categorias;

A_o – área arbitrária de referência;

x_i – deslocamento correspondente a coordenada i ;

N – número de graus de liberdade;

ξ – fator de amplificação dinâmica da NBR - 6123, ver gráficos (2.3a e 2.3b ao 2.7a e 2.7b);

$$\beta = C_{ai} \cdot (A_i / A_o) \cdot (z_i / z_{ref})^p \quad (2.18)$$

Onde: A_i – Área de influência correspondente a coordenada i ;

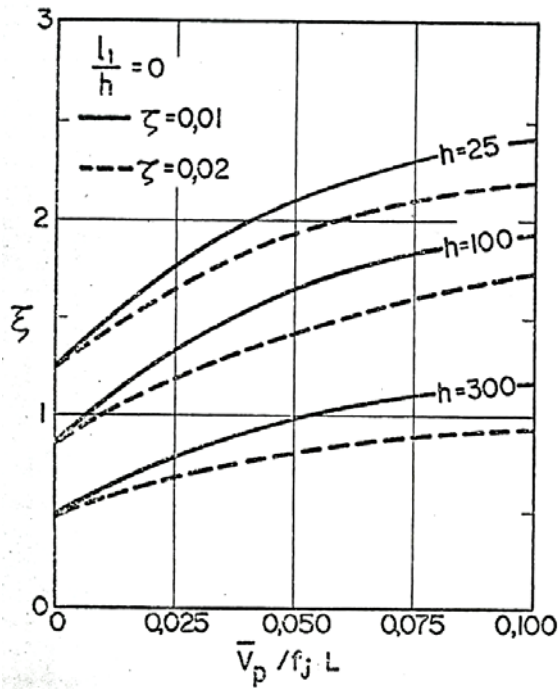


Figura 2.3a –Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria I e $l_1/h = 0$ ($L=1800$ e h em metros) – (NBR 6123).

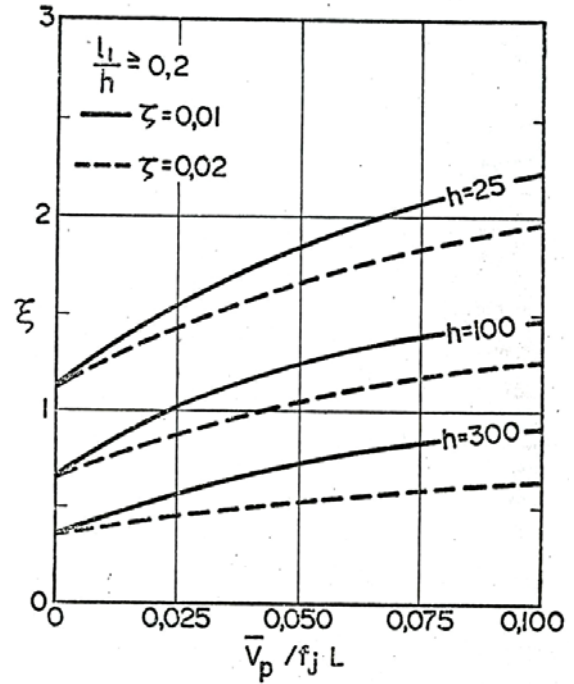


Figura 2.3b –Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria I e $l_1/h \geq 2$ ($L=1800$ e h em metros) – (NBR 6123).

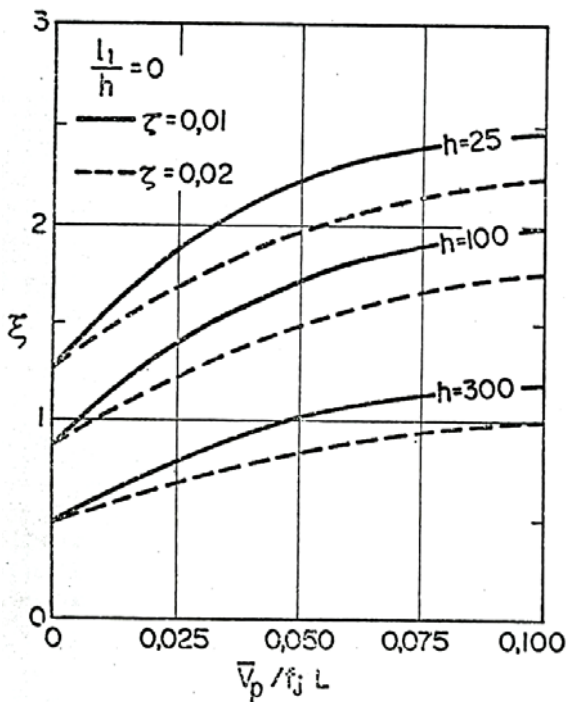


Figura 2.4a –Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria II e $l_1/h = 0$ ($L=1800$ e h em metros) – (NBR 6123).

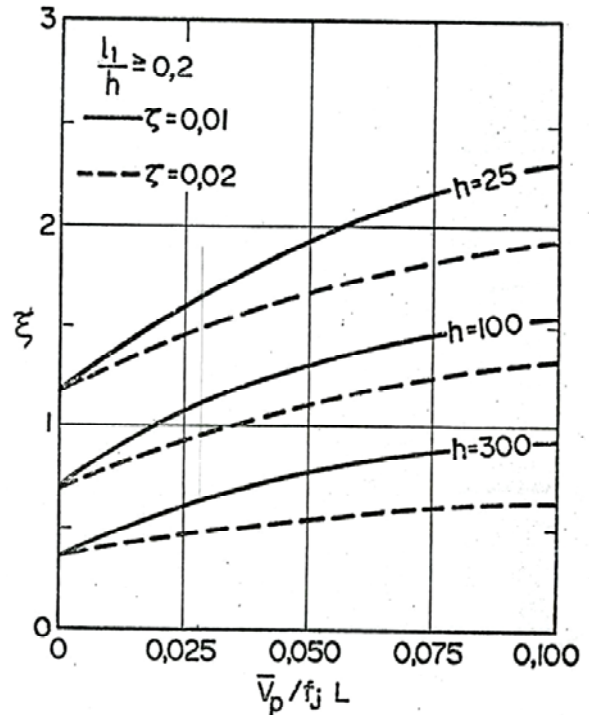


Figura 2.4b –Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria II e $l_1/h \geq 2$ ($L=1800$ e h em metros) – (NBR 6123).

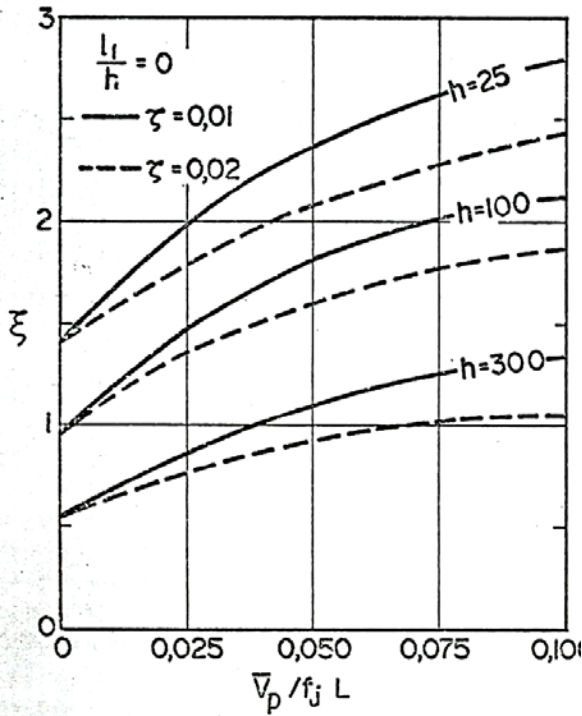


Figura 2.5a –Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria III e $l_1/h = 0$ ($L=1800$ e h em metros) – (NBR 6123).

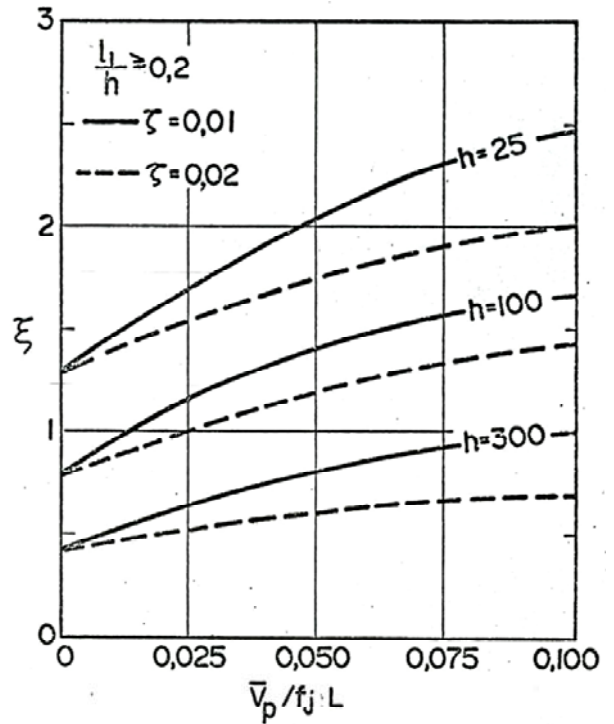


Figura 2.5b –Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria III e $l_1/h \geq 2$ ($L=1800$ e h em metros) – (NBR 6123).

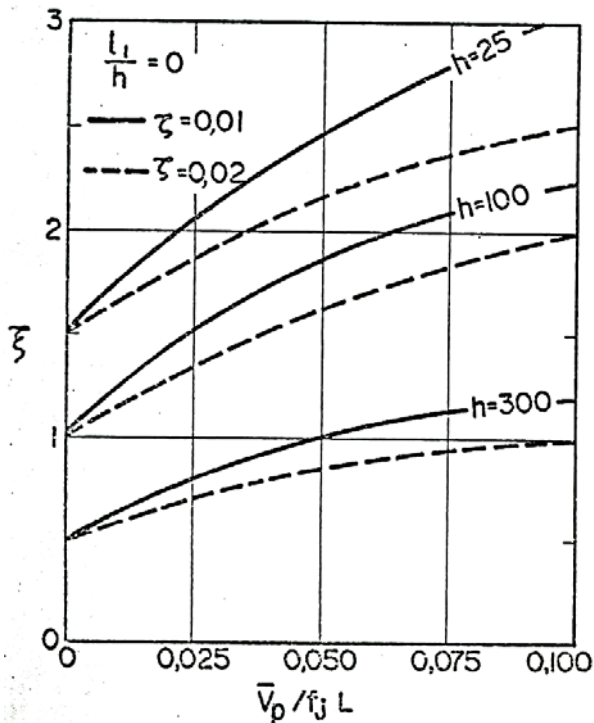


Figura 2.6a –Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria IV e $l_1/h = 0$ ($L=1800$ e h em metros) – (NBR 6123).

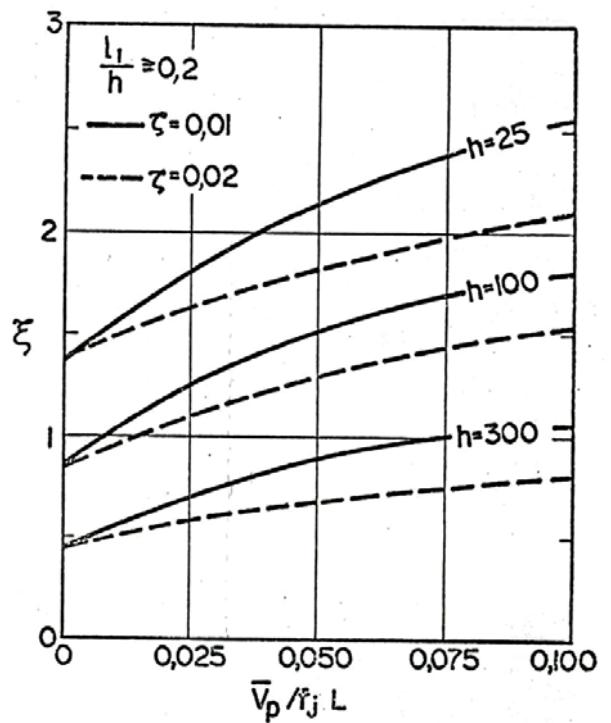


Figura 2.6b –Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria IV e $l_1/h \geq 2$ ($L=1800$ e h em metros) – (NBR 6123).

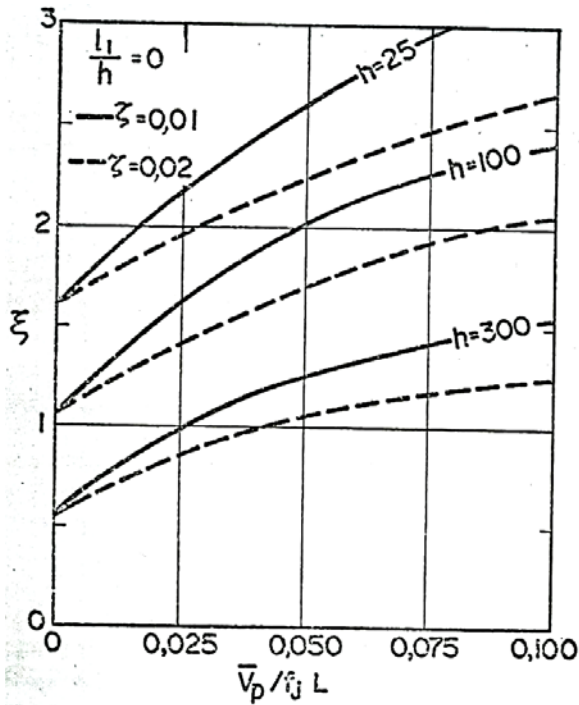


Figura 2.7a – Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria V e $l_1/h = 0$ ($L=1800$ e h em metros) – (NBR 6123).

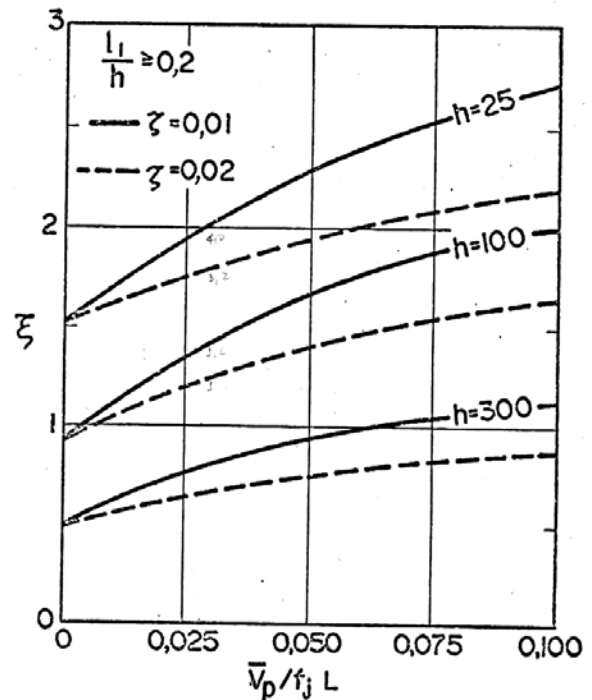


Figura 2.7b – Coeficiente de amplificação dinâmica (ξ) para terreno de categoria V e $l_1/h \geq 2$ ($L=1800$ e h em metros) – (NBR 6123).

NBCC - 1985

O NBCC (*National Building Code of Canada*) 1985 se baseia no processo apresentado por Davenport – Fator de Rajada. Assim como na norma brasileira o NBC também define um processo simplificado e outro detalhado, sendo este último, assim como para a NBR, o objeto de estudo deste trabalho.

Este processo da norma canadense destina-se principalmente a determinação das cargas globais devidas ao vento e da resposta de edifícios altos e estruturas esbeltas. Os parâmetros que regem esta marcha de cálculo são a intensidade da turbulência para o local onde estará instalada a edificação e que é uma função da altura e da rugosidade superficial da vizinhança; assim como as características da edificação como sua altura, largura, frequência natural de vibração e amortecimento. Por fim se determina o fator de rajada que multiplica a pressão de referência do vento, o fator de exposição e o coeficiente de pressão, e este último equivale ao coeficiente de arrasto da norma brasileira.

O NBCC trabalha com a velocidade básica de referência para um intervalo de tempo de uma hora, e por isso quando da aplicação desta norma será necessário transformar a

velocidade fornecida pelas nossas medições através das isopletras, pois estas são para uma rajada com duração de três segundos.

A pressão de referência do vento, que equivale à pressão dinâmica da NBR, é dada em kPa e portanto também terá de ser transformada para N/m^2 apenas por uma questão de coerência das unidades e facilitando a análise dos resultados. E é assim determinada:

$$q = C.(V)^2 \quad (2.19)$$

Onde: q – pressão dinâmica de projeto kPa;
 C – fator de correção em função da temperatura do ar e da pressão atmosférica;
 V – velocidade de referência, é uma velocidade média horária.

O valor da constante C para valores normais de temperatura e pressão é:

$$C = 50 \times 10^{-6} \text{ – se a velocidade for medida em km/h;}$$

$$C = 650 \times 10^{-6} \text{ – se a velocidade for medida em m/s.}$$

Para obtermos os valores em N/m^2 e para a velocidade em m/s teremos então a seguinte equação:

$$q = 0,65.(V)^2 \quad (2.20)$$

O **fator de exposição** C_e é o coeficiente que corrige o perfil da velocidade em função da rugosidade do terreno, este equivale ao fator S2 da NBR 6123, só que C_e é elevado ao quadrado e aplicado diretamente sobre a pressão, enquanto o S2 é aplicado sobre a velocidade que é elevada ao quadrado. Sendo C_e definido a seguir:

- Fator de exposição A:

$$C_e = (z/10)^{0,28}, C_e \geq 1,0 \quad (2.21a)$$

- Fator de exposição B:

$$C_e = 0,5 \cdot (z/12,7)^{0,50}, \quad C_e \geq 0,5 \quad (2.21b)$$

- Fator de exposição C:

$$C_e = 0,4 \cdot (z/30)^{0,72}, \quad C_e \geq 0,4 \quad (2.21c)$$

Onde: z – cota em relação ao solo em metros.

Uma das aplicações, além da definição do perfil da velocidade, é determinar a **velocidade média horária no topo da edificação**, V_H :

$$V_H = V \cdot \sqrt{C_{eH}} \quad (2.22)$$

Onde: V_H – velocidade média horária no topo da edificação;

V – velocidade média horária de referencia;

C_{eH} – fator de exposição para o topo da edificação.

Traçando, mais uma vez, um paralelo com a NBR - 6123 o **fator de efeito da rajada**, C_g , se apresenta como a soma da parcela média com a parcela flutuante, mas na forma de coeficientes de ponderação, como a seguir:

$$C_g = 1 + g_p \cdot (\sigma / \mu) \quad (2.23)$$

Onde: C_g – fator de efeito da rajada ;

1 – parcela referente a componente média;

$g_p \cdot (\sigma / \mu)$ – parcela referente a componente flutuante, sendo:

g_p – fator de pico do efeito total do carregamento;

σ – desvio padrão do efeito total do carregamento;

μ – valor médio do efeito total do carregamento.

Sendo:

$$g_p = \sqrt{2 \cdot \log_e(\nu T) + 0.577} / \sqrt{2 \cdot \log_e(\nu T)} \quad (2.24)$$

Onde: g_p – fator de pico do efeito total do carregamento;

T – 3600 s;

ν – razão de flutuação:

Sendo:

$$\nu = n_o \cdot \sqrt{s \cdot F / (s \cdot F + \zeta \cdot B)} \quad (2.25)$$

Onde: ν – razão de flutuação;

n_o – frequência natural de vibração, em Hz;

s – fator de redução de dimensão (ver figura 2.8, função de L/H e da frequência reduzida $n_o \cdot H / V_H$);

F – fator de energia da rajada para a frequência natural da estrutura (ver figura 2.9, é função do número de onda, n_o / V_H);

ζ – razão de amortecimento crítico;

B – fator de resposta turbulenta (ver figura 2.10, função de L/H):

L – largura da edificação da face de barlavento,

H – altura da edificação da face de barlavento.

E por fim:

$$(\sigma / \mu) = \sqrt{(K / C_{eH}) \cdot (B + (s \cdot F / \zeta))} \quad (2.26)$$

Onde: (σ / μ) – coeficiente de variação de pressão ;

K – fator relacionado com o coeficiente da rugosidade superficial do terreno, sendo $K=0,08$ – fator de exposição A,

$K=0,10$ – fator de exposição B,

$K=0,14$ – fator de exposição C;

C_{eH} – fator de exposição para o topo da edificação;

B – fator de resposta turbulenta (ver figura 2.10, função de L/H):

- L – largura da edificação da face de barlavento,
 H – altura da edificação da face de barlavento;
 s – fator de redução de tamanho (ver figura 2.8, função de L/H e da frequência reduzida $n_0 \cdot H / V_H$);
 V_H – velocidade média horária no topo da edificação;
 F – fator de energia da rajada para a frequência natural da estrutura (ver figura 2.9, é função do número de onda, n_0 / V_H);
 ζ – razão de amortecimento crítico.

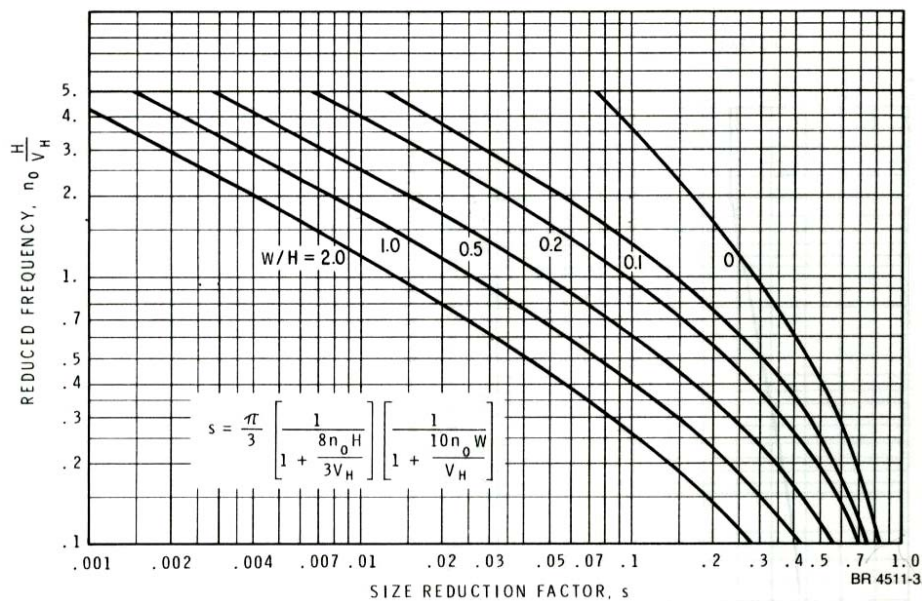


Figura 2.8 – Fator de redução de dimensão, como uma função da largura, altura e frequência reduzida da estrutura - (NBCC, 1985).

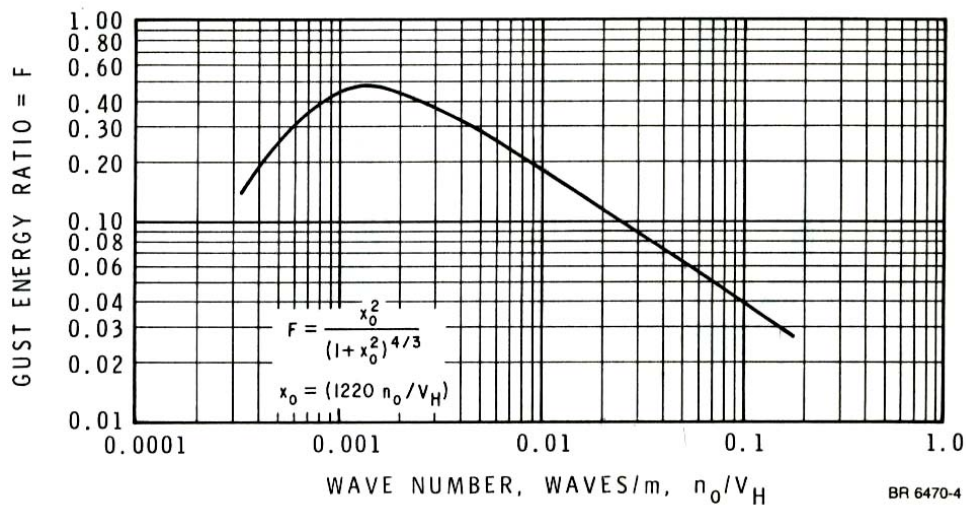


Figura 2.9 – Fator da energia de rajada como uma função do número de onda - (NBCC, 1985).

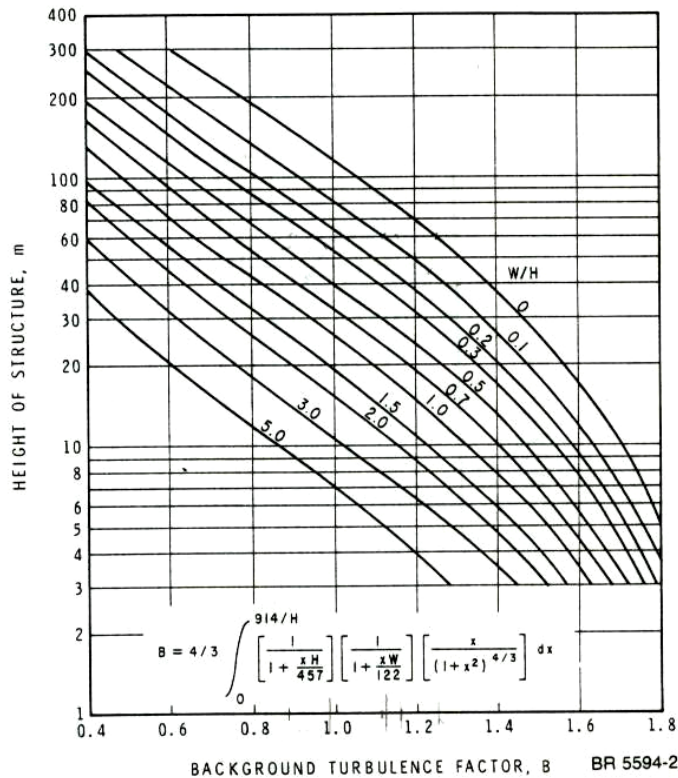


Figura 2.10 – Fator de resposta turbulenta, função da largura e da altura da estrutura - (NBCC, 1985).

2.2 Torção

Os esforços de torção podem decorrer da desigualdade da distribuição de pressões ou de assimetrias arquitetônicas (geométricas) e/ou estruturais. Apesar disto, poucas normas fornecem parâmetros para a determinação dos coeficientes de torção em edifícios.

Em geral as normas apresentam coeficientes de força apenas para o vento incidindo perpendicularmente a cada uma das fachadas de edifícios de planta retangular, e a força devida ao vento terá a mesma direção e sentido do vento médio (Blessmann, 1989). Contudo, mesmo nestes casos, como já foi dito, esforços de torção podem ocorrer ou devido a um sistema estrutural assimétrico ou simplesmente uma assimetria geométrica, ou ambos.

Ensaio em túneis de vento têm demonstrado que mesmo em edifícios prismáticos de bases retangulares, ou até quadradas, com o eixo de simetria torcional coincidindo com os eixos de simetria estrutural e geométrico podem ocorrer esforços de torção significativos. Estas torções podem ser conseqüências de determinadas incidências oblíquas ou até mesmo para o vento atuando perpendicularmente a uma das faces, sendo a torção decorrente da

distribuição assimétrica das pressões resultado da turbulência. Portanto, apenas a turbulência já é suficiente para gerar torções em um edifício.

Segundo Blessmann (1989):

$$C_t = \frac{M_t}{q.A.a} \quad (2.27)$$

Onde: C_t – coeficiente de momento torçor;

M_t – momento torçor;

q – pressão dinâmica de referência;

A – área da seção vertical longitudinal do edifício;

a – maior dimensão da projeção horizontal do edifício.

No caso em estudo, assim como nos códigos e normas que tratam do assunto, temos uma edificação paralelepípedica com base retangular ($a \times b$), sendo $a > b$. Neste caso os eixos de torção e simetria são coincidentes.

Como já foi descrito anteriormente, foi simulado o vento incidindo no modelo isolado com duas situações fundamentais, sendo uma equivalente à categoria I e a outra à categoria V, e esta com quatro variações de vizinhança. Contudo para o modelo com as situações de vizinhança apenas foi ensaiado o vento equivalente a categoria V (ver figuras 4.9 a 4.12). Em todas as seis situações descritas fez-se o vento variar de 0° a 90° com o incremento de 15° .

As pressões devidas ao vento, que atuam nas quatro faces verticais, originam uma força horizontal resultante (F_h) que aplicada com uma determinada excentricidade em relação ao centro de torção resultará no momento torçor. Este estudo visa determinar estas excentricidades e compará-las com as recomendações da NBR-6123 e com o NBC-1985.

Os códigos em estudo fundamentalmente trabalham com uma excentricidade pré-estabelecida. Na NBR 6123 o valor da excentricidade varia a depender se a edificação em estudo sofre ou não influência de vizinhança. Já o NBC tem a sua consideração para a torção independente de haver ou não vizinhança. Neste estudo determinaremos o momento torçor e a partir dele as excentricidades.

As normas em estudo, em suas considerações sobre a incidência do vento, apenas consideram este atuando a 0° , 90° , 180° ou a 270° e conseqüentemente o momento torçor sempre é determinado pelo produto da excentricidade por estas resultantes, que atuam perpendicularmente à face na qual está incidindo o vento. Para podermos traçar um paralelo

entre os resultados do modelo experimental e as considerações da NBR e do NBC, as excentricidades para cada ângulo de incidência do vento, em cada caso estudado, serão determinadas em função do vento que incide perpendicularmente a cada uma das faces. Portanto a força para o vento a 0° determinará a excentricidade ao longo do eixo “y” (e_a), para cada ângulo de incidência simulado, e a força para o vento a 90° determinará a excentricidade ao longo do eixo “x” (e_b), da mesma forma. Os eixos “x” e “y” são relativos a um novo sistema de coordenadas onde sua origem coincide com o centro geométrico do modelo, este novo sistema de coordenadas cartesianas foi criado para facilitar a determinação do momento torçor, ver equação 2.28.

Os valores de M_t são determinados pelo somatório vetorial de $F_i.l_i$, ou seja:

$$M_t = \sum F_i.l_i \quad (2.28)$$

Onde: M_t – momento torçor;

F_i – força correspondente a cada ponto de medição de Δp_e ;

l_i – posição do ponto de tomada de pressão em relação ao eixo vertical geométrico (ver figura 2.11);

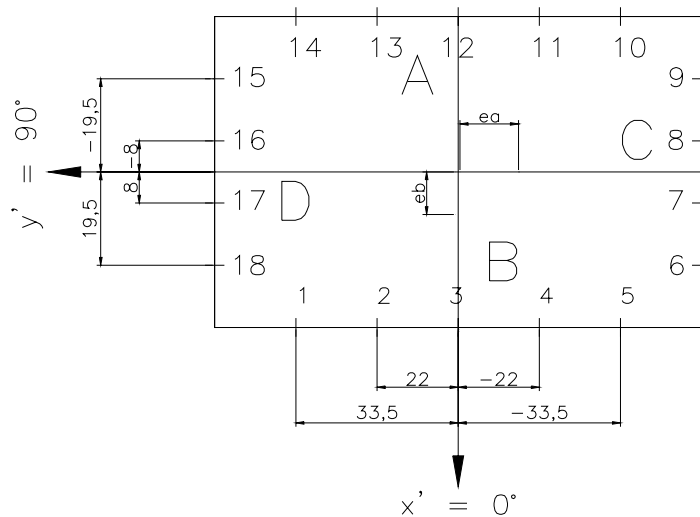


Figura 2.11 – Localização dos pontos de tomada de pressão em relação ao eixo vertical geométrico.

Os valores de F_i são determinados pelo produto vetorial de $A_i \cdot c_{pe} \cdot q_i$, ou seja:

$$F_i = A_i \cdot c_{pe} \cdot q_i \quad (2.29)$$

Onde: F_i – correspondente a cada ponto de medição de Δp_e ;
 A_i – área de influência de cada ponto de tomada de pressão;
 c_{pe} – coeficiente de pressão externa determinada para cada ponto de tomada de pressão (ver item 3.2.3).
 q – pressão dinâmica;

Os valores de e_a são determinados pelo quociente de $Mt_\alpha \div F^0$, ou seja:

$$e_{a\alpha} = Mt_\alpha / F^0 \quad (2.30)$$

Onde: $e_{a\alpha}$ – excentricidade ao longo do eixo “y”, para cada ângulo de incidência do vento (ver tabelas 2.1 a 2.6);
 Mt_α – momento torçor para cada ângulo de incidência do vento, (ver tabelas 2.1 a 2.6);
 F^0 – força devida ao vento com incidência a 0° , ou seja força ao longo do eixo “x”, (ver tabelas 2.1 a 2.6).

Os valores de e_b são determinados pelo quociente de $Mt_\alpha \div F^{90}$, ou seja:

$$e_{b\alpha} = Mt_\alpha / F^{90} \quad (2.31)$$

Onde: $e_{b\alpha}$ – excentricidade ao longo do eixo “x”, para cada ângulo de incidência do vento (ver tabelas 2.1 a 2.6);
 Mt_α – momento torçor para cada ângulo de incidência do vento, (ver tabelas 2.1 a 2.6);
 F^{90} – força devida ao vento com incidência a 90° , ou seja, força ao longo do eixo “y”, (ver tabelas 2.1 a 2.6).

2.3 Apresentação do Caso

Como já foi apresentado anteriormente, a constante evolução da engenharia estrutural, assim como da engenharia dos materiais, foi um dos fatores que propiciou o estudo deste tema, pois como consequência deste fato as edificações têm se tornado cada vez mais esbeltas e flexíveis, e portanto mais sensíveis às ações do vento.

O caso estudado neste trabalho é um edifício localizado na Avenida Paulista em São Paulo, que tem 60m de altura e base de 25,15m x 16,15m. Este mesmo edifício já havia sido ensaiado, em um modelo estático, por Riera *et al* (1994), onde foram obtidos os coeficientes de pressão externa, de força e de arrasto simulando a vizinhança onde o mesmo se encontra inserido.

O estudo deste modelo divide-se então em três partes sendo a primeira as recomendações padrão das NBR 6123 e o NBC 1985, a segunda os resultados obtidos por prof. Blessmann e a terceira que são os resultados obtidos nos ensaios específicos para este trabalho.

Neste estudo foram analisados, no *Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann (TV-2)* da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, seis situações sendo duas sem vizinhança e quatro com vizinhança. Para o modelo isolado, sem qualquer efeito de vizinhança, como descrito no capítulo 3, foram simuladas duas situações de vento: uma com um vento semelhante à categoria I da NBR 6123 e a outra com o vento equivalente à categoria V da NBR 6123. No modelo com vizinhança foram simuladas quatro situações de vizinhança, através do posicionamento de um modelo mudo (não monitorado), idêntico ao monitorado. Este modelo mudo foi posicionado à frente do modelo monitorado alinhado e tendo suas bases maiores paralelas conforme a figura 2.13 e foi simulado o vento incidindo frontalmente, ou seja, com ângulo de incidência 0° , e variando até 90° , com incremento de 15° , conforme ilustrado na figura 2.12.

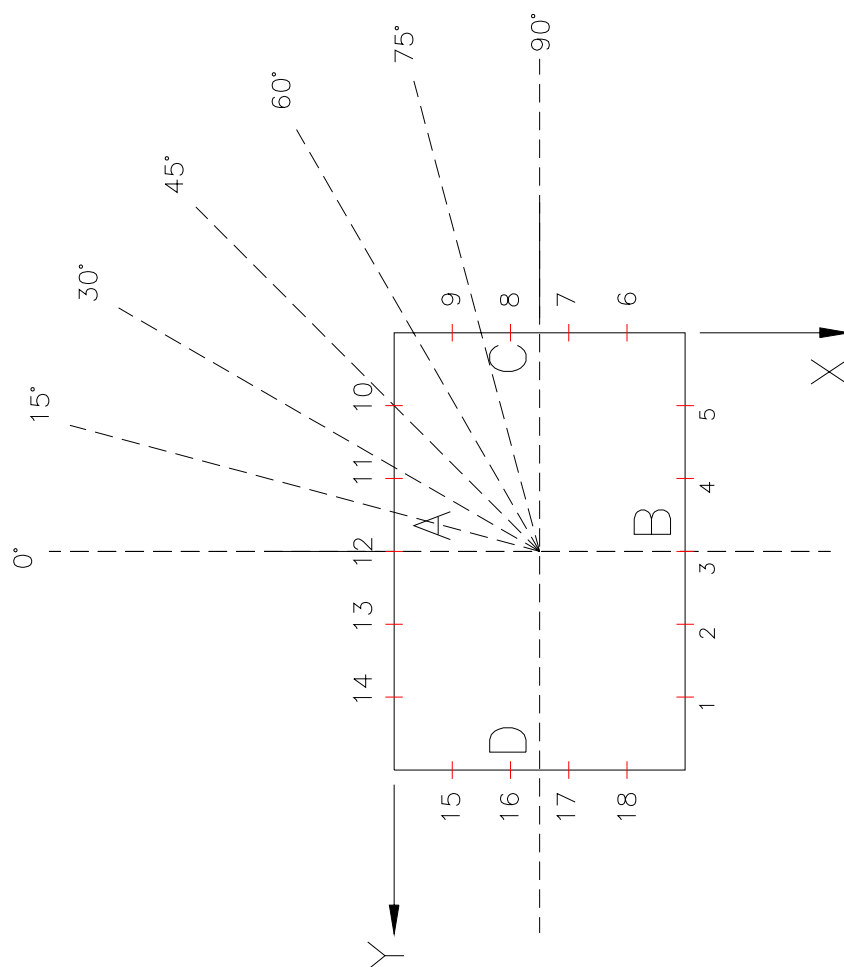
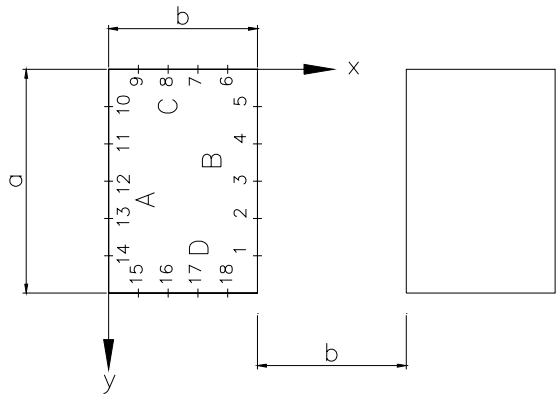
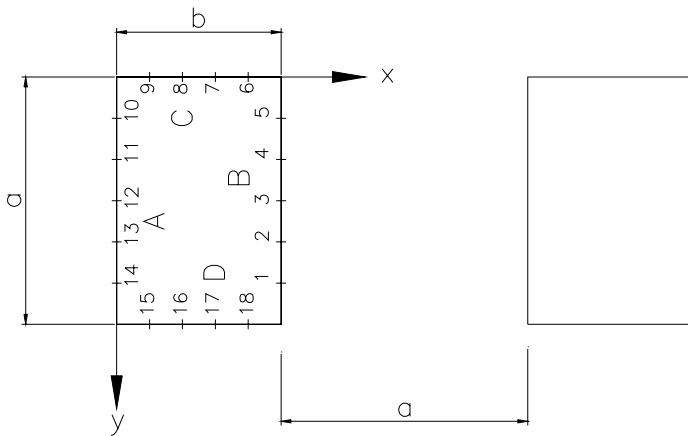


Figura 2.12 – Ilustração dos ângulos de incidência do vento ensaiados.

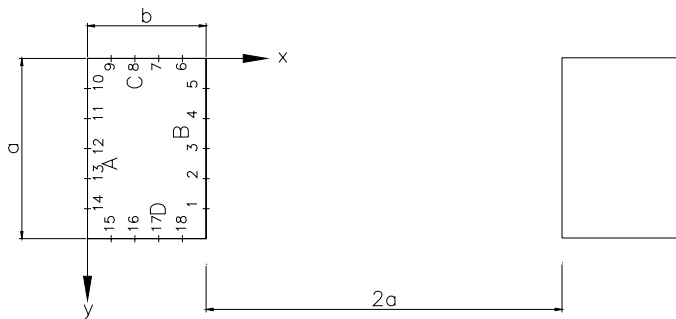
Em virtude da simetria do modelo foi possível apenas variar a incidência do vento de 0° a 90° . Os coeficientes de força e arrasto obtidos nos ensaios deste trabalho, bem como, os obtidos nos estudos do Prof. Joaquim Blessmann, serão aplicados substituindo os respectivos coeficientes das normas brasileira e canadense nas suas respectivas marchas de cálculo. As condições de vizinhança consideradas nos estudos do Prof. Joaquim Blessmann, Riera *et al* (1994), estão representadas na figura 2.14. Os efeitos da torção apenas serão comparados às excentricidades, obtidas para cada um dos seis casos ensaiados especificamente para este trabalho, com as recomendações dos códigos.



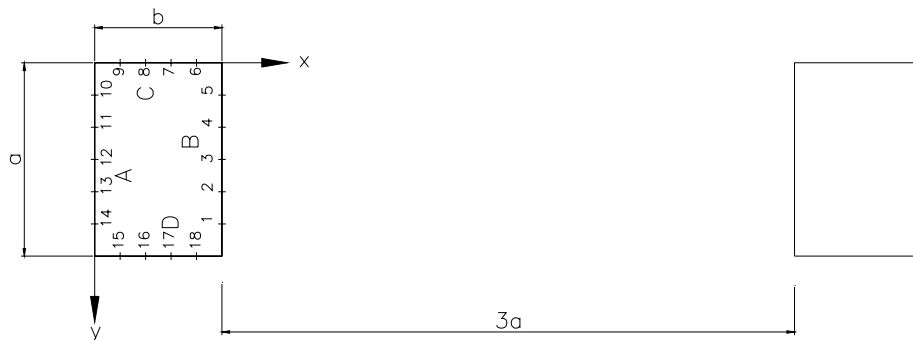
Modelo mudo distante 1 vez a menor dimensão da sua projeção horizontal



Modelo mudo distante 1 vez a maior dimensão da sua projeção horizontal

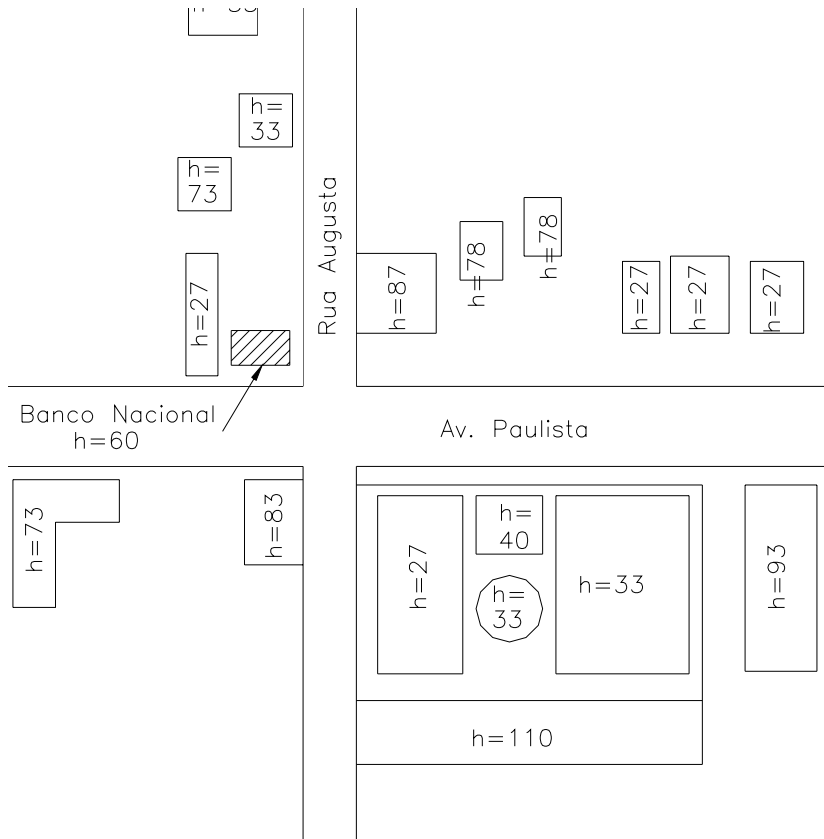


Modelo mudo distante 2 vezes a maior dimensão da sua projeção horizontal



Modelo mudo distante 3 vezes a maior dimensão da sua projeção horizontal

Figura 2.13 – Ilustração das situações de vizinhança ensaiadas.



h=Altura em metros

Figura 2.14 – Ilustração da vizinhança, da época, onde o edifício em estudo está inserido.

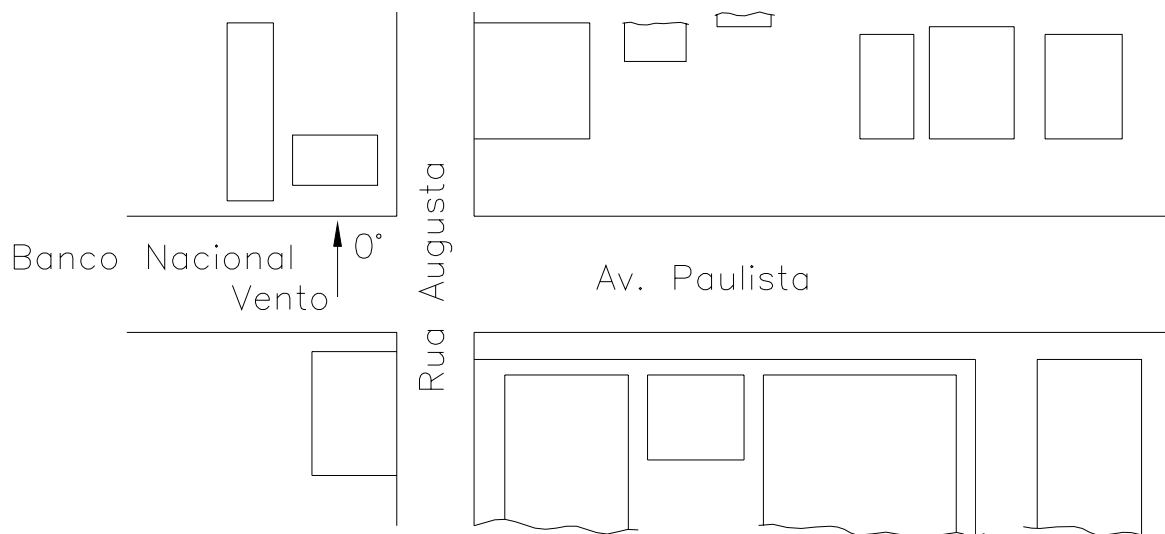


Figura 2.15 – Ilustração incidência do vento.

3 Ensaio em Túnel de Vento

3.1 Túnel de Vento

Os ensaios foram realizados no Túnel de Vento *Prof. Joaquim Blessmann* (TV-2) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Blessmann, 1982), mostrado na figura 3.1. Trata-se de um túnel de vento de camada limite de retorno fechado, projetado especificamente para ensaios estáticos e dinâmicos de modelos de construções civis. Este túnel permite a simulação das principais características de ventos naturais. Tem relação *comprimento / altura* da câmara principal de ensaios superior a 10 (dez), e dimensões 1,30m x 0,90m x 9,32m (largura x altura x comprimento). A velocidade máxima do escoamento de ar nesta câmara, com vento uniforme e suave, sem modelos, é de 42 m/s (150 km/h). As hélices do ventilador são acionadas por um motor elétrico de 100 HP e a velocidade do escoamento é controlada manualmente através de aletas radiais metálicas que obstruem a passagem do ar.



Figura 3.1 - Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann.

Atualmente o túnel de vento dispõe de três mesas giratórias para a realização de ensaios estáticos e dinâmicos. A localização destas mesas e outras características físicas do túnel de vento podem ser vistas na figura 3.2. Maiores detalhes e outras informações sobre o túnel de vento podem ser encontrados em Blessmann (1982, 1990).

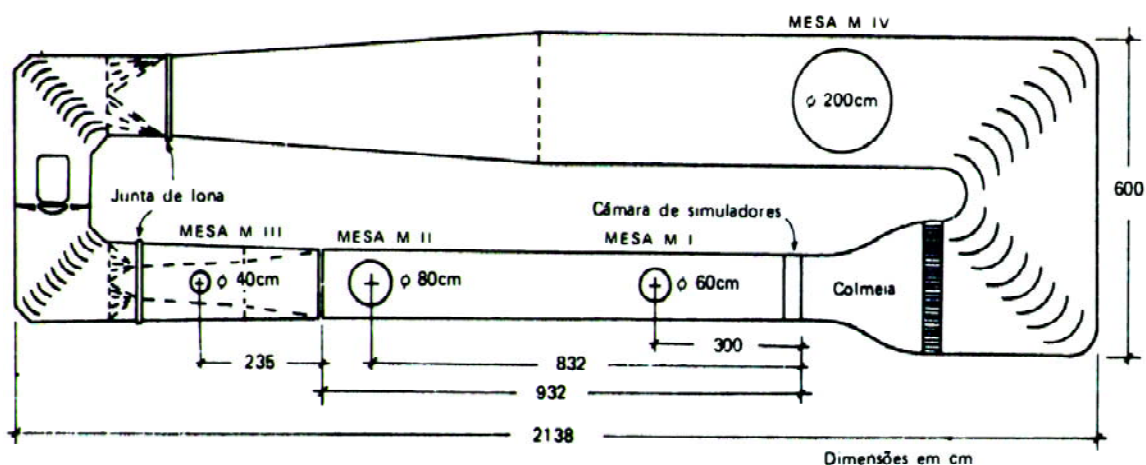


Figura 3.2 – Circuito aerodinâmico do Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann (Blessmann, 1990).

Durante a realização dos testes a velocidade do túnel é monitorada através da medida diferencial de pressão estática, Δpa , lida em dois anéis piezométricos situados nos extremos do convergente situado na entrada da seção principal de trabalho. Estas leituras são feitas por meio de um micromanômetro à água tipo Betz, e podem ser acompanhadas de medidas feitas pelos multimanômetros à álcool ou pelos transdutores elétricos de pressão. Para os diversos perfis de velocidade dos ventos simulados no túnel foram determinados os coeficientes k_o , que vinculam a pressão dinâmica, q , em qualquer ponto da seção transversal do túnel e a pressão de referência Δpa . Desta forma é possível calcular a pressão dinâmica e a velocidade do escoamento em qualquer ponto da seção transversal, devidamente mapeada, pela simples leitura da pressão de referência. Esta relação é mostrada na equação 3.1.

$$q = k_o \Delta pa \quad (3.1)$$

Sendo: q – pressão dinâmica ao longe = $(1/2) \rho V^2$ [Pa];

V – velocidade média do vento [m/s];

k_o – coeficiente que vincula q e Δpa ;

Δpa – pressão de referência (diferença de pressão entre os anéis piezométricos) [Pa].

3.2 Simulação do vento natural

A simulação correta das principais características do vento natural em túneis de vento é requisito básico para aplicações em Engenharia Civil (Davenport e Isyumov, 1967), sem a qual os resultados obtidos podem se afastar consideravelmente da realidade.

A reprodução das características do vento é obtida através da combinação adequada de obstáculos colocados em uma gaveta no início da câmara de ensaios e blocos disseminados no piso da seção principal de ensaios. Uma outra possibilidade de reprodução da estrutura do vento natural é através de jatos de ar lançados perpendicularmente ao vento gerado no túnel, a partir de seu piso. Maiores informações sobre a reprodução das características do vento natural no túnel em questão podem ser obtidas em Blessmann (1982, 1990).

Os modelos foram ensaiados para 2 tipos de escoamentos, na mesa M-II foram simulados os ventos deslizantes e turbulentos com perfis potenciais de velocidades médias de expoente $p=0,11$ e $p=0,34$, respectivamente. As principais características destes ventos simulados podem ser vistas nas figuras 3.3 e 3.4: perfil vertical das velocidades médias, em percentagem da velocidade média no eixo longitudinal do túnel (pontos experimentais e curva potencial teórica), além da intensidade (I_1) e da macroescala (L_1) da componente longitudinal da turbulência.

O perfil das velocidades médias é expresso, aproximadamente, pela lei potencial:

$$\frac{V(z)}{V_{ref}} = \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^p \quad (3.2)$$

Sendo: $V(z)$ – velocidade média na altura z ;

V_{ref} – velocidade média em uma altura de referência (no túnel,

z_{ref} - 450mm (cota do eixo longitudinal do túnel);

p – expoente da curva de potência.

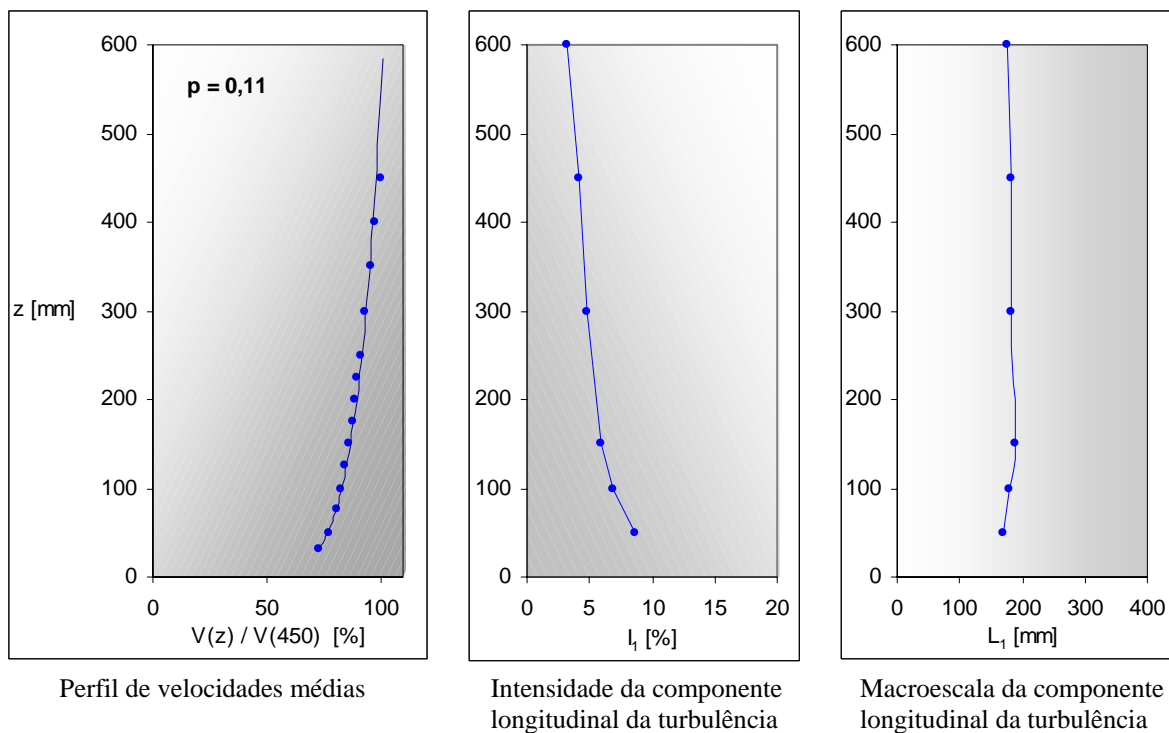
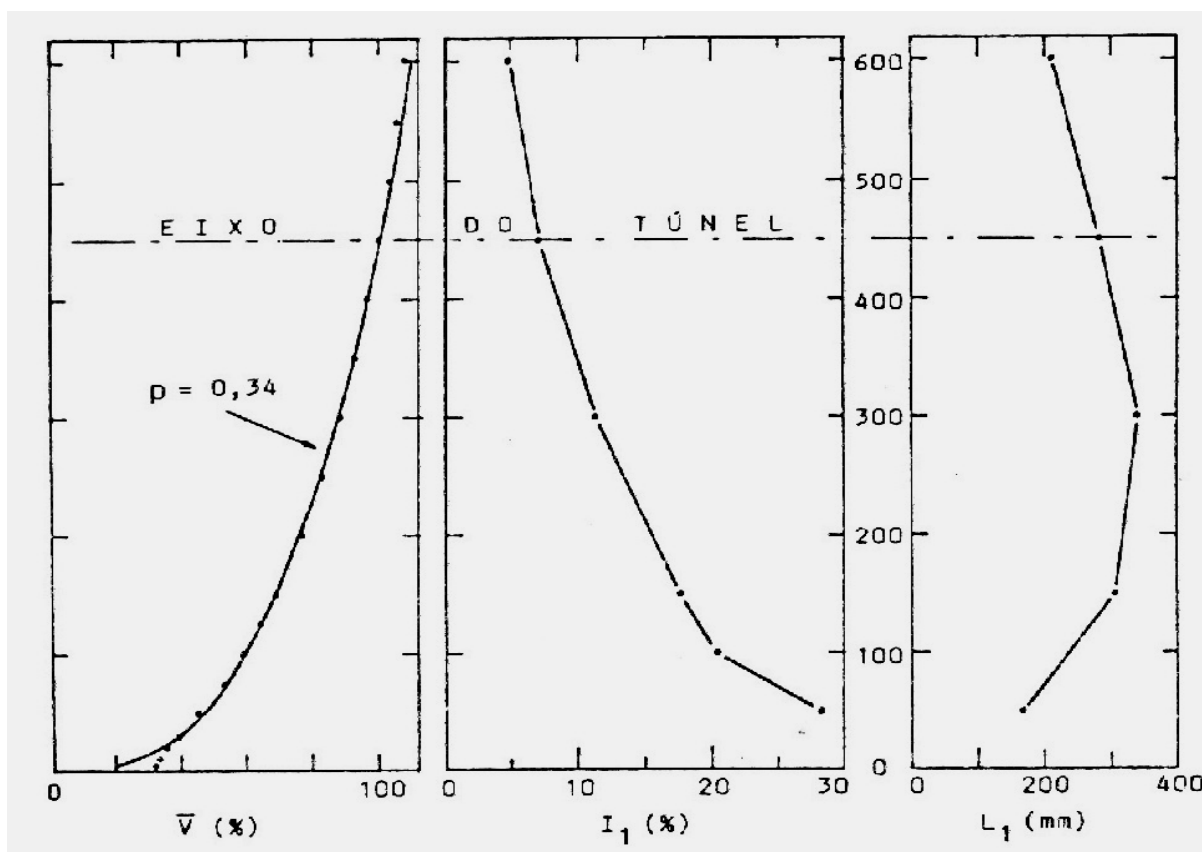


Figura 3.3 - Características do vento deslizando e turbulento simulado com expoente $p=0,11$.



Perfil de velocidades médias Intensidade da componente longitudinal da turbulência Macroescala da componente longitudinal da turbulência

Figura 3.4 - Características do vento deslizando e turbulento simulado com expoente $p=0,34$.

3.3 Ensaio Estáticos

3.3.1 Determinação experimental das pressões médias

A determinação experimental das características do escoamento em torno de um sólido imerso em um fluido em movimento se faz necessária sempre que um estudo teórico não é capaz de fornecer resultados confiáveis ou quando não há informação disponível na literatura. Em raros casos é empregado um modelo em escala natural, entretanto o estudo pode ser feito em modelo reduzido. Este estudo implica na determinação das condições que devem ser satisfeitas para que os escoamentos em torno de corpos geometricamente semelhantes sejam também semelhantes.

3.3.2 Modelos estáticos

Foram construídos dois modelos estáticos, geometricamente idênticos, em uma escala geométrica de 3/1000, um instrumentado e um outro não, e por esta razão denominado de modelo mudo, para simular quatro distintas situações de vizinhança. A fotografia dos modelos pode ser vista nas figuras 3.5, 3.6 e 3.7. Os modelos foram prismáticos de base retangular com as dimensões 75mm x 47mm x 180mm (largura x altura x comprimento), conforme figura 3.8, construídos em madeira, sendo que o modelo monitorado teve sua superfície revestida com alumínio.



Figura 3.5 – Modelo mudo e modelo monitorado revestido com alumínio no interior do túnel de vento, com simuladores da rugosidade.



Figura 3.6 – Modelo mudo e modelo monitorado revestido com alumínio no interior do túnel de vento, utilizado para simular o modelo com vizinhança 1b com $p=0,34$.



Figura 3.7 – Modelo monitorado revestido com alumínio, isolado, no interior do túnel de vento, com simuladores da rugosidade.

O modelo foi instrumentado com 90 tomadas de pressão estática distribuídas ao longo da altura do modelo, sendo: 25 tomadas dispostas em conjuntos de cinco pontos, em cada uma das duas faces maiores e 20 tomadas, dispostas em conjuntos de quatro pontos, em cada uma das faces menores, estando estes conjuntos de pontos alinhados e dispostos a 31mm, 86mm, 131mm, 161mm e 176mm da base (ver figura 3.8).

A fim de serem obtidos valores médios das pressões estáticas empregam-se mangueiras plásticas, na saída do modelo, com diâmetro interno de 1 mm e comprimento de aproximadamente de 1,2m. Estas mangueiras, cujos extremos dentro do modelo constituíam as tomadas de pressão, foram ligadas a outras com cerca de 5m de comprimento e diâmetro interno de 2mm; estas, por sua vez, foram ligadas aos tubos de vidro do multimanômetro a álcool, tubos estes com 5mm de diâmetro. As medidas foram registradas fotograficamente. A esquematização dos modelos, dimensões e a distribuição das tomadas de pressão são mostradas na figura 3.8.

3.3.3 Procedimentos de ensaio

Os ensaios foram realizados sob dois parâmetros de vento sendo os perfis potenciais de velocidades médias de expoente $p=0,11$ (categoria I da NBR - 6123), sem considerar efeito de vizinhança, sendo designado por modelo sem vizinhança com $p=0,11$, e $p=0,34$ (categoria V da NBR - 6123) considerando sem vizinhança, figura 3.9 sendo denominado por modelo sem vizinhança com $p=0,34$, e com quatro variações de vizinhança. As simulações foram feitas, como já foi dito, utilizando um modelo mudo geometricamente idêntico ao modelo monitorado, estando esse modelo na primeira situação a 47mm (dimensão da menor face), na segunda situação a 75mm (dimensão da maior face) e, 150mm e 225mm para a terceira e quarta situação respectivamente (dimensões duas e três vezes a maior face, respectivamente), como mostra as figuras 3.6, 3.10, 3.11, 3.12; sendo designadas por com vizinhança 1b com $p=0,34$, com vizinhança 1a com $p=0,34$, com vizinhança 2a com $p=0,34$, com vizinhança 3a com $p=0,34$; respectivamente.

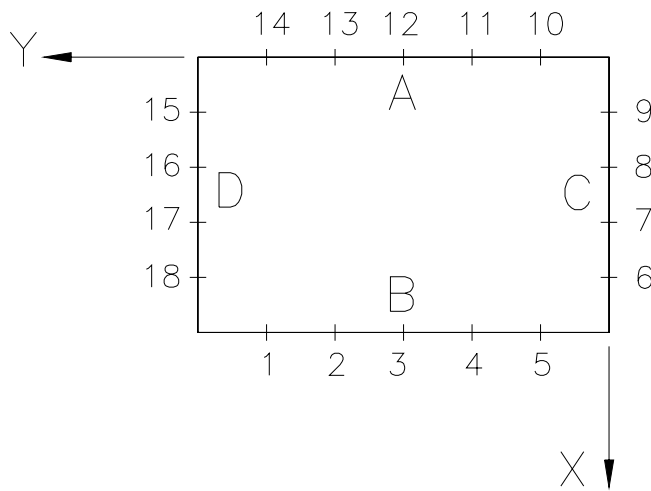
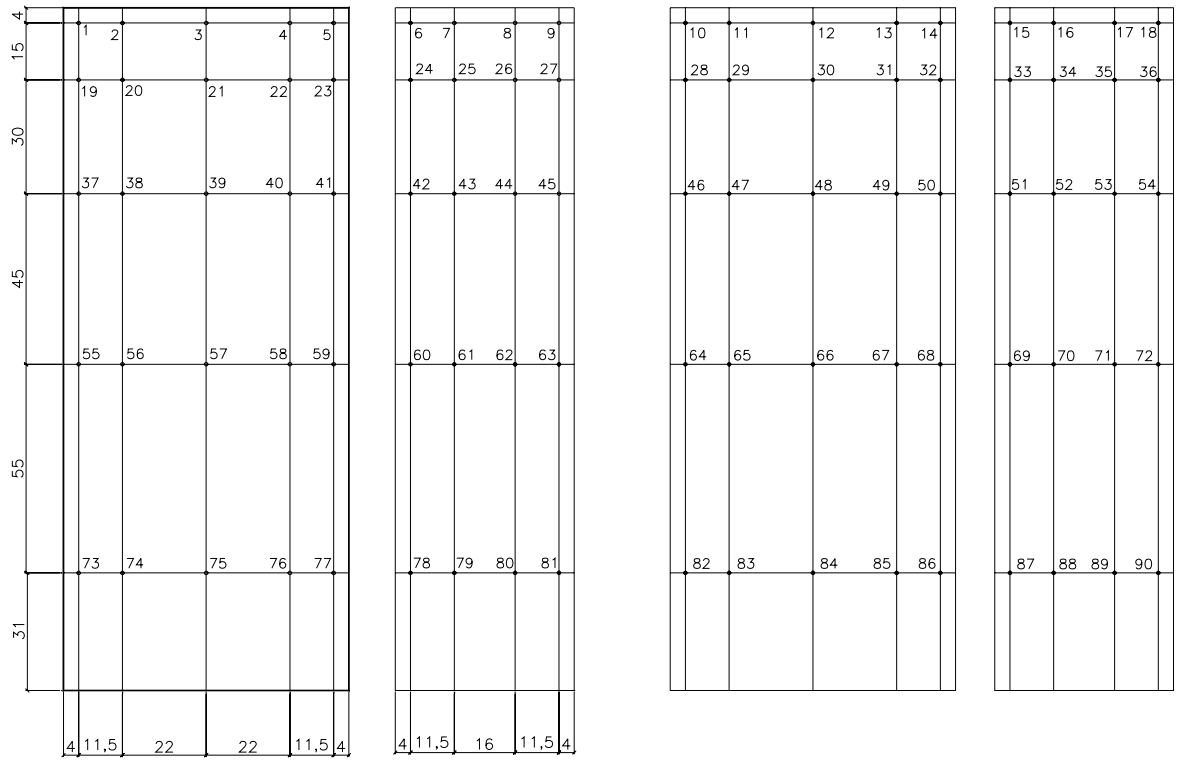


Figura 3.8 - Dimensões dos modelos estáticos [mm] e localização das tomadas de pressão.

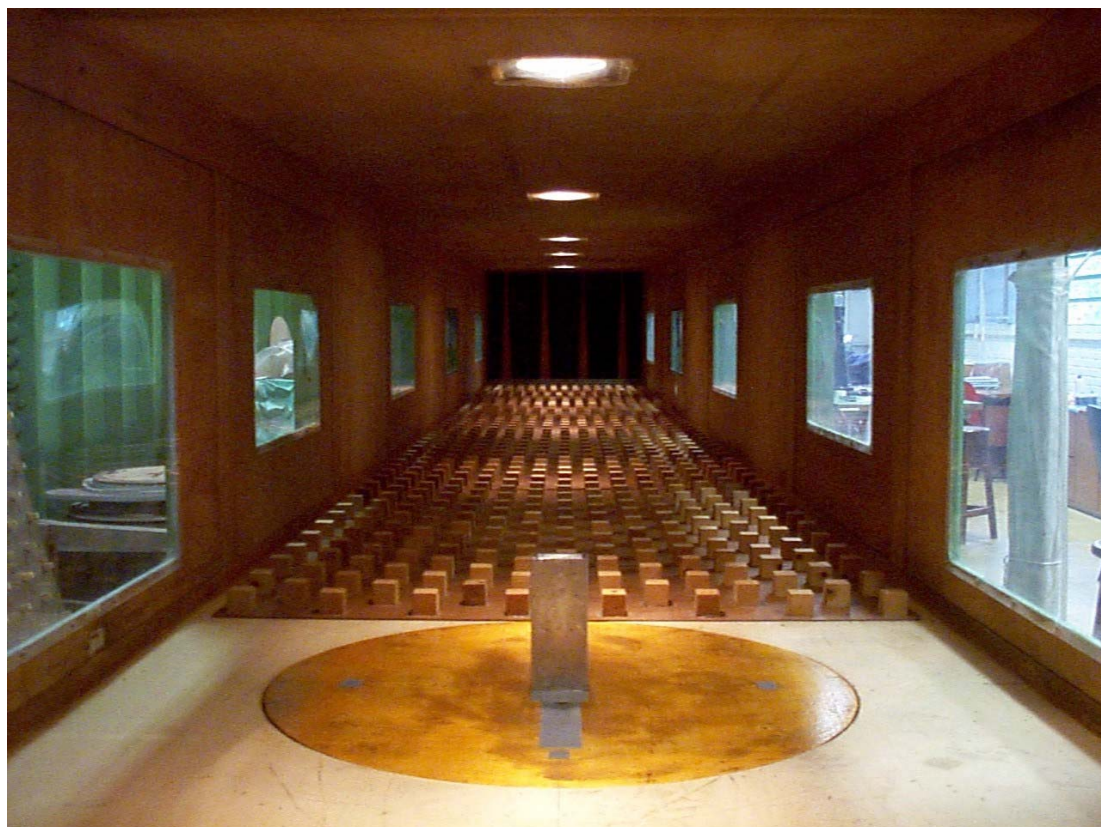


Figura 3.9 – Modelo sem vizinhança com $p=0,34$.



Figura 3.10 – Modelo com vizinhança 1a com $p=0,34$.



Figura 3.11 – Modelo com vizinhança 2a com $p=0,34$.



Figura 3.12 – Modelo com vizinhança 3a com $p=0,34$.

Para a determinação dos coeficientes aerodinâmicos, de acordo com a distribuição das tomadas de pressão, o modelo foi girado entre 0° e 90° , com leituras a cada 15° , em relação ao eixo longitudinal do túnel. Resultando num montante de sete incidências para cada conjunto de 90 tomadas, num total de 630 medidas de pressão para cada uma das seis simulações. O esquema apresentado na figura 3.13 identifica a referência para o ângulo de incidência do vento.

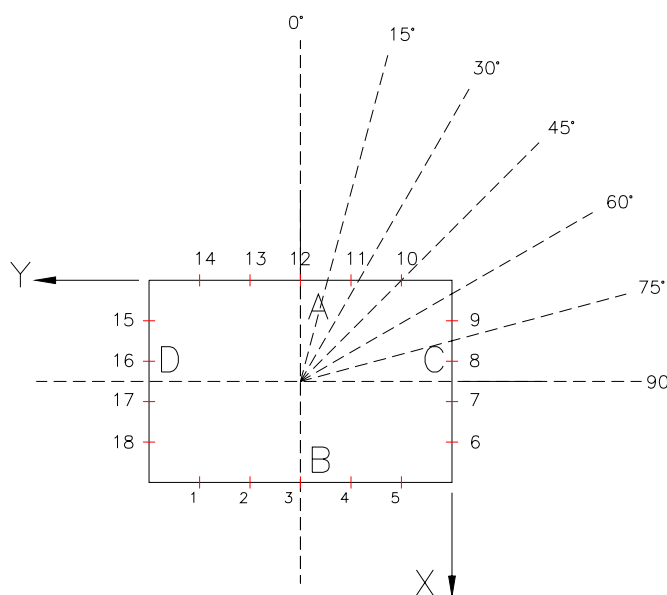


Figura 3.13 - Referência para o ângulo de incidência do vento.

3.3.4 Equipamentos utilizados

O estudo de pressões médias sobre modelos requer equipamentos simples para a determinação dos valores médios. Neste estudo cada tomada de pressão foi ligada ao multimanômetro a álcool, além das leituras feitas através de um micromanômetro de água tipo Betz, como já foi dito e está ilustrado nas figuras 3.14 e 3.15. Este conjunto de manômetros nos permite visualizar instantaneamente como se distribuem as pressões ao longo do modelo, facilitando assim o entendimento do fenômeno físico como também permitindo, já neste instante, começar a analisar e compreender as conseqüências de cada caso estudado. Cada uma das leituras feitas para cada ângulo de incidência do vento e para cada situação simulada, após a análise visual preliminar, foi fotografada para que posteriormente fossem determinados os coeficientes de pressão registrados para cada ponto de tomada de pressão.

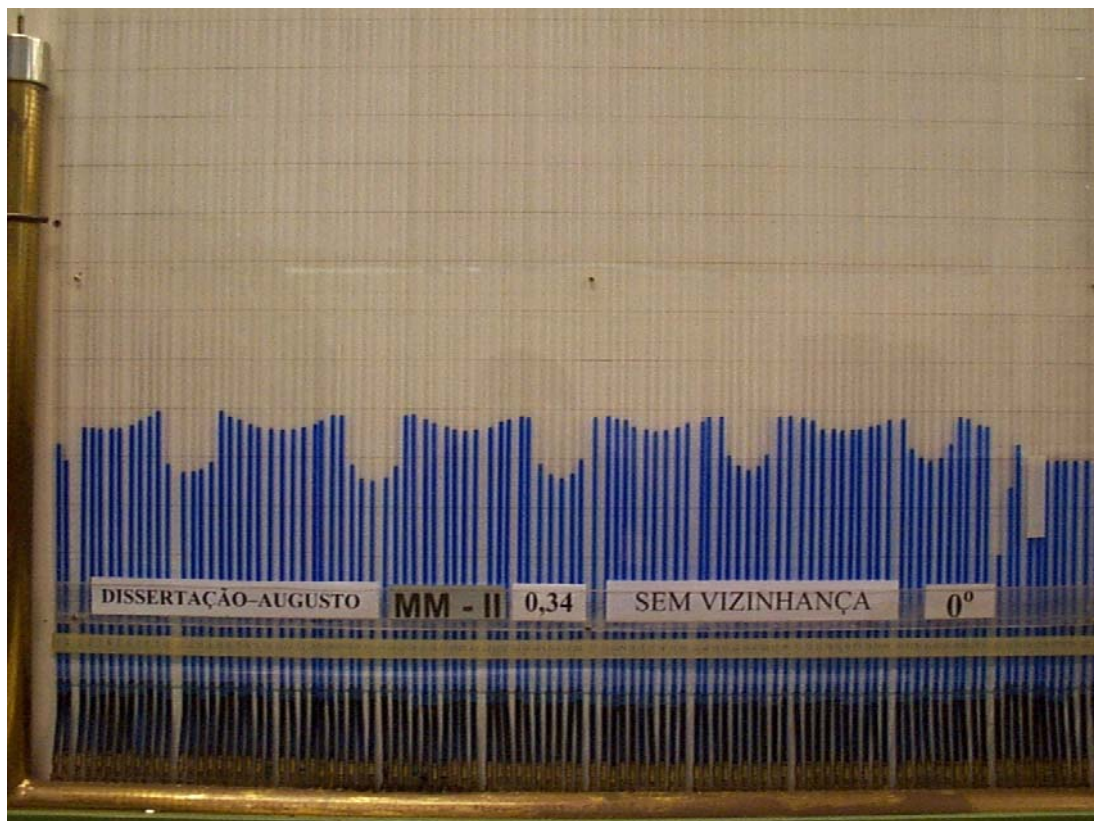


Figura 3.14 – Foto do Multimanômetro para uma das situações ensaiadas.



Figura 3.15 – Foto do Micromanômetro de água tipo Betz.

3.3.5 Cálculo dos coeficientes aerodinâmicos

Os registros provenientes dos multimanômetros foram processados através de uma planilha eletrônica convencional. Estes registros são apresentados na forma de distribuição perimetral dos coeficientes de pressão externa, c_{pe} , em diferentes seções do modelo. A distribuição de coeficientes de arrasto, C_a , apresenta-se longo da altura, h , do modelo. Por definição, o coeficiente de pressão externa, c_{pe} , na face do modelo, é dado por:

$$c_{pe} = \frac{\Delta pe}{q} \quad (3.4)$$

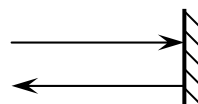
Onde: Δpe – pressão estática efetiva média no ponto de estudo, na superfície do modelo;

q – pressão dinâmica de referência, no topo do modelo.

Foi adotada a seguinte convenção de sinais:

coeficientes positivos: sobrepressão (+)

coeficientes negativos: sucção (-)



4 Análise da Resposta de um Edifício Flexível

Estruturas com baixa frequência fundamental, quando submetidas à ação do vento, podem apresentar uma importante resposta à flutuação do campo de pressões. Esta resposta flutuante é composta de duas parcelas: uma correspondente ao campo médio de pressões (resposta média), uma correspondente à resposta à flutuação das pressões (resposta flutuante). A avaliação desta resposta flutuante pode ser feita por uma análise dinâmica da estrutura submetida ao campo aleatório de pressões, seja no domínio do tempo ou da frequência, o que demanda um grande trabalho computacional. Alternativamente pode-se fazer uma análise aproximada segundo métodos simplificados, como é o caso dos procedimentos propostos na norma brasileira NBR - 6123, Capítulo 9, ou na norma canadense NBCC 1985, NRCC No. 23178, que já foram descritos no capítulo 2 deste trabalho.

O uso de métodos simplificados implica na adoção de um conjunto de hipóteses simplificadoras, as quais nem sempre são as mesmas de um método para outro. Por isso, não raramente se observam resultados nitidamente diferentes para um mesmo problema. Considerando o atual contexto de economia globalizada, em que a nacionalidade da norma técnica a ser adotada em um projeto é essencialmente uma questão de conveniência baseada no bom senso, torna-se de fundamental importância que se esclareçam quaisquer divergências entre os resultados obtidos segundo diferentes métodos de análise. Com este objetivo, o presente trabalho descreve um exemplo real de aplicação, no qual são realizadas análises segundo as normas brasileira e canadense. A partir dos resultados obtidos, são esclarecidas as diferenças observadas nas previsões da resposta estrutural dinâmica segundo estas normas. Este capítulo, se dedica a determinação das características dinâmicas deste modelo assim como das suas respostas à ação do vento baseando-se nas recomendações padrão das normas em estudo e nos resultados obtidos em laboratório, em túnel de vento.

4.1 Modelo em Elementos Finitos

A análise do edifício em estudo respaldou-se na criação de um modelo matemático utilizando o programa ANSYS na versão 2.3, que se baseia no método dos elementos finitos. Além do alto grau de confiabilidade que este método teórico oferece, alguns valores foram aferidos com medições *in loco*, Riera *et al* (1994).

O modelo é composto de barras dispostas conforme Fig 4.1, se repetindo desde o 3º subsolo até o 16º pavimento (cobertura). Sendo que para o 4º subsolo apenas foram

discretizados os nós que representam o arranque dos pilares. A numeração dos nós do modelo obedece à relação:

$$N = 31.(N_{sub} + i) + j \quad (4.1)$$

Onde: N_{sub} – Número de pavimentos do subsolo, constante e igual ao número 4;

i – Número do piso (4º subsolo $i = -4$, térreo $i = 0$ e Cobertura $i = 16$) –

Fig. 4.1;

j – Número de referencia do nó em cada piso – Fig. 4.1.

O conhecimento desta lógica de numeração será útil para leitura e análise dos resultados que serão apresentados em um próximo item.

As inspeções in loco, supracitadas, geraram as informações que fizeram parte da análise, ou na entrada de dados ou na aferição do modelo.

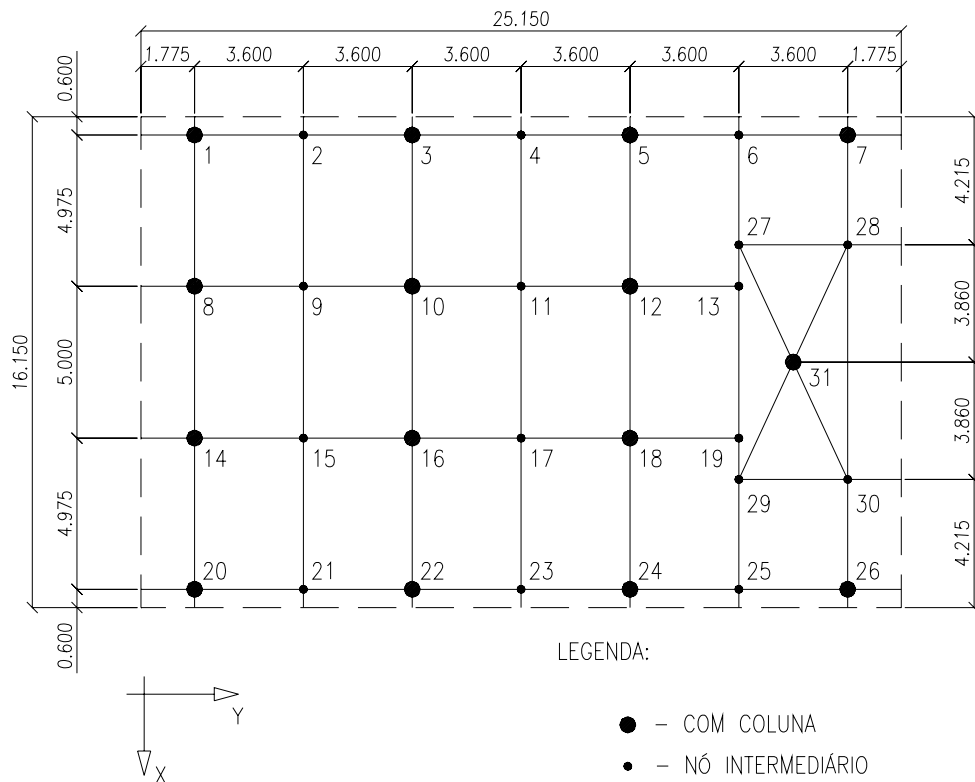


Figura 4.1 – Discretização, identificação dos nós.

No intuito de evitar o uso de elementos de placa, até por uma questão de simplificação do modelo e da própria avaliação dos resultados, a caixa do elevador (nó 31) foi representada por elemento de viga com rigidez e massa equivalentes.

Esta representação se deu, como já foi dito, por um elemento de viga 3D posicionado no centro de massa da caixa, e, com momento de inércia e área equivalentes. Estando esta coluna fictícia conectada ao conjunto através de barras extremamente rígidas, funcionando como conectores praticamente inextensíveis; de forma tal que os nós de um mesmo pavimento, que pertençam a este espaço físico, tenham deslocamentos relativos insignificantes.

A representação dos 4 pavimentos de subsolo é indispensável, pois o pavimento térreo não é indeslocável estando sujeito a movimentos de translação e rotação. Porém o movimento translacional dos pavimentos do subsolo não é totalmente livre, havendo um impedimento devido ao empuxo passivo do terreno que os envolve.

A representação destes quatro níveis se deu com a mesma configuração dos demais pavimentos (ver Fig. 4.1), como já citado, acrescido de molas unidirecionais perpendiculares as faces externas do edifício posicionadas nos nós de contato com o solo.

4.2 Determinação das Características Dinâmicas

Para a análise do edifício em estudo, como já descrito, foi criado um modelo matemático utilizando o programa ANSYS na versão 2.3. Além disso, inspeções e medições foram realizadas *in loco*, na época do estudo efetuado pelos professores Jorge Riera e Marcelo Rocha, Riera *et al* (1994), e os valores das frequências naturais de vibração, amortecimento dinâmico e o módulo de Young do concreto foram aferidos e, inclusive utilizados na calibração do modelo matemático ou como dados de entrada.

Na criação do modelo matemático foram adotadas as seguintes premissas:

- A estrutura apresenta comportamento elástico-linear sob a ação do vento.
- Foram adotadas simplificações criteriosas para que o modelo fosse representado apenas por elementos de viga tridimensional (3D).
- Em face da resposta dinâmica se dá predominantemente na forma global, foi possível uma padronização na representação dos diversos pavimentos. Esta premissa foi ratificada pela análise comparativa das medições já citadas, com os valores obtidos com a análise teórica, em questão.
- As condições de contorno do modelo, para os nós do 4º subsolo, foram representadas como um engastamento perfeito, em face desta representação fornecer resultados mais próximos dos medidos.

Além do valor da massa específica do concreto armado 2500 Kg/m³ uma massa de 280 Kg/m², que foi introduzida no modelo como massa uniformemente distribuída nas vigas transversais (ao longo da direção X) para representar, de uma forma simplificada, todas as massas que fazem parte do sistema, além daquela associada aos elementos que representam a estrutura de concreto, através da sua massa específica, como já citado. Este valor de 280 Kg/m² foi um valor aferido com os valores das frequências naturais que deveriam ser obtidas pelo modelo, bem como os valores das constantes de mola que serão apresentados adiante.

Foram também representadas como massas nodais todos os equipamentos existentes no edifício como:

- armários de aço;
- bibliotecas;
- equipamentos de ar-condicionado;
- fogão industrial.

- frequências naturais, razão de amortecimento crítico e modulo de young do concreto:

Tabela 4.1: frequências naturais, primeiro, segundo e terceiro modos de vibração.

Modo:	1	2	3
Freq. Observada:		0,58	0,98
Freq. Calculada:	0,55	0,58	1,15

- a Os dois primeiros modos, que correspondem às deformações de flexão nos planos verticais do corpo do edifício, possuem frequências de vibração quase coincidentes, razão pela qual nas medições em campo aparecem indicadas apenas uma vez.
- b Considera-se satisfatória a capacidade do modelo em reproduzir os modos de vibração da estrutura, o que permite seu uso para estudo da resposta frente às ações a serem consideradas.
- c A razão de amortecimento crítico média da estrutura (ζ), medida em campo através de uma verificação experimental: $\zeta=1,25\%$.
- d O modulo de Young do concreto armado (E_c) real da estrutura: $E_c= 28150$ Mpa.

A seguir são apresentados os resultados medidos em campo e os valores oriundos da análise computacional:

- modos de vibração:

Tabela 4.2: coordenadas dos modos de vibração para o primeiro e segundo modos.

Pav.	Z_i (m)	X (1º modo)	Y (2º modo)
4º Sub	-13,20	0.0000000	0.0000000
3º Sub	-9,90	0.0000004	0.0000008
2º Sub	-6,60	0.0000021	0.0000038
1º Sub	-3,30	0.0000055	0.0000107
Térreo	0,00	0.0000182	0.0000241
1º Pav	5,50	0.0000852	0.0000686
2º Pav	8,85	0.0001206	0.0000991
3º Pav	12,90	0.0001574	0.0001345
4º Pav	15,55	0.0001975	0.0001738
5º Pav	18,90	0.0002394	0.0002159
6º Pav	22,25	0.0002850	0.0002609
7º Pav	25,60	0.0003317	0.0003075
8º Pav	28,95	0.0003821	0.0003559
9º Pav	32,30	0.0004339	0.0004056
10º Pav	35,65	0.0004823	0.0004555
11º Pav	39,00	0.0005313	0.0005057
12º Pav	42,35	0.0005822	0.0005570
13º Pav	45,70	0.0006336	0.0006078
14º Pav	49,05	0.0006795	0.0006590
15º Pav	52,40	0.0007268	0.0007100
16º Pav	55,55	0.0007627	0.0007571

O primeiro modo de vibração é aplicado para a componente do vento na direção **x** e o segundo para a componente na direção **y**.

4.3 Determinação das Respostas no Sentido do Escoamento

As respostas aqui obtidas são para os procedimentos padrão dos códigos aqui em estudo e, também, para a aplicação dos resultados obtidos através dos ensaios em túneis de vento.

Os resultados obtidos em laboratório, que determinaram os coeficientes aerodinâmicos através da pressão de referência q , se basearam na velocidade do vento para o topo do modelo. Portanto alguns ajustes têm de ser feitos para a aplicação destes dados junto as recomendações das normas em estudo. Estas considerações serão apresentadas e descritas nos sub itens 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3.

4.3.1 Usando a NBR - 6123 Análise Estática

As considerações da NBR 6123, referentes a análise estática, estão sendo estudadas para o vento com alta e baixa turbulência seguindo as recomendações padrão desta norma. Posteriormente os coeficientes aerodinâmicos obtidos através dos modelos ensaiados em túnel de vento são aplicados a estas recomendações.

Para a utilização dos dados obtidos através dos modelos junto às recomendações da norma brasileira é necessário corrigir o fator S_2 . Este deve ser considerado constante ao longo de toda a altura da edificação e igual ao valor do topo, já que os coeficientes foram obtidos através da velocidade do vento para esta cota do modelo.

A seguir são apresentados os valores dos parâmetros para aplicação da norma através das suas recomendações padrão, utilizando os parâmetros para o vento de alta e de baixa turbulência, incidindo tanto na face maior (0° - vento em x) como na face menor (90° - vento em y).

- **Vento de alta turbulência**

Os valores dos parâmetros utilizados nesta análise, para a geometria da edificação e condições locais, são apresentados abaixo:

$$V_o = 38,00 \text{ m/s}$$

$$S_1 = 1,00$$

$$S_3 = 1,00$$

$$S_2 = b F_r (z / 10)^p$$

$$b = 0,71$$

$$F_r = 0,95$$

$$p = 0,175$$

Os parâmetros acima, determinados pela NBR-6123, resultam em um esforço cortante (F_x) e um momento fletor (M_y) na base da edificação e para o vento incidindo a 0° de:

$$F_x = 913,38 \text{ kN}$$

$$M_y = 43.770,53 \text{ kN.m}$$

Para o vento incidindo a 90° , a partir dos mesmos parâmetros, é determinado um esforço cortante (F_y) e um momento fletor (M_x) na base da edificação:

$$F_y = 506,54 \text{ kN}$$

$$M_x = 24.273,33 \text{ kN.m}$$

- **Vento de baixa turbulência**

Os valores dos parâmetros utilizados nesta análise, para a geometria da edificação e condições locais, são apresentados a seguir:

$$V_o = 38,00 \text{ m/s}$$

$$S_1 = 1,00$$

$$S_3 = 1,00$$

$$S_2 = b F_r (z / 10)^p$$

$$b = 1,12$$

$$F_r = 0,95$$

$$p = 0,07$$

Os parâmetros acima, determinados pela NBR-6123, resultam em um esforço cortante (F_x) e um momento fletor (M_y) na base da edificação e para o vento incidindo a 0° de:

$$F_x = 2.317,40 \text{ kN}$$

$$M_y = 106.406,60 \text{ kN.m}$$

Para o vento incidindo a 90° , a partir dos mesmos parâmetros, é determinado um esforço cortante (F_y) e um momento fletor (M_x) na base da edificação:

$$F_y = 1.275,52 \text{ kN}$$

$$M_x = 58.567,45 \text{ kN.m}$$

Os resultados das respostas estruturais devido a ação do vento na direção do escoamento considerando os coeficientes aerodinâmicos obtidos em Túnel de Vento são apresentados a seguir. Para a comparação com as recomendações padrão foi utilizada a pressão dinâmica de referência equivalente a do topo da edificação, conforme já definido.

Seis situações, que já foram apresentadas e tiveram suas nomenclaturas definidas no capítulo 4, foram ensaiadas e para cada uma delas sete ângulos de incidência foram testados. A seguir são apresentados os efeitos do vento sobre a edificação avaliada.

- **Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial $p=0,11$**

Tabela 4.3: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	1.61	2953.31	131328.22
15°	1.48	2671.64	118802.76
30°	1.40	2502.77	111293.34
45°	1.46	2277.04	101255.67
60°	1.47	2001.28	67569.86
75°	1.41	1677.89	68914.38
90°	1.30	1538.31	68405.62

- **Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial $p=0,34$**

Tabela 4.4: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.87	919.54	40890.15
15°	0.93	983.08	43716.11
30°	0.91	924.05	41090.90
45°	0.97	881.91	39216.90
60°	0.99	796.99	35440.36
75°	0.83	607.24	27003.13
90°	0.66	448.96	19964.43

- **Modelo com vizinhança 1b com expoente da lei potencial $p=0,34$**

Tabela 4.5: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.13	128.42	5710.84
15°	0.40	281.20	12504.54
30°	0.53	400.15	17794.14
45°	0.64	458.71	20398.01
60°	0.77	527.12	23440.16
75°	0.84	577.29	25671.03
90°	0.71	485.92	21608.00

- **Modelo com vizinhança 1a com expoente da lei potencial $p=0,34$**

Tabela 4.6: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.06	63.76	2835.42
15°	0.41	332.33	14778.16
30°	0.58	496.08	22059.73
45°	0.76	603.62	26841.97
60°	0.86	639.54	28439.05
75°	0.83	592.72	26357.44
90°	0.67	453.91	20184.40

- **Modelo com vizinhança 2a com expoente da lei potencial $p=0,34$**

Tabela 4.7: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.25	264.95	11781.99
15°	0.61	588.36	26163.32
30°	0.81	778.10	34600.75
45°	0.84	749.83	33343.42
60°	0.93	750.61	33377.97
75°	0.84	608.41	27054.45
90°	0.69	468.68	20841.01

- **Modelo com vizinhança 3a com expoente da lei potencial $p=0,34$**

Tabela 4.8: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.39	412.17	18328.06
15°	0.69	713.21	31715.01
30°	0.84	833.40	37059.83
45°	1.00	898.85	39969.98
60°	0.98	786.83	34989.04
75°	0.85	623.36	27719.56
90°	0.71	481.89	21428.43

- **Modelo com vizinhança real – (Riera *et al*, 1994)**

Tabela 4.9: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	1.16	1169.40	52001.22
15°	1.23	1224.84	54466.33
30°	1.17	1134.86	50464.96
45°	0.61	646.32	28740.80
60°	0.29	197.91	8800.67
75°	0.17	134.42	5977.38
90°	0.42	408.65	18171.79
105°	0.63	598.60	26618.70
120°	0.80	813.41	36170.91
135°	0.87	920.91	40951.34
150°	0.88	929.98	41354.42
165°	0.66	697.71	31025.72
180°	0.53	552.86	24584.55
195°	0.09	95.34	4239.73
210°	0.15	103.95	4622.58
225°	0.08	55.30	2459.20
240°	0.10	68.67	3053.73
255°	0.14	100.15	4453.30
270°	0.16	113.10	5029.37
285°	0.31	305.26	13574.46
300°	1.15	1189.31	52886.33
315°	1.22	1276.78	56775.79
330°	1.29	1337.50	59475.97
345°	1.13	1181.54	52540.90

4.3.2 Usando a NBR Análise Dinâmica

As considerações da NBR 6123, referentes à análise Dinâmica, são analisadas a seguir para o vento com alta e baixa turbulência seguindo as recomendações padrão desta norma.

Posteriormente os coeficientes aerodinâmicos obtidos através dos modelos ensaiados em túnel de vento são aplicados a estas recomendações.

Para que os coeficientes aerodinâmicos obtidos através dos ensaios em túnel de vento sejam aplicados junto às prescrições da norma brasileira, capítulo 9, torna-se necessário, assim como no item 4.3.1, que alguns ajustes sejam feitos, pois os valores oriundos dos ensaios se basearam na velocidade do topo da edificação.

Na verdade não são necessários ajustes mas apenas um ajuste para adaptação das recomendações da norma para aplicação dos resultados obtidos em túnel de vento e este é apenas adotar como valor para z_i um valor constante e igual a cota do topo da edificação e assim equivale a estar corrigindo o valor de S2 como se deu no item 4.3.1.

Então sendo a equação $F_i = \overline{F}_i + \hat{F}_i$ (2.13) os valores da força média \overline{F}_i que são determinados através da equação $\overline{F}_i = \overline{q}_p \cdot b^2 \cdot C_{ai} \cdot A_i \cdot (z_i / z_{ref})^{2p}$ (2.14) os valores de z_i são considerados constantes igual ao topo da edificação, o que equivale à correção de S2 supra-citada. \hat{F}_i , a parcela flutuante, é determinada através da equação 2.15 ($\hat{F}_i = F_H \cdot \Psi_i \cdot x_i$) onde

F_H é determinado pela equação $F_H = \overline{q}_p \cdot b^2 \cdot A_o \cdot (\sum_{i=1}^N \beta_i \cdot x_i / \sum_{i=1}^N \Psi_i \cdot x_i^2) \cdot \xi$ (2.17) e o valor de β é

obtido em função de z_i através da equação $\beta = C_{ai} \cdot (A_i / A_o) \cdot (z_i / z_{ref})^p$ (2.18) onde assim como para a equação 2.14 os valores de z_i são considerados constantes e iguais ao topo da edificação.

A seguir são apresentados os valores dos parâmetros para aplicação da norma através das suas recomendações padrão, utilizando os parâmetros para o vento de alta e de baixa turbulência incidindo tanto na face maior (0° - vento em x) como na face menor (90° - vento em y).

- **Vento de alta turbulência**

Os valores dos parâmetros utilizados nesta análise, para a geometria da edificação, as condições locais e as características dinâmicas, são apresentados a seguir:

V_0 (m/s) =	38.00
S1 =	1.00
S2 =	1.00
V_p (m/s) =	26.22
Q_o (N/m ²) =	421.43
l1 =	27.165

Zr (m) =	10.00
L (m) =	1800.00
L1y (m) =	25.15
A0 (m ²) =	1509.00
M0 (kg) =	7326298.13
l1/h =	0.489

P =	0.310
B =	0.500
f1 (Hz) =	0.549
$V_p / (f1 \cdot L)$ =	0.027
ξ =	1.69
FH =	2229872.38

Os parâmetros acima, determinados pela NBR-6123, resultam em um esforço cortante (F_x) e um momento fletor (M_y) na base da edificação e para o vento incidindo a 0° de:

$$F_x = 715,11 \text{ kN}$$

$$M_y = 36.388,82 \text{ kN.m}$$

V_0 (m/s) =	38.00
S1=	1.00
S2=	1.00
V_p (m/s) =	26.22
Q_0 (N/m ²) =	421.43
l1=	17.444

Z_r (m) =	10.00
L (m) =	1800.00
L1y (m) =	16.15
A0 (m2) =	969.00
M0 (kg) =	7326298.13
l1/h=	0.314

P =	0.310
B =	0.500
f1 (Hz) =	0.577
$V_p / (f1 \cdot L)$ =	0.025
ξ =	1.64
FH =	1200059.03

Para o vento incidindo a 90° , a partir dos mesmos parâmetros, é determinado um esforço cortante (F_y) e um momento fletor (M_x) na base da edificação:

$$F_y = 388,47 \text{ kN}$$

$$M_x = 19.850,07 \text{ kN.m}$$

• Vento de baixa turbulência

Os valores dos parâmetros utilizados nesta análise, para a geometria da edificação, as condições locais e as características dinâmicas, são apresentados abaixo:

V_0 (m/s) =	38.00
S1=	1.00
S2=	1.00
V_p (m/s) =	26.22
Q_0 (N/m ²) =	421.43
l1=	27.165

Z_r (m) =	10.00
L (m) =	1800.00
L1y (m) =	25.15
A0 (m2) =	1509.00
M0 (kg) =	7326298.13
l1/h=	0.489

P =	0.310
B =	0.500
f1 (Hz) =	0.549
$V_p / (f1 \cdot L)$ =	0.027
ξ =	1.69
FH =	2229872.38

Os parâmetros acima, determinados pela NBR-6123, resultam em um esforço cortante (F_x) e um momento fletor (M_y) na base da edificação e para o vento incidindo a 0° de:

$$F_x = 3.365,54 \text{ kN}$$

$$M_y = 165.359,84 \text{ kN.m}$$

V_0 (m/s) =	38.00
S1=	1.00
S2=	1.00
V_p (m/s) =	26.22
Q_0 (N/m ²) =	421.43
l1=	27.165

Z_r (m) =	10.00
L (m) =	1800.00
L1y (m) =	25.15
A0 (m2) =	1509.00
M0 (kg) =	7326298.13
l1/h=	0.489

P =	0.310
B =	0.500
f1 (Hz) =	0.549
$V_p / (f1 \cdot L)$ =	0.027
ξ =	1.69
FH =	2229872.38

Para o vento incidindo a 90° , a partir dos mesmos parâmetros, é determinado um esforço cortante (F_y) e um momento fletor (M_x) na base da edificação:

$$F_y = 1.825,56 \text{ kN}$$

$$M_x = 90.040,12 \text{ kN.m}$$

Os resultados das respostas estruturais obtidos através dos ensaios em túnel de vento são apresentados a seguir:

- **Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial $p=0,11$**

- **1º modo**

$V_0 (m/s) =$	38.00	$Z_r (m) =$	10.00	$P =$	0.110
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	1.070
$S2 =$	1.00	$Lly (m) =$	25.15	$f1 (Hz) =$	0.549
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m^2) =$	1509.00	$V_p / (f1 \cdot L) =$	0.027
$Q_0 (N/m^2) =$	421.43	$M0 (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.35
$ll =$	27.165	$ll/h =$	0.489		

- **2º modo**

$V_0 (m/s) =$	38.00	$Z_r (m) =$	10.00	$P =$	0.110
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	1.070
$S2 =$	1.00	$Lly (m) =$	16.15	$f1 (Hz) =$	0.577
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m^2) =$	969.00	$V_p / (f1 \cdot L) =$	0.025
$Q_0 (N/m^2) =$	421.43	$M0 (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.33
$ll =$	27.165	$ll/h =$	0.489		

- **resposta global**

Tabela 4.10: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	1.61	3322.32	159564.19
15°	1.48	3004.46	144308.78
30°	1.40	4368.03	209797.34
45°	1.46	2551.91	122665.27
60°	1.47	2232.29	107414.51
75°	1.41	1860.33	89637.30
90°	1.30	1705.28	82169.58

- **Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial $p=0,34$**

- **1º modo**

$V_0 (m/s) =$	38.00	$Z_r (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$L1_y (m) =$	25.15	$f1 (Hz) =$	0.549
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m^2) =$	1509.00	$V_p / (f1 \cdot L) =$	0.027
$Q_0 (N/m^2) =$	421.43	$M0 (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.69
$l1 =$	27.165	$l1/h =$	0.489		

- **2º modo**

$V_0 (m/s) =$	38.00	$Z_r (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$L1_y (m) =$	16.15	$f1 (Hz) =$	0.577
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m^2) =$	1509.00	$V_p / (f1 \cdot L) =$	0.025
$Q_0 (N/m^2) =$	421.43	$M0 (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.64
$l1 =$	27.165	$l1/h =$	0.489		

- **resposta global**

Tabela 4.11: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.87	794.32	37914.01
15°	0.93	849.21	40534.09
30°	0.91	797.33	38063.03
45°	0.97	758.22	36210.53
60°	0.99	681.69	32574.94
75°	0.83	516.28	24688.38
90°	0.66	380.00	18180.84

- **Modelo com vizinhança 1b com expoente da lei potencial $p=0,34$**

- **1º modo)**

$V_0 (m/s) =$	38.00	$Z_r (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$L1_y (m) =$	25.15	$f1 (Hz) =$	0.549
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m^2) =$	1509.00	$V_p / (f1 \cdot L) =$	0.027
$Q_0 (N/m^2) =$	421.43	$M0 (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.69
$l1 =$	27.165	$l1/h =$	0.489		

- 2º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$Zr (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$Lly (m) =$	16.15	$f1 (Hz) =$	0.577
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m2) =$	1509.00	$Vp / (f1 . L) =$	0.025
$Q_o (N/m^2) =$	421.43	$MO (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.64
$ll =$	27.165	$ll/h =$	0.489		

- resposta global

Tabela 4.12: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.13	110.89	5292.86
15°	0.40	249.31	11922.88
30°	0.53	341.03	16303.51
45°	0.64	389.93	18646.56
60°	0.77	446.74	21370.81
75°	0.84	489.06	23396.26
90°	0.71	422.18	20196.03

• Modelo com vizinhança 1a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- 1º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$Zr (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$Lly (m) =$	25.15	$f1 (Hz) =$	0.549
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m2) =$	1509.00	$Vp / (f1 . L) =$	0.027
$Q_o (N/m^2) =$	421.43	$MO (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.69
$ll =$	27.165	$ll/h =$	0.489		

- 2º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$Zr (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$Lly (m) =$	16.15	$f1 (Hz) =$	0.577
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m2) =$	1509.00	$Vp / (f1 . L) =$	0.025
$Q_o (N/m^2) =$	421.43	$MO (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.64
$ll =$	27.165	$ll/h =$	0.489		

- resposta global

Tabela 4.13: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.06	55.07	2628.54
15°	0.41	290.64	13888.60
30°	0.58	425.26	20315.98
45°	0.76	515.81	24650.98
60°	0.86	544.40	26029.17
75°	0.83	503.10	24062.48
90°	0.67	384.36	18388.47

- Modelo com vizinhança 2a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- 1º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$Z_r (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$L1_y (m) =$	25.15	$f1 (Hz) =$	0.549
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m2) =$	1509.00	$V_p / (f1 \cdot L) =$	0.027
$Q_o (N/m^2) =$	421.43	$M0 (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.69
$l1 =$	27.165	$l1/h =$	0.489		

- 2º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$Z_r (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$L1_y (m) =$	16.15	$f1 (Hz) =$	0.577
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m2) =$	1509.00	$V_p / (f1 \cdot L) =$	0.025
$Q_o (N/m^2) =$	421.43	$M0 (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.64
$l1 =$	27.165	$l1/h =$	0.489		

- resposta global

Tabela 4.14: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	Fa (kN)	M (kN.m)
0°	0.25	228.85	10923.40
15°	0.61	506.94	24204.03
30°	0.81	670.16	31998.49
45°	0.84	644.01	30759.62
60°	0.93	642.05	30680.90
75°	0.84	517.09	24727.68
90°	0.69	396.66	18978.07

- Modelo com vizinhança 3a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- 1º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$Z_r (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$Lly (m) =$	25.15	$f1 (Hz) =$	0.549
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m2) =$	1509.00	$Vp / (f1 \cdot L) =$	0.027
$Q_o (N/m^2) =$	421.43	$MO (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.69
$ll =$	27.165	$ll/h =$	0.489		

- 2º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$Z_r (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$Lly (m) =$	16.15	$f1 (Hz) =$	0.577
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m2) =$	1509.00	$Vp / (f1 \cdot L) =$	0.025
$Q_o (N/m^2) =$	421.43	$MO (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.64
$ll =$	27.165	$ll/h =$	0.489		

- resposta global

Tabela 4.15: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.39	356.04	16994.14
15°	0.69	615.55	29383.99
30°	0.84	718.53	34304.21
45°	1.00	772.33	36886.97
60°	0.98	672.66	32145.60
75°	0.85	530.22	25353.10
90°	0.71	407.82	19512.42

- Modelo com vizinhança real – (Riera *et al*, 1994)

- 1º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$Z_r (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$Lly (m) =$	25.15	$f1 (Hz) =$	0.549
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m2) =$	1509.00	$Vp / (f1 \cdot L) =$	0.027
$Q_o (N/m^2) =$	421.43	$MO (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.69
$ll =$	27.165	$ll/h =$	0.489		

- 2º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$Zr (m) =$	10.00	$P =$	0.34
$S1 =$	1.00	$L (m) =$	1800.00	$B =$	0.50
$S2 =$	1.00	$Lly (m) =$	16.15	$f1 (Hz) =$	0.577
$V_p (m/s) =$	26.22	$A0 (m^2) =$	1509.00	$Vp / (f1 \cdot L) =$	0.025
$Q_o (N/m^2) =$	421.43	$MO (kg) =$	7326298.13	$\xi =$	1.64
$ll =$	27.165	$ll/h =$	0.489		

- resposta global

Tabela 4.16: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	1.16	1008.87	48161.29
15°	1.23	1056.32	50428.47
30°	1.17	977.74	46682.27
45°	0.61	558.25	26646.63
60°	0.29	167.53	8015.39
75°	0.17	114.95	5493.09
90°	0.42	352.07	16809.57
105°	0.63	515.48	24612.78
120°	0.80	701.95	33508.51
135°	0.87	795.46	37968.75
150°	0.88	803.34	38344.68
165°	0.66	602.69	28767.37
180°	0.53	477.46	22790.48
195°	0.09	82.35	3930.83
210°	0.15	88.05	4212.45
225°	0.08	46.84	2240.81
240°	0.10	58.15	2781.88
255°	0.14	84.93	4062.62
270°	0.16	95.88	4586.31
285°	0.31	263.04	12558.42
300°	1.15	1026.81	49013.81
315°	1.22	1102.62	52631.20
330°	1.29	1154.81	55123.50
345°	1.13	1020.36	48704.70

4.3.3 Usando o NBC

A filosofia aplicada para a análise da resposta no sentido do escoamento para este código será a mesma utilizada para norma brasileira, sendo aplicadas as recomendações padrão tanto para o vento de alta como de baixa turbulência e posteriormente a substituição dos coeficientes aerodinâmicos da norma pelos valores obtidos nos ensaios em túnel de vento. A aplicação destes coeficientes também requer uma adaptação nas prescrições do NBC, assim como foi necessário fazer nos itens 4.3.1 e 4.3.2.

O fator de exposição C_e é o coeficiente que corrige o perfil da velocidade em função da rugosidade do terreno, e equivale ao fator S2 da NBR 6123, será considerado constantes ao longo da altura da edificação com valor igual ao do topo, pelas mesmas razões apresentadas em 4.3.1 e 4.3.2.

- **Vento de alta turbulência**

Os valores dos parâmetros utilizados nesta análise, para a geometria da edificação, as condições locais e as características dinâmicas, são apresentados abaixo:

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0235
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	25.15	$F =$	0.0946
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	1
$Q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.55	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	0.90	$\sigma/\mu =$	0.492
$v =$	0.223	$g_p =$	3.815	$C_g =$	2.88

Os parâmetros acima, determinados pela NBR-6123, resultam em um esforço cortante (F_x) e um momento fletor (M_y) na base da edificação e para o vento incidindo a 0° de:

$$F_x = 1.001,31 \text{ kN}$$

$$M_y = 47.153,15 \text{ kN.m}$$

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0316
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	16.15	$F =$	0.0915
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	2
$Q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.58	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	1.00	$\sigma/\mu =$	0.526
$v =$	0.250	$g_p =$	3.845	$C_g =$	3.02

Para o vento incidindo a 90° , a partir dos mesmos parâmetros, é determinado um esforço cortante (F_y) e um momento fletor (M_x) na base da edificação:

$$F_y = 675,30 \text{ kN}$$

$$M_x = 31.800,66 \text{ kN.m}$$

- **Vento de baixa turbulência**

Os valores dos parâmetros utilizados nesta análise, para a geometria da edificação, as condições locais e as características dinâmicas, são apresentados abaixo:

$V_0 (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0401
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	25.15	$F =$	0.1173
$V_H (m/s) =$	26.93	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	1
$q_o (N/m^2) =$	396.56	$\bar{f} (Hz) =$	0.55	$K =$	0.08
$C_p =$	1.3	$B =$	0.90	$\sigma/\mu =$	0.293
$\nu =$	0.298	$gp =$	3.890	$Cg =$	2.14

Os parâmetros acima, determinados pela NBR-6123, resultam em um esforço cortante (F_x) e um momento fletor (M_y) na base da edificação e para o vento incidindo a 0° de:

$$F_x = 1.683,87 \text{ kN}$$

$$M_y = 76.558,24 \text{ kN.m}$$

$V_0 (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0530
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	16.15	$F =$	0.1135
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	2
$q_o (N/m^2) =$	396.56	$\bar{f} (Hz) =$	0.58	$K =$	0.08
$C_p =$	1.3	$B =$	1.00	$\sigma/\mu =$	0.316
$\nu =$	0.329	$gp =$	3.915	$Cg =$	2.24

Para o vento incidindo a 90° , a partir dos mesmos parâmetros, é determinado um esforço cortante (F_y) e um momento fletor (M_x) na base da edificação:

$$F_y = 1.129,85 \text{ kN}$$

$$M_x = 51.369,28 \text{ kN.m}$$

Os resultados das respostas estruturais obtidos através dos ensaios em túnel de vento são apresentados a seguir:

- **Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial $p=0,11$**

- **1º modo**

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0401
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	25.15	$F =$	0.1173
$V_H (m/s) =$	26.93	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	1
$q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.55	$K =$	0.08
$C_F =$	1.3	$B =$	0.90	$\sigma/\mu =$	0.293
$v =$	0.298	$g_D =$	3.890	$C_G =$	2.14

- **2º modo**

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0530
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	16.15	$F =$	0.1135
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	2
$q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.58	$K =$	0.08
$C_F =$	1.3	$B =$	1.00	$\sigma/\mu =$	0.316
$v =$	0.329	$g_D =$	3.915	$C_G =$	2.24

- **resposta global**

Tabela 4.17: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	1.61	2338.08	103969.77
15°	1.48	2117.26	94150.54
30°	1.40	1984.61	88251.78
45°	1.46	1823.83	81102.30
60°	1.47	1625.76	72294.68
75°	1.41	1386.82	61669.41
90°	1.30	1272.05	56565.44

- **Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial $p=0,34$**

- **1º modo**

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0235
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	25.15	$F =$	0.0946
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	1
$q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.55	$K =$	0.14
$C_F =$	1.3	$B =$	0.90	$\sigma/\mu =$	0.492
$v =$	0.223	$g_D =$	3.815	$C_G =$	2.88

- 2º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0316
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	16.15	$F =$	0.0915
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	2
$Q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.58	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	1.00	$\sigma/\mu =$	0.526
$v =$	0.250	$gp =$	3.845	$Cg =$	3.02

- resposta global

Tabela 4.18: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.87	891.24	39631.76
15°	0.93	952.85	42371.34
30°	0.91	898.14	39938.43
45°	0.97	865.03	38466.28
60°	0.99	791.59	35200.57
75°	0.83	611.72	27201.64
90°	0.66	456.89	20317.03

- Modelo isolado com vizinhança 1b com expoente da lei potencial $p=0,34$

- 1º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0235
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	25.15	$F =$	0.0946
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	1
$Q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.55	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	0.90	$\sigma/\mu =$	0.492
$v =$	0.223	$gp =$	3.815	$Cg =$	2.88

- 2º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0316
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	16.15	$F =$	0.0915
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	2
$Q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.58	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	1.00	$\sigma/\mu =$	0.526
$v =$	0.250	$gp =$	3.845	$Cg =$	3.02

- resposta global

Tabela 4.19: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.13	124.63	5542.10
15°	0.40	284.70	12660.18
30°	0.53	400.85	17824.87
45°	0.64	462.27	20556.27
60°	0.77	534.86	23783.92
75°	0.84	586.30	26071.57
90°	0.71	494.23	21977.25

• Modelo isolado com vizinhança 1a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- 1º modo

$V_0 (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0235
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	25.15	$F =$	0.0946
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	1
$q_0 (N/m^2) =$	396.56	$\bar{f} (Hz) =$	0.55	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	0.90	$\sigma/\mu =$	0.492
$\nu =$	0.223	$g_D =$	3.815	$C_g =$	2.88

- 2º modo

$V_0 (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0316
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	16.15	$F =$	0.0915
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	2
$q_0 (N/m^2) =$	396.56	$\bar{f} (Hz) =$	0.58	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	1.00	$\sigma/\mu =$	0.526
$\nu =$	0.250	$g_D =$	3.845	$C_g =$	3.02

- resposta global

Tabela 4.20: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.06	61.84	2749.70
15°	0.41	337.52	15009.12
30°	0.58	490.09	21793.53
45°	0.76	600.90	26721.08
60°	0.86	642.43	28567.67
75°	0.83	599.38	26653.02
90°	0.67	461.46	20520.18

- Modelo isolado com vizinhança 2a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- 1º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0235
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	25.15	$F =$	0.0946
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	1
$q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.55	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	0.90	$\sigma/\mu =$	0.492
$v =$	0.223	$gp =$	3.815	$Cg =$	2.88

- 2º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0316
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	16.15	$F =$	0.0915
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	2
$q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.58	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	1.00	$\sigma/\mu =$	0.526
$v =$	0.250	$gp =$	3.845	$Cg =$	3.02

- resposta global

Tabela 4.21: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.25	256.87	11422.58
15°	0.61	573.98	25523.91
30°	0.81	759.83	33788.42
45°	0.84	737.33	32787.52
60°	0.93	745.42	33147.46
75°	0.84	613.36	27275.19
90°	0.69	476.58	21192.97

- Modelo isolado com vizinhança 3a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- 1º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0235
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	25.15	$F =$	0.0946
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	1
$q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.55	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	0.90	$\sigma/\mu =$	0.492
$v =$	0.223	$gp =$	3.815	$Cg =$	2.88

- 2º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0316
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	16.15	$F =$	0.0915
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	2
$q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.58	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	1.00	$\sigma/\mu =$	0.526
$\nu =$	0.250	$gp =$	3.845	$Cg =$	3.02

- resposta global

Tabela 4.22: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de arrasto C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	0.39	399.47	17763.82
15°	0.69	692.80	30807.49
30°	0.84	811.70	36095.08
45°	1.00	882.91	39261.21
60°	0.98	781.73	34744.39
75°	0.85	627.31	27895.47
90°	0.71	490.50	21811.47

• Modelo com vizinhança real – Riera, *et al* (1994).

- 1º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0235
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	25.15	$F =$	0.0946
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	1
$q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.55	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	0.90	$\sigma/\mu =$	0.492
$\nu =$	0.223	$gp =$	3.815	$Cg =$	2.88

- 2º modo

$V_o (m/s) =$	38.00	$H (m) =$	60.00	$s =$	0.0316
$V (m/s) =$	24.70	$L (m) =$	16.15	$F =$	0.0915
$V_H (m/s) =$	19.50	$\zeta (\%) =$	1.25	$MODO =$	2
$q_o (N/m^2) =$	396.56	$f (Hz) =$	0.58	$K =$	0.14
$C_p =$	1.3	$B =$	1.00	$\sigma/\mu =$	0.526
$\nu =$	0.250	$gp =$	3.845	$Cg =$	3.02

- resposta global

Tabela 4.23: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_f .

Incidência	C_f	F (kN)	M (kN.m)
0°	1.16	1137.19	50568.54
15°	1.23	1192.18	53013.96
30°	1.17	1107.42	49244.65
45°	0.61	626.59	27863.35
60°	0.29	201.34	8953.42
75°	0.17	133.59	5940.44
90°	0.42	398.77	17732.75
105°	0.63	584.85	26007.19
120°	0.80	790.42	35148.35
135°	0.87	892.71	39697.16
150°	0.88	901.35	40081.17
165°	0.66	676.25	30071.47
180°	0.53	536.17	23842.33
195°	0.09	92.43	4110.22
210°	0.15	105.61	4696.23
225°	0.08	56.20	2498.94
240°	0.10	69.82	3104.95
255°	0.14	101.46	4511.75
270°	0.16	114.70	5100.58
285°	0.31	297.78	13241.81
300°	1.15	1154.30	51329.69
315°	1.22	1238.32	55065.86
330°	1.29	1297.95	57717.54
345°	1.13	1146.01	50960.81

4.3.4 Determinação das Excentricidades de Torção

A seguir são apresentados os valores de e_a/a e e_b/b , obtidos conforme descrito no capítulo 2 (item 2.2).

Tabela 4.24: Determinação excentricidades relativas ao longo do eixo “y”, para modelos sem vizinhança.

e_a/a				
Angulo	Sem Vizinhança			
	p=0,11	p=0,34	NBR	NBC
0°	-0.002	-0.008	0.075	0.030
15°	-0.038	-0.063	0.075	0.030
30°	-0.058	-0.058	0.075	0.030
45°	-0.032	-0.034	0.075	0.030
60°	0.000	0.010	0.075	0.030
75°	0.071	0.055	0.075	0.030
90°	0.024	-0.016	0.075	0.030

Tabela 4.25: Determinação excentricidades relativas ao longo do eixo “y”, para modelos com vizinhança.

e_a/a						
Angulo	Com Vizinhança					
	1b	1a	2a	3a	NBR	NBC
0°	0.000	-0.001	0.000	0.022	0.150	0.030
15°	-0.050	-0.072	-0.074	-0.073	0.150	0.030
30°	-0.067	-0.080	-0.073	-0.059	0.150	0.030
45°	-0.038	-0.049	-0.053	-0.042	0.150	0.030
60°	0.010	-0.002	-0.011	0.005	0.150	0.030
75°	0.062	0.051	0.045	0.048	0.150	0.030
90°	0.022	0.008	0.001	-0.008	0.150	0.030

Tabela 4.26: Determinação excentricidades relativas ao longo do eixo “x”, para modelos com vizinhança.

e_b/b				
Angulo	Sem Vizinhança			
	$p=0,11$	$p=0,34$	NBR	NBC
0°	-0.007	-0.028	0.075	0.030
15°	-0.130	-0.209	0.075	0.030
30°	-0.200	-0.193	0.075	0.030
45°	-0.111	-0.115	0.075	0.030
60°	0.001	0.035	0.075	0.030
75°	0.243	0.185	0.075	0.030
90°	0.081	-0.055	0.075	0.030

Tabela 4.27: Determinação excentricidades relativas ao longo do eixo “x”, para modelos com vizinhança.

e_b/b						
Angulo	Com Vizinhança					
	1b	1a	2a	3a	NBR	NBC
0°	-0.001	-0.004	-0.001	0.008	0.150	0.030
15°	-0.166	-0.242	-0.245	-0.245	0.150	0.030
30°	-0.224	-0.268	-0.243	-0.196	0.150	0.030
45°	-0.127	-0.165	-0.175	-0.139	0.150	0.030
60°	0.035	-0.006	-0.038	0.016	0.150	0.030
75°	0.206	0.169	0.149	0.161	0.150	0.030
90°	0.073	0.027	-0.004	0.028	0.150	0.030

5 Análise dos Resultados

Este capítulo se dedica a analisar comparativamente os diversos resultados obtidos para ação do vento, no que diz respeito a resposta da edificação no sentido do escoamento, assim como dos efeitos sobre a torção para o tipo de vizinhança simulada nos ensaios realizados para este estudo.

Como ferramenta de análise serão apresentadas tabelas-resumo comparativas acompanhadas de gráficos que darão subsídios para o processo de análise, assim como para as conclusões apresentadas a seguir no capítulo 6.

5.1 Resultados Comparativos

A seguir são apresentados os quadros-resumo, comparativos, dos resultados obtidos com aplicação da norma canadense, NBC 1985, referente a análise dinâmica da ação do vento em edificações alteadas e da norma brasileira, NBR-6123, no seu capítulo 9, que também trata da ação do vento considerando as características dinâmicas deste carregamento e da edificação, além da recomendação desta norma para uma avaliação estática dos efeitos do vento.

No caso, o modelo em estudo se encaixa nas características, dimensões da projeção horizontal e, principalmente, altura, que corriqueiramente classificam uma edificação como esta para ser analisada estaticamente, exceto por suas características dinâmicas, mas que só podem ser determinadas após criteriosa análise estrutural. Os resumos dos resultados obtidos neste estudo dão os subsídios para a análise comparativa das normas em analisadas bem como das considerações do efeito dinâmico.

Posteriormente são apresentados quadros comparativos referentes ao efeito de torção na edificação traçando-se paralelos com os critérios para determinação das excentricidades referentes ao momento torçor, recomendados tanto pela norma brasileira NBR 6123 como pela norma canadense NBC 1985.

Os quadros comparativos que seguem são um resumo dos resultados determinados no capítulo 4, nestes quadros são apresentados os coeficientes de força resultante, de força horizontal (cortante) e de momento, globais. Além das relações comparativas entre os efeitos do vento para cada uma das situações analisadas

- **NBR Estática x Dinâmica**

Tabela 5.1: Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR - padrão.

Padrão - Alta Turbulência

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Rel. (Est/Din.)
0°	1.1	1.10	913.38	715.11	43770.53	36388.82	1.202
90°	0.95	0.95	506.54	388.47	24274.33	19850.07	1.223

Padrão - Baixa Turbulência

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Rel. (Est/Din.)
0°	1.4	1.4	2317.40	3365.54	106406.60	165359.84	0.643
90°	1.2	1.2	1275.52	1825.56	58567.45	90040.12	0.650

Sem Vizinhança $p=0,11$ Tabela 5.2: Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo s/ viz. $p=0,11$.

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Rel. (Est/Din.)
0°	1.61	1.61	2953.31	3322.32	131328.22	159564.19	0.823
15°	1.48	1.48	2671.64	3004.46	118802.76	144308.78	0.823
30°	1.40	1.40	2502.77	2814.02	111293.34	135167.17	0.823
45°	1.46	1.46	2277.04	2551.91	101255.67	122665.27	0.825
60°	1.47	1.47	2001.28	2232.29	67569.86	107414.51	0.629
75°	1.41	1.41	1677.89	1860.33	68914.38	89637.30	0.769
90°	1.30	1.30	1538.31	1705.28	68405.62	82169.58	0.832

Sem Vizinhaça $p=0,34$ **Tabela 5.3: Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo s/ viz. $p=0,34$.**

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Rel. (Est./Din.)
0°	0.87	0.87	919.54	794.32	40890.15	37914.01	1.078
15°	0.93	0.93	983.08	849.21	43716.11	40534.09	1.078
30°	0.91	0.91	924.05	797.33	41090.90	38063.03	1.080
45°	0.97	0.97	881.91	758.22	39216.90	36210.53	1.083
60°	0.99	0.99	796.99	681.69	35440.36	32574.94	1.088
75°	0.83	0.83	607.24	516.28	27003.13	24688.38	1.094
90°	0.66	0.66	448.96	380.00	19964.43	18180.84	1.098

Com Vizinhaça 1b $p=0,34$ **Tabela 5.4: Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo c/ viz. 1b $p=0,34$.**

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Rel. (Est./Din.)
0°	-0.13	-0.13	128.42	110.89	5710.84	5292.86	1.079
15°	0.40	0.40	281.20	249.31	12504.54	11922.88	1.049
30°	0.53	0.53	400.15	341.03	17794.14	16303.51	1.091
45°	0.64	0.64	458.71	389.93	20398.01	18646.56	1.094
60°	0.77	0.77	527.12	446.74	23440.16	21370.81	1.097
75°	0.84	0.84	577.29	489.06	25671.03	23396.26	1.097
90°	0.71	0.71	485.92	422.18	21608.00	20196.03	1.070

Com Vizinhaça 1a $p=0,34$ **Tabela 5.5: Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo c/ viz. 1a $p=0,34$.**

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Rel. (Est./Din.)
0°	-0.06	-0.06	63.76	55.07	2835.42	2628.54	1.079
15°	0.41	0.41	332.33	290.64	14778.16	13888.60	1.064
30°	0.58	0.58	496.08	425.26	22059.73	20315.98	1.086
45°	0.76	0.76	603.62	515.81	26841.97	24650.98	1.089
60°	0.86	0.86	639.54	544.40	28439.05	26029.17	1.096
75°	0.83	0.83	592.72	503.10	26357.44	24062.48	1.095
90°	0.67	0.67	453.91	384.36	20184.40	18388.47	1.098

Com Vizinhança 2a p=0,34**Tabela 5.6: Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo c/ viz. 2B p=0,34.**

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Rel. (Est./Din.)
0°	0.25	0.25	264.95	228.85	11781.99	10923.40	1.079
15°	0.61	0.61	588.36	506.94	26163.32	24204.03	1.081
30°	0.81	0.81	778.10	670.16	34600.75	31998.49	1.081
45°	0.84	0.84	749.83	644.01	33343.42	30759.62	1.084
60°	0.93	0.93	750.61	642.05	33377.97	30680.90	1.088
75°	0.84	0.84	608.41	517.09	27054.45	24727.68	1.094
90°	0.69	0.69	468.68	396.66	20841.01	18978.07	1.098

Com Vizinhança 3a p=0,34**Tabela 5.7: Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo c/ viz. 3a p=0,34.**

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Rel. (Est./Din.)
0°	0.39	0.39	412.17	356.04	18328.06	16994.14	1.078
15°	0.69	0.69	713.21	615.55	31715.01	29383.99	1.079
30°	0.84	0.84	833.40	718.53	37059.83	34304.21	1.080
45°	1.00	1.00	898.85	772.33	39969.98	36886.97	1.084
60°	0.98	0.98	786.83	672.66	34989.04	32145.60	1.088
75°	0.85	0.85	623.36	530.22	27719.56	25353.10	1.093
90°	0.71	0.71	481.89	407.82	21428.43	19512.42	1.098

Os valores acima relacionados, através das tabelas comparativas, permitem a análise entre os resultados das recomendações da norma brasileira de vento no seu capítulo 9, onde são feitas indicações referentes as considerações do efeito dinâmico do vento bem como das características dinâmicas do sistema estrutural, com os resultados obtidos através das recomendações, desta mesma norma, para uma análise estática.

A seguir tabela comparativa referente aos resultados das medições feitas pelo prof. Joaquim Blessmann, em 1994 (Riera *et al*, 1994), considerando a vizinhança onde a edificação em questão estava inserida. Os coeficientes aerodinâmicos obtidos neste ensaio são aplicados nas prescrições do capítulo 9 da NBR 6123 e também nas recomendações para a análise estática desta mesma norma.

Com Vizinhança local (Riera, *et al* 1994)Tabela 5.8: Resultados comparativos entre a análise estática e dinâmica, para NBR – modelo c/ viz. local $\rho=0,34$.

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Estática	Dinâmica	Rel. (Est./Din.)
0°	1.16	1.16	1169.40	1008.87	52001.22	48161.29	1.080
15°	1.23	1.23	1224.84	1056.32	54466.33	50428.47	1.080
30°	1.17	1.17	1134.86	977.74	50464.96	46682.27	1.081
45°	0.61	0.61	646.32	558.25	28740.80	26646.63	1.079
60°	0.29	0.29	197.91	167.53	8800.67	8015.39	1.098
75°	0.17	0.17	134.42	114.95	5977.38	5493.09	1.088
90°	0.42	0.42	408.65	352.07	16915.92	18171.79	1.074
105°	0.63	0.63	598.60	515.48	26618.70	24612.78	1.081
120°	0.80	0.80	813.41	701.95	36170.91	33508.51	1.079
135°	0.87	0.87	920.91	795.46	40951.34	37968.75	1.079
150°	0.88	0.88	929.98	803.34	41354.42	38344.68	1.078
165°	0.66	0.66	697.71	602.69	31025.72	28767.37	1.078
180°	0.53	0.53	552.86	477.46	24584.55	22790.48	1.079
195°	0.09	0.09	95.34	82.35	4239.73	3930.83	1.079
210°	-0.15	-0.15	103.95	88.05	4622.58	4212.45	1.097
225°	-0.08	-0.08	55.30	46.84	2459.20	2240.81	1.097
240°	-0.10	-0.10	68.67	58.15	3053.73	2781.88	1.098
255°	-0.14	-0.14	100.15	84.93	4453.30	4062.62	1.096
270°	-0.16	-0.16	113.10	95.88	5029.37	4586.31	1.097
285°	-0.31	0.31	305.26	263.04	13574.46	12558.42	1.081
300°	1.15	1.15	1189.31	1026.81	52886.33	49013.81	1.079
315°	1.22	1.22	1276.78	1102.62	56775.79	52631.20	1.079
330°	1.29	1.29	1337.50	1154.81	59475.97	55123.50	1.079
345°	1.13	1.13	1181.54	1020.36	52540.90	48704.70	1.079

- **NBR capítulo 9 x NBC**

A seguir são apresentados os valores, através do mesmo tipo de tabelas comparativas que foram aplicadas na análise entre as considerações do capítulo 9 da NBR 6123 e as considerações estáticas do vento para a mesma norma.

Ambas as normas fundamentalmente determinam uma resposta média (estática) e uma flutuante (dinâmica), sendo a resposta global a sobreposição destas, mas aqui é apresentada a resposta total.

Tabela 5.9: Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) - padrão.

Padrão - Alta Turbulência

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	NBR	NBC	NBR	NBC	NBR	NBC	Rel. (NBR/NBC)
0°	1.1	1.3	715.11	1001.31	36388.82	47153.15	0.772
90°	0.95	1.3	388.47	675.30	19850.07	31800.66	0.624

Padrão - Baixa Turbulência

	C_a		F (kN)		M (kN.m)		
	NBR	NBC	NBR	NBC	NBR	NBC	Rel. (NBR/NBC)
0°	1.4	1.3	3365.54	1683.87	165359.84	76558.24	2.160
90°	1.2	1.3	1825.56	1129.85	90040.12	51369.28	1.753

Sem Vizinhança $p=0,11$

Tabela 5.10: Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo s/ viz. $p=0,11$

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	NBR	NBC	NBR	NBC	NBR	NBC	Rel. (NBR/NBC)
0°	1.61	1.61	3322.32	2338.08	159564.19	103969.77	1.535
15°	1.48	1.48	3004.46	2117.26	144308.78	94150.54	1.533
30°	1.40	1.40	2814.02	1984.61	135167.17	88251.78	1.532
45°	1.46	1.46	2551.91	1823.83	122665.27	81102.30	1.512
60°	1.47	1.47	2232.29	1625.76	107414.51	72294.68	1.486
75°	1.41	1.41	1860.33	1386.82	89637.30	61669.41	1.454
90°	1.30	1.30	1705.28	1272.05	82169.58	56565.44	1.453

Sem Vizinhaça p=0,34**Tabela 5.11: Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo s/ viz. p=0,34.**

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	NBR	NBC	NBR	NBC	NBR	NBC	Rel. (NBR/NBC)
0°	0.87	0.87	794.32	891.24	37914.01	39631.76	0.957
15°	0.93	0.93	849.21	952.85	40534.09	42371.34	0.957
30°	0.91	0.91	797.33	898.14	38063.03	39938.43	0.953
45°	0.97	0.97	758.22	865.03	36210.53	38466.28	0.941
60°	0.99	0.99	681.69	791.59	32574.94	35200.57	0.925
75°	0.83	0.83	516.28	611.72	24688.38	27201.64	0.908
90°	0.66	0.66	380.00	456.89	18180.84	20317.03	0.895

Com Vizinhaça 1b p=0,34**Tabela 5.12: Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo c/ viz. 1b p=0,34.**

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	NBR	NBC	NBR	NBC	NBR	NBC	Rel. (NBR/NBC)
0°	-0.13	-0.13	-110.89	-124.63	-5292.86	-5542.10	0.955
15°	0.40	0.40	249.31	284.70	11922.88	12660.18	0.942
30°	0.53	0.53	341.03	400.85	16303.51	17824.87	0.915
45°	0.64	0.64	389.93	462.27	18646.56	20556.27	0.907
60°	0.77	0.77	446.74	534.86	21370.81	23783.92	0.898
75°	0.84	0.84	489.06	586.30	23396.26	26071.57	0.897
90°	0.71	0.71	422.18	494.23	20196.03	21977.25	0.919

Com Vizinhaça 1a p=0,34**Tabela 5.13: Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo c/ viz. 1a p=0,34.**

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	NBR	NBC	NBR	NBC	NBR	NBC	Rel. (NBR/NBC)
0°	-0.06	-0.06	-55.07	-61.84	-2628.54	-2749.70	0.956
15°	0.41	0.41	290.64	337.52	13888.60	15009.12	0.925
30°	0.58	0.58	425.26	490.09	20315.98	21793.53	0.932
45°	0.76	0.76	515.81	600.90	24650.98	26721.08	0.922
60°	0.86	0.86	544.40	642.43	26029.17	28567.67	0.911
75°	0.83	0.83	503.10	599.38	24062.48	26653.02	0.903
90°	0.67	0.67	384.36	461.46	18388.47	20520.18	0.896

Com Vizinhança 2a p=0,34**Tabela 5.14: Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo c/ viz. 2B p=0,34.**

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	NBR	NBC	NBR	NBC	NBR	NBC	Rel. (NBR/NBC)
0°	0.25	0.25	228.85	256.87	10923.40	11422.58	0.956
15°	0.61	0.61	506.94	573.98	24204.03	25523.91	0.948
30°	0.81	0.81	670.16	759.83	31998.49	33788.42	0.947
45°	0.84	0.84	644.01	737.33	30759.62	32787.52	0.938
60°	0.93	0.93	642.05	745.42	30680.90	33147.46	0.926
75°	0.84	0.84	517.09	613.36	24727.68	27275.19	0.907
90°	0.69	0.69	396.66	476.58	18978.07	21192.97	0.895

Com Vizinhança 3a p=0,34**Tabela 5.15: Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo c/ viz. 3a p=0,34.**

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		
	NBR	NBC	NBR	NBC	NBR	NBC	Rel. (NBR/NBC)
0°	0.39	0.39	356.04	399.47	16994.14	17763.82	0.957
15°	0.69	0.69	615.55	692.80	29383.99	30807.49	0.954
30°	0.84	0.84	718.53	811.70	34304.21	36095.08	0.950
45°	1.00	1.00	772.33	882.91	36886.97	39261.21	0.940
60°	0.98	0.98	672.66	781.73	32145.60	34744.39	0.925
75°	0.85	0.85	530.22	627.31	25353.10	27895.47	0.909
90°	0.71	0.71	407.82	490.50	19512.42	21811.47	0.895

As tabelas comparativas acima, que permitem a análise dos resultados obtidos através da aplicação das prescrições da norma brasileira de vento, NBR-6123, no seu capítulo 9 e a norma canadense, onde são feitas as recomendações referentes as considerações do efeito dinâmico do vento e das características dinâmicas do sistema estrutural. Apresentam os valores referentes ao efeito do vento no modelo em estudo tanto para as recomendações padrão das normas, bem como, para utilização dos coeficientes aerodinâmicos obtidos nos ensaios em túnel de vento realizados especificamente para este trabalho.

A seguir tabela comparativa referente aos resultados das medições feitas pelo prof. Joaquim Blessmann, em 1994 (Riera, *et al* 1994), considerando a vizinhança onde a edificação em questão estava inserida.

Com Vizinhança local (Riera, *et al* 1994)

Tabela 5.16: Resultados comparativos entre as normas, brasileira (NBR) e canadense (NBC) – modelo c/ viz. 3a p=0,34.

	C_f		F (kN)		M (kN.m)		Rel. (NBR/NBC)
	NBR	NBC	NBR	NBC	NBR	NBC	
0°	1.16	1.16	1008.87	1137.19	48161.29	50568.54	0.952
15°	1.23	1.23	1056.32	1192.18	50428.47	53013.96	0.951
30°	1.17	1.17	977.74	1107.42	46682.27	49244.65	0.948
45°	0.61	0.61	558.25	626.59	26646.63	27863.35	0.956
60°	0.29	0.29	167.53	201.34	8015.39	8953.42	0.895
75°	0.17	0.17	114.95	133.59	5493.09	5940.44	0.925
90°	0.42	0.42	352.07	398.77	18171.79	17732.75	1.025
105°	0.63	0.63	515.48	584.85	24612.78	26007.19	0.946
120°	0.80	0.80	701.95	790.42	33508.51	35148.35	0.953
135°	0.87	0.87	795.46	892.71	37968.75	39697.16	0.956
150°	0.88	0.88	803.34	901.35	38344.68	40081.17	0.957
165°	0.66	0.66	602.69	676.25	28767.37	30071.47	0.957
180°	0.53	0.53	477.46	536.17	22790.48	23842.33	0.956
195°	0.09	0.09	82.35	92.43	3930.83	4110.22	0.956
210°	-0.15	-0.15	88.05	105.61	4212.45	4696.23	0.897
225°	-0.08	-0.08	46.84	56.20	2240.81	2498.94	0.897
240°	-0.10	-0.10	58.15	69.82	2781.88	3104.95	0.896
255°	-0.14	-0.14	84.93	101.46	4062.62	4511.75	0.900
270°	-0.16	-0.16	95.88	114.70	4586.31	5100.58	0.899
285°	-0.15	-0.15	263.04	297.78	12558.42	13241.81	0.948
300°	1.15	1.15	1026.81	1154.30	49013.81	51329.69	0.955
315°	1.22	1.22	1102.62	1238.32	52631.20	55065.86	0.956
330°	1.29	1.29	1154.81	1297.95	55123.50	57717.54	0.955
345°	1.13	1.13	1020.36	1146.01	48704.70	50960.81	0.956

- **NBR Capítulo 9 (padrão x dados TV)**

A seguir, as tabelas que associam as recomendações padrão do capítulo 9, da NBR 6123, com os resultados obtidos através da substituição dos coeficientes aerodinâmicos sugeridos por esta norma pelos valores fornecidos através dos ensaios deste estudo.

Alta Turbulência

Tabela 5.17: Resultados comparativos entre a NBR padrão e a NBR com os coeficientes obtidos em TV, para os ensaios específicos deste estudo.

	Âng. De Incid.	C_f	F (kN)	Fa (kN) Max Abs	M (kN.m) Max Abs	M (kN.m) Max Abs	Rel. (padrão/modelo)
padrão	0°	1.10	715.11	715.11	36388.82	36388.82	1.000
	90°	0.95	388.47		19850.07		
sem vizinhança p=0,34	0°	0.87	794.32	849.21	37914.01	40534.09	0.898
	15°	0.93	849.21		40534.09		
	30°	0.91	797.33		38063.03		
	45°	0.97	758.22		36210.53		
	60°	0.99	681.69		32574.94		
	75°	0.83	516.28		24688.38		
	90°	0.66	380.00		18180.84		
com vizinhança 1b p=0,34	0°	-0.13	-110.89	489.06	-5292.86	23396.26	1.555
	15°	0.40	249.31		11922.88		
	30°	0.53	341.03		16303.51		
	45°	0.64	389.93		18646.56		
	60°	0.77	446.74		21370.81		
	75°	0.84	489.06		23396.26		
	90°	0.71	422.18		20196.03		
com vizinhança 1a p=0,34	0°	-0.06	-55.07	544.40	-2628.54	26029.17	1.398
	15°	0.41	290.64		13888.60		
	30°	0.58	425.26		20315.98		
	45°	0.76	515.81		24650.98		
	60°	0.86	544.40		26029.17		
	75°	0.83	503.10		24062.48		
	90°	0.67	384.36		18388.47		
com vizinhança 2a p=0,34	0°	0.25	228.85	670.16	10923.40	31998.49	1.137
	15°	0.61	506.94		24204.03		
	30°	0.81	670.16		31998.49		
	45°	0.84	644.01		30759.62		
	60°	0.93	642.05		30680.90		
	75°	0.84	517.09		24727.68		
	90°	0.69	396.66		18978.07		
com vizinhança 3a p=0,34	0°	0.39	356.04	772.33	16994.14	36886.97	0.986
	15°	0.69	615.55		29383.99		
	30°	0.84	718.53		34304.21		
	45°	1.00	772.33		36886.97		
	60°	0.98	672.66		32145.60		
	75°	0.85	530.22		25353.10		
	90°	0.71	407.82		19512.42		

Alta Turbulencia - Modelo com Vizinhança local (Riera, *et al* 1994)

Tabela 5.18: Resultados comparativos entre a NBR padrão e a NBR com os coeficientes obtidos em TV simulando a vizinhança local.

	Âng. De Incid.	C _f	F (kN)	Fa (kN) Max Abs	M (kN.m)	M (kN.m) Max Abs	Rel. (padrão/modelo)
padrão	0°	1.10	715.11	715.11	36388.82	36388.82	1.000
	90°	0.95	388.47		19850.07		
Vizinhança Real	0°	1.16	1008.87	1154.81	48161.29	55123.50	0.660
	15°	1.23	1056.32		50428.47		
	30°	1.17	977.74		46682.27		
	45°	0.61	558.25		26646.63		
	60°	0.29	167.53		8015.39		
	75°	0.17	114.95		5493.09		
	90°	0.42	352.07		18171.79		
	105°	0.63	515.48		24612.78		
	120°	0.80	701.95		33508.51		
	135°	0.87	795.46		37968.75		
	150°	0.88	803.34		38344.68		
	165°	0.66	602.69		28767.37		
	180°	0.53	477.46		22790.48		
	195°	0.09	82.35		3930.83		
	210°	-0.15	88.05		4212.45		
	225°	-0.08	46.84		2240.81		
	240°	-0.10	58.15		2781.88		
	255°	-0.14	84.93		4062.62		
	270°	-0.16	95.88		4586.31		
	285°	-0.15	263.04		12558.42		
300°	1.15	1026.81	49013.81				
315°	1.22	1102.62	52631.20				
330°	1.29	1154.81	55123.50				
345°	1.13	1020.36	48704.70				

Baixa Turbulência

Tabela 5.19: Resultados comparativos entre a NBR padrão e a NBR com os coeficientes obtidos em TV, para os ensaios específicos para este estudo.

	Âng. De Incid.	C _f	F (kN)	Fa (kN) Max Abs	M (kN.m)	M (kN.m) Max Abs	Rel. (padrão/modelo)
padrão	0°	1.4	3365.54	3365.54	165359.84	165359.84	1.000
	90°	1.2	1825.56		90040.12		
sem vizinhança p=0,11	0°	1.61	3322.32	3322.32	159564.19	159564.19	1.036
	15°	1.48	3004.46		144308.78		
	30°	1.40	2814.02		135167.17		
	45°	1.46	2551.91		122665.27		
	60°	1.47	2232.29		107414.51		
	75°	1.41	1860.33		89637.30		
	90°	1.30	1705.28		82169.58		

- NBC (padrão x dados TV)

As tabelas, apresentadas a baixo, associam as recomendações padrão da norma canadense, NBC 1985, com os resultados obtidos através da substituição dos coeficientes aerodinâmicos sugeridos por este código, pelos valores determinados através dos ensaios em túnel de vento, para os seis modelos estudados tanto para alta como para baixa turbulência, como para os resultados obtidos pelo prof Joaquim Blessmann (Riera, *et al* 1994) quando determinou os coeficientes aerodinâmicos para a vizinhança local onde a edificação se encontra inserida.

Baixa Turbulência

Tabela 5.20: Resultados comparativos entre a NBR padrão e a NBR com os coeficientes obtidos em TV, para os ensaios específicos para este estudo.

	Âng. De Incid.	C _f	F (kN)	F (kN) Max Abs	M (kN.m)	M (kN.m) Max Abs	Rel. (padrão/modelo)
padrão	0°	1.3	1683.87	1683.87	76558.24	76558.24	1.000
	90°	1.3	1129.85		51369.28		
sem vizinhança p=0,11	0°	1.61	2338.08	2338.08	103969.77	103969.77	0.736
	15°	1.48	2117.26		94150.54		
	30°	1.40	1984.61		88251.78		
	45°	1.46	1823.83		81102.30		
	60°	1.47	1625.76		72294.68		
	75°	1.41	1386.82		61669.41		
	90°	1.30	1272.05		56565.44		

Alta Turbulência

Tabela 5.21: Resultados comparativos entre o NBC padrão e o NBC com os coeficientes obtidos em TV, para os ensaios específicos para este estudo.

	Âng. De Incid.	C _f	F (kN)	F (kN) Max Abs	M (kN.m)	M (kN.m) Max Abs	Rel. (padrão/modelo)
padrão	0°	1.3	1001.31	1001.31	47153.15	47153.15	1.000
	90°	1.3	675.30		31800.66		
sem vizinhança p=0,34	0°	0.87	891.24	952.85	39631.76	42371.34	1.113
	15°	0.93	952.85		42371.34		
	30°	0.91	898.14		39938.43		
	45°	0.97	865.03		38466.28		
	60°	0.99	791.59		35200.57		
	75°	0.83	611.72		27201.64		
	90°	0.66	456.89		20317.03		
com vizinhança 1b p=0,34	0°	-0.13	-124.63	586.30	-5542.10	26071.57	1.809
	15°	0.40	284.70		12660.18		
	30°	0.53	400.85		17824.87		
	45°	0.64	462.27		20556.27		
	60°	0.77	534.86		23783.92		
	75°	0.84	586.30		26071.57		
	90°	0.71	494.23		21977.25		
com vizinhança 1a p=0,34	0°	-0.06	-61.84	642.43	-2749.70	28567.67	1.651
	15°	0.41	337.52		15009.12		
	30°	0.58	490.09		21793.53		
	45°	0.76	600.90		26721.08		
	60°	0.86	642.43		28567.67		
	75°	0.83	599.38		26653.02		
	90°	0.67	461.46		20520.18		
com vizinhança 2a p=0,34	0°	0.25	256.87	759.83	11422.58	33788.42	1.396
	15°	0.61	573.98		25523.91		
	30°	0.81	759.83		33788.42		
	45°	0.84	737.33		32787.52		
	60°	0.93	745.42		33147.46		
	75°	0.84	613.36		27275.19		
	90°	0.69	476.58		21192.97		
com vizinhança 3a p=0,34	0°	0.39	399.47	882.91	17763.82	39261.21	1.201
	15°	0.69	692.80		30807.49		
	30°	0.84	811.70		36095.08		
	45°	1.00	882.91		39261.21		
	60°	0.98	781.73		34744.39		
	75°	0.85	627.31		27895.47		
	90°	0.71	490.50		21811.47		

Alta Turbulencia - Modelo com Vizinhança local (Riera, *et al* 1994)

Tabela 5.22: Resultados comparativos entre a NBC padrão e a NBC com os coeficientes obtidos em TV simulando a vizinhança local.

	Âng. De Incid.	C _f	F (kN)	F (kN) Max Abs	M (kN.m)	M (kN.m) Max Abs	Rel. (padrão/modelo)
padrão	0°	1.3	1001.31	1001.31	47153.15	47153.15	1.000
	90°	1.3	675.30		31800.66		
Vizinhança Real	0°	1.16	1137.19	1297.95	50568.54	57717.54	0.817
	15°	1.23	1192.18		53013.96		
	30°	1.17	1107.42		49244.65		
	45°	0.61	626.59		27863.35		
	60°	0.29	201.34		8953.42		
	75°	0.17	133.59		5940.44		
	90°	0.42	398.77		17732.75		
	105°	0.63	584.85		26007.19		
	120°	0.80	790.42		35148.35		
	135°	0.87	892.71		39697.16		
	150°	0.88	901.35		40081.17		
	165°	0.66	676.25		30071.47		
	180°	0.53	536.17		23842.33		
	195°	0.09	92.43		4110.22		
	210°	-0.15	105.61		4696.23		
	225°	-0.08	56.20		2498.94		
	240°	-0.10	69.82		3104.95		
	255°	-0.14	101.46		4511.75		
270°	-0.16	114.70	5100.58				
285°	-0.15	297.78	13241.81				
300°	1.15	1154.30	51329.69				
315°	1.22	1238.32	55065.86				
330°	1.29	1297.95	57717.54				
345°	1.13	1146.01	50960.81				

5.2 Análise dos Resultados – resposta na direção do escoamento

A seguir, são apresentados gráficos de onde são observados os parâmetros para que se analise os resultados obtidos com a aplicação direta (padrão) tanto da norma brasileira como da norma canadense. Assim como a utilização destas normas substituindo os coeficientes aerodinâmicos padrão pelos obtidos nos ensaios em túnel de vento.

- **NBR Estática x Dinâmica – Vento de Baixa Turbulência**

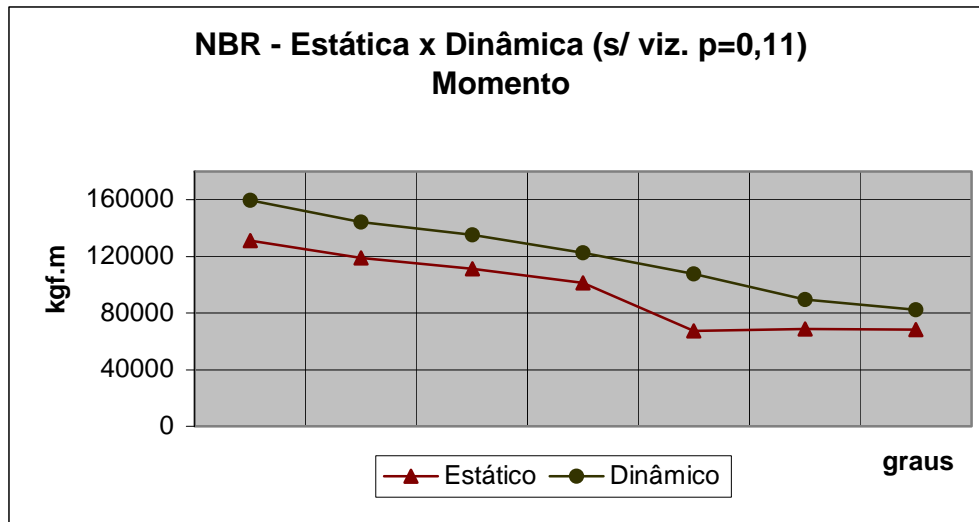


Gráfico 5.1: Recomendações da NBR referente a análise estática e dinâmica para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento.

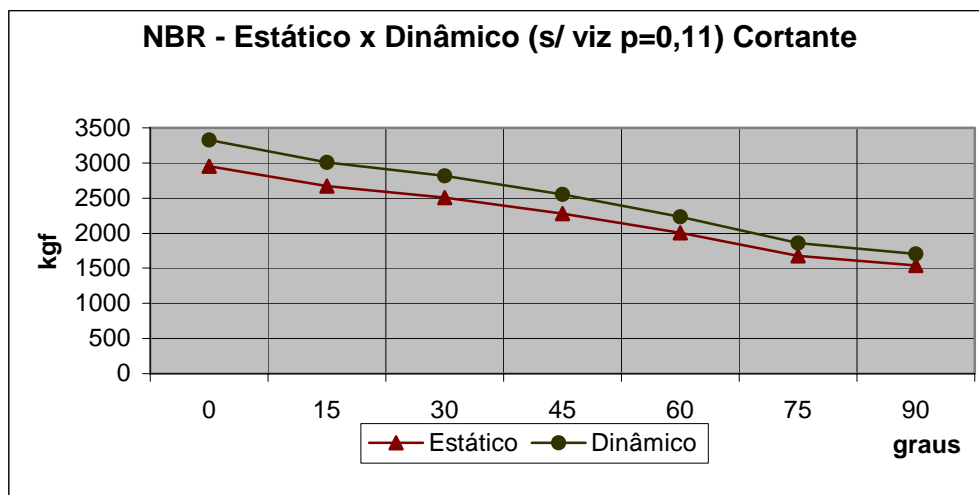


Gráfico 5.2: Recomendações da NBR referente a análise estática e dinâmica para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Cortante.

Os gráficos 5.1 e 5.2 apresentam resultados obtidos, através da aplicação das recomendações da NBR-6123, para a avaliação estática da ação do vento, e para as prescrições do capítulo 9 desta mesma norma, que considera as características dinâmicas deste

evento. Para o vento de baixa turbulência, ou seja, um escoamento mais suave, que é a situação apresentada nos gráficos 5.1 a 5.4 e nas tabelas 5.1 e 5.2, indica que a consideração das características dinâmicas resulta em valores maiores.

A aplicação direta da norma resulta, por exemplo, em um momento na base 53% maior quando se aplica as considerações do capítulo 9 da NBR do que quando se aplica as suas prescrições para a análise estática, ver tabela 5.1. Para o caso da aplicação dos coeficientes obtidos em túnel de vento a relação entre os dados referentes a análise dinâmica é 30% maior do que em relação a análise estática.

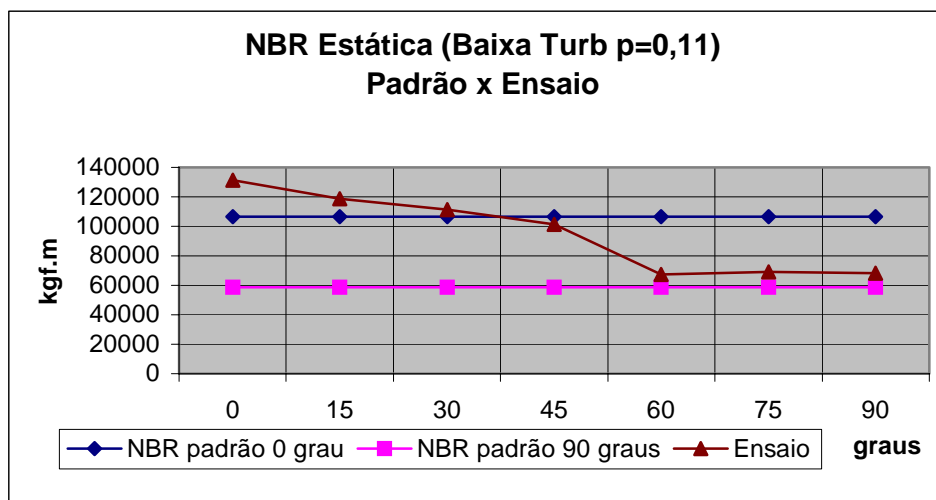


Gráfico 5.3: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento.

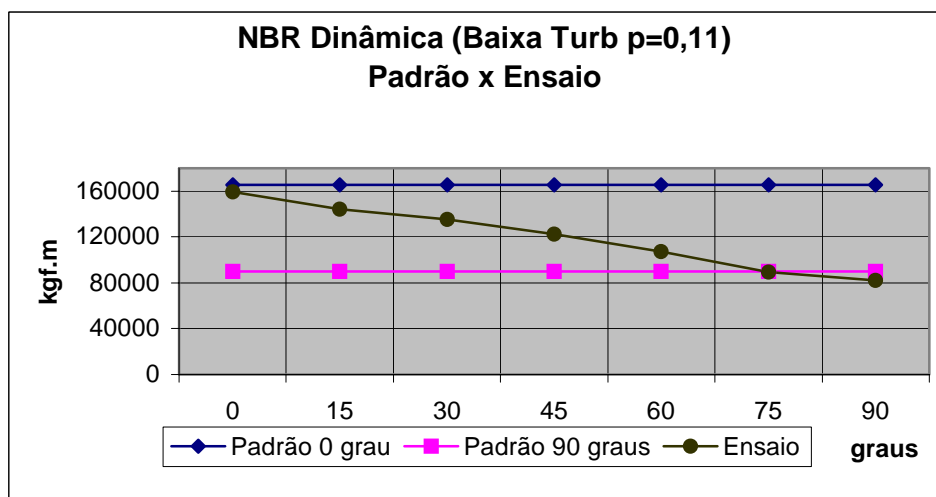


Gráfico 5.4: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise dinâmica, para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento.

Os gráficos 5.3 e 5.4 apresentam os resultados obtidos, através da aplicação das recomendações da NBR-6123, para a avaliação estática e dinâmica da ação do vento,

respectivamente, e vento de baixa turbulência com o expoente da lei potencial do perfil da velocidade média “ $p=0,11$ ”.

No gráfico 5.3 e nas tabelas 5.1 e 5.2 fica claro que para as recomendações referentes à análise estática, quando os coeficientes das recomendações padrão são substituídos pelos obtidos em túnel de vento, para os ângulos de incidência do vento que variam de 0° a 30° as prescrições desta norma determinam valores para o momento na base da edificação até 23% menores que os obtidos com a aplicação dos coeficientes determinados nos ensaios.

No gráfico 5.4, que representa as considerações do capítulo 9 da NBR 6123. Demonstra que o intervalo definido pelas prescrições padrão desta norma, tendo o seu limite superior para o vento a 0° , incidindo perpendicularmente a maior face, e seu limite inferior para o vento a 90° , incidindo perpendicularmente a menor face do edifício, determinam valores bastante razoáveis dos efeitos do vento sobre uma edificação, como a estudada, se comparados com os resultados quando se aplicam, a esta norma, os coeficientes determinados pelos ensaios no túnel de vento.

- **NBR Estática x Dinâmica – Vento de Alta Turbulência**

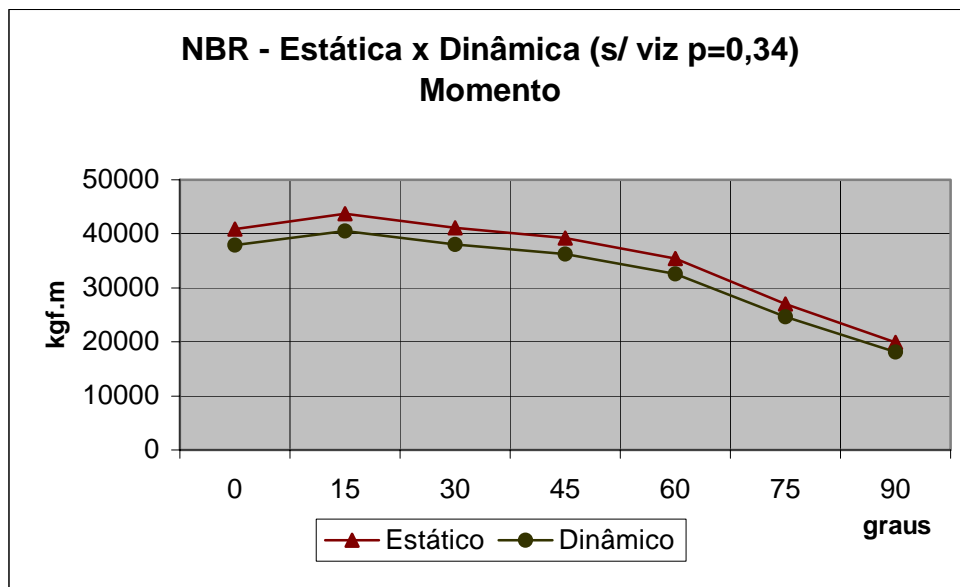


Gráfico 5.5: Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento.

A tabela 5.1, quando compara os resultados obtidos pela análise estática e a dinâmica recomendadas pela norma brasileira de vento, para um terreno com as características da sua rugosidade superficial equivalente a determinadas por esta norma e classificada como categoria V que resulta em um vento turbulento, indica que as respostas obtidas através da

análise estática da NBR – 6123 chega a valores 22% maiores que os determinados pelas recomendações do capítulo 9.

Os gráficos 5.5 e 5.6 apresentam resultados obtidos, através da aplicação das recomendações da norma brasileira de vento, NBR-6123, para a avaliação estática da ação do vento, e para as prescrições desta mesma norma referente as suas considerações dos efeitos dinâmicos, para o vento de alta turbulência, equivalente a categoria V da NBR. Os dados representados nestes gráficos e nas tabelas 5.1 e 5.3 indicam que a consideração das características dinâmicas resulta em valores menos conservadores. Ao contrário do que foi observado quando estas mesmas recomendações foram aplicadas para o vento de baixa turbulência. Contudo a diferença entre as respostas é inferior a 10%.

A análise comparativa, feita através dos gráficos 5.7 e 5.8, das respostas decorrentes da aplicação da NBR – 6123, com os seus coeficientes padrão, com os resultados obtidos com a utilização dos coeficientes determinados através dos ensaios em túnel de vento, vento turbulento com $p=0,34$, em substituição aos recomendados pela norma, seja para a análise estática ou dinâmica, também reflete uma situação oposta a observada para o vento de baixa turbulência nos gráficos 5.3 e 5.4.

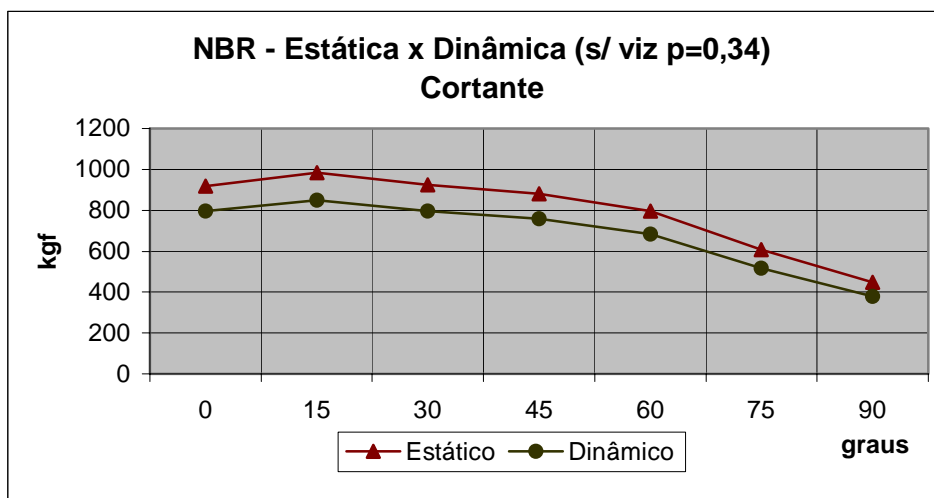


Gráfico 5.6: Aplicação das recomendações da NBR referente a análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência sem o efeito de vizinhança – Cortante.

Os resultados apresentados no gráfico 5.7 refletem os valores determinados através da aplicação da análise estática padrão da NBR – 6123 e os valores obtidos para a mesma análise, mas utilizando os coeficientes aerodinâmicos obtidos em túnel de vento. Observa-se que a recomendação padrão da norma define um limite superior que praticamente coincide,

apenas 0,1% maior, com o valor máximo obtido com os coeficientes oriundo dos ensaios, e seus limites inferiores bastante próximos também.

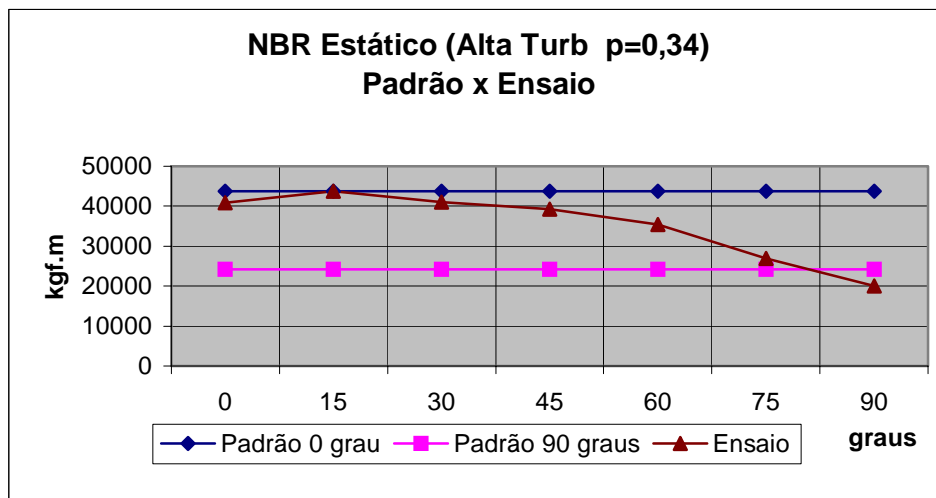


Gráfico 5.7: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento.

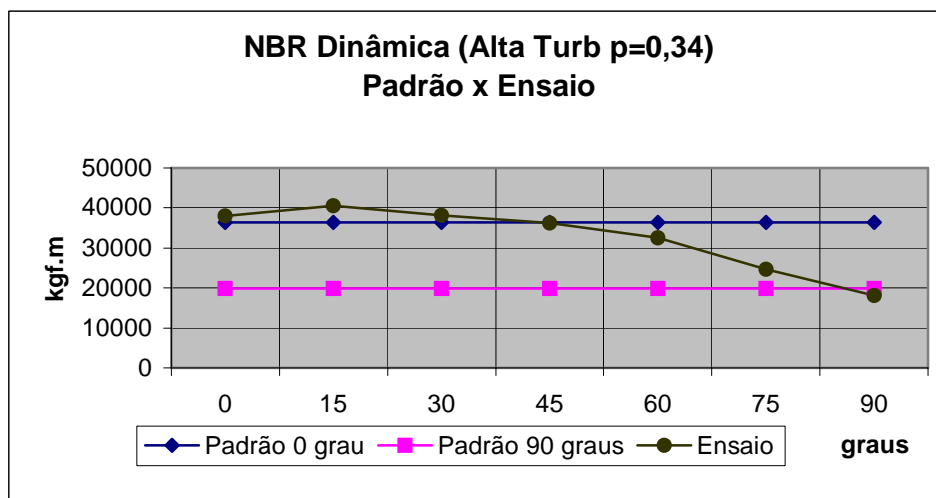


Gráfico 5.8: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise Dinâmica, para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento.

Representados no gráfico 5.8 os valores referentes às considerações dinâmicas da norma brasileira. O intervalo definido pela recomendação padrão tem seu limite superior inferior ao valor máximo obtido com a aplicação dos coeficientes fornecidos pelo túnel de vento. Neste caso, as recomendações padrão levam a valores 11% menores que os valores determinados utilizando os coeficientes obtidos nos ensaios.

Assim como no caso sem vizinhança, mas também com o vento turbulento, os valores obtidos através das prescrições da análise estática da NBR, para os modelos ensaiados com simulação de vizinhança, originam resultados mais conservadores que as recomendações para a análise dinâmica, isto pode ser claramente percebido nos gráficos a seguir.

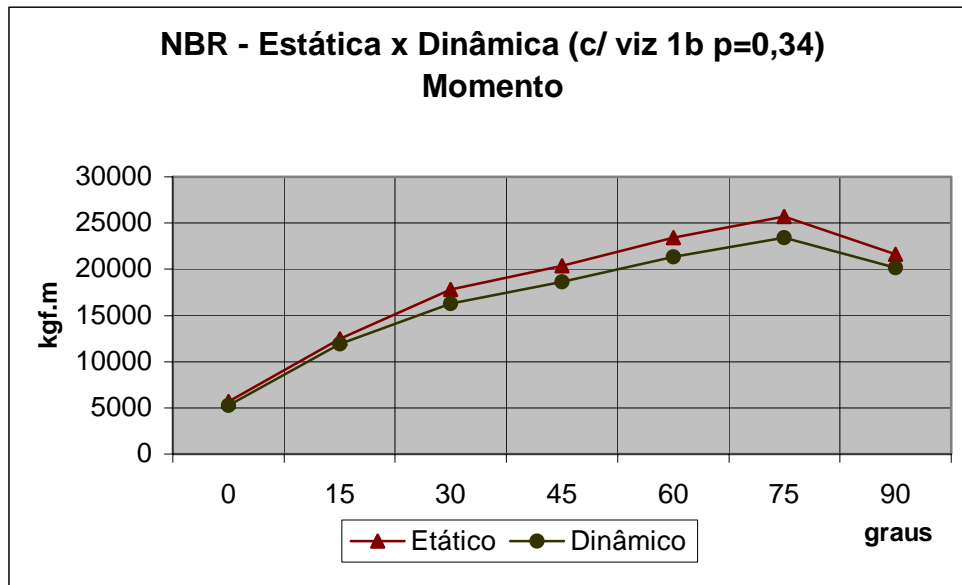


Gráfico 5.9: Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 1b - Momento.

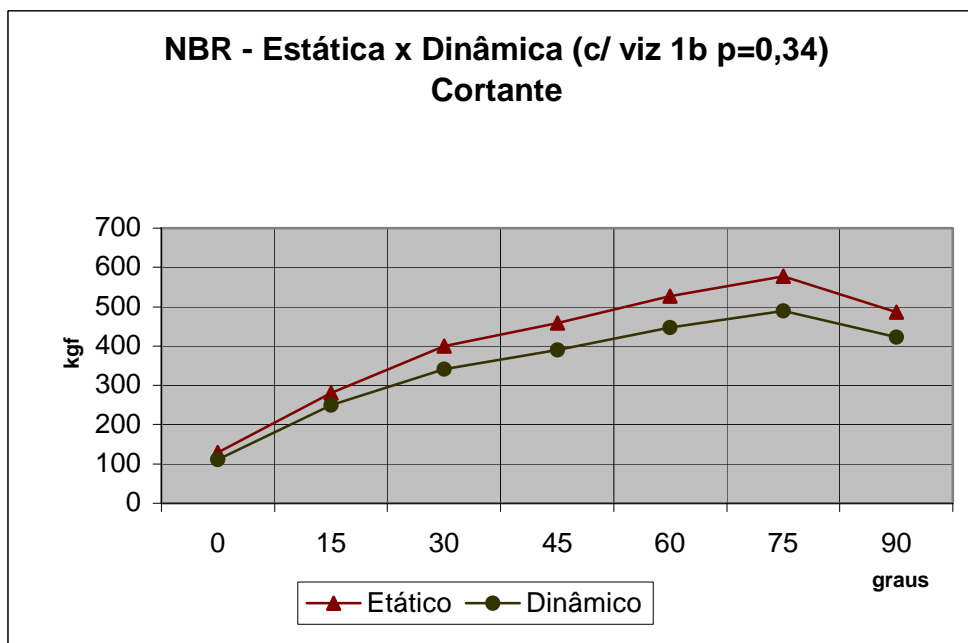


Gráfico 5.10: Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 1b - Cortante.

Os gráficos 5.9 e 5.10 junto com a tabela 5.4 representam o resumo das respostas obtidas para o modelo ensaiado para vento turbulento e com a vizinhança 1b, definida no

capítulo 3. À medida que o valor do ângulo de incidência aumenta a diferença entre as respostas obtidas através da análise estática e a dinâmica aumenta até 75°, de ângulo de incidência do vento, voltando a diminuir em 90°. A diferença máxima é de 9,7% para os ângulos de 60° e 75°, para o momento na base e mínima de 7,9% para 0° estas diferenças relativas estão apresentadas na tabela 5.12.

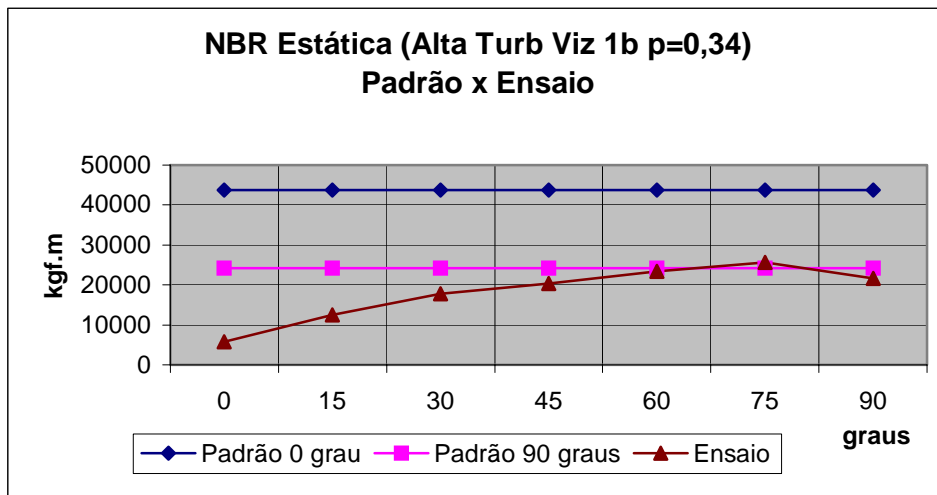


Gráfico 5.11: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento.

O efeito da vizinhança 1b ensaiada e representada nos gráficos 5.11 e 5.12 resulta em uma grande redução da força de arrasto e assim do momento atuante na base da edificação, no caso para o vento com ângulo de incidência de 0° o seu efeito global sobre a edificação chega a gerar sucção, contudo com um coeficiente aerodinâmico de valor absoluto muito baixo. Portanto a sucção que a edificação estaria submetida é irrelevante.

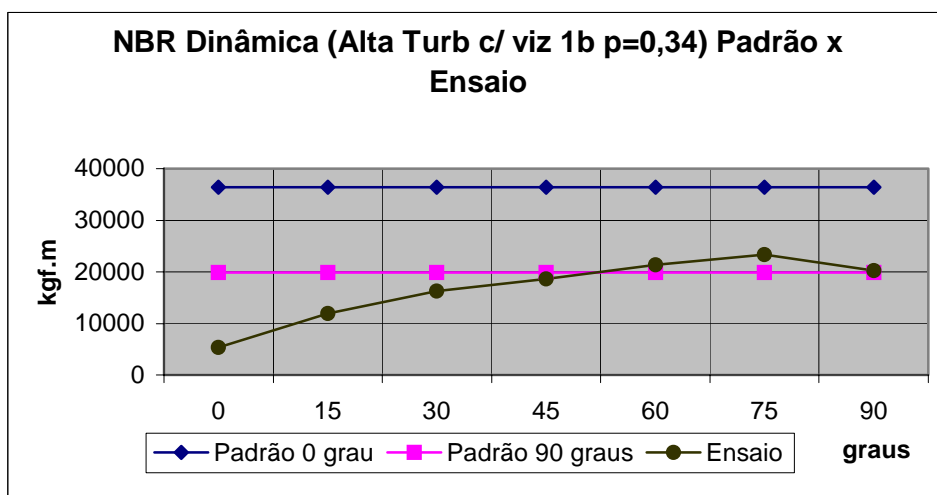


Gráfico 5.12: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise Dinâmica, para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento.

O momento na base, para os valores dos coeficientes aerodinâmicos devido a vizinhança, tem o seu valor máximo apenas 6% maior que o limite mínimo determinado pelas prescrições padrão da norma brasileira quanto a análise estática, gráfico 5.11.

Assim como o resultado segundo a análise estática da NBR 6123, as respostas obtidas aplicando as recomendações da análise dinâmica, desta mesma norma, demonstra uma grande redução do efeito do vento sobre a edificação em estudo, sendo que o máximo momento na base é 17% maior que o valor mínimo determinado pelas considerações padrão da norma (ver tabela 5.4).

Porém vale a pena ressaltar que os máximos valores determinados quando da ação do vento com a simulação da vizinhança 1b são para os ângulos de incidência do vento entre 60° e 90°, tendo seu máximo a 75°. Isso seria equivalente ao vento incidindo na face menor da edificação, ou seja a 90°, se a norma for aplicada diretamente segundo as suas recomendações.

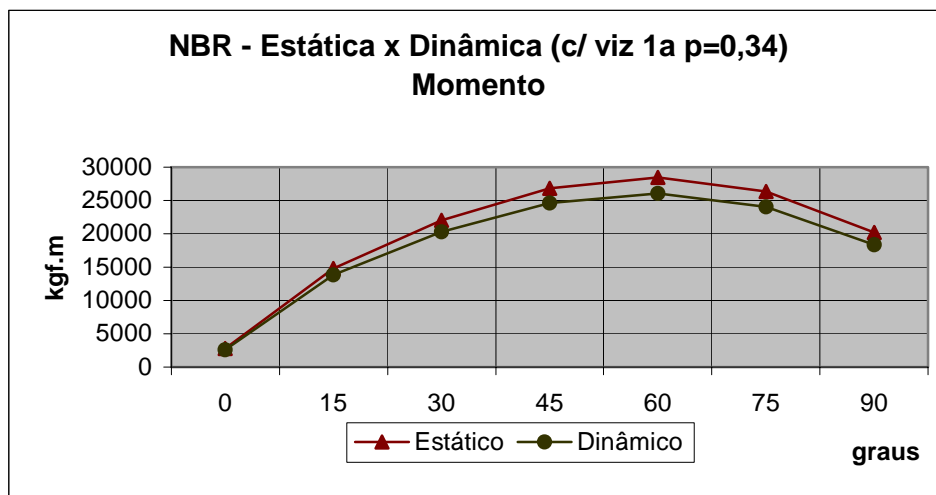


Gráfico 5.13: Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 1a - Momento.

Os modelos sem vizinhança e os ensaiados para a vizinhança 1a assim como para 1b, ou seja, todos os casos já analisados até aqui, para o vento com alta turbulência as considerações da análise estática tem determinado respostas mais conservadoras, como já foi salientado. Também é possível observar que o efeito da vizinhança tende a diminuir na medida em que a incidência do vento se afasta da posição de 0° chegando ao seu valor máximo para a incidência do vento a 60°.

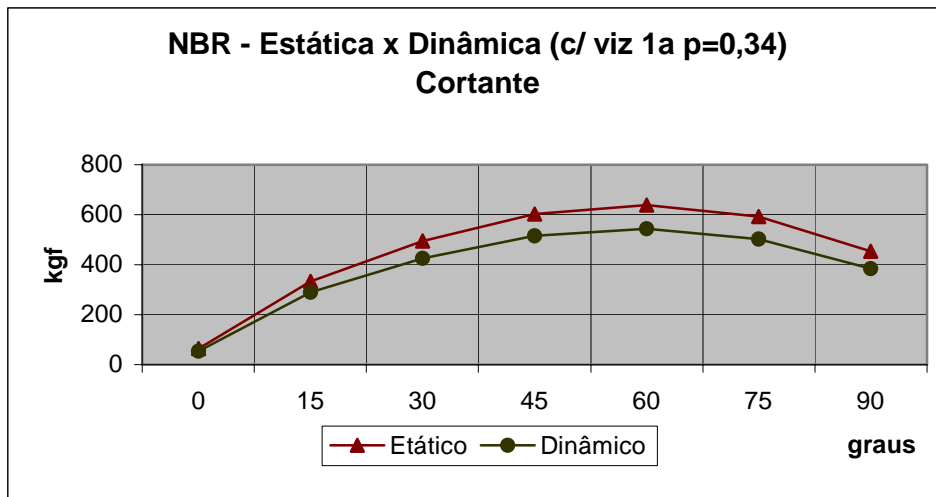


Gráfico 5.14: Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 1a - Cortante.

A diferença entre a análise estática e dinâmica chega em seu valor máximo a 9,8% para o ângulo de incidência de 90°, e sua menor diferença, continua sendo, para a incidência a 0° sendo estas diferenças apresentadas na tabela 5.5.

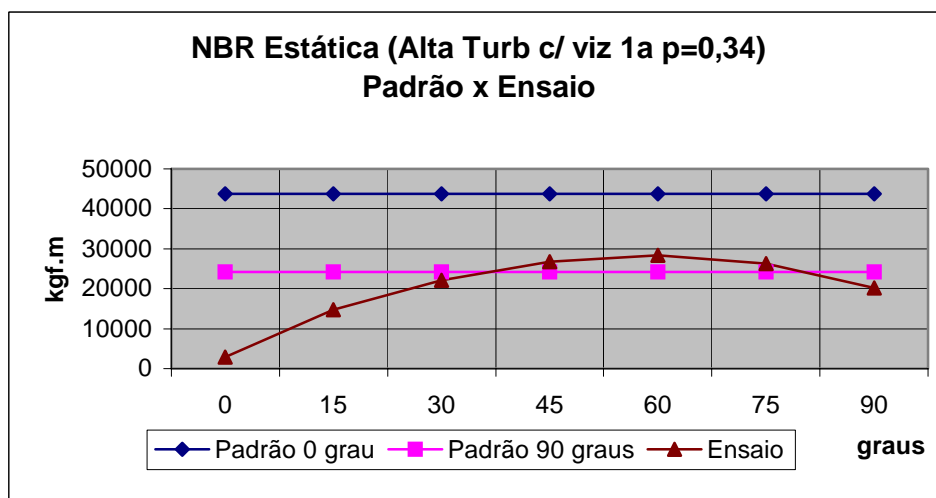


Gráfico 5.15: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência vizinhança 1a - Momento.

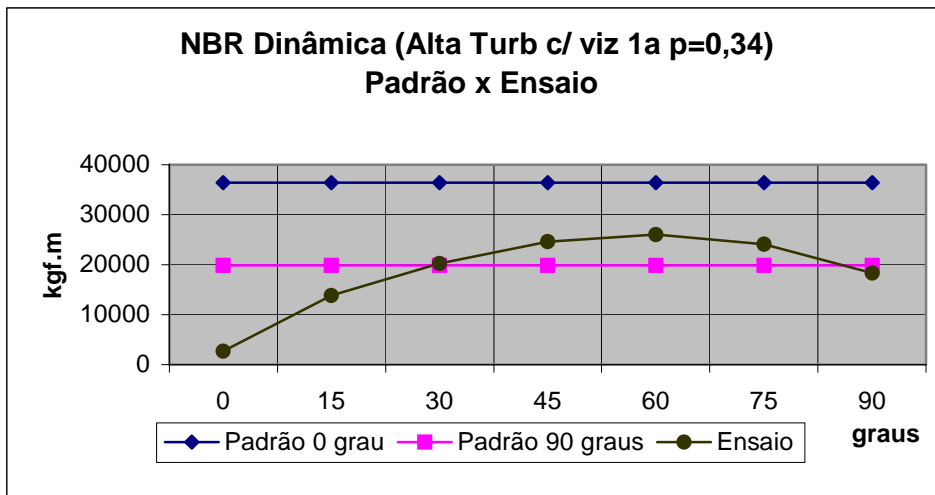


Gráfico 5.16: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise dinâmica, para o vento de alta turbulência com vizinhança 1a - Momento.

O efeito da vizinhança simulada neste ensaio já resulta em coeficientes de arrasto maiores, e o efeito da sucção que ocorre quando o vento incide a 0° é reduzido à metade. Os efeitos desta vizinhança sobre a ação do vento na edificação são muito semelhantes com os efeitos da vizinhança 1b, como mostram os gráficos 5.13 a 5.15.

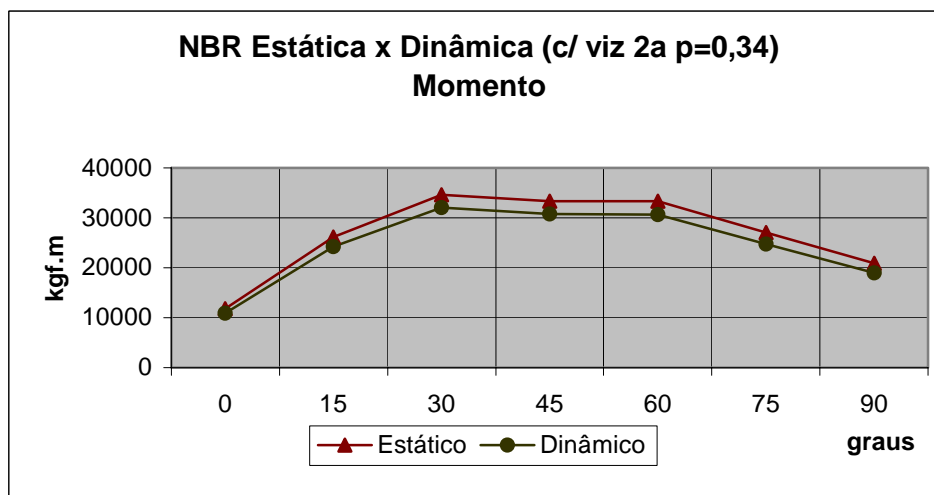


Gráfico 5.17: Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 2a - Momento.

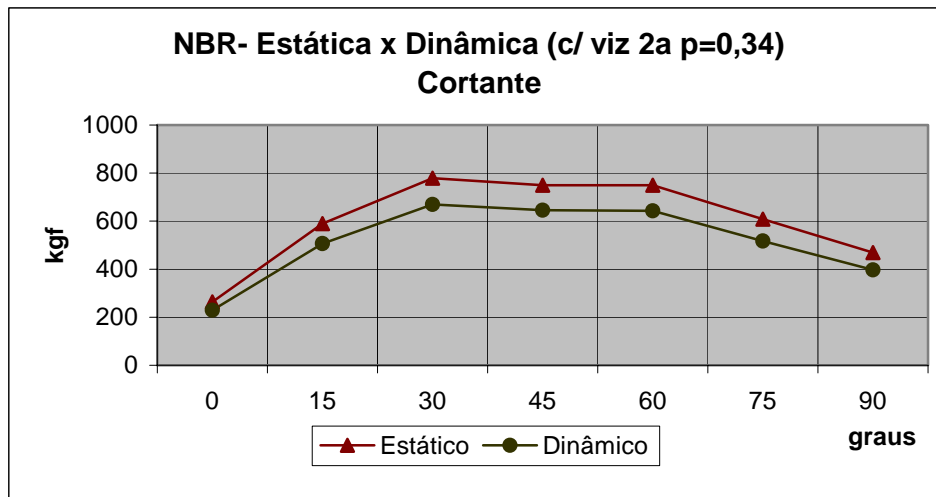


Gráfico 5.18: Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 2a - Cortante.

Da mesma forma como ocorre com os outros três modelos ensaiados para o vento com alta turbulência, no modelo para a vizinhança 2a, os resultados obtidos para as recomendações referentes a análise estática da norma brasileira determina valores mais conservadores que os obtidos através da aplicação da análise dinâmica da mesma norma, chegando a valores 9,8% maiores como mostra a tabela 5.6.

Observando os gráficos 5.17 e 5.18 que representam o momento e esforço cortante na base da edificação, respectivamente, é possível observar que o efeito de vizinhança diminui mudando inclusive a forma de apresentação do gráfico.

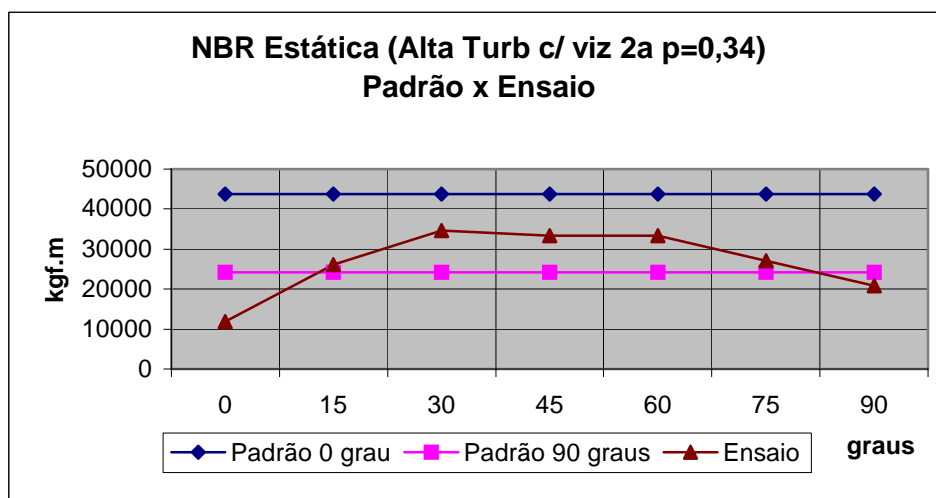


Gráfico 5.19: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência para vizinhança 2a - Momento.

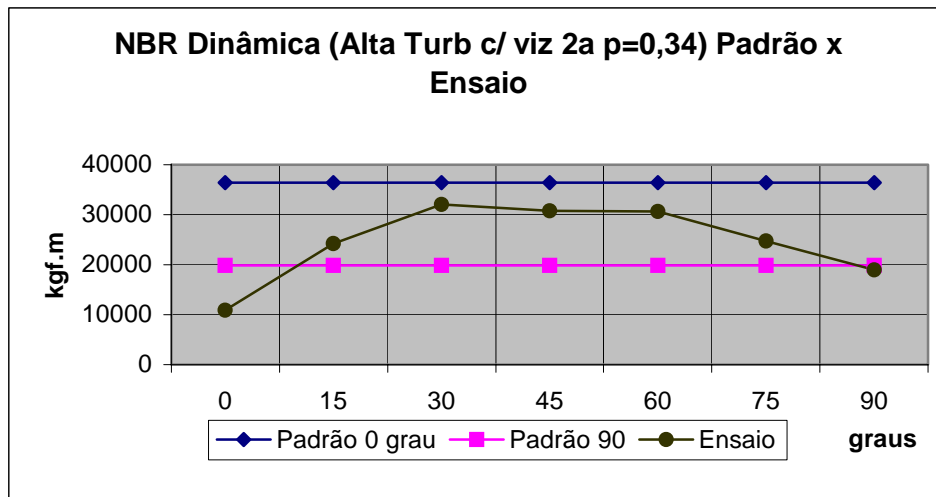


Gráfico 5.20: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise dinâmica, para o vento de alta turbulência para de vizinhança 2a - Momento.

Os gráficos 5.19 e 5.20 representam a resposta, momento na base da edificação, para as análises estática e dinâmica, respectivamente, estes gráficos indicam que a vizinhança em estudo já não origina os esforços de sucção que ocorriam para as vizinhanças 1b e 1a.

Os valores máximos e mínimos, decorrentes da utilização dos coeficientes aerodinâmicos, oriundos dos ensaios, junto as recomendações da norma, para o gráfico 5.20 (análise dinâmica), exceto pela incidência do vento a 0° e 90° que determinam respostas 80% e 5% menores que o limite inferior respectivamente, os demais resultados estão dentro dos limites superior e inferior definidos pelas recomendações padrão da NBR 6123.

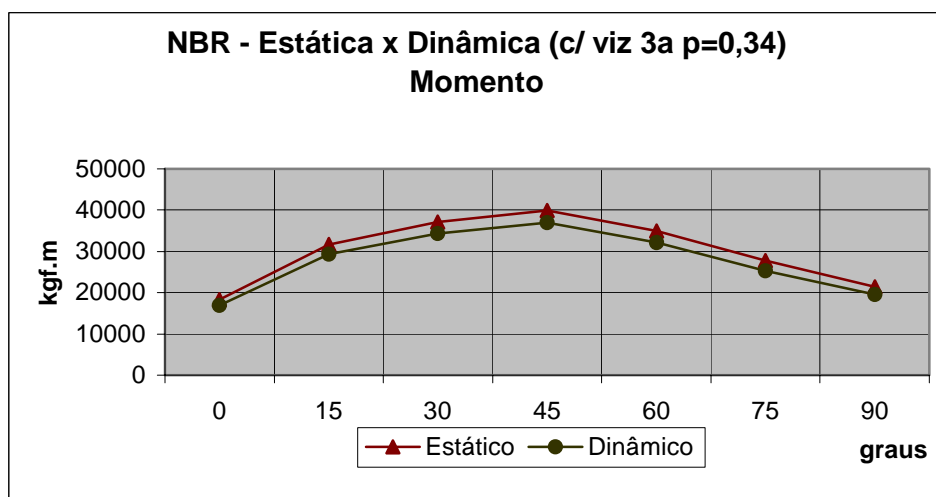


Gráfico 5.21: Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 3a - Momento.

Quanto ao gráfico 5.19, que representa a análise estática segundo a NBR, assim como para a análise dinâmica, os resultados para a incidência do vento a 0° e 90° , resultam em uma resposta 100% e 9%, respectivamente, menores que o limite inferior determinado utilizando a norma com suas recomendações padrão.

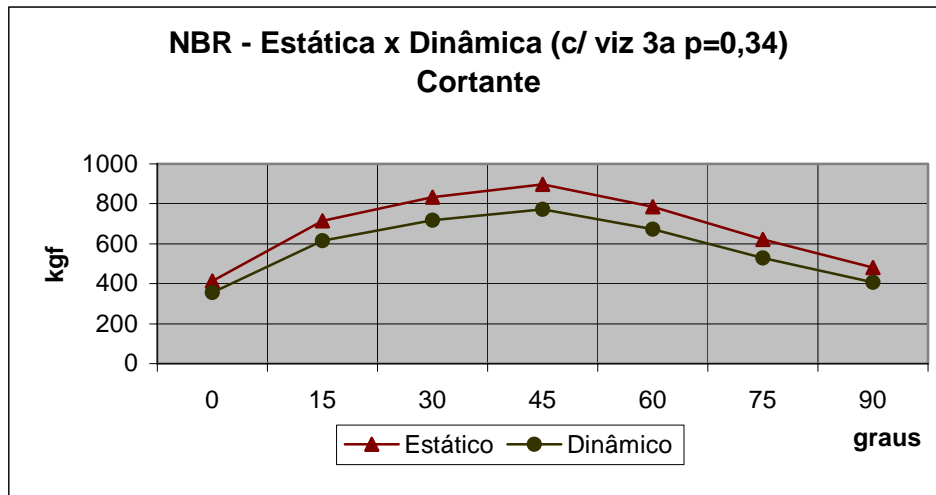


Gráfico 5.22: Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança 3a - Momento.

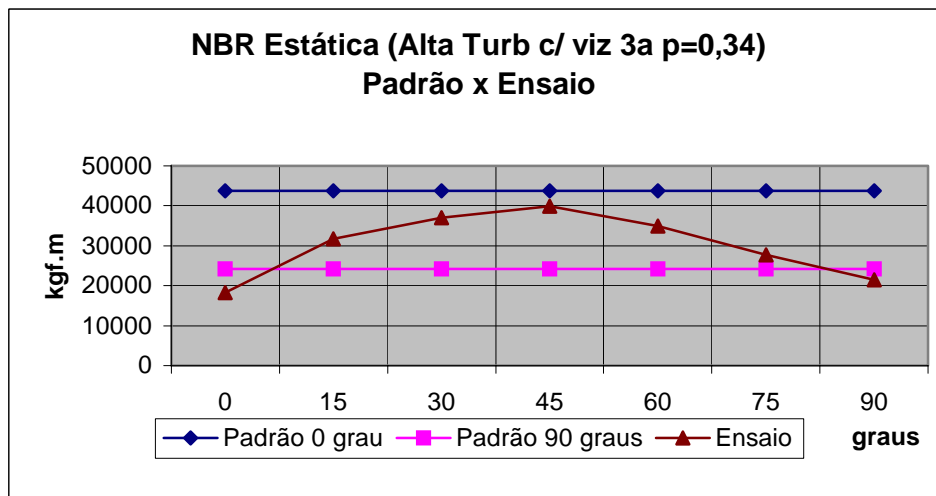


Gráfico 5.23: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência para vizinhança 3a - Momento.

Obedecendo ao padrão já apresentado, os resultados obtidos para a análise estática, segundo a norma brasileira de vento, são mais conservadores que os resultados obtidos através das recomendações do seu capítulo 9, análise dinâmica. A máxima diferença ocorre para o ângulo de incidência do vento de 90° e é de 9,8% e a mínima é de 7,8% para 0° .

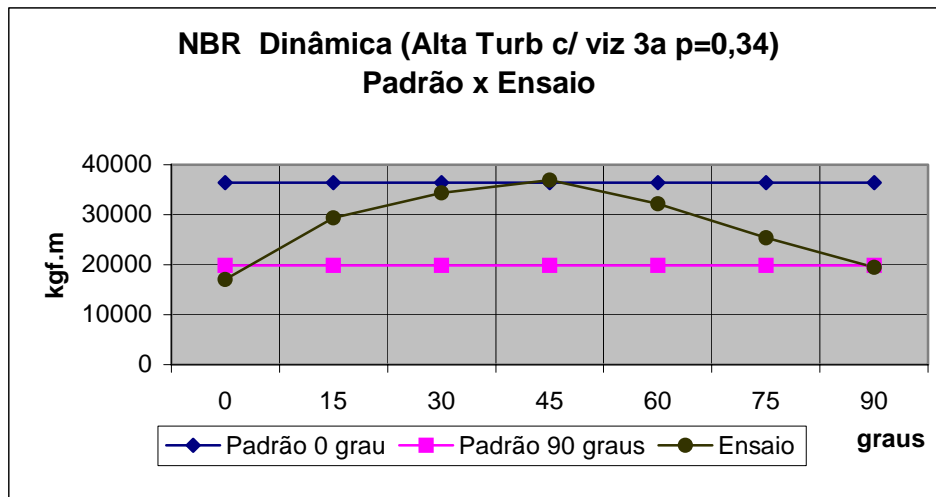


Gráfico 5.24: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise dinâmica, para o vento de alta turbulência para vizinhança 3a - Momento.

Os resultados das recomendações do capítulo 9 da NBR – 6123, através da substituição dos coeficientes aerodinâmicos padrão, desta norma, pelos coeficientes obtidos com uso do túnel de vento, assim como ocorreu nos modelos já analisados, sem vizinhança e com vizinhança 1b; 1a e 2a, se aproximam mais do limites determinados pelas recomendações padrão do que quando aplicadas as recomendações da norma brasileira para sua análise estática.

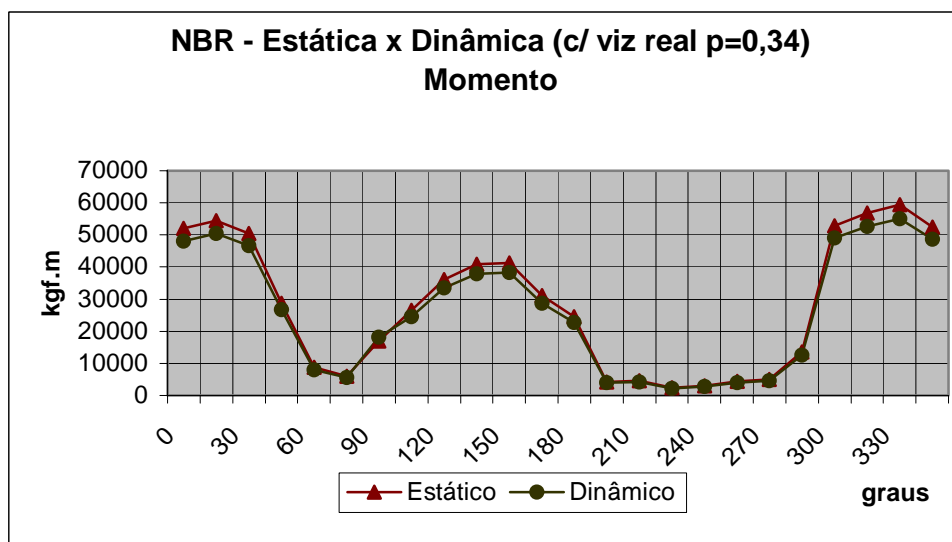


Gráfico 5.25: Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança local - Momento.

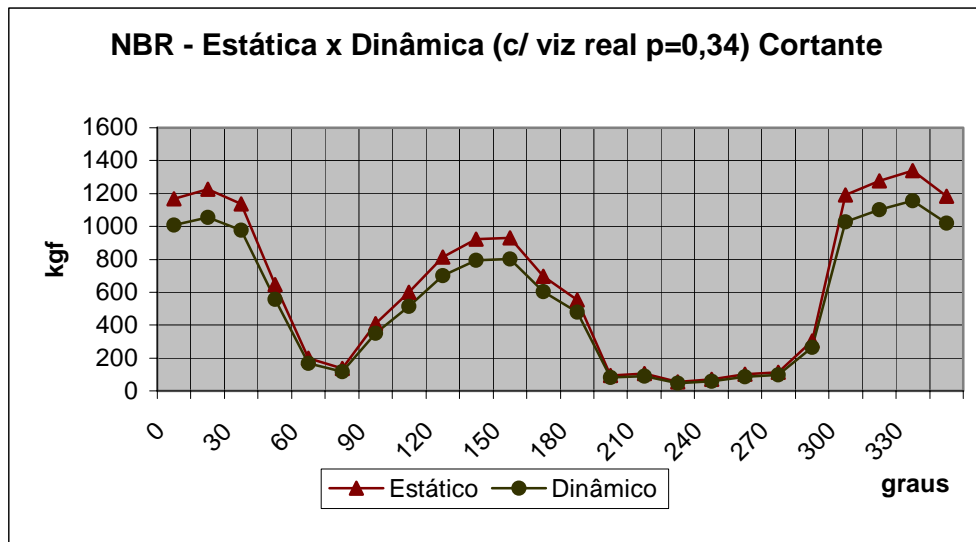


Gráfico 5.26: Aplicação das recomendações da NBR referente à análise estática e dinâmica para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança local - Cortante.

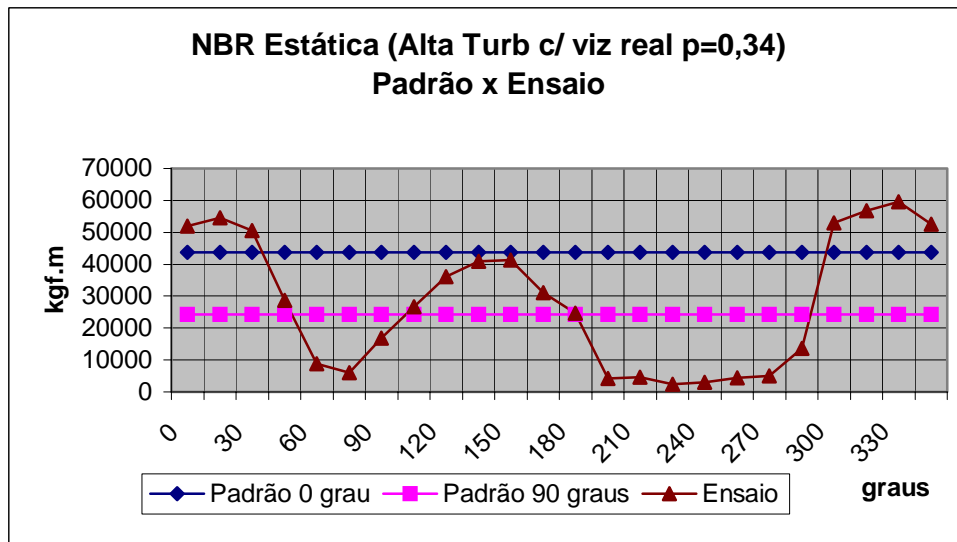


Gráfico 5.27: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise estática, para o vento de alta turbulência para vizinhança local - Momento.

Os resultados obtidos simulando o vento com as características da rugosidade do solo equivalente a categoria V da norma brasileira, que equivale a um vento de alta turbulência, e representando a vizinhança real (Riera, *et al* 1994) onde a edificação esta inserida, estão representados nos gráficos 5.25; 5.26; 5.27 e 5.28 e na tabela 5.8.

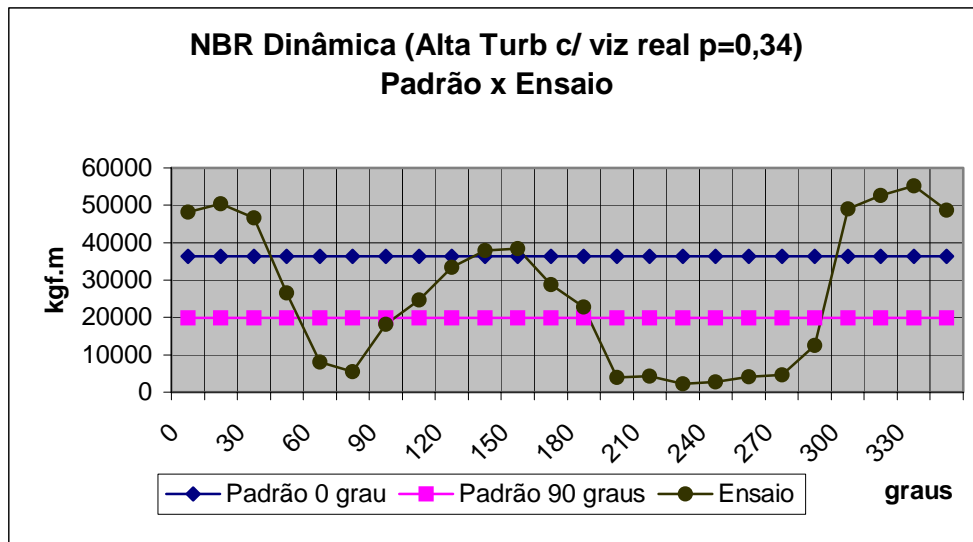


Gráfico 5.28: Aplicação da NBR, com os coeficientes padrão e os obtidos em TV, referente à análise dinâmica, para o vento de alta turbulência para vizinhança local - Momento.

Analisando os gráficos fica claro que os efeitos da vizinhança local geram acréscimos significativos nas ações do vento e nos seus efeitos sobre a estrutura. Na análise estática o valor máximo obtido através dos coeficientes determinado nos ensaios chega a 36% acima do valor máximo determinado pelas recomendações padrão, que é para o vento atuando na face maior, que equivale aos ângulos de incidência 0° e 180° . Na análise dinâmica o valor máximo obtido, também através dos coeficientes determinados nos ensaios chega, a 51% acima do valor máximo determinado pelas recomendações padrão, que é para o vento atuando na face maior, que também equivale aos ângulos de incidência 0° e 180° . Os valores máximos obtidos tanto para a análise estática como para a dinâmica foi para o vento incidindo na edificação a 330° . Porém para o vento ensaiado com ângulo de incidência de 0° o valor do momento na base é 19% maior que o limite superior da NBR padrão na análise estática, na análise dinâmica a diferença é de 32%.

Também para simulação dos efeitos da vizinhança local, para o vento turbulento, a análise estática resulta em valores mais conservadores.

- **NBR x NBC – Vento de Baixa Turbulência**

A análise comparativa entre os resultados obtidos aplicando as prescrições da norma brasileira, análise dinâmica, com os obtidos aplicando a recomendações da norma canadense são apresentados a seguir, para o vento de baixa turbulência.

Analisando a tabela 5.9 que apresenta os dados relativos a aplicação do capítulo 9 da norma brasileira de vento e a norma canadense é interessante observar que as respostas obtidas através da NBR – 6123 para o vento atuando na face maior, vento a 0 grau, os resultados são 116% maiores que os obtidos segundo o NBC. Para o vento a 90 graus, atuando na face menor da edificação, a diferença é de 75%.

Ainda analisando a tabela 5.9 as respostas referentes ao máximo momento e esforço cortante, na base da edificação, os valores mínimos determinados pela NBR, para o vento com pouca turbulência definido por esta norma, são superiores aos máximos determinados pelos parâmetros da norma canadense.

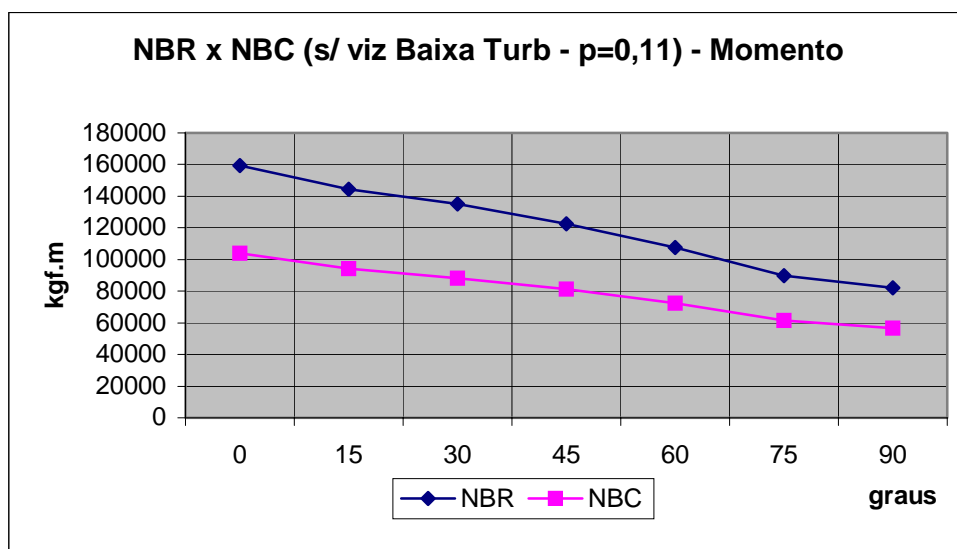


Gráfico 5.29: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento.

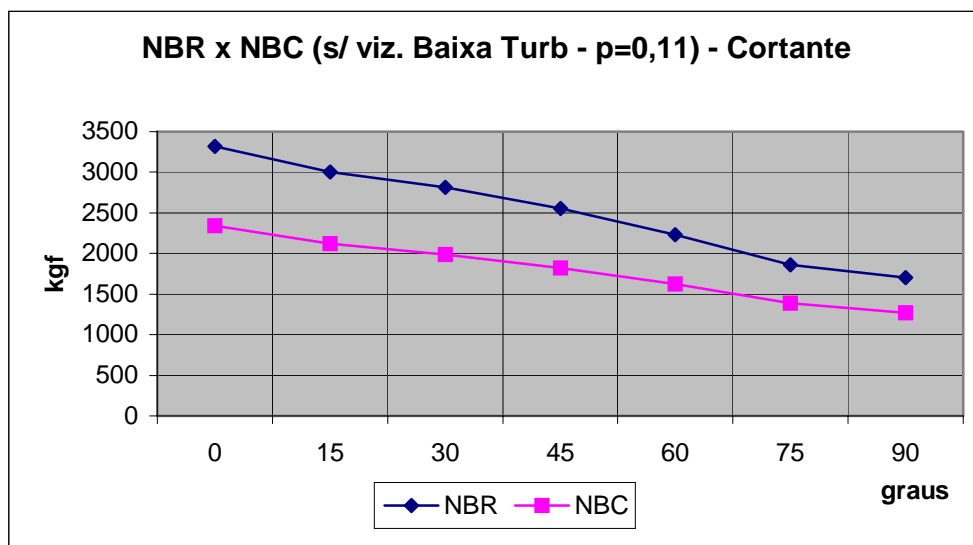


Gráfico 5.30: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de baixa turbulência sem o efeito de vizinhança - Cortante.

A relação entre as respostas determinadas pelas normas brasileira e canadense quando estas são aplicadas, mas os coeficientes aerodinâmicos sendo substituídos pelos obtidos através dos ensaios em túnel de vento, para o modelo sem vizinhança e um vento atuando em uma superfície de rugosidade equivalente a determinada pela categoria I da NBR – 6123, são apresentados na tabela 5.11 e nos gráficos 5.29 e 5.30. É possível observar que os resultados obtidos através das recomendações da NBR são maiores que os obtidos através do NBC, tendo sua diferença máxima, quando avaliado o momento na base do edifício, para o vento incidindo a 0° , 53,5%, sendo estas diferenças decrescentes até vento a 90° onde se registra a menor diferença, 45,3%.

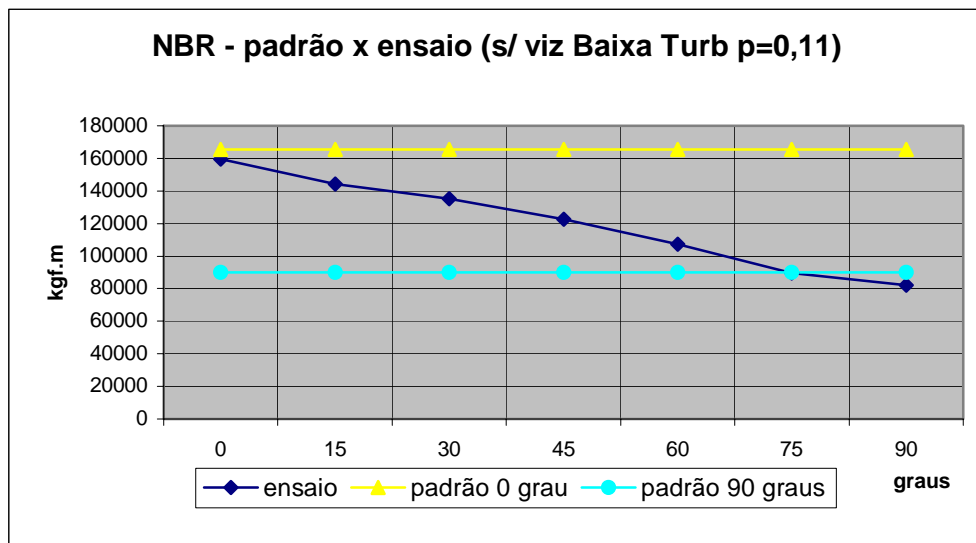


Gráfico 5.31: Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo sem vizinhança - baixa turbulência.

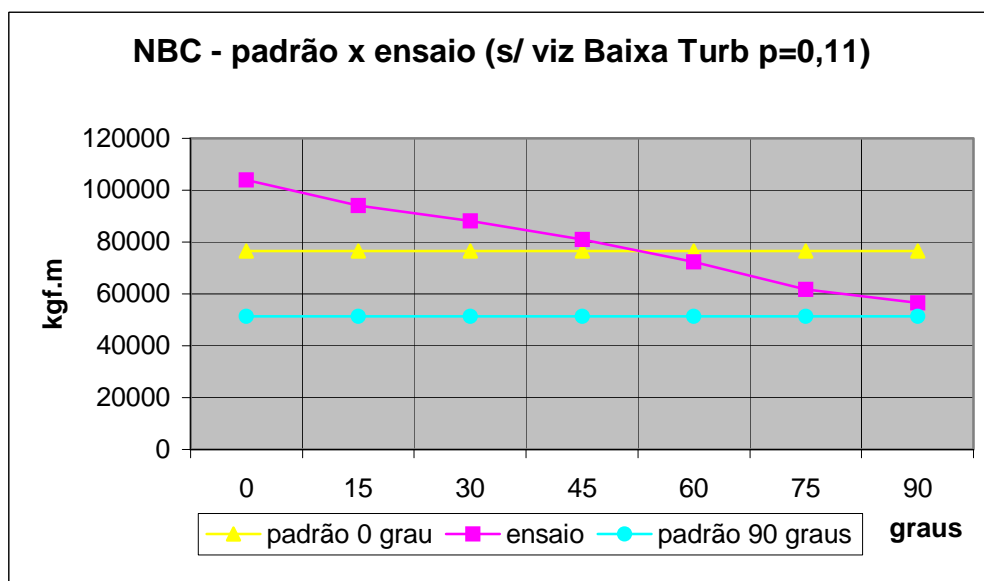


Gráfico 5.32: Aplicação das recomendações do NBC padrão e os resultados para o modelo sem vizinhança - baixa turbulência.

É possível perceber com clareza que as recomendações da norma brasileira determina efeitos sobre a edificação muito mais significativos que a norma canadense.

O gráfico 5.31, que é o mesmo gráfico 5.4 apenas em uma escala um pouco diferente, é aqui reapresentado para facilitar a análise comparativa entre as respostas obtidas através do emprego das determinações das normas que estão sendo estudadas.

Analisando os dois gráficos é possível perceber que os valores determinados pelas duas normas, dentro das suas recomendações padrão, definem valores para o vento agindo na face maior da edificação, que corresponde ao vento a 0° , e para este agindo na face menor, que corresponde ao vento a 90° , que classificamos neste estudo como limite superior e inferior. É possível perceber que estes limites determinados pela NBR – 6123 se aproximam mais dos valores determinados, por esta norma, utilizando os coeficientes obtidos através do túnel de vento quando é aplicada a norma canadense.

- **NBR x NBC – Vento de Alta Turbulência**

Quando é aplicada a norma brasileira de vento seguindo estritamente as suas recomendações para o vento turbulento, sobre uma superfície classificada segundo esta norma como dentro da categoria V, e os resultados assim obtidos são comparados com os determinados pela norma canadense, também para um vento agindo sobre um terreno onde a rugosidade da superfície seja a máxima definida por esta norma e equivalente a da categoria V, já citada, os resultados obtidos segundo o NBC são maiores que os obtidos através da NBR. Para o vento agindo na face maior da edificação, que equivale ao vento atuando a 0° , os valores segundo a norma canadense são 29,5% maiores que os determinados pela brasileira. E para o vento a 90° , os seus efeitos são 60% maiores que os obtidos para a NBR, estes dados estão apresentados na tabela 5.9.

Observando os gráficos 5.33 e 5.34, abaixo, é possível perceber que também quando se substitui os coeficientes definidos pelas normas em estudo pelos obtidos através dos modelos ensaiados em túnel de vento, para o modelo sem vizinhança e com vento turbulento, com rugosidade do terreno equivalente a definida pela categoria V, e expoente da lei potencial do perfil de velocidades médias do vento, $p=0,34$, os respostas determinadas pela norma canadense também determinam resultados maiores. Assim como foi verificado quando foram comparadas as aplicações padrão das normas. Porém, as diferenças aqui citadas e determinadas na tabela 5.11 são crescentes sendo mínima para o ângulo de incidência de 0° , 4,3%, e máxima para a incidência a 90° , 10,5%.

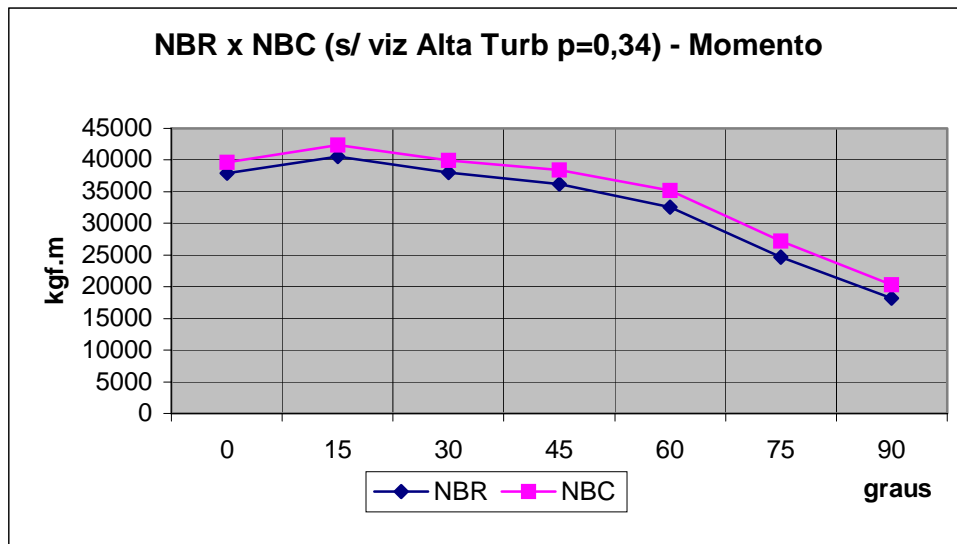


Gráfico 5.33: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Momento.

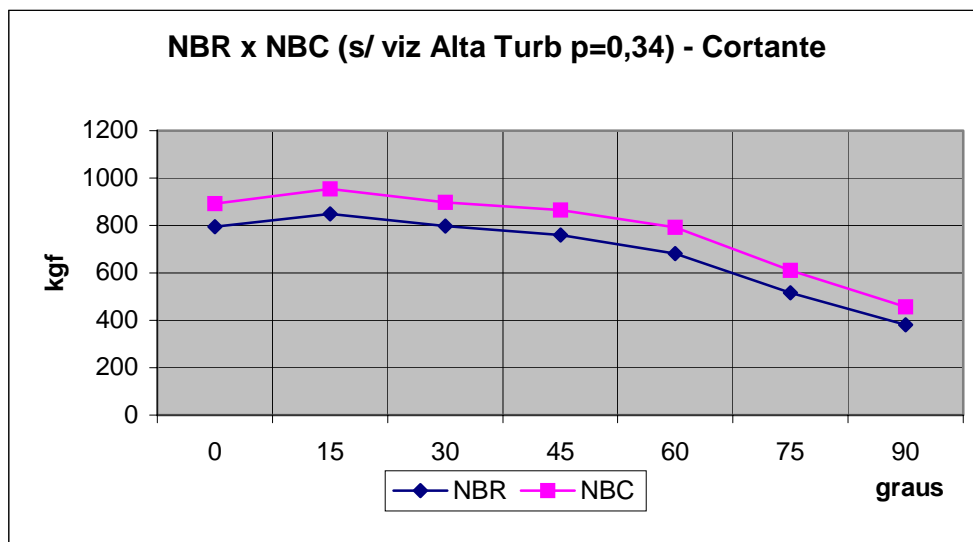


Gráfico 5.34: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência sem o efeito de vizinhança - Cortante.

É possível perceber que há um equilíbrio maior entre os resultados determinados pelas as duas normas em questão para o vento turbulento.

A norma canadense padrão determina respostas 11% maiores que quando são a ela aplicados os coeficientes obtidos em túnel de vento e 16% acima dos valores determinados pela norma brasileira quando a esta são aplicados os coeficientes obtidos através dos ensaios em túnel de vento.

Fazendo a mesma análise para a norma brasileira, esta determina, nas suas recomendações padrão, valores 16% menores que os obtidos através do NBC, mas com os

coeficientes do túnel de vento e 11% menores quando estes coeficientes são aplicados junto as suas próprias recomendações.

O gráfico 5.35 é o mesmo gráfico 5.8, já apresentado anteriormente diferindo apenas um pouco a escala que é aqui apresentada, a razão da reapresentação deste gráfico é para facilitar a análise comparativa com os dados representados no gráfico 5.36.

Estes gráficos representam os dados determinados através das aplicações das prescrições das normas brasileira e canadense, gráfico 5.35 e 5.36 respectivamente, suas recomendações padrão e os resultados decorrentes da substituição dos seus coeficientes pelos determinados nos ensaios.

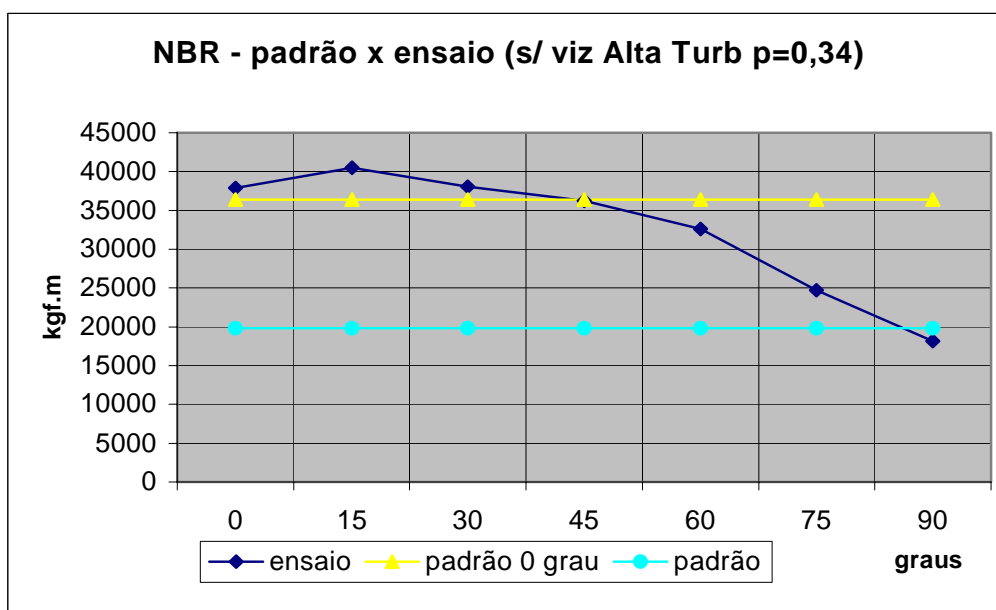


Gráfico 5.35: Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo sem vizinhança - alta turbulência.

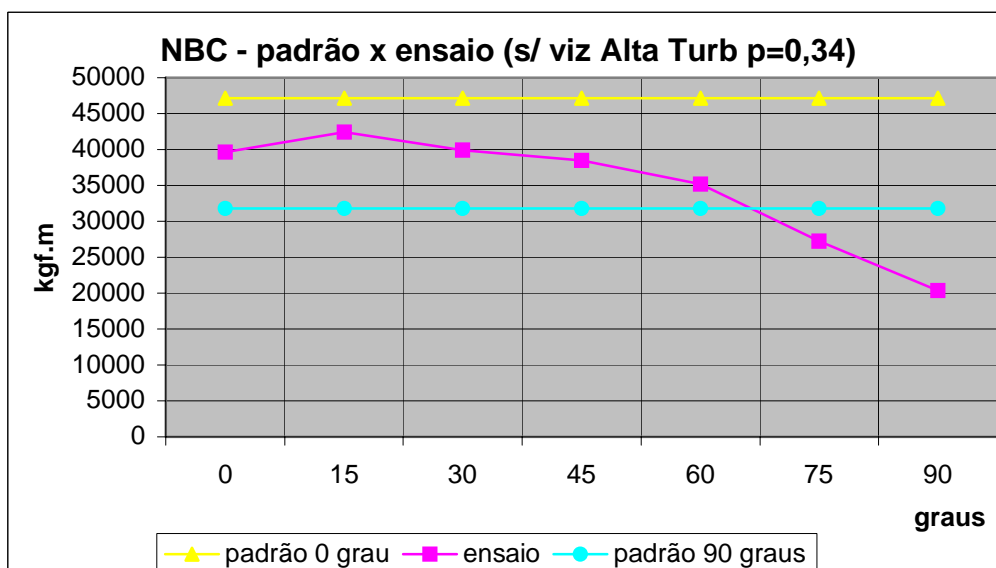


Gráfico 5.36: Aplicação das recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo sem vizinhança - alta turbulência.

Apesar da norma brasileira, nas suas recomendações, apresentar valores menores do que quando são aplicados a ela os dados obtidos em túnel de vento. Esta norma apresenta os resultados padrão mais coerentes com as respostas obtidas através dos coeficientes fornecidos pelo modelo do que a norma canadense quando se analisa os gráficos 5.35 e 5.36.

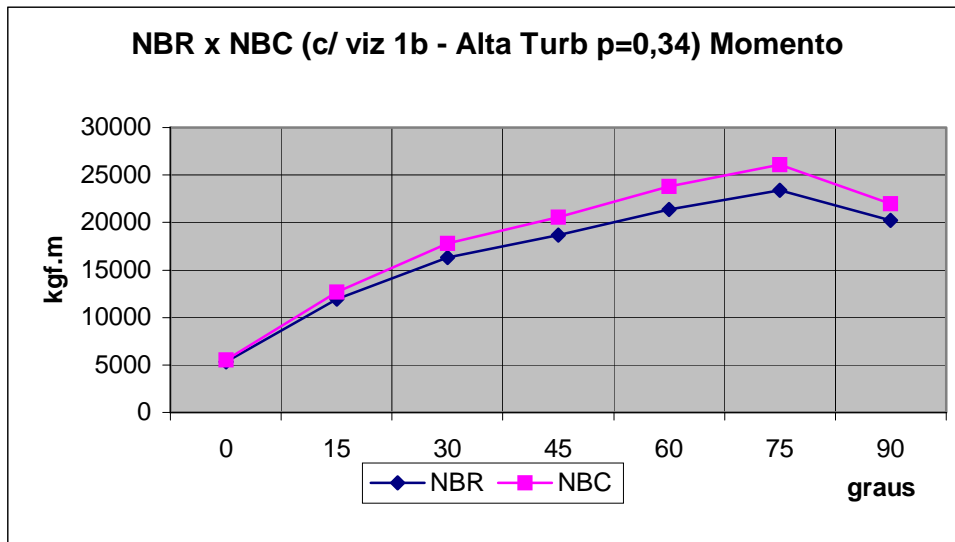


Gráfico 5.37: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 1b - Momento.

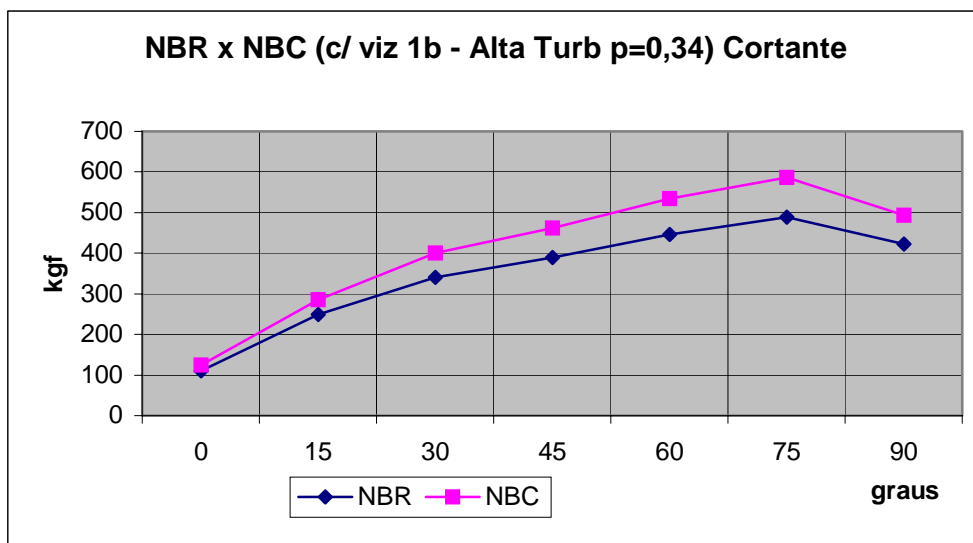


Gráfico 5.38: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 1b - Cortante

A presença da vizinhança, no caso a 1b, resulta em coeficientes aerodinâmicos que indicam, para o vento incidindo a 0° , no modelo ensaiado no túnel de vento, haverá sucção.

Também pode ser notado que as respostas quando os coeficientes aerodinâmicos, determinados através dos ensaios, são aplicados junto às normas estudadas, as respostas obtidas através da canadense são mais conservadoras que as determinadas pela brasileira,

assim como ocorreu no modelo sem vizinhança. A diferença entre as respostas, que estão apresentadas na tabela 5.12, é mínima para o vento a 0° , 4,5%, e máxima para a incidência a 75° , 10,3%. É importante notar que de 0° até 75° a diferença é crescente, contudo esta decresce entre 75° e 90° , que é quando o vento age perpendicular a menor face do modelo, onde a diferença é 8,1%.

É possível notar que as respostas máximas obtidas para ambas as normas, quando utilizado os coeficientes determinados nos ensaios, ocorre para o ângulo de incidência de 75° , e se aproximam bastante dos valores mínimos determinados pelas recomendações padrão das normas, sendo ambas as respostas maiores que as determinada pela NBR padrão e menores que as obtidas segundo o NBC padrão.

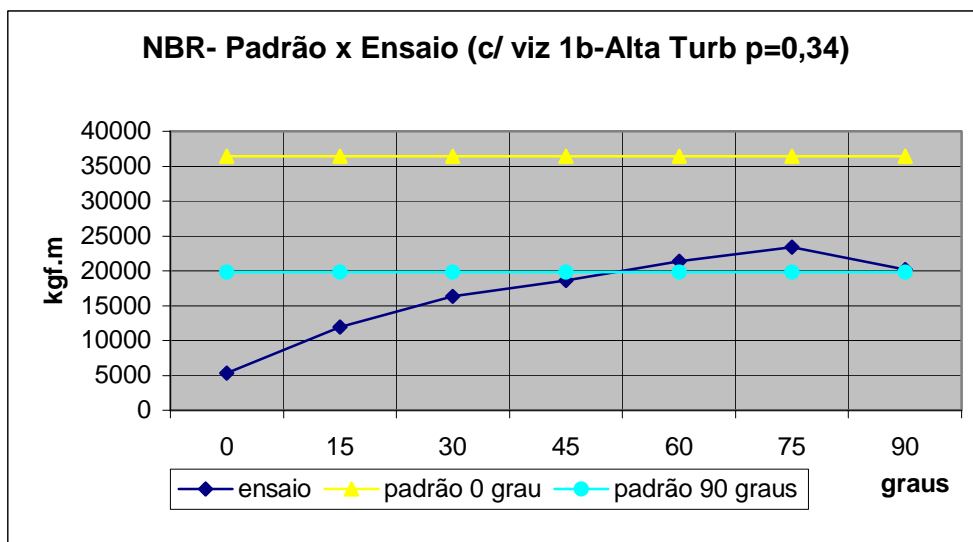


Gráfico 5.39: Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 1b - alta turbulência

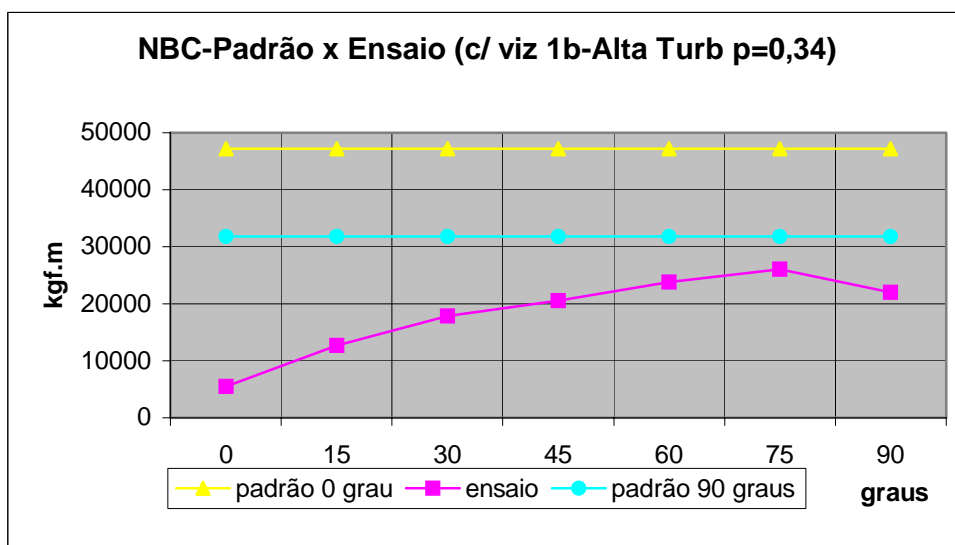


Gráfico 5.40: Aplicação das recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 1b - alta turbulência

O gráfico 5.39, que equivale ao 5.12, e pelas mesmas razões que os gráficos 5.31 e 5.35 foram reapresentados este gráfico é reapresentado aqui.

Os gráficos 5.39 e 5.40 apresentam as respostas segundo a NBR e o NBC respectivamente, para as suas recomendações padrão e para aplicação, junto a estas normas, dos coeficientes determinados em túnel de vento. O efeito da vizinhança resulta em sucções quando o vento incide a 0° , este efeito tem sua interferência na ação do vento sobre a edificação reduzida na medida em que o ângulo de incidência do vento se aproxima de 90° . Como já havia sido salientado, as recomendações padrão da norma brasileira se aproximam mais dos resultados, quando os coeficientes definidos nos ensaios aerodinâmicos em túnel de vento são aplicados, do que quando se aplica a norma canadense.

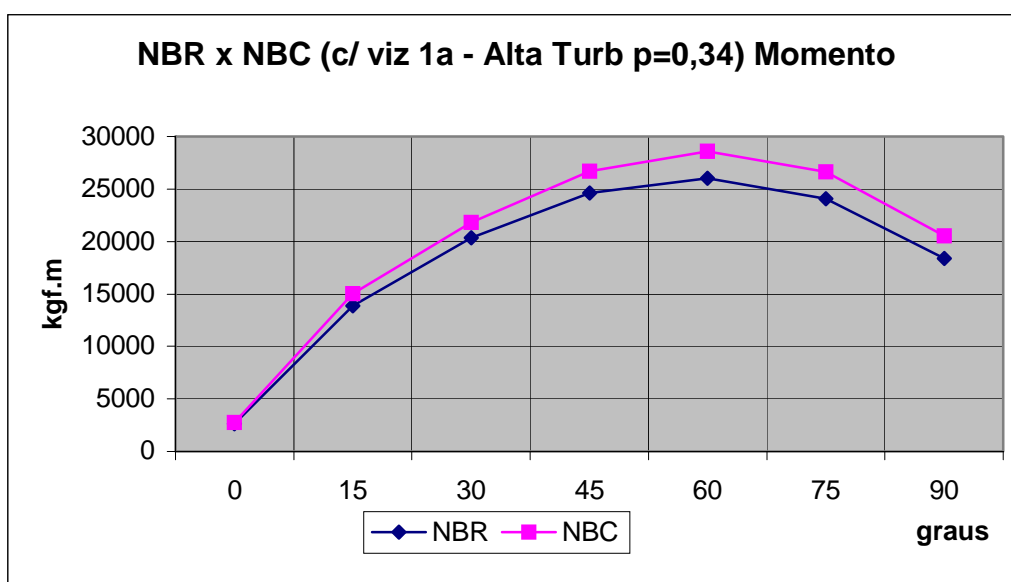


Gráfico 5.41: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 1a - Momento.

Quando os coeficientes de força, determinados através dos ensaios em túnel de vento para o modelo com vizinhança 1a, vento turbulento com expoente da lei potencial do perfil de velocidades médias do vento $p=0,34$, são substituídos nas recomendações padrão da norma canadense e da brasileira resulta que as respostas obtidas segundo o NBC, a norma canadense, determinam valores maiores que a NBR. Os gráficos 5.41 e 5.42 demonstram as curvas que definem as respostas obtidas segundo estas normas, momento e esforço cortante na base da edificação, respectivamente.

A tabela 5.12 demonstra as proporções entre o efeito do vento na situação aqui analisada. Neste caso, para o momento na base da edificação, a diferença entre as respostas é

mínima quando o ângulo de incidência do vento é 0° , 4,4%, e com a incidência de 90° , é onde ocorre a máxima diferença 10,4%. Apesar da grande interferência da vizinhança simulada neste ensaio, seus efeitos sobre a edificação diminuem, se comparado com a vizinhança 1b, e assim a sucção é reduzida a metade e os efeitos da pressão sofrem um ligeiro aumento em alguns ângulos de incidência do vento.

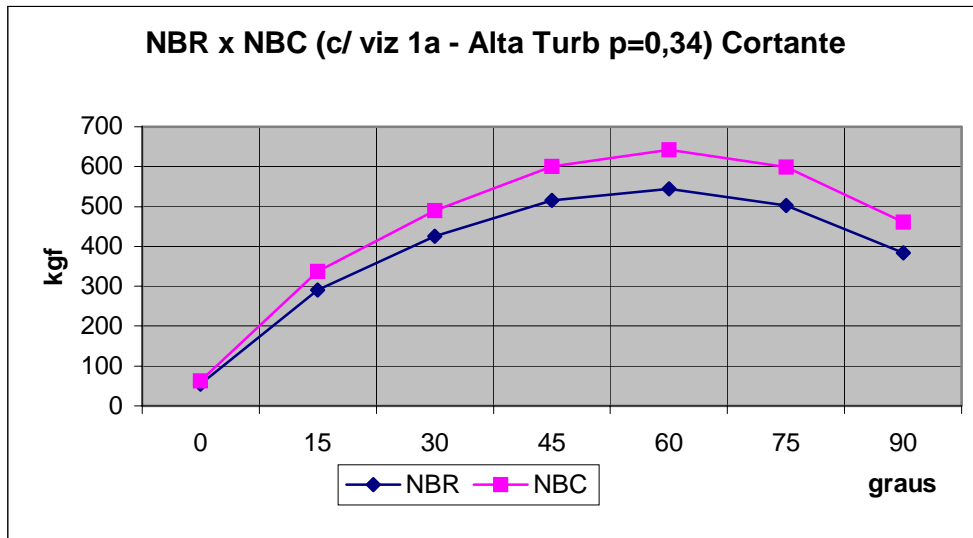


Gráfico 5.42: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 1a - Cortante.

As respostas máximas obtidas para ambas as normas, quando utilizado os coeficientes determinados nos ensaios, ocorre para o ângulo de incidência de 60° , e se aproximam bastante dos valores mínimos determinados pelas recomendações padrão das normas, sendo ambas as respostas maiores que as determinada pela NBR padrão e menores que as obtidas segundo a NBC padrão, como ocorreu para vizinhança 1b.

Da mesma forma que os gráficos 5.31, 5.35 e 5.39, o gráfico 5.43 é rerepresentado e equivale ao 5.16, assim como ocorreu nas outras rerepresentações este gráfico é apresentado outra vez para facilitar a comparação, agora, com o gráfico 5.44.

As respostas segundo a NBR e o NBC, para as suas recomendações e para aplicação, junto a estas normas, dos coeficientes determinados em túnel de vento são apresentadas nos gráficos 5.43 e 5.44. A vizinhança simulada neste modelo resulta em sucções quando o vento incide a 0° , este efeito tem sua interferência na ação do vento sobre a edificação reduzida na medida em que o ângulo de incidência do vento se aproxima de 90° . Como já havia sido quando analisadas as resposta para a vizinhança 1b, as recomendações padrão da norma brasileira se aproximam mais dos resultados, quando os coeficientes definidos nos ensaios aerodinâmicos em túnel de vento são aplicados, do que quando se aplica a norma canadense.

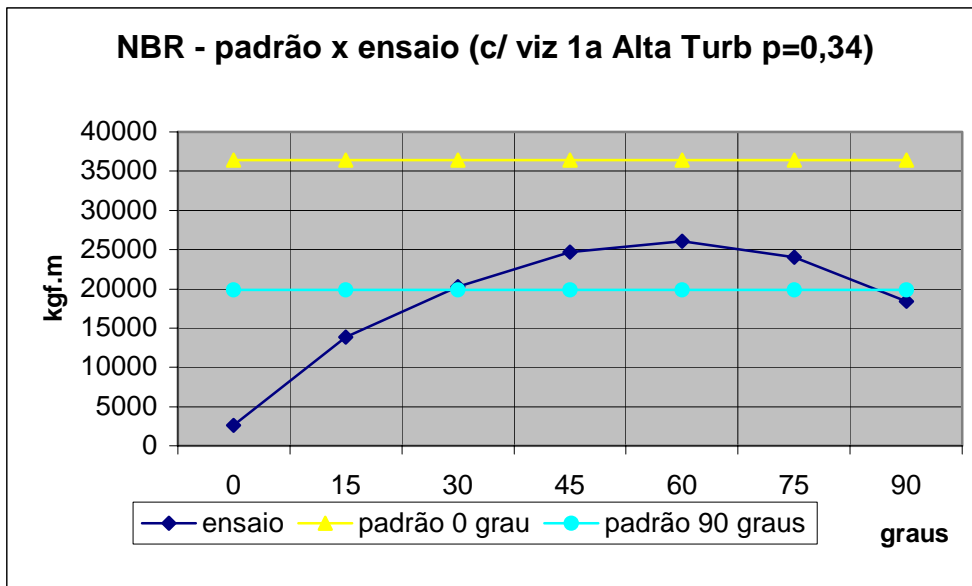


Gráfico 5.43: Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 1a - alta turbulência

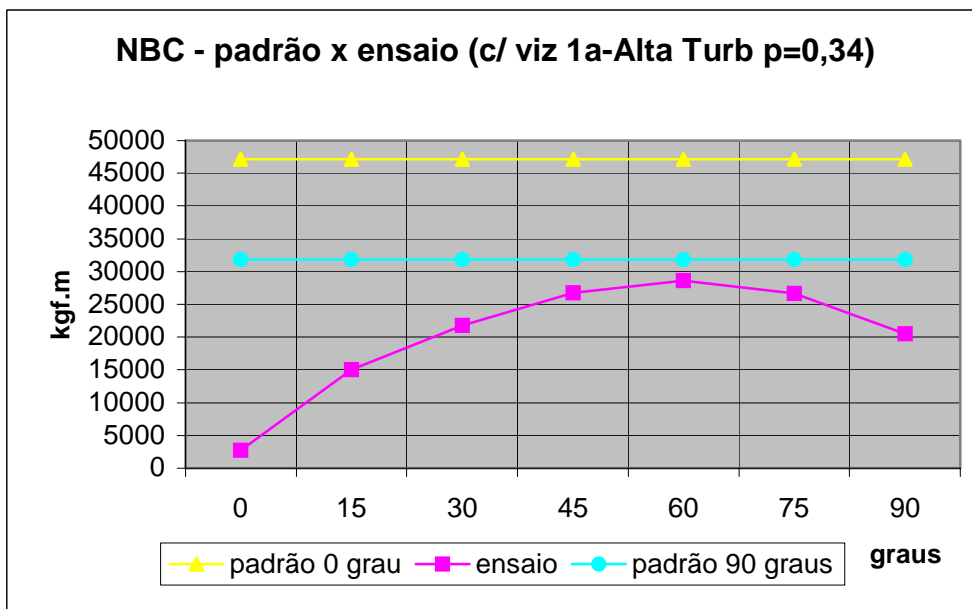


Gráfico 5.44: Aplicação das recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 1a - alta turbulência

A substituição dos resultados das medições realizados nos ensaios em túnel de vento, para o modelo que representa a vizinhança 2a, junto às recomendações das normas canadense e brasileira estão apresentadas nos gráficos 5.45 e 5.46, que representam o momento e o esforço cortante na base da edificação respectivamente.

Nestes gráficos já é possível perceber que há uma mudança significativa em sua forma, já não há sucção e as pressões sofrem um aumento relevante, principalmente para os ângulos de incidência que variam de 0° a 45° . Os valores das respostas determinadas pela norma canadense são maiores que os obtidos através da brasileira, como nos modelos

anteriores, a menor diferença entre estas respostas ocorre para o vento incidindo a 0° , 4,4%, estas diferenças são crescentes, sendo máxima para a incidência de 90° , 10,5%, ver tabela 5.14.

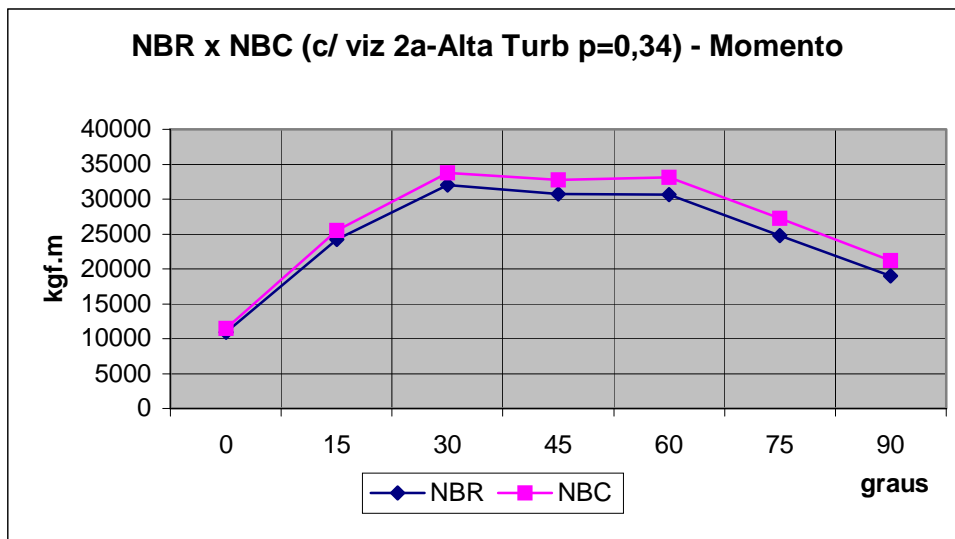


Gráfico 5.45: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 2a - Momento.

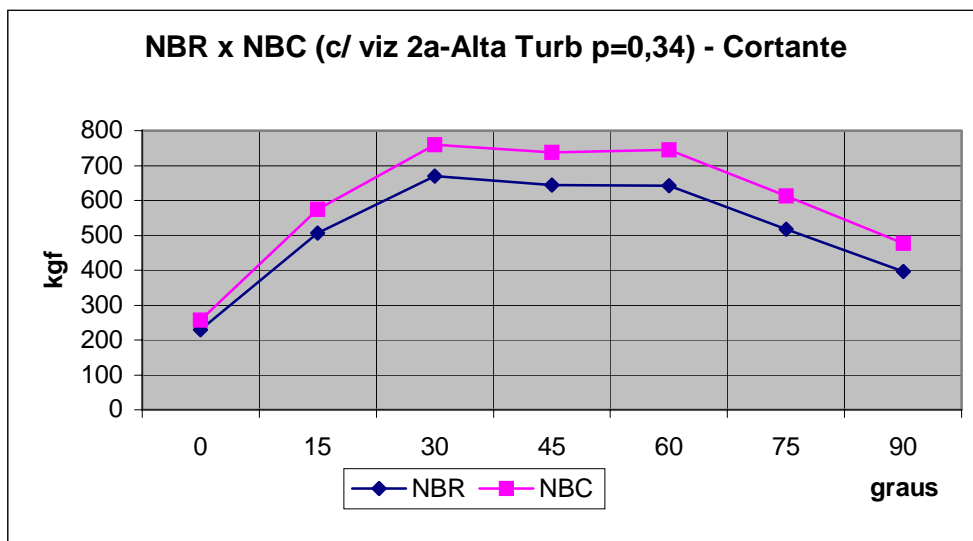


Gráfico 5.46: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 2a - Cortante.

A norma canadense quando são a ela aplicados os coeficientes obtidos em túnel de vento determina respostas 29,5% menores que quando são a ela aplicados os seus coeficientes padrão e 7,5% menores que os valores obtidos através da norma brasileira quando a esta são aplicados os seus coeficientes padrão, para o vento agindo na face maior da edificação. Fazendo a mesma análise para a norma brasileira, esta determina, quando são aplicados os coeficientes oriundos dos ensaios em túnel de vento, valores 33% menores que os obtidos através do NBC, mas com os coeficientes padrão e 13% menores quando esses resultados são

comparados com os obtidos para NBR padrão, em ambos os casos também para o vento agindo na face maior da edificação.

A norma canadense utilizando os coeficientes obtidos em túnel de vento determina respostas 6% maiores que quando são a ela aplicados os seus coeficientes padrão e 70% maiores que os valores obtidos através da norma brasileira quando a esta são aplicados os seus coeficientes padrão. Da mesma forma para a norma brasileira, esta determina, quando são aplicados os coeficientes oriundos dos ensaios em túnel de vento, valores 0,6% maiores que os obtidos através do NBC, mas com os coeficientes padrão e 61% maiores quando esses resultados são comparados com os obtidos para NBR padrão, em ambos os casos as respostas padrão aqui citadas são para o vento atuando na face menor da edificação.

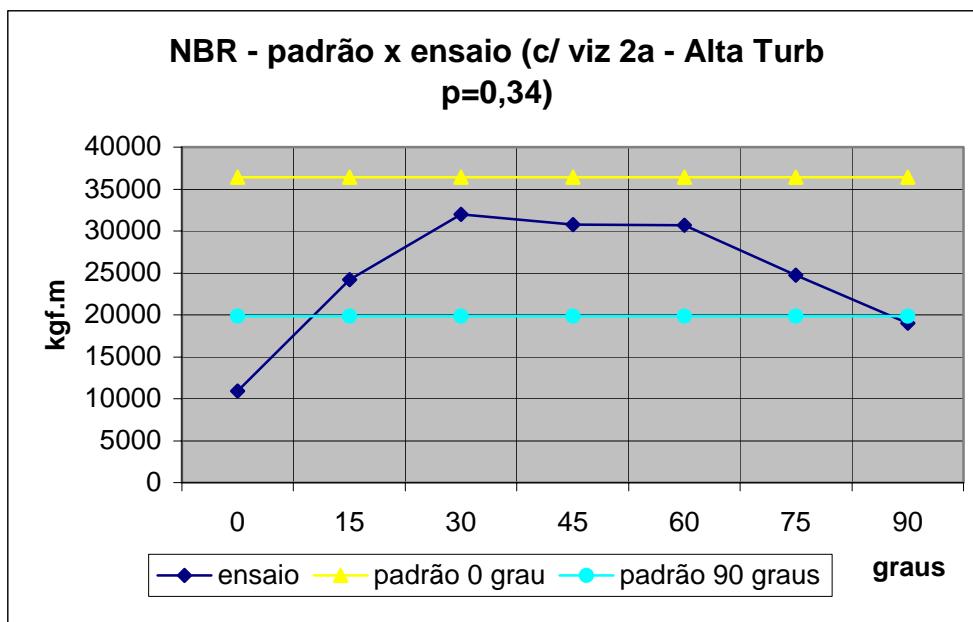


Gráfico 5.47: Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 2a - alta turbulência

O gráfico 5.47 é rerepresentado e equivale ao 5.20, assim como ocorreu nas outras rerepresentações este gráfico é apresentado outra vez, neste caso, para facilitar a comparação com o gráfico 5.48.

As respostas segundo a NBR e o NBC, para as suas recomendações, e para aplicação, junto a estas normas, dos coeficientes determinados em túnel de vento são apresentadas nos gráficos 5.47 e 5.48, respectivamente. A vizinhança simulada neste modelo já não resulta em sucções quando o vento incide a 0°, este efeito tem sua interferência sobre ação do vento na edificação reduzida, o valor máximo das respostas a esta ação já ocorre para a incidência do vento a 30°. Como já havia sido salientado anteriormente para os demais modelos com vento turbulento, as respostas para as recomendações padrão da norma brasileira se aproximam mais

dos resultados, quando os coeficientes definidos nos ensaios aerodinâmicos em túnel de vento são aplicados, do que quando se aplica a norma canadense.

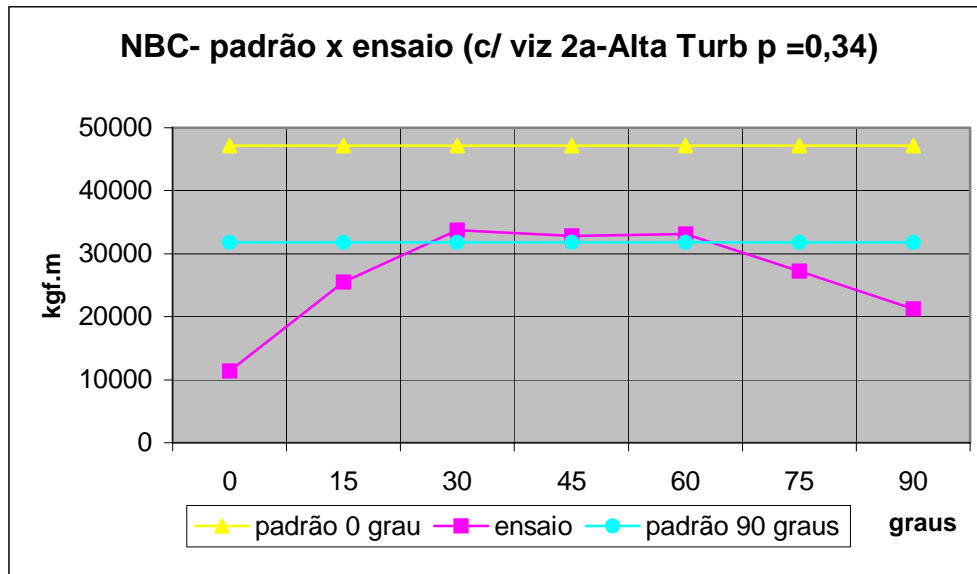


Gráfico 5.48: Aplicação das recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 2a - alta turbulência

Os gráficos 5.49 a 5.52 apresentam os dados referentes ao modelo com vizinhança 3a onde foi simulada uma superfície com rugosidade onde o expoente da lei potencial do perfil de velocidades médias do vento “p” fosse igual 0,34 ($p=0,34$), equivalente a rugosidade superficial definida na NBR com categoria V e para a norma canadense equivale a utilizar o fator de exposição C_e determinado através da equação 2.21c.

Observando os gráficos 5.49 e 5.50 as respostas determinadas, momento e esforço cortante na base, respectivamente, através das prescrições da norma canadense, assim como ocorreu para todos os demais modelos ensaiados para o vento com alta turbulência, são maiores do que as resultantes das recomendações da norma brasileira, em ambos os casos as respostas decorrem da aplicação dos coeficientes resultantes dos ensaios em túnel de vento.

Analisando a tabela 5.15 é notado, também como ocorreu para os demais modelos com vento de alta turbulência, que a diferença mínima entre as respostas determinadas pelas normas em estudo ocorre para o vento a 0° , 4,3%, incidindo na face maior. Assim como para o modelo com vizinhança 2a a diferença volta a ser crescente chegando ao seu valor máximo para a incidência a 90° , 10,5%.

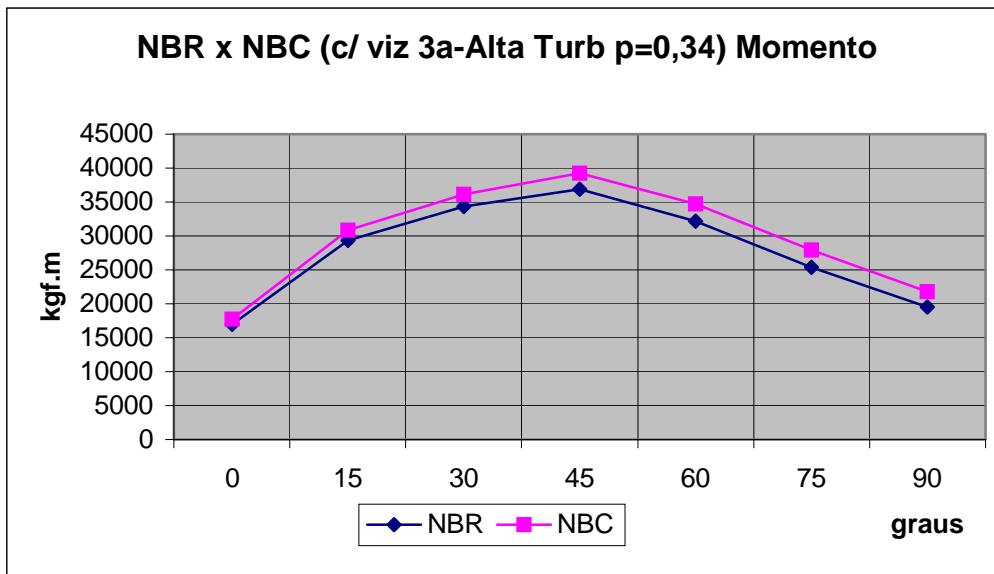


Gráfico 5.49: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 3a - Momento.

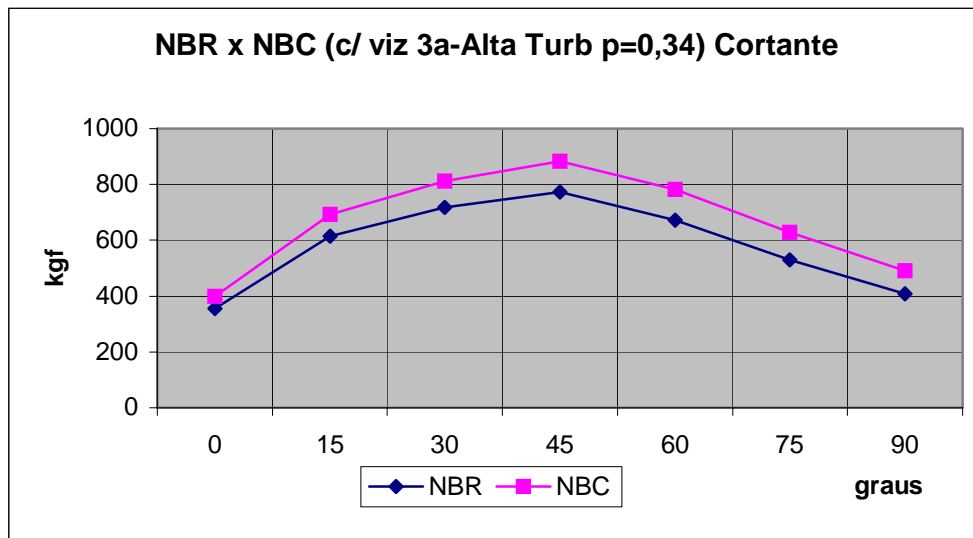


Gráfico 5.50: Aplicação das recomendações da NBR e do NBC para o vento de alta turbulência com o efeito de vizinhança 3a - Cortante.

O valor máximo determinado pela norma brasileira através dos coeficientes do túnel de vento, coincide com o limite superior da NBR, sendo 1% maior, e é 22% menor que o limite superior definido pelo NBC.

Ainda analisando o gráfico 5.50, mas agora comparando as respostas determinadas pela norma canadense através da aplicação dos coeficientes oriundos dos ensaios em túnel de vento, suas respostas se comparadas com a resposta padrão da NBR tem seu valor máximo 8% maior e comparando com o NBC padrão esta é 17% menor.

As respostas para os ângulos de incidência do vento a 0° e 90° determinados através da substituição dos coeficientes padrão pelos medidos nos ensaios, praticamente coincidem

com os valores da norma brasileira padrão. Para as medições do vento a 0° a NBR determinada um valor 4,6% menor e o NBC 0,6% menor que NBR padrão. Para os coeficientes determinados através do túnel de vento com ângulo de incidência do vento a 90° é determinado pela norma brasileira um valor 2% menor e a canadense 10% maior que a NBR padrão.

Comparando com o limite inferior da norma canadense padrão a NBR, quando é aplicado o coeficiente determinado no ensaio para o vento incidindo a 0° , resulta em uma resposta 47% menor e a norma canadense, o NBC, determina uma resposta 45% menor. Quando é aplicado nas prescrições padrão, de ambas as normas, o coeficiente aerodinâmico medido nos ensaios para o vento incidindo a 90° , a NBR determina uma resposta 38% menor e o NBC 32% abaixo deste limite.

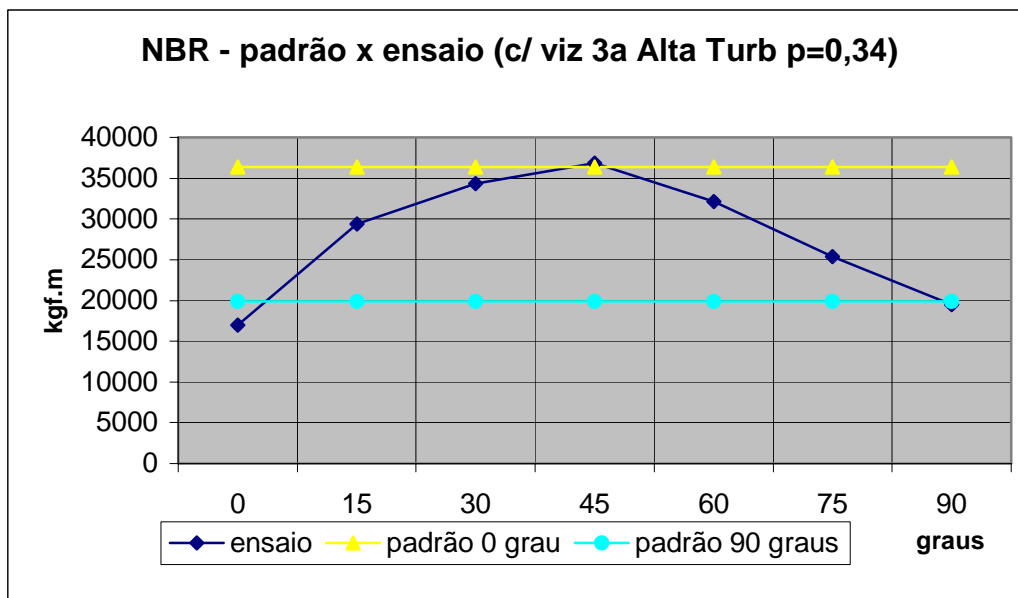


Gráfico 5.51: Aplicação das recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 3a - alta turbulência

O gráfico 5.51 equivale ao 5.24 e pelas mesmas razões anteriores é rerepresentado. Observando este gráfico, que representa as respostas padrão da norma brasileira e a resposta quando a esta norma são aplicados os coeficientes medidos através dos ensaios em túnel de vento, é evidente que o limite superior e inferior englobam as respostas oriundas do modelo experimental. Sendo para o vento ensaiado com incidência a 45° a resposta máxima, obtida com o uso dos coeficientes aerodinâmicos determinados no ensaio, e este é 1,4% maior que o limite superior definido pelas recomendações padrão da NBR. Para o ângulo de incidência ensaiado para o vento a 90° a respostas para a substituição dos coeficientes medidos, neste caso, são 1,7% menores que o limite inferior determinado pelas prescrições padrão da norma.

Quando o este limite mínimo determinado pela NBR é comparado com a resposta oriunda da aplicação dos dados do túnel de vento para a sua incidência a 0° , junto a suas prescrições, as respostas aqui determinadas são 15% menores que o limite inferior para a NBR padrão.

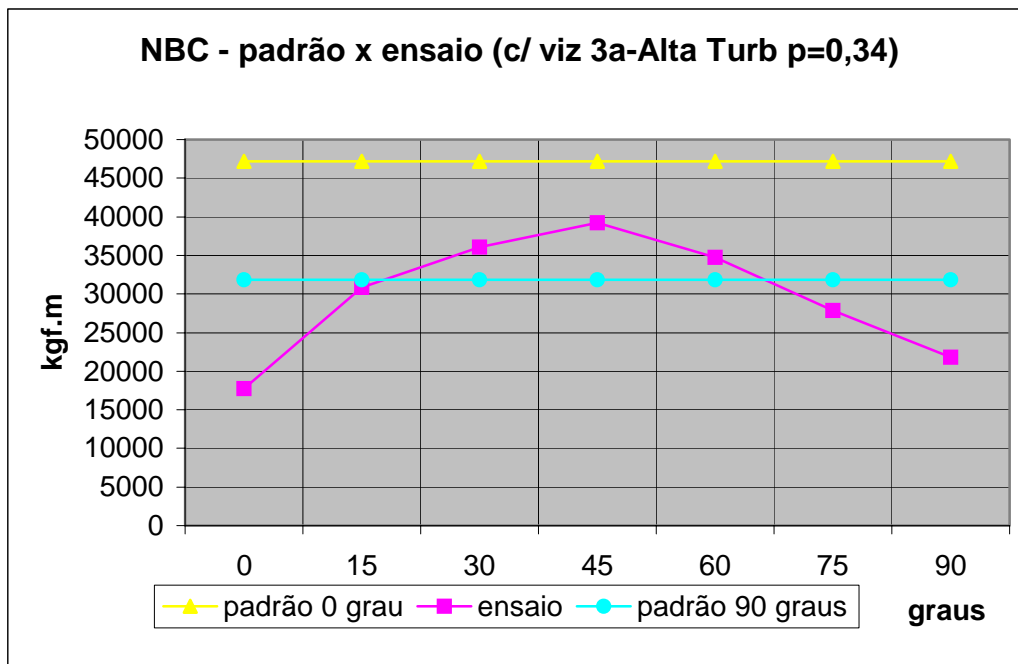


Gráfico 5.52: Aplicação das recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo com vizinhança 3a - alta turbulência

O gráfico 5.52, que representa as respostas padrão da norma canadense e a resposta quando a esta norma são aplicados os coeficientes medidos através dos ensaios em túnel de vento, é evidente que as respostas padrão segundo o NBC, para o vento incidindo na face maior e na face menor da edificação não definem valores limites que englobem satisfatoriamente as respostas oriundas do modelo experimental. Como ocorreu no gráfico 5.51 que representa o mesmo estudo, mas para a norma brasileira, o valor máximo determinado quando os coeficientes aerodinâmicos, medidos no experimento, são substituídos nas recomendações do NBC ocorre quando se ensaia o vento a 45° , e a resposta aí determinada é 23% maior que a mínima determinada pelo NBC padrão e a máxima resposta padrão do código canadense é 20% maior. Quando se analisa a resposta para os coeficientes medidos no ensaio com a incidência do vento a 90° e que é quando no modelo o vento atua na menor face, ou seja, equivalendo a situação que determina o limite inferior das recomendações do NBC, esta resposta é 32% menor do que a determinada pelo padrão.

Contudo analisando os dois gráficos acima é possível perceber que apesar das interferências da vizinhança ensaiada já ter sido bastante reduzida ainda interfere bastante nos efeitos do vento sobre a edificação.

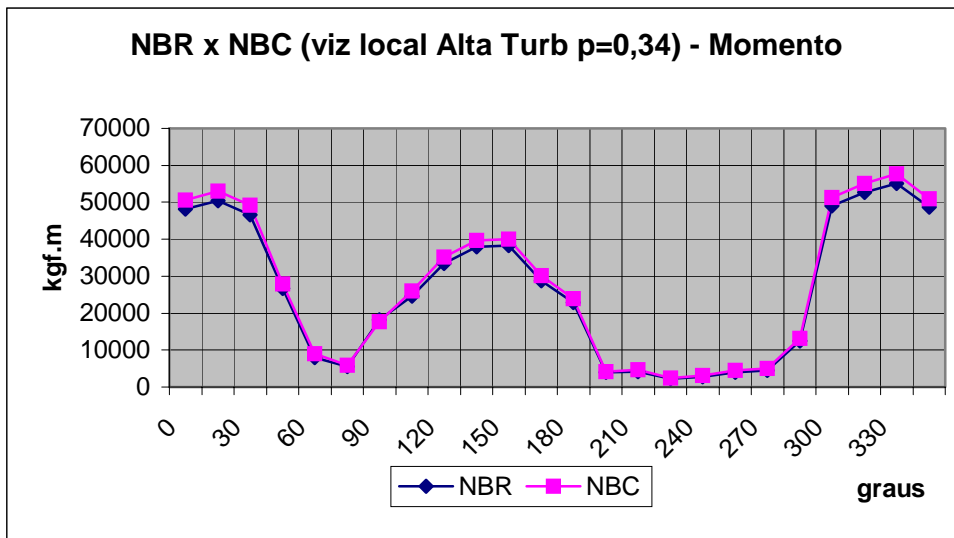


Gráfico 5.53: Recomendações da NBR ao NBC para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança local - Momento.

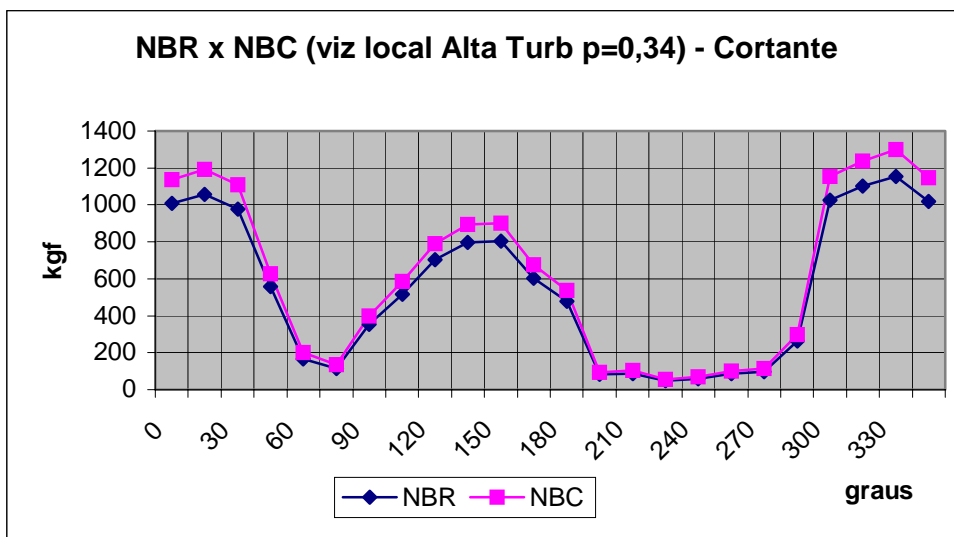


Gráfico 5.54: Recomendações da NBR ao NBC para o vento de Alta turbulência com o efeito de vizinhança local - Cortante.

Os resultados obtidos simulando o vento com as características da rugosidade do solo equivalente a um grande centro urbano e assim corresponde a categoria V definida na norma brasileira, que equivale a um vento de alta turbulência, e com a representando da vizinhança real onde a edificação esta inserida (Riera, *et al* 1994), estão representados nos gráficos 5.53; 5.54; 5.55 e 5.56 e na tabela 5.16.

O gráfico 5.55 equivale ao 5.27 já apresentado neste estudo, porém como já ocorreu anteriormente este é rerepresentado para facilitar a análise comparativa com os demais gráficos.

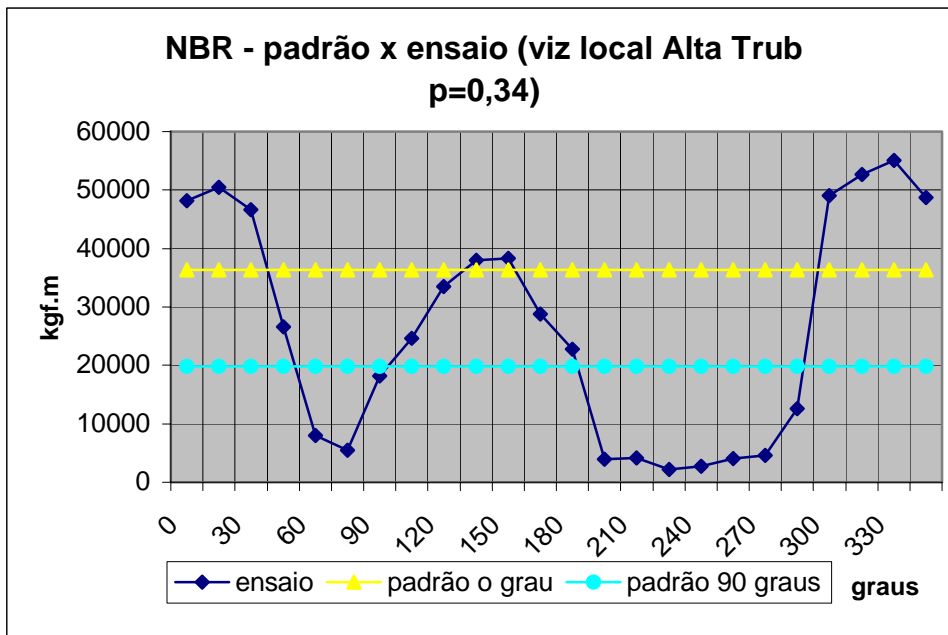


Gráfico 5.55: Recomendações da NBR padrão e os resultados para o modelo com vizinhança local - alta turbulência

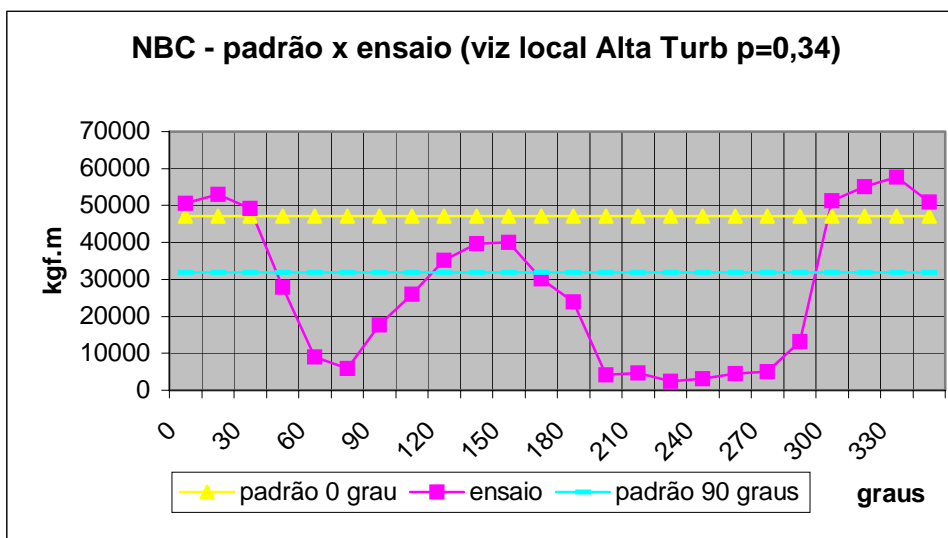


Gráfico 5.56: Recomendações da NBC padrão e os resultados para o modelo com vizinhança local - alta turbulência

Estes quatro gráficos acima representam as medições realizadas em túnel de vento com as leituras variando para as incidências do vento a cada 15° indo de 0° a 345°. Assim como ocorre para as medições, já analisadas, para o vento com alta turbulência as respostas da norma canadense, quando os resultados destas medições são aplicados junto as recomendações padrão das normas em estudo, são em média 6% maiores chegando até a 10% a diferença entre as respostas.

Tanto para a norma brasileira como canadense fica claro que os efeitos da vizinhança local geram acréscimos significativos nas ações do vento e nos seus efeitos sobre a estrutura.

Na análise segundo a NBR o valor máximo obtido, através dos coeficientes determinados nos ensaios chega a 51% acima do valor máximo determinado pelas recomendações padrão, que é para o vento atuando na face maior, que também equivale aos ângulos de incidência 0° e 180° . Já na análise segundo o NBC o valor máximo, também obtido através dos coeficientes determinados nos ensaios chega a 22% do valor máximo determinado pelas recomendações padrão, que também equivale aos ângulos de incidência 0° e 180° . Os valores máximos obtidos tanto para a análise segundo a norma brasileira e também a canadense foram para o vento incidindo na edificação a 330° . Porém para o vento ensaiado com ângulo de incidência de 0° o valor do momento na base é 32% maior que o limite superior da NBR padrão. Fazendo a mesma análise comparativa junto a norma canadense a diferença é 7%, também a maior.

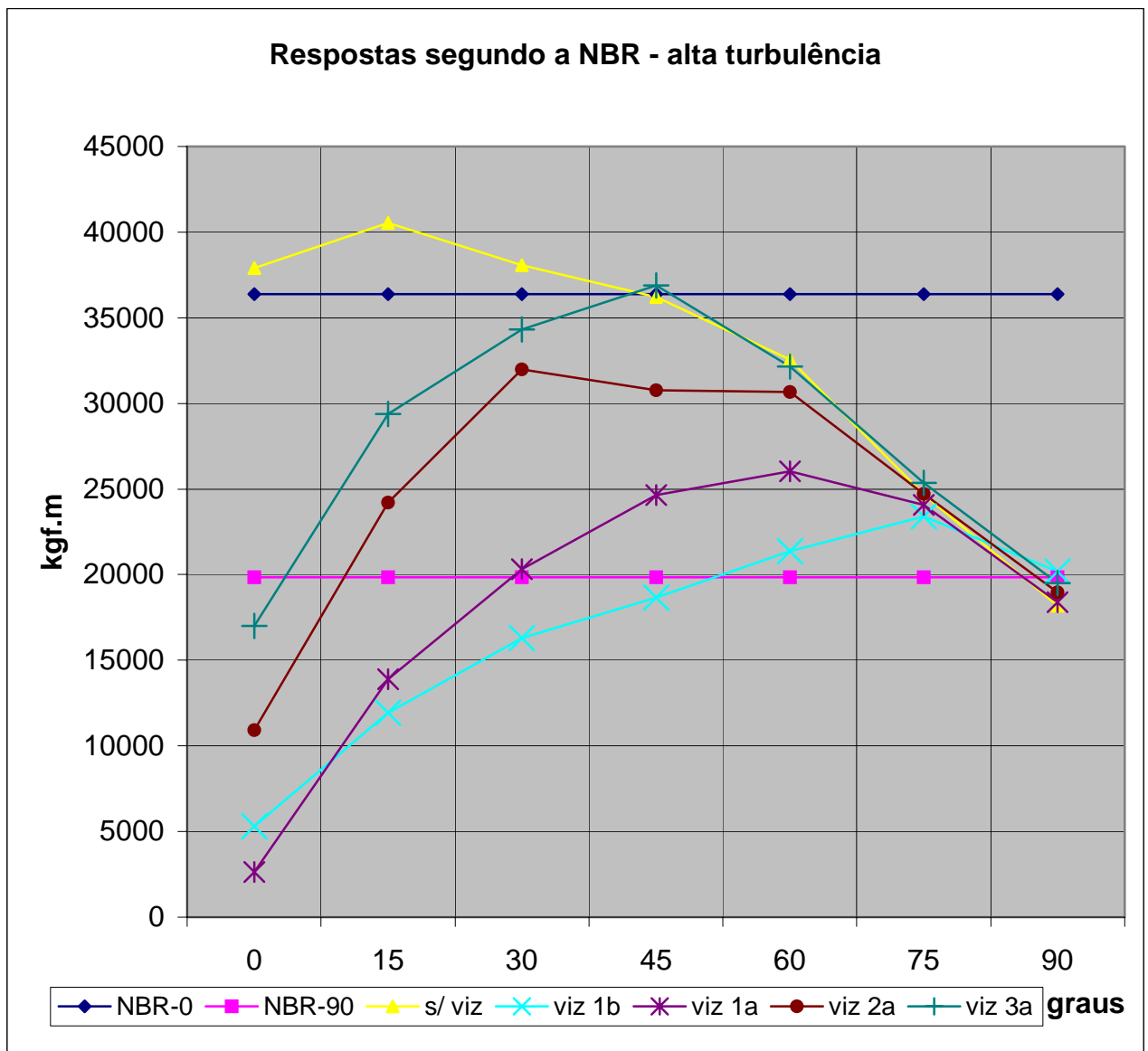


Gráfico 5.57: Respostas segundo da NBR padrão e com os coeficientes determinados através dos ensaios para os modelos com e sem vizinhança - alta turbulência

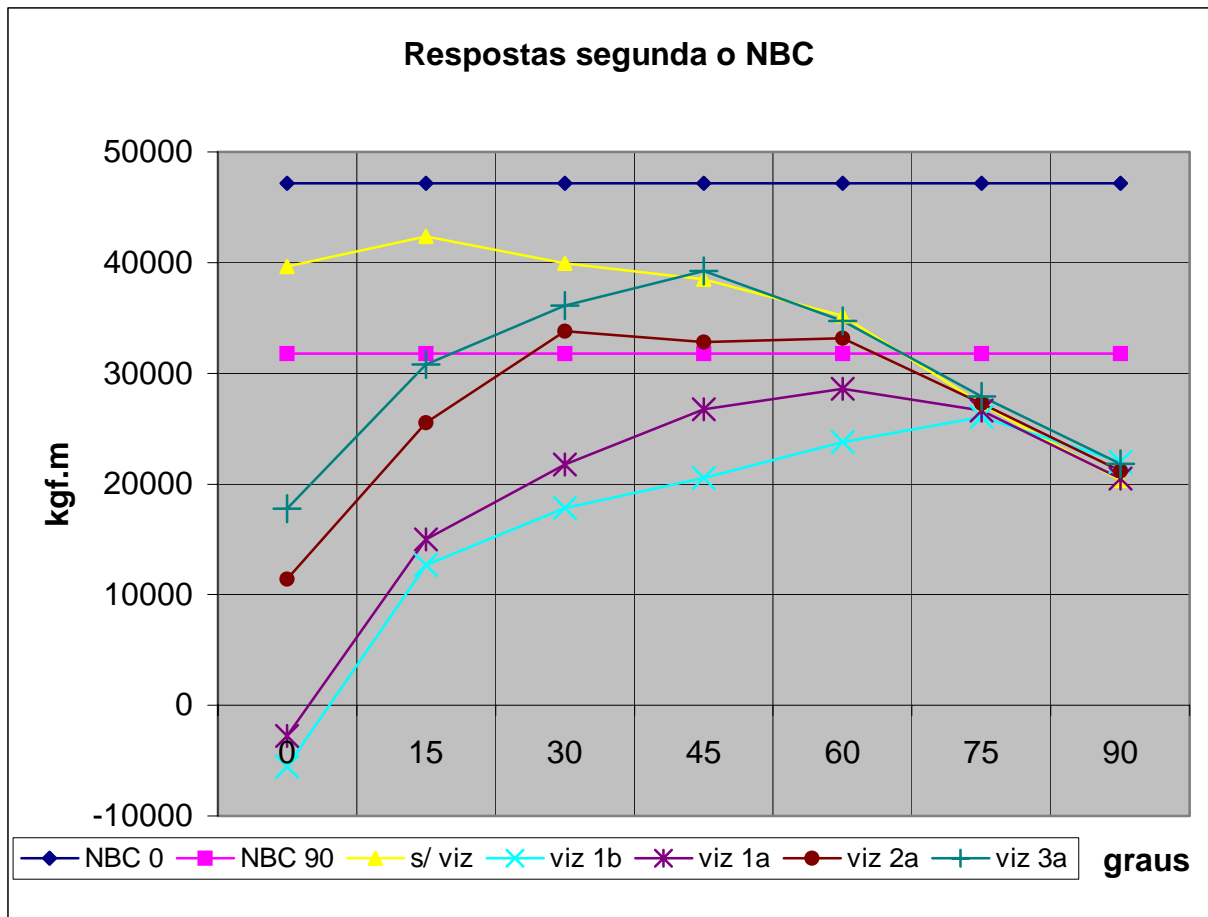


Gráfico 5.58: Respostas segundo da NBC padrão e com os coeficientes determinados através dos ensaios para os modelos com e sem vizinhança - alta turbulência

Tanto para a aplicação dos coeficientes determinados nos ensaios em túnel de vento para a norma brasileira, gráfico 5.57, como para a norma canadense, gráfico 5.58, as curvas apresentadas se assemelham bastante. Também os efeitos da vizinhança decrescem na medida em que o modelo muda é afastado do modelo monitorado. E também quanto mais o ângulo de incidência do vento se afasta da posição de 0° e se aproxima da incidência a 90° o efeito da vizinhança diminui. A norma brasileira dentro das suas recomendações padrão se aproxima mais dos resultados determinados através do túnel de vento.

5.3 Análise dos Resultados – torção

A seguir são apresentados os resultados dos coeficientes, excentricidades, que determinam o efeito de torção e o momento torçor devido a ação do vento, apenas para as seis situações ensaiadas especificamente para este trabalho. Apesar dos posicionamentos do modelo não terem sido os mais desfavoráveis, quanto a torção, é interessante observar os resultados obtidos.

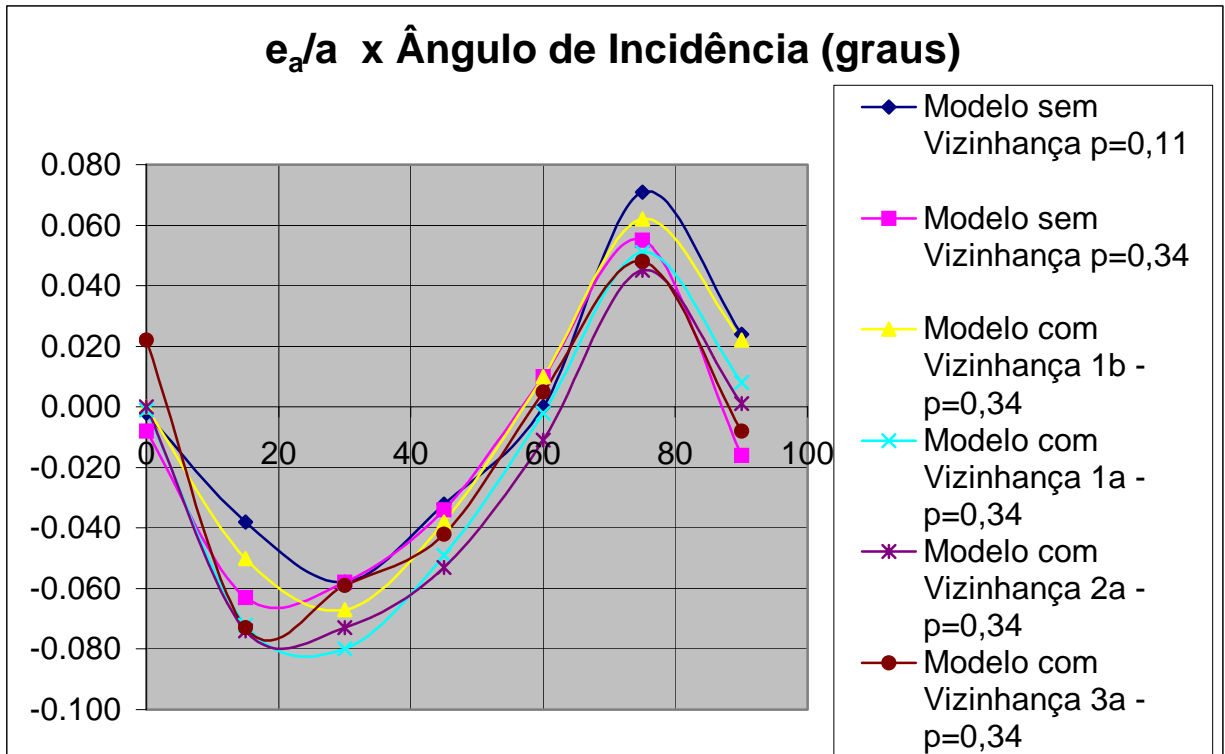


Gráfico 5.59: Excentricidade relativa para a face maior da edificação.

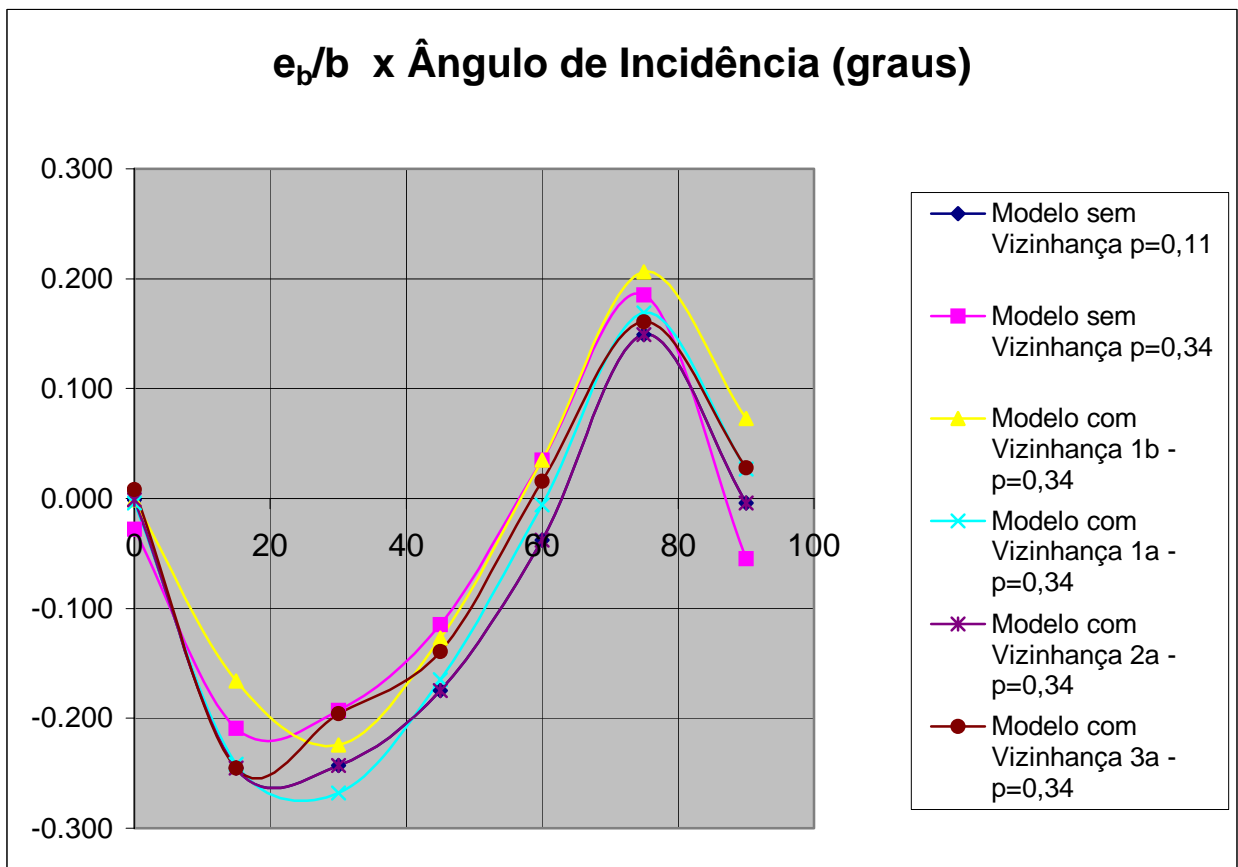


Gráfico 5.60: Excentricidade relativa para a face menor da edificação.

Os gráficos 5.59 e 5.60 são apresentados para que se possa perceber a distribuição das excentricidades relativas ao momento torçor em função dos ângulos de incidência do vento, estes gráficos se referem a maior e ao menor lado respectivamente. No caso da edificação em estudo, isolada e com efeito de vizinhança.

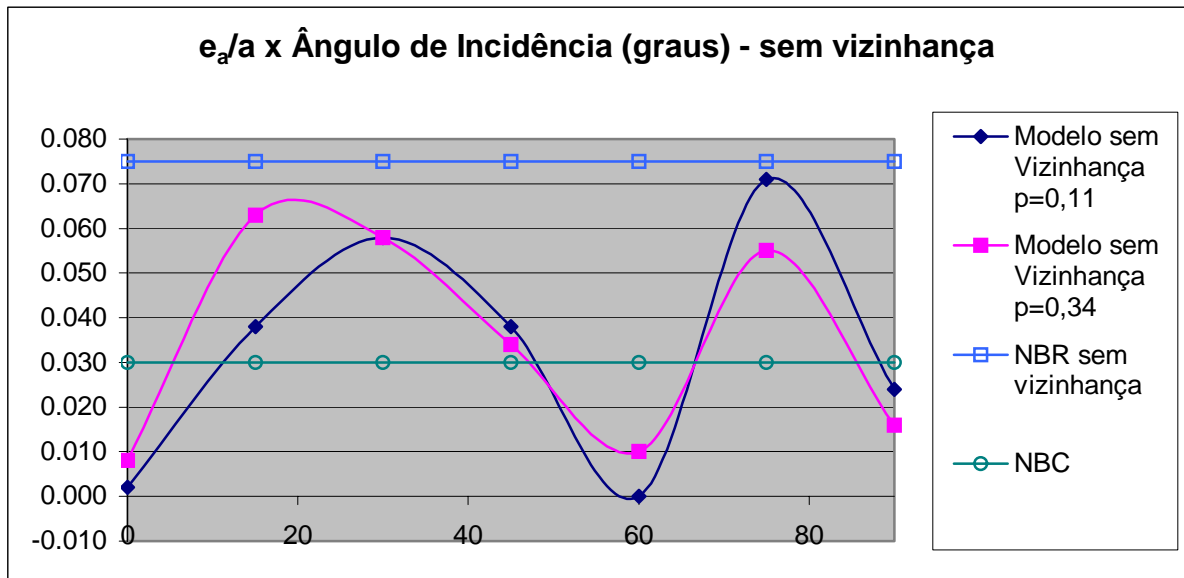


Gráfico 5.61: Excentricidade relativa para a face maior da edificação, modelos sem vizinhança, resultados dos ensaios e padrões da norma.

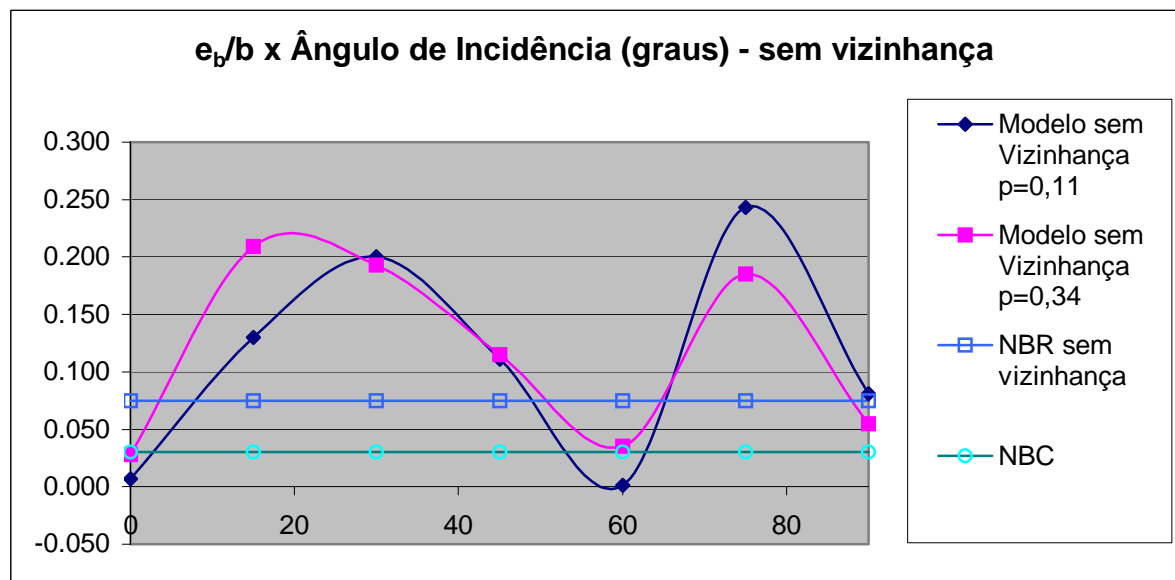


Gráfico 5.62: Excentricidade relativa para a face menor da edificação, modelos sem vizinhança, resultados dos ensaios e padrões da norma.

Os gráficos 5.61 a 5.62 apresentam as excentricidades, em modulo separando os modelos com vizinhança e sem vizinhança.

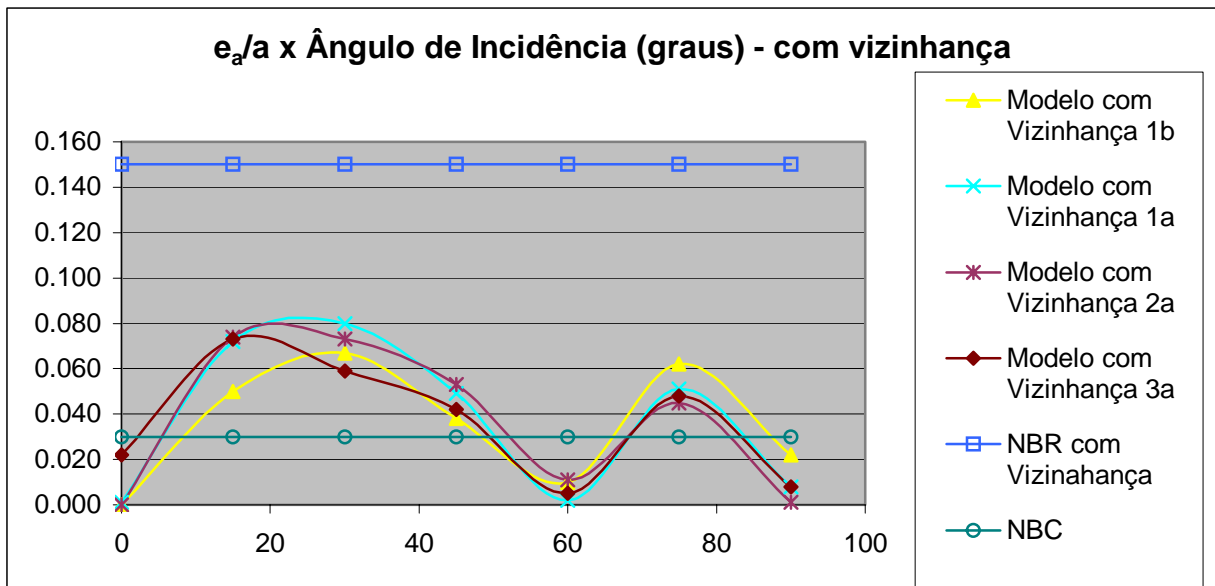


Gráfico 5.63: Excentricidade relativa para a face maior da edificação, modelos com vizinhança, resultados dos ensaios e padrões da norma.

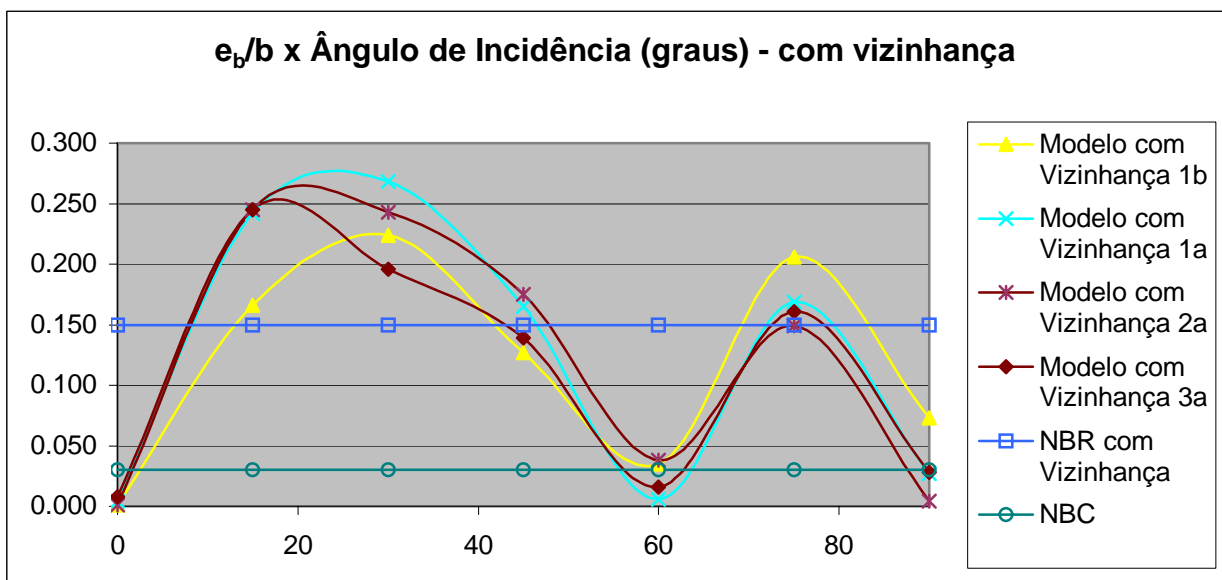


Gráfico 5.64: Excentricidade relativa para a face menor da edificação, modelos com vizinhança, resultados dos ensaios e padrões da norma.

Para os modelos sem vizinhança representados nos gráficos 5.61 e 5.62, que representam as excentricidades relativas para o maior e para o menor lado respectivamente, quando são medidas as excentricidades relativas para os lados maiores a recomendação da norma brasileira padrão não é superada pelos valores determinados através dos modelos ensaiados, porém para o vento com baixa turbulência este limite é apenas 5% maior que a máxima excentricidade medida e esta ocorre para a incidência do vento a 75° . Contudo quando são medidas as excentricidades para os modelos ensaiados em relação ao menor lado do modelo a recomendação da NBR é superada em 3,24 vezes quando se avalia o vento

menos turbulento e em 2,79 vezes para o vento mais turbulento. A norma canadense recomenda um valor para a excentricidade relativa que é menor que a metade da brasileira e nas duas situações aqui avaliadas sempre é superada pelos dados obtidos através dos modelos ensaiados.

Nos modelos com vizinhança, gráficos 5.63 e 5.64 que representam os resultados para a face maior e a menor respectivamente, assim como na situação sem vizinhança, as excentricidades relativas para o lado maior não superam o valor determinado pela norma brasileira. Sendo que a máxima excentricidade determinada experimentalmente, para a incidência do vento a 30° e com a vizinhança 1a, a determinação da norma é 87,5% maior. Entretanto, as excentricidades relativas para os lados menores superam a determinada pela recomendação da norma, e assim como para o lado maior o seu valor máximo ocorre para a vizinhança 1a e com ângulo de incidência do vento de 30°, a excentricidade definida pela NBR é, neste caso, superada pela determinada através do modelo em 78,7%.

6 Conclusões

O efeito da vizinhança sobre as edificações é surpreendente e pouco previsível, pois varia com o tipo de edificação que está sendo projetada ou estudada, assim como, com os tipos de edificações que compõem a vizinhança, como também com a incidência do vento. Sendo assim percebe-se a importância do estudo dos efeitos de vizinhança na resposta dinâmica à ação do vento de edifícios altos, ou muito flexíveis, nos grandes centros urbanos.

Os dados fornecidos por este estudo mostram que há muito ainda a ser pesquisado e estudado quando se trata da ação do vento. Os diversos efeitos e ações que este carregamento gera nas edificações determinam esta necessidade, alterações nas vizinhanças ou apenas a variação do ângulo de incidência da ação do vento, mesmo para uma edificação isolada, pode gerar resultados até surpreendentes. Os resultados aqui apresentados sugerem, por exemplo, que algumas considerações sobre torção necessitam de um estudo mais aprofundado. Os efeitos da vizinhança sobre uma edificação, quando se trata da resposta na direção do escoamento do vento, por mais que se pesquise e que seja avaliado os seus efeitos a análise ou não em túnel de vento pode significar uma grande economia ou a possibilidade de um desastre, como fica claro quando se observam os resultados dos ensaios executados especificamente para este trabalho ou os efeitos da vizinhança local sobre a edificação estudada, e isto pode ser constatado se observarmos os gráficos 5.55 ao 5.58.

Portanto, deste trabalho de pesquisa e avaliação da ação do vento em uma edificação de projeção horizontal retangular e geometricamente simétrica algumas conclusões podem ser tiradas. Sendo que a principal destas é que ainda há muito a se pesquisar e estudar sobre a ação do vento.

Quando se observa o efeito do vento quanto à torção, através dos gráficos 5.59 ao 5.64, é possível notar que, apesar das situações de vizinhança que foram simuladas nos ensaios deste estudo não terem sido as mais nocivas, em algumas situações as excentricidades definidas pelas normas são inferiores as determinadas através dos ensaios. Sempre que o foi determinada a excentricidade relativa a face da edificação de menor dimensão as prescrições da NBR eram contra a segurança, exceto para o vento incidindo a 60° e 90° , sendo este fato constatado através do gráfico 5.62 e 5.64, principalmente para os modelos sem vizinhança. Já quanto a excentricidade relativa à face de maior dimensão em todas as situações as determinações da norma sempre foram mais conservadoras. Contudo, para os modelos sem vizinhança os valores ficaram muito próximos, ver gráficos 5.61 e 5.63. Observando que as situações ensaiadas não foram as mais desfavoráveis é possível concluir que as determinações

das considerações relativas a torção requerem mais estudos. Traçando um paralelo com a norma canadense é possível concluir que suas considerações para qualquer um dos casos são pouco consistentes e contra a segurança.

Quando se traça um paralelo entre as normas brasileira e canadense de vento, para a análise dos efeitos do vento na direção do escoamento, apesar de que para as situações do vento com alta turbulência esta última fornecer resultados mais conservadores, ou seja, maiores, as respostas obtidas através da aplicação dos parâmetros e considerações da NBR – 6123 se apresentam bem mais consistentes, esta constatação pode ser observada, por exemplo, analisando os gráficos 5.33; 5.34; 5.35 e 5.36, que é para o caso do vento com alta turbulência e sem vizinhança, que se encaixa perfeitamente nas prescrições padrão de ambas as normas. Também pode ser constatado nos gráficos 5.37 ao 5.56, que representam os resultados para os modelos ensaiados com a simulação da vizinhança, a maior consistência da NBR.

Apesar de ser mais consistente, foi constatado, para o modelo sem vizinhança com vento de alta turbulência, que as considerações da NBR - 6123 resultam em respostas contra a segurança, quando se compara os resultados obtidos através das suas prescrições padrão com os resultados do vento simulado incidindo a 0° ; 15° e 30° , o que fica claro se observado o gráfico 5.35. O que sugere que estes estudos sejam aprofundados para determinação dos coeficientes aerodinâmicos, já que esta situação e o modelo estudado se encaixam perfeitamente às características previstas pela norma.

Observando os gráficos 5.1 ao 5.28 é possível concluir que quando se aplica as considerações do capítulo 9 da NBR-6123, que neste estudo foi denominado de análise dinâmica do vento, que nas suas prescrições leva em conta as características dinâmicas do vento e da edificação, se obtém respostas mais consistentes do que quando se utiliza as recomendações da mesma norma mas que não considera as características da estrutura, que neste estudo foi denominado de análise estática do vento.

7 Referências Bibliográficas:

- [1] ASCE - **Standart on Minimum Loads for the Design of Building and Other Structures**. American Society of Civil Engineers, New York, 1995.
- [2] ASCE – **Monograph on Planning and Design of Tall Buildings**. Cap. CL-3, Wind loading and Wind Effects. American Society of Civil Engineers, New York, 1980.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, Rio de Janeiro. Norma Brasileira NBR-6123 (NB-599): Forças devidas ao vento em edificações. Edição 1988.
- [4] BAILEY, A.; VINCENT, L.D.G. *Wind pressure on building include effects of adjacent buildings*. **Journal of the Institute of Civil Engineering**, London, oct. 1943 (Paper page 5367).
- [5] BLESSMANN, J. **Ação do Vento em Edifícios**. 2^a.ed. Porto Alegre. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989. 166p. ISBN 85-7025-177-7.
- [6] BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das construções**. 2^a.ed. Porto Alegre. Editora Sagra, 1990. 263p. ISBN 85-241-0273-X.
- [7] BLESSMANN, J. *The Boundary Layer Wind Tunnel of UFRGS*. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Amsterdam, vol.10, 1982 - pp.231-248.
- [8] BLESSMANN, J. *Efeito do vento em edifícios alteados*. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CT – 39/83**, Porto Alegre 1983.
- [9] BLESSMANN, J. *Intervalo de tempo para o cálculo da velocidade básica do vento*. 3^a.ed. Porto Alegre. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988.
- [10] BLESSMANN, J. *Introdução estudo das ações dinâmicas do vento*. 1^a.ed. Porto Alegre. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.
- [11] BLESSMANN, J. *Um estudo qualitativo sobre o fenômeno de interferência*. In: **Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, 11**, São Paulo 1966, p. 585-600.
- [12] CANADIAN STRUCTURAL DESIGN MANUAL – **Supplement N^o 4 to the National Building Code of Canada**, Associate Committee on the National Building Code and National Research Council of Canada. Ottawa, 1975.
- [13] CHIEN, N.; FENG, Y.; WANG, H e SIAO, T.; *Wind-tunnel studies of pressures distribution on elementary building form*. **Iowa Institute of Hydraulic Research**, Iowa, 1951.

- [14] DAVENPORT, A. G. *New concepts for supertall building*. **Paper presented in: Engineering News Records Symposium**. McGraw Hill Building, New York, N.Y. September 14, 1983.
- [15] DAVENPORT, A. G. *Some Aspects of Wind Loading*. **EIC, Engineering Institute of Canada: Annual General Meeting Paper No. 20**, 1961.
- [16] DAVENPORT, A. G. *Gust Loading Factors*. **J. Struct. Div. – ASCE 93: N^o ST3**, Proc. Paper 5255 (June – 1967).
- [17] DAVENPORT, A. G. *The Response of Slender Structures to Wind*. **Paper presented in: Short Course on “The application of Wind Engineering Principles to the design of structures”**. Lausanne, Switzerland, February 23-27, 1987.
- [18] DAVENPORT, A. G. *What makes a structure wind sensitive?*. **Jubileum Conference on Wind Effects on Buildings and Structures**. Proceedings of the Jubileum conference on wind effects on buildings and structures, Porto Alegre, Brasil, 1998. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield. - pp.1-13. ISBN 90-5410959-9.
- [19] DAVENPORT, A. G.; ISYUMOV, N. *The Application of The Boundary Layer Wind Tunnel to the Prediction of Wind Loading*. **In: Proceedings of the International Research Seminar: Wind Effects on Buildings and Structures**. Ottawa, Canada. September 11-15. Vol. 1. pp. 201-230. 1967.
- [20] GALINDEZ, E.E. *Resposta Dinâmica na Direção da Velocidade Média do Vento*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, 1979. (Dissertação de Mestrado – Orientador: Jorge D. Riera.).
- [21] HARRIS, C.L. *Influence of neighboring structures on the wind pressure on tall building*. **Bureau of Standards Journal of Research**, v.12, jan 1934 (Research Paper RP 637).
- [22] ISYUMOV, N. ; POOLE, M. *Wind Induced Torque on Square and Rectangular Building Shapes*. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Amsterdam, vol.13, 1983 - p.183-196.
- [23] ISYUMOV, N. ; STECKLEY, A. ; AMIM, N. ; FATEHI, H. *Effects of the Orientation of the Principal Axis of Stiffness on Dynamic Response of a Slender Square Building*. **Paper presented in: US National Conference on Wind Engineering**-. Houston, TX. March 8-10, 1989, vol 1,p B5-39 – B5-48.
- [24] ISYUMOV, N. *Wind action on highrise Structures: Codes – Wind Tunnel - Reality*. **Proceedings of a Symposium organized by ASCE.Sponsored by: Tac, Structural and Aerospace Division/ASCE**. Maimi, Florida. December 1-3, 1993.
- [25] LEUTHEUSSER, H.J. *Static wind loading of grouped buildings*. **In: International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, 3**, Tokyo, 1971, p. 211-219.
- [26] LIEPMANN, H., W. *On the Application of Statistical Concepts to the Buffeting Problem*. **J. Aeronat. Sci.** 19, December 12, 1952 - p.793-800, 822.

- [27] REINHOLD, T. A. *Mean and Fluctuating Forces and Torques on Tall Building Model of Square Cross-Section on a Single Model, in the Wake of a Similar Model, and in the Wake of a rectangular Model.* **Report VPI-E-79-11**, Department of Engineering Science and Mechanics, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, VA, March, 1979.
- [28] REINHOLD, T. A.; TIELEMAN, H.W. e MAHER, F.J. *Interaction of square prisms in two flow fields.* **Journal of Industrial Aerodynamics, Amsterdam**, v.2 (3), p. 223-241, nov. 1977.
- [29] RIERA, J. D.; BLESSMANN, J.D. *Respuestas Dinámicas en dirección del.* **In: XX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural**, Córdoba-Argentina 1979, v.2, p.B 8.1-B8.23.
- [30] RIERA, J. D.; BLESSMANN, J.D.; ROCHA; M.M. e RIBEIRO, J.L. *Estudo de vibrações no edifício do Banco Nacional (SP) visando a avaliação de sua confiabilidade e desempenho sob a ação do vento.* **Relatório do LDEC/LAC 94-3**, Porto Alegre-RS-BR 1994.
- [31] RIERA, J. D.; GALINDEZ, E.E. *Determinación de la acción dinámica Del viento en normas sobre cargas en las construcciones.* **In: XX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural**, 11, Córdoba-Argentina 1979, v.3, p.B 20.1-B20.25.
- [32] SCRUTON, C. e NEWBERRY, C. W. *On the estimation of wind loads for buildings and structural design.* **Proceedings of the Institute of Civil Engineering**, London, v. 25, p. 97-126, June 1963.
- [33] SIMIU, E.. *Revised Procedure for Estimating Along-Wind Response.* **J. Struct. Div., ASCE**, 106. N° ST1, January, 1980 – p 1-10.
- [34] SIMIU, E.; LOZIER, D, W. *The Buffeting of Structures by Strong Winds – Windload Program.* **NTIS Accession N° PB 294757/AS, Computer Program for Estimate Along-Wind Response, National Technical Information Service.** Springfield, VA, 1979.
- [35] SIMIU, E.; SCANLAN, R. **Wind Effects on Structures.** Second Edition.. USA: A Wiley-Interscience Publication, 1986.
- [36] SOLARI, G.:. *DAWROS: A computer Program for Calculation Along-Wind Response of Structures.* **Pubblicazione dell'Istituto de Scienza delle Costruzioni.** Serie IV , N° 1, University of Genova, Genova, Italy, 1981.
- [37] SOLARI, G.:. *Along-Wind Response Estimation: Closed form Solution.* **J. Struct. Div., ASCE**, 108. N° ST1, January, 1982 – p 225-244.
- [38] SUPPLEMENT TO THE NATIONAL BUILDING CODE OF CANADA - NBC. National Research Council of Canada, Associate Committee on the National Building Code, Ottawa, NRCC No. 23178, 1985.

ANEXO – I
(tabelas)

I. ANÁLISE ESTÁTICA

• Vento de alta turbulência

Na tabela I.1 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 0° , para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.1: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para vento a 0° .

Pav.	Z _i (m)	A _i (m ²)	S2	V _{ki} (m/s)	q _i (N/m ²)	Ca _i	F _{xi} (kN)	M _{vi} (kN.m)
4° Sub	-13,20	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
3° Sub	-9,90	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
2° Sub	-6,60	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Sub	-3,30	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
Térreo	0,00	69.16	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Pav	5,50	111.29	0.61	23.085	326.68	1.10	39.99	747.83
2° Pav	8,85	93.06	0.66	25.089	385.85	1.10	39.50	870.89
3° Pav	12,90	84.25	0.71	26.799	440.25	1.10	40.80	1064.91
4° Pav	15,55	75.45	0.73	27.690	470.00	1.10	39.01	1121.47
5° Pav	18,90	84.25	0.75	28.651	503.21	1.10	46.64	1497.04
6° Pav	22,25	84.25	0.78	29.481	532.79	1.10	49.38	1750.45
7° Pav	25,60	84.25	0.80	30.214	559.60	1.10	51.86	2012.25
8° Pav	28,95	84.25	0.81	30.871	584.21	1.10	54.14	2282.14
9° Pav	32,30	84.25	0.83	31.468	607.03	1.10	56.26	2559.76
10° Pav	35,65	84.25	0.84	32.017	628.37	1.10	58.24	2844.80
11° Pav	39,00	84.25	0.86	32.524	648.43	1.10	60.10	3136.97
12° Pav	42,35	84.25	0.87	32.996	667.41	1.10	61.85	3435.97
13° Pav	45,70	84.25	0.88	33.439	685.43	1.10	63.52	3741.56
14° Pav	49,05	84.25	0.89	33.855	702.61	1.10	65.12	4053.50
15° Pav	52,40	81.74	0.90	34.249	719.05	1.10	64.65	4241.07
16° Pav	55,55	151.53	0.91	34.601	733.89	1.10	122.33	8409.91
Σ							913.38	43770.53

Na tabela I.2 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 90° , para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.2: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para vento a 90° .

Pav.	Z _i (m)	A _i (m ²)	S2	V _{ki} (m/s)	q _i (N/m ²)	Ca _i	F _{yi} (kN)	M _{xi} (kN.m)
4° Sub	-13,20	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
3° Sub	-9,90	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
2° Sub	-6,60	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Sub	-3,30	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
Térreo	0,00	44.41	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Pav	5,50	71.46	0.61	23.085	326.68	0.95	22.18	414.73
2° Pav	8,85	59.76	0.66	25.089	385.85	0.95	21.90	482.98
3° Pav	12,90	54.10	0.71	26.799	440.25	0.95	22.63	590.58
4° Pav	15,55	48.45	0.73	27.690	470.00	0.95	21.63	621.95
5° Pav	18,90	54.10	0.75	28.651	503.21	0.95	25.86	830.23
6° Pav	22,25	54.10	0.78	29.481	532.79	0.95	27.38	970.77
7° Pav	25,60	54.10	0.80	30.214	559.60	0.95	28.76	1115.96
8° Pav	28,95	54.10	0.81	30.871	584.21	0.95	30.03	1265.63
9° Pav	32,30	54.10	0.83	31.468	607.03	0.95	31.20	1419.60
10° Pav	35,65	54.10	0.84	32.017	628.37	0.95	32.30	1577.68
11° Pav	39,00	54.10	0.86	32.524	648.43	0.95	33.33	1739.71
12° Pav	42,35	54.10	0.87	32.996	667.41	0.95	34.30	1905.53
13° Pav	45,70	54.10	0.88	33.439	685.43	0.95	35.23	2075.00
14° Pav	49,05	54.10	0.89	33.855	702.61	0.95	36.11	2248.00
15° Pav	52,40	52.49	0.90	34.249	719.05	0.95	35.85	2352.02
16° Pav	55,55	97.30	0.91	34.601	733.89	0.95	67.84	4663.98
						Σ	506.54	24274.33

- **Vento de baixa turbulência**

Na tabela I.3 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 0° , para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.3: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para vento a 0° .

Pav.	Z _i (m)	A _i (m ²)	S2	V _{ki} (m/s)	q _i (N/m ²)	Ca _i	F _{xi} (kN)	M _{yi} (kN.m)
4° Sub	-13,20	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
3° Sub	-9,90	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
2° Sub	-6,60	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Sub	-3,30	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
Térreo	0,00	69.16	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Pav	5,50	111.29	1.02	38.775	921.64	1.40	143.60	2685.24
2° Pav	8,85	93.06	1.05	40.088	985.11	1.40	128.34	2829.82
3° Pav	12,90	84.25	1.08	41.159	1038.47	1.40	122.49	3197.02
4° Pav	15,55	75.45	1.10	41.701	1065.99	1.40	112.60	3237.27
5° Pav	18,90	84.25	1.11	42.274	1095.51	1.40	129.22	4147.93
6° Pav	22,25	84.25	1.13	42.760	1120.82	1.40	132.21	4686.67
7° Pav	25,60	84.25	1.14	43.182	1143.05	1.40	134.83	5231.27
8° Pav	28,95	84.25	1.15	43.555	1162.90	1.40	137.17	5781.63
9° Pav	32,30	84.25	1.16	43.890	1180.86	1.40	139.29	6337.55
10° Pav	35,65	84.25	1.16	44.195	1197.29	1.40	141.22	6898.82
11° Pav	39,00	84.25	1.17	44.473	1212.44	1.40	143.01	7465.20
12° Pav	42,35	84.25	1.18	44.731	1226.51	1.40	144.67	8036.47
13° Pav	45,70	84.25	1.18	44.970	1239.65	1.40	146.22	8612.42
14° Pav	49,05	84.25	1.19	45.193	1251.99	1.40	147.68	9192.86
15° Pav	52,40	81.74	1.19	45.402	1263.62	1.40	144.60	9485.72
16° Pav	55,55	151.53	1.20	45.588	1273.99	1.40	270.26	18580.72
Σ							2317.40	106406.60

Na tabela I.4 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 90° , para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.4: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para vento a 90° .

Pav.	Z _i (m)	A _i (m ²)	S2	V _{ki} (m/s)	q _i (N/m ²)	Ca _i	F _{vi} (kN)	M _{xi} (kN.m)
4° Sub	-13,20	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
3° Sub	-9,90	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
2° Sub	-6,60	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Sub	-3,30	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
Térreo	0,00	44.41	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Pav	5,50	71.46	1.02	38.775	921.64	1.20	79.04	1477.99
2° Pav	8,85	59.76	1.05	40.088	985.11	1.20	70.64	1557.57
3° Pav	12,90	54.10	1.08	41.159	1038.47	1.20	67.42	1759.68
4° Pav	15,55	48.45	1.10	41.701	1065.99	1.20	61.98	1781.83
5° Pav	18,90	54.10	1.11	42.274	1095.51	1.20	71.12	2283.07
6° Pav	22,25	54.10	1.13	42.760	1120.82	1.20	72.77	2579.60
7° Pav	25,60	54.10	1.14	43.182	1143.05	1.20	74.21	2879.35
8° Pav	28,95	54.10	1.15	43.555	1162.90	1.20	75.50	3182.28
9° Pav	32,30	54.10	1.16	43.890	1180.86	1.20	76.67	3488.26
10° Pav	35,65	54.10	1.16	44.195	1197.29	1.20	77.73	3797.19
11° Pav	39,00	54.10	1.17	44.473	1212.44	1.20	78.72	4108.93
12° Pav	42,35	54.10	1.18	44.731	1226.51	1.20	79.63	4423.37
13° Pav	45,70	54.10	1.18	44.970	1239.65	1.20	80.48	4740.38
14° Pav	49,05	54.10	1.19	45.193	1251.99	1.20	81.28	5059.86
15° Pav	52,40	52.49	1.19	45.402	1263.62	1.20	79.59	5221.06
16° Pav	55,55	97.30	1.20	45.588	1273.99	1.20	148.76	10227.05
Σ							1275.52	58567.45

- Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial $p=0,11$

Tabela I.5:Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	S2 _(topo)	V _k (m/s)	q _{ref} (N/m ²)	C _x	F _x (kN)	My (kN.m)
0°	1509.0	1.20	45.59	1273.99	1.61	2953.29	131327.18
15°	1509.0	1.20	45.59	1273.99	1.44	2641.45	117460.34
30°	1509.0	1.20	45.59	1273.99	1.34	2458.02	109303.37
45°	1509.0	1.20	45.59	1273.99	1.07	1962.75	87279.56
60°	1509.0	1.20	45.59	1273.99	0.71	1302.38	57914.47
75°	1509.0	1.20	45.59	1273.99	0.13	238.46	10604.06
90°	1509.0	1.20	45.59	1273.99	0.08	146.75	6525.57

Tabela I.6:Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	S2 _(topo)	V _k (m/s)	q _{ref} (N/m ²)	C _y	F _y (kN)	M _x (kN.m)
0°	969.0	1.20	45.59	1273.99	0.01	11.78	523.80
15°	969.0	1.20	45.59	1273.99	-0.34	-400.49	17809.11
30°	969.0	1.20	45.59	1273.99	0.40	471.17	20951.89
45°	969.0	1.20	45.59	1273.99	0.98	1154.36	51332.14
60°	969.0	1.20	45.59	1273.99	1.29	1519.51	67569.86
75°	969.0	1.20	45.59	1273.99	1.41	1660.86	73855.42
90°	969.0	1.20	45.59	1273.99	1.30	1531.29	68093.65

- Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial $p=0,34$

Tabela I.7:Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	S2 _(topo)	V _k (m/s)	q _{ref} (N/m ²)	C _x	F _x (kN)	My (kN.m)
0°	1509.0	0.91	34.60	733.89	0.87	919.31	40880.13
15°	1509.0	0.91	34.60	733.89	0.93	982.71	43699.45
30°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.85	898.18	39940.36
45°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.73	771.38	34301.72
60°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.54	570.61	25373.88
75°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.27	285.30	12686.94
90°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	-0.03	-31.70	-1409.66

Tabela I.8: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	S2 _(topo)	V _k (m/s)	q _{ref} (N/m ²)	C _y	F _y (kN)	M _x (kN.m)
0°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.03	20.36	905.21
15°	969.0	0.91	45.59	1273.99	-0.04	-27.14	-1206.95
30°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.32	217.13	9655.56
45°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.63	427.48	19009.39
60°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.82	556.41	24742.38
75°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.79	536.05	23837.17
90°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.66	447.84	19914.60

- **Modelo com vizinhança 1b com expoente da lei potencial $p=0,34$**

Tabela I.9: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m²)	S2 (topo)	V_k (m/s)	q_{ref} (N/m²)	C_x	F_x (kN)	My (kN.m)
0°	1509.0	0.91	34.60	733.89	-0.12	-126.80	-5638.64
15°	1509.0	0.91	34.60	733.89	0.09	95.10	4228.98
30°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.22	232.47	10337.51
45°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.20	211.34	9397.73
60°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.13	137.37	6108.53
75°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.12	126.80	5638.64
90°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.06	63.40	2819.32

Tabela I.10: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m²)	S2 (topo)	V_k (m/s)	q_{ref} (N/m²)	C_y	F_y (kN)	M_x (kN.m)
0°	969.0	0.91	45.59	1273.99	-0.03	-20.36	-905.21
15°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.39	264.63	11767.72
30°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.48	325.70	14483.34
45°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.60	407.13	18104.18
60°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.75	508.91	22630.22
75°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.83	563.19	25044.11
90°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.71	481.77	21423.28

- **Modelo com vizinhança 1a com expoente da lei potencial $p=0,34$**

Tabela I.11: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m²)	S2 (topo)	V_k (m/s)	q_{ref} (N/m²)	C_x	F_x (kN)	My (kN.m)
0°	1509.0	0.91	34.60	733.89	-0.06	-63.40	-2819.32
15°	1509.0	0.91	34.60	733.89	0.22	232.47	10337.51
30°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.37	390.97	17385.80
45°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.39	412.11	18325.58
60°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.32	338.14	15036.37
75°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.21	221.90	9867.62
90°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.07	73.97	3289.21

Tabela I.12: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m²)	S2 (topo)	V_k (m/s)	q_{ref} (N/m²)	C_y	F_y (kN)	M_x (kN.m)
0°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.01	6.79	301.74
15°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.35	237.49	10560.77
30°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.45	305.35	13578.13
45°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.65	441.05	19612.86
60°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.80	542.84	24138.91
75°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.81	549.62	24440.64
90°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.66	447.84	19914.60

- **Modelo com vizinhança 2a com expoente da lei potencial $p=0,34$**

Tabela I.13: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m²)	S2_(topo)	V_k (m/s)	q_{ref} (N/m²)	C_x	F_x (kN)	M_y (kN.m)
0°	1509.0	0.91	34.60	733.89	0.25	264.17	11747.16
15°	1509.0	0.91	34.60	733.89	0.52	549.47	24434.10
30°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.68	718.54	31952.29
45°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.60	634.01	28193.20
60°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.51	538.91	23964.22
75°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.26	274.74	12217.05
90°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.02	21.13	939.77

Tabela I.14: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m²)	S2_(topo)	V_k (m/s)	q_{ref} (N/m²)	C_y	F_y (kN)	M_x (kN.m)
0°	969.0	0.91	45.59	1273.99	-0.03	-20.36	-905.21
15°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.31	210.35	9353.83
30°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.44	298.56	13276.40
45°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.59	400.34	17802.44
60°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.77	522.48	23233.70
75°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.80	542.84	24138.91
90°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.69	468.20	20819.81

- **Modelo com vizinhança 3a com expoente da lei potencial $p=0,34$**

Tabela I.15: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A_i (m²)	S2_(topo)	V_k (m/s)	q_{ref} (N/m²)	C_x	F_x (kN)	M_y (kN.m)
0°	1509.0	0.91	34.60	733.89	0.39	412.11	18325.58
15°	1509.0	0.91	34.60	733.89	0.66	697.41	31012.52
30°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.75	792.51	35241.49
45°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.73	771.38	34301.72
60°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.52	549.47	24434.10
75°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	0.29	306.44	13626.71
90°	1509.0	0.91	34.60	1273.99	-0.01	-10.57	-469.89

Tabela I.16: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A_i (m²)	S2_(topo)	V_k (m/s)	q_{ref} (N/m²)	C_y	F_y (kN)	M_x (kN.m)
0°	969.0	0.91	45.59	1273.99	-0.01	-6.79	-301.74
15°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.22	149.28	6638.20
30°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.38	257.85	11465.98
45°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.68	461.41	20518.07
60°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.83	563.19	25044.11
75°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.80	542.84	24138.91
90°	969.0	0.91	45.59	1273.99	0.71	481.77	21423.28

II. ANÁLISE DINÂMICA – NBR 6123

• Vento de alta turbulência

Na tabela I.17 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 0° , para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.17: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para vento a 0° .

Pav.	Z_i (m)	A_i (m ²)	x	C_{a_i}	\bar{F}_i (kN)	\hat{F}_i (kN)	F_{x_i} (kN)	My_i (kN.m)
4º Sub	-13,20	0.00	0.00000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3º Sub	-9,90	0.00	0.00000004	0.00	0.00	0.03	0.03	0.37
2º Sub	-6,60	0.00	0.00000021	0.00	0.00	0.13	0.13	1.72
1º Sub	-3,30	0.00	0.00000055	0.00	0.00	0.34	0.34	4.44
Térreo	0,00	69.16	0.0000182	0.00	0.00	1.17	1.17	15.41
1º Pav	5,50	111.29	0.0000852	1.10	8.90	5.43	14.33	268.00
2º Pav	8,85	93.06	0.0001206	1.10	10.00	7.27	17.26	380.65
3º Pav	12,90	84.25	0.0001574	1.10	11.43	9.46	20.90	545.44
4º Pav	15,55	75.45	0.0001975	1.10	11.50	11.82	23.31	670.23
5º Pav	18,90	84.25	0.0002394	1.10	14.49	14.22	28.71	921.63
6º Pav	22,25	84.25	0.0002850	1.10	16.03	17.14	33.17	1175.94
7º Pav	25,60	84.25	0.0003317	1.10	17.49	19.84	37.33	1448.53
8º Pav	28,95	84.25	0.0003821	1.10	18.87	22.70	41.57	1752.36
9º Pav	32,30	84.25	0.0004339	1.10	20.20	25.60	45.80	2083.75
10º Pav	35,65	84.25	0.0004823	1.10	21.47	28.27	49.74	2429.81
11º Pav	39,00	84.25	0.0005313	1.10	22.70	30.93	53.63	2799.53
12º Pav	42,35	84.25	0.0005822	1.10	23.89	33.90	57.79	3210.20
13º Pav	45,70	84.25	0.0006336	1.10	25.05	36.88	61.93	3647.82
14º Pav	49,05	84.25	0.0006795	1.10	26.17	39.23	65.40	4071.36
15º Pav	52,40	81.74	0.0007268	1.10	26.45	41.55	68.01	4461.18
16º Pav	55,55	151.53	0.0007627	1.10	50.85	43.71	94.55	6500.47
Σ							715.11	36388.82

Na tabela I.18 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 90° , para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.18: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para vento a 90° .

Pav.	Z_i (m)	A_i (m ²)	y	C_{a_i}	\bar{F}_i (kN)	\hat{F}_i (kN)	F_{y_i} (kN)	M_{x_i} (kN.m)
4° Sub	-13,20	0.00	0.0000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3° Sub	-9,90	0.00	0.0000008	0.00	0.00	0.03	0.03	0.39
2° Sub	-6,60	0.00	0.0000038	0.00	0.00	0.13	0.13	1.77
1° Sub	-3,30	0.00	0.0000107	0.00	0.00	0.37	0.37	4.91
Térreo	0,00	44.41	0.0000241	0.00	0.00	0.87	0.87	11.50
1° Pav	5,50	71.46	0.0000686	0.95	4.94	2.46	7.40	138.36
2° Pav	8,85	59.76	0.0000991	0.95	5.54	3.36	8.91	196.40
3° Pav	12,90	54.10	0.0001345	0.95	6.34	4.55	10.90	284.37
4° Pav	15,55	48.45	0.0001738	0.95	6.38	5.86	12.23	351.66
5° Pav	18,90	54.10	0.0002159	0.95	8.04	7.22	15.26	489.83
6° Pav	22,25	54.10	0.0002609	0.95	8.89	8.83	17.73	628.38
7° Pav	25,60	54.10	0.0003075	0.95	9.70	10.36	20.06	778.25
8° Pav	28,95	54.10	0.0003559	0.95	10.47	11.91	22.37	943.02
9° Pav	32,30	54.10	0.0004056	0.95	11.20	13.47	24.68	1122.76
10° Pav	35,65	54.10	0.0004555	0.95	11.91	15.03	26.94	1316.07
11° Pav	39,00	54.10	0.0005057	0.95	12.59	16.58	29.17	1522.55
12° Pav	42,35	54.10	0.0005570	0.95	13.25	18.26	31.51	1750.51
13° Pav	45,70	54.10	0.0006078	0.95	13.89	19.92	33.82	1991.77
14° Pav	49,05	54.10	0.0006590	0.95	14.51	21.43	35.94	2237.35
15° Pav	52,40	52.49	0.0007100	0.95	14.67	22.86	37.53	2462.04
16° Pav	55,55	97.30	0.0007571	0.95	28.20	24.43	52.63	3618.17
Σ							388.47	19850.07

- **Vento de baixa turbulência**

Na tabela I.19 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 0° , para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.19: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para vento a 0° .

Pav.	Z_i (m)	A_i (m ²)	x	C_{a_i}	\bar{F}_i (kN)	\hat{F}_i (kN)	F_{x_i} (kN)	My_i (kN.m)
4º Sub	-13,20	0.00	0.0000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3º Sub	-9,90	0.00	0.0000004	0.00	0.00	0.13	0.13	1.73
2º Sub	-6,60	0.00	0.0000021	0.00	0.00	0.61	0.61	7.99
1º Sub	-3,30	0.00	0.0000055	0.00	0.00	1.57	1.57	20.67
Térreo	0,00	69.16	0.0000182	0.00	0.00	5.43	5.43	71.73
1º Pav	5,50	111.29	0.0000852	1.40	88.67	25.27	113.94	2130.73
2º Pav	8,85	93.06	0.0001206	1.40	81.16	33.82	114.98	2535.30
3º Pav	12,90	84.25	0.0001574	1.40	78.93	44.06	122.99	3210.03
4º Pav	15,55	75.45	0.0001975	1.40	73.24	55.00	128.24	3687.03
5º Pav	18,90	84.25	0.0002394	1.40	84.87	66.21	151.08	4849.70
6º Pav	22,25	84.25	0.0002850	1.40	87.55	79.79	167.34	5932.16
7º Pav	25,60	84.25	0.0003317	1.40	89.91	92.38	182.29	7073.05
8º Pav	28,95	84.25	0.0003821	1.40	92.04	105.68	197.71	8333.64
9º Pav	32,30	84.25	0.0004339	1.40	93.97	119.16	213.13	9697.53
10º Pav	35,65	84.25	0.0004823	1.40	95.75	131.59	227.34	11105.40
11º Pav	39,00	84.25	0.0005313	1.40	97.40	143.97	241.37	12599.63
12º Pav	42,35	84.25	0.0005822	1.40	98.93	157.79	256.73	14261.24
13º Pav	45,70	84.25	0.0006336	1.40	100.38	171.70	272.08	16025.54
14º Pav	49,05	84.25	0.0006795	1.40	101.73	182.63	284.37	17701.95
15º Pav	52,40	81.74	0.0007268	1.40	99.94	193.44	293.39	19246.30
16º Pav	55,55	151.53	0.0007627	1.40	187.35	203.47	390.81	26868.50
Σ							3365.54	165359.84

Na tabela I.20 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 90° , para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.20: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para vento a 90°.

Pav.	Z _i (m)	A _i (m ²)	y	Ca _i	\bar{F}_i (kN)	\hat{F}_i (kN)	Fy _i (kN)	Mx _i (kN.m)
4° Sub	-13,20	0.00	0.0000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3° Sub	-9,90	0.00	0.0000008	0.00	0.00	0.14	0.14	1.84
2° Sub	-6,60	0.00	0.0000038	0.00	0.00	0.63	0.63	8.28
1° Sub	-3,30	0.00	0.0000107	0.00	0.00	1.74	1.74	22.92
Térreo	0,00	44.41	0.0000241	0.00	0.00	4.07	4.07	53.74
1° Pav	5,50	71.46	0.0000686	1.20	48.81	11.50	60.31	1127.71
2° Pav	8,85	59.76	0.0000991	1.20	44.67	15.71	60.38	1331.32
3° Pav	12,90	54.10	0.0001345	1.20	43.45	21.28	64.72	1689.21
4° Pav	15,55	48.45	0.0001738	1.20	40.31	27.35	67.67	1945.42
5° Pav	18,90	54.10	0.0002159	1.20	46.72	33.75	80.46	2582.84
6° Pav	22,25	54.10	0.0002609	1.20	48.19	41.27	89.46	3171.25
7° Pav	25,60	54.10	0.0003075	1.20	49.49	48.39	97.88	3797.74
8° Pav	28,95	54.10	0.0003559	1.20	50.66	55.62	106.28	4479.50
9° Pav	32,30	54.10	0.0004056	1.20	51.72	62.94	114.66	5217.19
10° Pav	35,65	54.10	0.0004555	1.20	52.70	70.22	122.92	6004.70
11° Pav	39,00	54.10	0.0005057	1.20	53.61	77.44	131.04	6840.49
12° Pav	42,35	54.10	0.0005570	1.20	54.45	85.30	139.76	7763.65
13° Pav	45,70	54.10	0.0006078	1.20	55.25	93.08	148.32	8736.25
14° Pav	49,05	54.10	0.0006590	1.20	56.00	100.09	156.09	9716.55
15° Pav	52,40	52.49	0.0007100	1.20	55.01	106.79	161.80	10614.31
16° Pav	55,55	97.30	0.0007571	1.20	103.12	114.12	217.24	14935.21
Σ							1825.56	90040.12

- **Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial p=0,11**

- resposta em (x)

Tabela I.21: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x.

Incidência	A (m ²)	C _x	\bar{F}_{xi} (kN)	\hat{F}_{xi} (kN)	F _x (kN)	M _y (kN.m)
0°	1509.0	1.61	1631.03	1691.26	3322.29	159562.95
15°	1509.0	1.44	1458.81	1512.68	2971.49	142714.69
30°	1509.0	1.34	1357.51	1407.63	2765.14	132803.95
45°	1509.0	1.07	1083.98	1124.00	2207.98	106044.94
60°	1509.0	0.71	719.28	745.83	1465.11	70366.27
75°	1509.0	0.13	131.70	136.56	268.26	12883.97
90°	1509.0	0.08	81.05	84.04	165.08	7928.59

- resposta em (y)

Tabela I.22: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	\overline{F}_{yi} (kN)	\hat{F}_{yi} (kN)	F_y (kN)	M_x (kN.m)
0°	969.0	0.01	6.51	6.55	13.06	629.12
15°	969.0	-0.34	-221.18	-222.72	-443.90	-21390.23
30°	969.0	0.40	260.21	262.02	522.24	25164.97
45°	969.0	0.98	637.53	641.95	1279.48	61654.19
60°	969.0	1.29	839.19	845.02	1684.21	81157.04
75°	969.0	1.41	917.26	923.63	1840.89	88706.53
90°	969.0	1.30	845.70	851.57	1697.27	81786.17

- Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial $p=0,34$
- resposta em (x)

Tabela I.23: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	C_x	\overline{F}_{xi} (kN)	\hat{F}_{xi} (kN)	F_x (kN)	M_y (kN.m)
0°	1509.0	0.87	423.53	370.60	794.13	37905.05
15°	1509.0	0.93	452.74	396.16	848.90	40519.19
30°	1509.0	0.85	413.79	362.08	775.87	37033.67
45°	1509.0	0.73	355.38	310.96	666.34	31805.39
60°	1509.0	0.54	262.88	230.03	492.91	23527.27
75°	1509.0	0.27	131.44	115.01	246.45	11763.64
90°	1509.0	-0.03	-14.60	-12.78	-27.38	-1307.07

- resposta em (y)

Tabela I.24: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	\overline{F}_{yi} (kN)	\hat{F}_{yi} (kN)	F_y (kN)	M_x (kN.m)
0°	969.0	0.03	9.38	7.85	17.23	824.26
15°	969.0	-0.04	-12.50	-10.47	-22.97	-1099.02
30°	969.0	0.32	100.03	83.73	183.76	8792.14
45°	969.0	0.63	196.94	164.84	361.78	17309.53
60°	969.0	0.82	256.34	214.55	470.89	22529.86
75°	969.0	0.79	246.96	206.70	453.66	21705.60
90°	969.0	0.66	206.32	172.69	379.01	18133.79

- Modelo com vizinhança 1b com expoente da lei potencial $p=0,34$
- resposta em (x)

Tabela I.25: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	C_x	\overline{F}_{xi} (kN)	\hat{F}_{xi} (kN)	F_x (kN)	M_y (kN.m)
0°	1509.0	-0.12	-58.42	-51.12	-109.54	-5228.28
15°	1509.0	0.09	-58.42	-51.12	-109.54	-5228.28
30°	1509.0	0.22	107.10	93.72	200.81	9585.18
45°	1509.0	0.20	97.36	85.20	182.56	8713.80
60°	1509.0	0.13	63.29	55.38	118.66	5663.97
75°	1509.0	0.12	58.42	51.12	109.54	5228.28
90°	1509.0	0.06	58.42	51.12	109.54	5228.28

- resposta em (y)

Tabela I.26: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	\overline{F}_{yi} (kN)	\hat{F}_{yi} (kN)	F_y (kN)	M_x (kN.m)
0°	969.0	-0.03	-9.38	-7.85	-17.23	-824.26
15°	969.0	0.39	121.92	102.04	223.96	10715.42
30°	969.0	0.48	150.05	125.59	275.64	13188.21
45°	969.0	0.60	187.56	156.99	344.55	16485.26
60°	969.0	0.75	234.46	196.24	430.69	20606.58
75°	969.0	0.83	259.46	217.17	476.63	22804.61
90°	969.0	0.71	221.95	185.77	407.72	19507.56

- Modelo com vizinhança 1a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- resposta em (x)

Tabela I.27: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	C_x	\overline{F}_{xi} (kN)	\hat{F}_{xi} (kN)	F_x (kN)	M_y (kN.m)
0°	9.5	-0.06	-29.21	-25.56	-54.77	-2614.14
15°	1509.0	0.23	111.97	97.97	209.94	10020.88
30°	1509.0	0.37	180.12	157.61	337.73	16120.54
45°	1509.0	0.39	189.86	166.13	355.99	16991.92
60°	1509.0	0.32	155.78	136.31	292.09	13942.09
75°	1509.0	0.21	102.23	89.46	191.69	9149.49
90°	1509.0	0.07	34.08	29.82	63.90	3049.83

- resposta em (y)

Tabela I.28: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	\overline{F}_{yi} (kN)	\hat{F}_{yi} (kN)	F_y (kN)	M_x (kN.m)
0°	969.0	0.01	3.126	2.616	5.743	274.75
15°	969.0	0.35	109.41	91.58	200.99	9616.40
30°	969.0	0.45	140.67	117.74	258.42	12363.95
45°	969.0	0.65	203.19	170.07	373.27	17859.04
60°	969.0	0.80	250.09	209.32	459.41	21980.35
75°	969.0	0.81	253.21	211.94	465.15	22255.11
90°	969.0	0.66	206.32	172.69	379.01	18133.79

- Modelo com vizinhança 2a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- resposta em (x)

Tabela I.29: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	C_x	\overline{F}_{xi} (kN)	\hat{F}_{xi} (kN)	F_x (kN)	M_y (kN.m)
0°	1509.0	0.25	121.70	106.49	228.20	10892.26
15°	1509.0	0.52	253.14	221.51	474.65	22655.89
30°	1509.0	0.68	331.03	289.66	620.70	29626.93
45°	1509.0	0.60	292.09	255.59	547.68	26141.41
60°	1509.0	0.51	248.28	217.25	465.52	22220.20
75°	1509.0	0.26	126.57	110.75	237.33	11327.95
90°	1509.0	0.02	9.74	8.52	18.26	871.38

- resposta em (y)

Tabela I.30: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	\overline{F}_{yi} (kN)	\hat{F}_{yi} (kN)	F_y (kN)	M_x (kN.m)
0°	969.0	-0.03	-9.38	-7.85	-17.23	-824.26
15°	969.0	0.31	96.91	81.11	178.02	8517.39
30°	969.0	0.44	137.55	115.13	252.67	12089.19
45°	969.0	0.59	184.44	154.37	338.81	16210.51
60°	969.0	0.77	240.71	201.47	442.18	21156.09
75°	969.0	0.80	250.09	209.32	459.41	21980.35
90°	969.0	0.69	215.70	180.54	396.24	18958.05

• Modelo com vizinhança 3a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- resposta em (x)

Tabela I.31: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	C_x	\overline{F}_{xi} (kN)	\hat{F}_{xi} (kN)	F_x (kN)	M_y (kN.m)
0°	1509.0	0.39	189.86	166.13	355.99	16991.92
15°	1509.0	0.66	321.30	281.15	602.44	28755.55
30°	1509.0	0.75	365.11	319.48	684.59	32676.77
45°	1509.0	0.73	355.38	310.96	666.34	31805.39
60°	1509.0	0.52	253.14	221.51	474.65	22655.89
75°	1509.0	0.29	141.18	123.53	264.71	12635.02
90°	1509.0	-0.01	-4.87	-4.26	-9.13	-435.69

- resposta em (y)

Tabela I.32: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo a NBR-6123, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	\overline{F}_{yi} (kN)	\hat{F}_{yi} (kN)	F_y (kN)	M_x (kN.m)
0°	969.0	-0.01	-3.13	-2.62	-5.74	-274.75
15°	969.0	0.22	68.77	57.56	126.34	6044.60
30°	969.0	0.38	118.79	99.43	218.22	10440.67
45°	969.0	0.68	212.57	177.92	390.49	18683.30
60°	969.0	0.83	259.46	217.17	476.63	22804.61
75°	969.0	0.80	250.09	209.32	459.41	21980.35
90°	969.0	0.71	221.95	185.77	407.72	19507.56

III. ANÁLISE DINÂMICA - NBC (1985)

• Vento de alta turbulência

Na tabela I.33 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 0° , para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.33: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para vento a 0° .

Pav.	Z_i (m)	A_i (m ²)	C_e	C_{p_i}	q (N/m ²)	F_{x_i} (kN)	M_{y_i} (kN.m)
4° Sub	-13,20	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
3° Sub	-9,90	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
2° Sub	-6,60	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Sub	-3,30	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
Térreo	0,00	69.16	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Pav	5,50	111.29	0.400	1.30	593.39	66.04	1234.91
2° Pav	8,85	93.06	0.400	1.30	593.39	55.22	1217.56
3° Pav	12,90	84.25	0.400	1.30	593.39	49.99	1304.87
4° Pav	15,55	75.45	0.400	1.30	593.39	44.77	1287.18
5° Pav	18,90	84.25	0.400	1.30	593.39	49.99	1604.84
6° Pav	22,25	84.25	0.400	1.30	593.39	49.99	1772.32
7° Pav	25,60	84.25	0.400	1.30	593.39	49.99	1939.80
8° Pav	28,95	84.25	0.400	1.30	593.39	49.99	2107.28
9° Pav	32,30	84.25	0.422	1.30	625.81	52.73	2399.03
10° Pav	35,65	84.25	0.453	1.30	671.89	56.61	2765.32
11° Pav	39,00	84.25	0.483	1.30	716.77	60.39	3152.36
12° Pav	42,35	84.25	0.513	1.30	760.59	64.08	3559.73
13° Pav	45,70	84.25	0.542	1.30	803.44	67.69	3987.06
14° Pav	49,05	84.25	0.570	1.30	845.43	71.23	4434.02
15° Pav	52,40	81.74	0.598	1.30	886.61	72.47	4754.00
16° Pav	55,55	151.53	0.623	1.30	924.67	140.11	9632.87
					Σ	1001.31	47153.15

Na tabela I.34 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 90°, para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.34: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para vento a 90°.

Pav.	Z_i (m)	A_i (m²)	C_e	C_{pi}	q (N/m²)	F_{x_i} (kN)	M_{y_i} (kN.m)
4° Sub	-13,20	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
3° Sub	-9,90	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
2° Sub	-6,60	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Sub	-3,30	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
Térreo	0,00	44.41	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Pav	5,50	71.46	0.400	1.30	623.21	44.54	832.84
2° Pav	8,85	59.76	0.400	1.30	623.21	37.24	821.14
3° Pav	12,90	54.10	0.400	1.30	623.21	33.72	880.02
4° Pav	15,55	48.45	0.400	1.30	623.21	30.19	868.09
5° Pav	18,90	54.10	0.400	1.30	623.21	33.72	1082.32
6° Pav	22,25	54.10	0.400	1.30	623.21	33.72	1195.27
7° Pav	25,60	54.10	0.400	1.30	623.21	33.72	1308.23
8° Pav	28,95	54.10	0.400	1.30	623.21	33.72	1421.18
9° Pav	32,30	54.10	0.422	1.30	657.25	35.56	1617.93
10° Pav	35,65	54.10	0.453	1.30	705.65	38.18	1864.97
11° Pav	39,00	54.10	0.483	1.30	752.79	40.73	2125.99
12° Pav	42,35	54.10	0.513	1.30	798.80	43.22	2400.72
13° Pav	45,70	54.10	0.542	1.30	843.81	45.65	2688.92
14° Pav	49,05	54.10	0.570	1.30	887.90	48.04	2990.36
15° Pav	52,40	52.49	0.598	1.30	931.16	48.87	3206.16
16° Pav	55,55	97.30	0.623	1.30	971.13	94.49	6496.53
					Σ	675.30	31800.66

• **Vento de baixa turbulência**

Na tabela I.35 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 0° , para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.35: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para vento a 0° .

Pav.	Z_i (m)	A_i (m ²)	C_e	C_{p_i}	q (N/m ²)	F_{x_i} (kN)	M_{y_i} (kN.m)
4° Sub	-13,20	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
3° Sub	-9,90	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
2° Sub	-6,60	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Sub	-3,30	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
Térreo	0,00	69.16	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Pav	5,50	111.29	1.000	1.30	1103.42	122.80	2296.33
2° Pav	8,85	93.06	1.000	1.30	1103.42	102.68	2264.07
3° Pav	12,90	84.25	1.000	1.30	1103.42	92.97	2426.41
4° Pav	15,55	75.45	1.000	1.30	1103.42	83.25	2393.53
5° Pav	18,90	84.25	1.000	1.30	1103.42	92.97	2984.21
6° Pav	22,25	84.25	1.000	1.30	1103.42	92.97	3295.64
7° Pav	25,60	84.25	1.000	1.30	1103.42	92.97	3607.08
8° Pav	28,95	84.25	1.000	1.30	1103.42	92.97	3918.52
9° Pav	32,30	84.25	1.021	1.30	1126.48	94.91	4318.35
10° Pav	35,65	84.25	1.050	1.30	1158.04	97.57	4766.19
11° Pav	39,00	84.25	1.076	1.30	1187.53	100.05	5222.74
12° Pav	42,35	84.25	1.101	1.30	1215.25	102.39	5687.65
13° Pav	45,70	84.25	1.125	1.30	1241.43	104.59	6160.58
14° Pav	49,05	84.25	1.148	1.30	1266.27	106.69	6641.23
15° Pav	52,40	81.74	1.169	1.30	1289.91	105.43	6916.48
16° Pav	55,55	151.53	1.188	1.30	1311.17	198.68	13659.24
					Σ	1683.87	76558.24

Na tabela I.36 são apresentados os valores referentes ao processo de cálculo para a determinação das solicitações na base da edificação para o vento incidindo a 90° , para o qual é adotado um modelo discretizado da estrutura, sendo que está dividida em faixas horizontais entre pavimentos adjacentes.

Tabela I.36: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para vento a 90°.

Pav.	Z _i (m)	A _i (m ²)	C _e	C _{pi}	q (N/m ²)	F _{x_i} (kN)	My _i (kN.m)
4° Sub	-13,20	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
3° Sub	-9,90	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
2° Sub	-6,60	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Sub	-3,30	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
Térreo	0,00	44.41	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
1° Pav	5,50	71.46	1.000	1.30	1152.97	82.40	1540.80
2° Pav	8,85	59.76	1.000	1.30	1152.97	68.90	1519.15
3° Pav	12,90	54.10	1.000	1.30	1152.97	62.38	1628.08
4° Pav	15,55	48.45	1.000	1.30	1152.97	55.86	1606.02
5° Pav	18,90	54.10	1.000	1.30	1152.97	62.38	2002.35
6° Pav	22,25	54.10	1.000	1.30	1152.97	62.38	2211.32
7° Pav	25,60	54.10	1.000	1.30	1152.97	62.38	2420.29
8° Pav	28,95	54.10	1.000	1.30	1152.97	62.38	2629.26
9° Pav	32,30	54.10	1.021	1.30	1177.07	63.68	2897.54
10° Pav	35,65	54.10	1.050	1.30	1210.04	65.47	3198.03
11° Pav	39,00	54.10	1.076	1.30	1240.86	67.13	3504.37
12° Pav	42,35	54.10	1.101	1.30	1269.82	68.70	3816.32
13° Pav	45,70	54.10	1.125	1.30	1297.18	70.18	4133.65
14° Pav	49,05	54.10	1.148	1.30	1323.13	71.58	4456.15
15° Pav	52,40	52.49	1.169	1.30	1347.84	70.74	4640.84
16° Pav	55,55	97.30	1.188	1.30	1370.05	133.31	9165.12
Σ						1129.85	51369.28

• **Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial p=0,11**

- resposta em (x)

Tabela I.37: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_x.

Incidência	A (m ²)	C _x	q (N/m ²)	F _x (kN)	My (kN.m)
0°	1509.0	1.61	1623.83	2338.06	103968.87
15°	1509.0	1.44	1452.37	2091.18	92990.79
30°	1509.0	1.34	1351.51	1945.96	86533.10
45°	1509.0	1.07	1079.19	1553.86	69097.32
60°	1509.0	0.71	716.10	1031.07	45849.63
75°	1509.0	0.13	131.12	188.79	8395.00
90°	1509.0	0.08	80.69	116.18	5166.16

- resposta em (y)

Tabela I.38 Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	q (N/m ²)	Fy (kN)	Mx (kN.m)
0°	969.0	0.01	10.54	9.74	433.30
15°	969.0	-0.34	-358.32	-331.30	-14732.21
30°	969.0	0.40	421.55	389.76	17332.01
45°	969.0	0.98	1032.81	954.92	42463.43
60°	969.0	1.29	1359.51	1256.98	55895.73
75°	969.0	1.41	1485.97	1373.91	61095.34
90°	969.0	1.30	1370.05	1266.73	56329.03

- **Modelo isolado sem vizinhança com expoente da lei potencial $p=0,34$**

- resposta em (x)

Tabela I.39: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	C_x	q (N/m ²)	Fx (kN)	My (kN.m)
0°	1509.0	0.87	618.82	891.00	39621.05
15°	1509.0	0.93	661.50	952.45	42353.53
30°	1509.0	0.85	604.59	870.52	38710.22
45°	1509.0	0.73	519.24	747.62	33245.25
60°	1509.0	0.54	384.09	553.03	24592.37
75°	1509.0	0.27	192.05	276.52	12296.19
90°	1509.0	-0.03	-21.34	-30.72	-1366.24

- resposta em (y)

Tabela I.40: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	q (N/m ²)	Fy (kN)	Mx (kN.m)
0°	969.0	0.03	22.41	20.72	921.41
15°	969.0	-0.04	-29.88	-27.63	-1228.55
30°	969.0	0.32	239.05	221.02	9828.38
45°	969.0	0.63	470.63	435.14	19349.63
60°	969.0	0.82	612.56	566.37	25185.23
75°	969.0	0.79	590.15	545.65	24263.82
90°	969.0	0.66	493.04	455.86	20271.04

- **Modelo com vizinhança 1b com expoente da lei potencial $p=0,34$**

- resposta em (x)

Tabela I.41: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	C_x	q (N/m ²)	Fx (kN)	My (kN.m)
0°	1509.0	-0.12	-85.35	-122.90	-5464.97
15°	1509.0	0.09	64.02	92.17	4098.73
30°	1509.0	0.22	156.48	225.31	10019.12
45°	1509.0	0.20	142.26	204.83	9108.29
60°	1509.0	0.13	92.47	133.14	5920.39
75°	1509.0	0.12	85.35	122.90	5464.97
90°	1509.0	0.06	42.68	61.45	2732.49

- resposta em (y)

Tabela I.42: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	q (N/m ²)	Fy (kN)	Mx (kN.m)
0°	969.0	-0.03	-22.41	-20.72	-921.41
15°	969.0	0.39	291.34	269.37	11978.34
30°	969.0	0.48	358.57	331.53	14742.57
45°	969.0	0.60	448.22	414.41	18428.22
60°	969.0	0.75	560.27	518.02	23035.27
75°	969.0	0.83	620.03	573.27	25492.37
90°	969.0	0.71	530.39	490.39	21806.72

- Modelo com vizinhança 1a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- resposta em (x)

Tabela I.43: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	C_x	q (N/m ²)	Fx (kN)	My (kN.m)
0°	1509.0	-0.06	-42.68	-61.45	-2732.49
15°	1509.0	0.23	163.60	235.55	10474.53
30°	1509.0	0.37	263.18	378.93	16850.33
45°	1509.0	0.39	277.40	399.41	17761.16
60°	1509.0	0.32	227.61	327.72	14573.26
75°	1509.0	0.21	149.37	215.07	9563.70
90°	1509.0	0.07	49.79	71.69	3187.90

- resposta em (y)

Tabela I.44: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	q (N/m ²)	Fy (kN)	Mx (kN.m)
0°	969.0	0.01	7.47	6.91	307.14
15°	969.0	0.35	261.46	241.74	10749.79
30°	969.0	0.45	336.16	310.81	13821.16
45°	969.0	0.65	485.57	448.95	19963.90
60°	969.0	0.80	597.62	552.55	24570.96
75°	969.0	0.81	605.09	559.46	24878.09
90°	969.0	0.66	493.04	455.86	20271.04

- Modelo com vizinhança 2a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- resposta em (x)

Tabela I.45: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	C_x	q (N/m ²)	Fx (kN)	My (kN.m)
0°	1509.0	0.25	177.82	256.03	11385.36
15°	1509.0	0.52	369.87	532.55	23681.55
30°	1509.0	0.68	483.67	696.41	30968.18
45°	1509.0	0.60	426.77	614.48	27324.86
60°	1509.0	0.51	362.76	522.31	23226.13
75°	1509.0	0.26	184.93	266.28	11840.77
90°	1509.0	0.02	14.23	2.16	148.20

- resposta em (y)

Tabela I.46: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	q (N/m ²)	Fy (kN)	Mx (kN.m)
0°	969.0	-0.03	-22.41	-20.72	-921.41
15°	969.0	0.31	231.58	214.11	9521.25
30°	969.0	0.44	328.69	303.90	13514.03
45°	969.0	0.59	440.75	407.51	18121.08
60°	969.0	0.77	575.21	531.83	23649.55
75°	969.0	0.80	597.62	552.55	24570.96
90°	969.0	0.69	515.45	476.58	21192.45

• Modelo com vizinhança 3a com expoente da lei potencial $p=0,34$

- resposta em (x)

Tabela I.47: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_x .

Incidência	A (m ²)	C_x	q (N/m ²)	Fx (kN)	My (kN.m)
0°	1509.0	0.39	277.40	399.41	17761.16
15°	1509.0	0.66	469.45	675.93	30057.35
30°	1509.0	0.75	533.46	768.10	34156.08
45°	1509.0	0.73	519.24	747.62	33245.25
60°	1509.0	0.52	362.76	531.47	23607.45
75°	1509.0	0.29	206.27	297.00	13207.02
90°	1509.0	-0.01	-7.11	-10.24	-455.41

- resposta em (y)

Tabela I.48: Determinação das solicitações na base da edificação, esforço cortante e momento fletor, segundo o NBC, para o coeficiente de força C_y .

Incidência	A (m ²)	C_y	q (N/m ²)	Fy (kN)	Mx (kN.m)
0°	969.0	-0.01	-7.47	-6.91	-307.14
15°	969.0	0.22	164.35	151.95	6757.01
30°	969.0	0.38	283.87	262.46	11671.20
45°	969.0	0.68	507.98	469.67	20885.31
60°	969.0	0.83	620.03	573.27	25492.37
75°	969.0	0.80	597.62	552.55	24570.96
90°	969.0	0.71	530.39	490.39	21806.72