

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO EXPERIMENTAL EM TÚNEL DE VENTO DOS
EFEITOS DE VIZINHANÇA EM EDIFÍCIOS ALTOS**

**PATRÍCIA CRISTINA CUNHA NUNES DE OLIVEIRA
FONTOURA**

**ORIENTADOR: JOSÉ LUIS VITAL DE BRITO
CO-ORIENTADOR: ACIR MÉRCIO LOREDO-SOUZA**

**TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURA E CONSTRUÇÃO
CIVIL**

**BRASÍLIA/DF: JULHO – 2014
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FICHA CATALOGRÁFICA

FONTOURA, PATRICIA C. C. N. DE O.

Estudo experimental em túnel de vento dos efeitos de vizinhança em edifícios altos [Distrito Federal] 2014.

xxxvii, 318p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Estruturas e Construção Civil, 2014).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Edifícios Altos

2. Ação do vento

3. Efeitos de vizinhança

4. Fator de Vizinhança

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FONTOURA, P. C. C. N. de O. (2014). Estudo experimental em túnel de vento dos efeitos de vizinhança em edifícios altos. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-004A/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 318 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Patrícia Cristina Cunha Nunes de Oliveira Fontoura.

TÍTULO: Estudo experimental em túnel de vento dos efeitos de vizinhança em edifícios altos.

GRAU: Doutor

ANO: 2014

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Patrícia Cristina Cunha Nunes de Oliveira Fontoura
Condomínio Ouro Vermelho 1 Vetor 2 Quadra 4
Casa 3, Jardim Botânico, CEP 71680-379
DF – Brasil.
patricianfontoura@gmail.com
patriciacunha.alimentacaoviva@gmail.com

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO EXPERIMENTAL EM TÚNEL DE VENTO DOS
EFEITOS DE VIZINHANÇA EM EDIFÍCIOS ALTOS**

**PATRÍCIA CRISTINA CUNHA NUNES DE OLIVEIRA
FONTOURA**

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE DOUTOR EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

APROVADA POR:

**Prof. José Luis Vital de Brito, D.Sc. (ENC-UnB)
(Orientador)**

**Prof. Suzana Moreira Ávila, D.Sc (Gama-UnB)
(Examinador interno)**

**Prof. Prof. Marcus Vinicius Girão de Moraes, Dr. Ing. (ENM-UnB)
(Examinador Externo)**

**Prof. Adrián Roberto Wittwer, D.Sc (UNNE - Argentina)
(Examinador Externo)**

**Prof. Raul Rosas e Silva, PhD (PUC/RJ)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 14 DE JULHO DE 2014

Dedicado a Lázaro,

Filho amado!

“Somos fortes! Somos amigos! E estamos juntos pra sempre”
(frase que te acalentou desde seu primeiro contato com
o seio que o alimentou por dois lindos anos!

Inspira-se filho!

Busca sempre o aprimoramento de sua essência!

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Brasília (UnB) pela infra-estrutura e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos. Ao Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC), pelo aceite de uma aluna arquiteta e pelo apoio até o instante da defesa.

Ao meu orientador Prof. José Luis Vital de Brito pelo apoio e estímulo ao conhecimento, pela compreensão e atenção às circunstâncias inesperadas de vida.

Agradeço ao co-orientador Prof. Acir e equipe LAC pelo irrestrito apoio em todos os momentos até a defesa desse trabalho.

Agradeço aos meus pais, *in memoriam*, pelo início de toda a minha caminhada, pelos valores morais e éticos que me foram passados – tão importantes quando se resolve abraçar a carreira acadêmica como uma escolha de vida. Pelo incentivo que sempre recebi, desde pequenininha, ao “lecionar” para meus alunos invisíveis, com meu quadro negro feito das placas de concreto do muro da minha casa em construção e pequenos pedaços de giz recebidos com carinho da professora amorosa da primeira série, a Tia Assucena, de uma escola pública da cidade satélite próxima ao Plano Piloto de Lúcio Costa!

Agradeço ao meu amado filho, Lázaro, nascido durante o período do Doutorado! Tão pequeno e tão guerreiro diante das adaptações a tantas situações colocadas às nossas vidas. Filho, te amo! Você me inspirou a lutar diariamente por nós dois e pelo nosso futuro. Essa tese teve muito da sua ajuda: por ter muitos dos seus dias alterados com minhas rotinas de estudo.

RESUMO

ESTUDO EXPERIMENTAL EM TÚNEL DE VENTO DOS EFEITOS DE VIZINHANÇA EM EDIFÍCIOS ALTOS

Autor: Patrícia Cristina Cunha Nunes de Oliveira Fontoura

Orientador: José Luis Vital de Brito

Coorientador: Acir Mércio Loredo-Souza

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, julho de 2014

A verticalização das cidades é um fato da civilização e vem acontecendo cada vez mais, seja pelo aproveitamento da urbanização já consolidada, pela multiplicação dos espaços nos grandes centros, ou pelo aspecto simbólico do marco visual nas cidades. Estas são algumas das justificativas para o avanço das tecnologias existentes para a construção dos arranha-céus, cada vez mais altos.

O objetivo dessa pesquisa foi estabelecer a influência da vizinhança em edifícios altos devido à ação do vento, os resultados experimentais obtidos poderão subsidiar discussões a respeito do fator de majoração dos esforços presente na norma brasileira NBR 6123/1988 que trata das forças devidas ao vento que atuam nas edificações isoladas. Em geral, as normas de diversos países tratam esse efeito majorando seu efeito.

Para tanto, foram pesquisados quatro coeficientes aerodinâmicos utilizados para a determinação do efeito de vizinhança tendo como base o comportamento aerodinâmico do edifício CAARC Standard Tall Building em oito vizinhanças propostas considerando vinte e quatro ângulos de incidência do vento. Desse modo chegou-se a um fator de majoração dos esforços adequado às solicitações estruturais.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY ON WIND TUNNEL OF NEIGHBORHOOD EFFECTS IN TALL BUILDINGS

Author: Patrícia Cristina Cunha Nunes de Oliveira Fontoura

Supervisor: José Luis Vital de Brito

Co Supervisor: Acir Mércio Loredo-Souza

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, July of 2014

The vertical cities is a fact of civilization and has been happening increasingly is the use of the consolidated urbanization, the multiplication of spaces in large cities, or the symbolic aspect of the visual landmark in cities. These are some of the justifications for the advancement of existing for the construction of skyscrapers, ever higher technologies.

The objective of this research was to establish the influence of neighborhood tall buildings due to wind action and the experimental results may support discussions about the increase of this factor in efforts Brazilian standard NBR 6123/1988 which deals with forces due to wind work in isolated buildings. In general, the rules of many countries treat this effect subsequently adding its effect.

For that were surveyed four aerodynamic coefficients used for determining the effect of neighborhood based on the aerodynamic performance of the building CAARC Standard Tall Building in eight neighborhoods considering proposals twenty-four angles of incidence of the wind. Thus was reached in each proposal neighborhood, the factor of increase appropriate requests for structural efforts.

SUMÁRIO

| | |
|-----------------------------------------------|-----------|
| 1 - INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 - GENERALIDADES | 1 |
| 1.2 - MOTIVAÇÃO DA PESQUISA..... | 11 |
| 1.3 - OBJETIVOS | 11 |
| 1.3.1 - Objetivos gerais | 11 |
| 1.3.2 - Objetivos específicos..... | 12 |
| 1.4 - ORGANIZAÇÃO DA TESE | 12 |
| | |
| 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 2.1 - REVISÃO CONCEITUAL..... | 14 |
| 2.1.1 - Rugosidade do terreno | 16 |
| 2.1.2 - Efeito Venturi | 17 |
| 2.1.3 - Turbulência | 18 |
| 2.1.4 - Martelamento..... | 20 |
| 2.1.5 - Edifícios altos | 21 |
| 2.1.6 - Características do vento..... | 24 |
| 2.1.7 - Ação do vento em edifícios altos..... | 26 |
| 2.1.8 - Leis de semelhança | 29 |
| 2.1.8.1 - Semelhança geométrica..... | 30 |
| 2.1.8.2 - Semelhança cinemática | 31 |
| 2.1.8.3 - Semelhança dinâmica..... | 31 |
| 2.1.9 - Número de Reynolds | 32 |
| 2.2 - COEFICIENTES AERODINÂMICOS..... | 33 |
| 2.2.1 - Coeficiente de Pressão | 33 |
| 2.2.2 - Coeficiente de Força Resultante..... | 33 |
| 2.2.3 - Coeficiente de Torção..... | 34 |
| 2.2.4 - Coeficiente de Momento Fletor | 34 |
| 2.3 - FORMAS AERODINÂMICAS..... | 35 |
| 2.4 - EFEITOS DE VIZINHANÇA | 40 |
| | |
| 3 - ESTUDO EXPERIMENTAL | 50 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.1 - ENSAIOS DE EDIFÍCIOS ALTOS EM TUNEL DE VENTO..... | 50 |
| 3.1.1 - Túnel de Vento Professor Joaquim Blessmann | 51 |
| 3.1.1.1 - Características do túnel de vento | 52 |
| 3.1.1.2 - Mesas para fixação dos modelos | 53 |
| 3.1.1.3 - Determinação da velocidade do túnel de vento..... | 54 |
| 3.1.1.4 - Simulação das características do vento natural..... | 55 |
| 3.2 - CAARC Standard Tall Building | 57 |
| 3.2.1 - Histórico | 57 |
| 3.2.2 - Geometria do edifício | 57 |
| 3.2.3 - Modelo Construído..... | 62 |
| 3.3 - VIZINHANÇAS PROPOSTAS AO CAARC | 64 |
| 3.4 - ENSAIOS REALIZADOS | 68 |
| | |
| 4 - RESULTADOS - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO | 70 |
| 4.1 - TOMADA DE PRESSAO PONTO A PONTO DAS FACHADAS | 70 |
| 4.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DA MALHA BASE..... | 76 |
| 4.3 - RESULTADOS DOS ENSAIOS COM VIZINHANÇA PARA A TORÇÃO..... | 79 |
| 4.3.1 - Resultados obtidos com a Vizinhança V1..... | 79 |
| 4.3.2 - Resultados obtidos com a Vizinhança V2..... | 82 |
| 4.3.3 - Resultados obtidos com a Vizinhança V3..... | 86 |
| 4.3.4 - Resultados obtidos com a Vizinhança V4..... | 89 |
| 4.3.5 - Resultados obtidos com a Vizinhança V5..... | 92 |
| 4.3.6 - Resultados obtidos com a Vizinhança V6..... | 95 |
| 4.3.7 - Resultados obtidos com a Vizinhança V7..... | 98 |
| 4.3.8 - Resultados obtidos com a Vizinhança V8..... | 101 |
| 4.3.9 - Resultados do FV obtido pelo coeficiente de torção para todas as vizinhanças | 104 |
| 4.4 - RESULTADOS DOS ENSAIOS COM VIZINHANÇA PARA O MOMENTO FLETOR..... | 105 |
| 4.4.1 - Resultados obtidos com a Vizinhança V1..... | 105 |
| 4.4.2 - Resultados obtidos com a Vizinhança V2..... | 108 |
| 4.4.3 - Resultados obtidos com a Vizinhança V3..... | 111 |
| 4.4.4 - Resultados obtidos com a Vizinhança V4..... | 115 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4.5 - Resultados obtidos com a Vizinhança V5..... | 119 |
| 4.4.6 - Resultados obtidos com a Vizinhança V6..... | 123 |
| 4.4.7 - Resultados obtidos com a Vizinhança V7..... | 127 |
| 4.4.8 - Resultados obtidos com a Vizinhança V8..... | 130 |
| 4.4.9 - Resultados obtido pelo coeficiente de momento fletor para todas as vizinhanças | 133 |
| 4.5 - RESULTADOS DOS ENSAIOS COM VIZINHANÇA PARA A FORÇA RESULTANTE | 135 |
| 4.5.1 - Resultados obtidos com a Vizinhança V1..... | 135 |
| 4.5.2 - Resultados obtidos com a Vizinhança V2..... | 138 |
| 4.5.3 - Resultados obtidos com a Vizinhança V3..... | 142 |
| 4.5.4 - Resultados obtidos com a Vizinhança V4..... | 146 |
| 4.5.5 - Resultados obtidos com a Vizinhança V5..... | 149 |
| 4.5.6 - Resultados obtidos com a Vizinhança V6..... | 153 |
| 4.5.7 - Resultados obtidos com a Vizinhança V7..... | 158 |
| 4.5.8 - Resultados obtidos com a Vizinhança V8..... | 161 |
| 4.5.9 - Resultados do FV obtido pelo coeficiente de força resultante para todas as vizinhanças..... | 165 |
| 4.6 - CÁLCULO DO FATOR DE VIZINHANÇA SEGUNDO ANEXO G DA NBR 6123/1998..... | 167 |
| 4.7 - CÁLCULO E COMPARAÇÃO DAS EXCENTRICIDADES CALCULADAS TANTO A PARTIR DA NBR 6123/1988 QUANTO DOS DADOS EXPERIMENTAIS..... | 174 |
| 4.8 - RESULTADOS FINAIS | 185 |
| 4.8.1 - Resultados dos ensaios com vizinhança..... | 185 |
| 5 - CONCLUSÕES | 191 |
| 5.1 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 192 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 196 |
| APÊNDICES..... | 202 |
| A - ARRANHA-CÉUS..... | 202 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| B - CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ARRASTO A PARTIR DA NBR 6123/1988 | 214 |
| C - COEFICIENTES EXPERIMENTAIS DE TORÇÃO, DE FORÇA RESULTANTE E DE MOMENTO FLETOR DO EDIFÍCIO ISOLADO E DE TODAS AS VIZINHANÇAS ENSAIADAS | 216 |
| D - SOLICITAÇÕES E RESPECTIVOS FV PARA O EDIFÍCIO ISOLADO E TODAS AS VIZINHANÇAS PROPOSTAS | 223 |
| E - COEFICIENTE E RESPECTIVOS FV PARA O EDIFÍCIO ISOLADO E TODAS AS VIZINHANÇAS PROPOSTAS ORGANIZADAS PELOS ÂNGULOS DE INCIDÊNCIA DO VENTO | 266 |
| F - PLANILHA DOS FV E RESPECTIVOS COEFICIENTES PARA O EDIFÍCIO ISOLADO E TODAS AS VIZINHANÇAS ORGANIZADAS POR VIZINHANÇA | 304 |
| ANEXO A - ANEXO G DA NBR 6123/1988 | 318 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1.1 – Fatores de influência de acordo com a direção do vento/carregamento..... | 8 |
| Tabela 2.1 – Influência das proporções na classificação da edificação paralelepipedica..... | 22 |
| Tabela 2.2 – Influência das proporções no coeficiente de arrasto..... | 24 |
| Tabela 2.3 – Coeficiente de Momento Fletor das vizinhanças V7 e V8..... | 41 |
| Tabela 4.1 – Valores dos coeficientes aerodinâmicos do edifício CAARC isolado, ponto a ponto, por zona de influência..... | 71 |
| Tabela 4.2 – Valores dos coeficientes aerodinâmicos do edifício isolado..... | 75 |
| Tabela 4.3 – Valores de s/d para cada vizinhança..... | 172 |
| Tabela 4.4 – Valores interpolados do FV para s/d fora do valor da norma..... | 173 |
| Tabela 4.5 – Excentricidade do túnel da direção a , em metros..... | 176 |
| Tabela 4.6 – Excentricidade do túnel na direção b | 177 |
| Tabela 4.7 – Tabela resumo..... | 185 |
| Tabela 4.8 – Tabela resumo (cont.)..... | 185 |
| Tabela C.1– Coeficiente de torção para o edifício isolado..... | 216 |
| Tabela C.2– Coeficiente de força resultante para o edifício isolado..... | 216 |
| Tabela C.3– Coeficiente de momento fletor para o edifício isolado..... | 216 |
| Tabela C.4– Coeficiente de torção para V1..... | 217 |
| Tabela C.5– Coeficiente de força resultante para V1..... | 217 |
| Tabela C.6– Coeficiente de momento fletor para V1..... | 217 |
| Tabela C.7– Coeficiente de torção para V2..... | 218 |
| Tabela C.8– Coeficiente de força resultante para V2..... | 218 |
| Tabela C.9– Coeficiente de momento fletor para V2..... | 218 |
| Tabela C.10– Coeficiente de torção para V3..... | 218 |
| Tabela C.11– Coeficiente de força resultante para V3..... | 218 |
| Tabela C.12– Coeficiente de momento fletor para V3..... | 219 |
| Tabela C.13– Coeficiente de torção para V4..... | 219 |
| Tabela C.14– Coeficiente de força resultante para V4..... | 219 |
| Tabela C.15– Coeficiente de momento fletor para V4..... | 219 |
| Tabela C.16– Coeficiente de torção para V5..... | 220 |
| Tabela C.17– Coeficiente de força resultante para V5..... | 220 |
| Tabela C.18– Coeficiente de momento fletor para V5..... | 220 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela C.19– Coeficiente de torção para V6..... | 221 |
| Tabela C.20– Coeficiente de força resultante para V6..... | 221 |
| Tabela C.21– Coeficiente de momento fletor para V6..... | 221 |
| Tabela C.22– Coeficiente de torção para V7..... | 221 |
| Tabela C.23– Coeficiente de força resultante para V7..... | 221 |
| Tabela C.24– Coeficiente de momento fletor para V7..... | 222 |
| Tabela C.25– Coeficiente de torção para V8..... | 222 |
| Tabela C.26– Coeficiente de força resultante para V8..... | 222 |
| Tabela C.27– Coeficiente de momento fletor para V8..... | 222 |
| Tabela E.1 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 0°..... | 266 |
| Tabela E.2 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 0°..... | 267 |
| Tabela E.3 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 0°..... | 267 |
| Tabela E.4 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 15°..... | 268 |
| Tabela E.5 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 15°..... | 268 |
| Tabela E.6 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 15°..... | 269 |
| Tabela E.7 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 30°..... | 270 |
| Tabela E.8 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 30°..... | 270 |
| Tabela E.9 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 30°..... | 271 |
| Tabela E.10 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 45°..... | 271 |
| Tabela E.11 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 45°..... | 272 |
| Tabela E.12 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 45°..... | 272 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela E.13 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 60° | 273 |
| Tabela E.14 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 60° | 273 |
| Tabela E.15 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 60° | 273 |
| Tabela E.16 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 75° | 273 |
| Tabela E.17 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 75° | 273 |
| Tabela E.18 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 75° | 275 |
| Tabela E.19 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 90° | 275 |
| Tabela E.20 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 90° | 276 |
| Tabela E.21 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 90° | 276 |
| Tabela E.22 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 105° | 277 |
| Tabela E.23 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 105° | 277 |
| Tabela E.24 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 105° | 278 |
| Tabela E.25 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 120° | 278 |
| Tabela E.26 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 120° | 279 |
| Tabela E.27 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 120° | 279 |
| Tabela E.28 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 135° | 280 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela E.29 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 135°..... | 280 |
| Tabela E.30 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 135°..... | 281 |
| Tabela E.31 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 150°..... | 281 |
| Tabela E.32 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 150°..... | 282 |
| Tabela E.33 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 150°..... | 282 |
| Tabela E.34 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 165°..... | 283 |
| Tabela E.35 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 165°..... | 283 |
| Tabela E.36 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 165°..... | 284 |
| Tabela E.37 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 180°..... | 284 |
| Tabela E.38 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 180°..... | 285 |
| Tabela E.39 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 180°..... | 285 |
| Tabela E.40 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 195°..... | 286 |
| Tabela E.41 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 195°..... | 286 |
| Tabela E.42 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 195°..... | 287 |
| Tabela E.43 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 210°..... | 287 |
| Tabela E.44 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 210°..... | 288 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela E.45 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 210°..... | 288 |
| Tabela E.46 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 225°..... | 289 |
| Tabela E.47 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 225°..... | 289 |
| Tabela E.48 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 225°..... | 290 |
| Tabela E.49 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 240°..... | 290 |
| Tabela E.50 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 240°..... | 291 |
| Tabela E.51 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 240°..... | 291 |
| Tabela E.52 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 255°..... | 292 |
| Tabela E.53 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 255°..... | 292 |
| Tabela E.54 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 255°..... | 293 |
| Tabela E.55 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 270°..... | 293 |
| Tabela E.56 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 270°..... | 294 |
| Tabela E.57 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 270°..... | 294 |
| Tabela E.58 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 285°..... | 295 |
| Tabela E.59 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 285°..... | 295 |
| Tabela E.60 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 285°..... | 296 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela E.61 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 300°..... | 296 |
| Tabela E.62 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 300°..... | 297 |
| Tabela E.63 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 300°..... | 297 |
| Tabela E.64 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 315°..... | 298 |
| Tabela E.65 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 315°..... | 298 |
| Tabela E.66 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 315°..... | 299 |
| Tabela E.67 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 330°..... | 299 |
| Tabela E.68 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 330°..... | 300 |
| Tabela E.69 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 330°..... | 300 |
| Tabela E.70 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de torção de todas as vizinhanças com incidência do vento a 345°..... | 301 |
| Tabela E.71 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de força resultante de todas as vizinhanças com incidência do vento a 345°..... | 301 |
| Tabela E.72 – Valores dos FV calculado pelo coeficiente de momento fletor de todas as vizinhanças com incidência do vento a 345°..... | 302 |
| Tabela F.1 – Valores dos coeficientes de torção do edifício isolado | 304 |
| Tabela F.2 – Valores coeficientes de força resultante do edifício isolado | 304 |
| Tabela F.3 – Valores coeficientes de momento fletor do edifício isolado | 304 |
| Tabela F.4 – Valores dos coeficientes de torção, C_t , de V1 | 305 |
| Tabela F.5 – Valores coeficientes de força resultante, C_{Fi} , de V1 | 305 |
| Tabela F.6 – Valores coeficientes de momento fletor, C_{Mi} , de V1..... | 305 |
| Tabela F.7 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V1 | 305 |
| Tabela F.8 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V1 | 306 |
| Tabela F.9 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V1 | 306 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela F.10 – Valores dos coeficientes de torção, C_t , de V2..... | 306 |
| Tabela F.11 – Valores dos coeficientes de força resultante, C_{Fi} , de V2..... | 307 |
| Tabela F.12 – Valores dos coeficientes de momento fletor, C_{Mi} , de V2..... | 307 |
| Tabela F.13 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V2..... | 307 |
| Tabela F.14 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V2..... | 307 |
| Tabela F.15 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V2..... | 308 |
| Tabela F.16 – Valores dos coeficientes de torção, C_t , de V3..... | 308 |
| Tabela F.17 – Valores dos coeficientes de força resultante, C_{Fi} , de V3..... | 308 |
| Tabela F.18 – Valores dos coeficientes de momento fletor, C_{Mi} , de V3..... | 308 |
| Tabela F.19 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V3..... | 309 |
| Tabela F.20 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V3..... | 309 |
| Tabela F.21 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V3..... | 309 |
| Tabela F.22 – Valores dos coeficientes de torção, C_t , de V4..... | 310 |
| Tabela F.23 – Valores dos coeficientes de força resultante, C_{Fi} , de V4..... | 310 |
| Tabela F.24 – Valores dos coeficientes de momento fletor, C_{Mi} , de V4..... | 310 |
| Tabela F.25 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V4..... | 310 |
| Tabela F.26 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V4..... | 310 |
| Tabela F.27 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V4..... | 311 |
| Tabela F.28 – Valores dos coeficientes de torção, C_t , de V5..... | 311 |
| Tabela F.29 – Valores dos coeficientes de força resultante, C_{Fi} , de V5..... | 311 |
| Tabela F.30 – Valores dos coeficientes de momento fletor, C_{Mi} , de V5..... | 312 |
| Tabela F.31 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V5..... | 312 |
| Tabela F.32 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V5..... | 312 |
| Tabela F.33 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V5..... | 312 |
| Tabela F.34 – Valores dos coeficientes de torção, C_t , de V6..... | 313 |
| Tabela F.35 – Valores dos coeficientes de força resultante, C_{Fi} , de V6..... | 313 |
| Tabela F.36 – Valores dos coeficientes de momento fletor, C_{Mi} , de V6..... | 313 |
| Tabela F.37 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V6..... | 313 |
| Tabela F.38 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V6..... | 314 |
| Tabela F.39 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V6..... | 314 |
| Tabela F.40 – Valores dos coeficientes de torção, C_t , de V7..... | 314 |
| Tabela F.41 – Valores dos coeficientes de força resultante, C_{Fi} , de V7..... | 314 |
| Tabela F.42 – Valores dos coeficientes de momento fletor, C_{Mi} , de V7..... | 315 |
| Tabela F.43 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V7..... | 315 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela F.44 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V7 | 315 |
| Tabela F.45 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V7 | 316 |
| Tabela F.46 – Valores dos coeficientes de torção, C_t , de V8 | 316 |
| Tabela F.47 – Valores dos coeficientes de força resultante, C_{Fi} , de V8..... | 316 |
| Tabela F.48 – Valores dos coeficientes de momento fletor, C_{Mi} , de V8..... | 316 |
| Tabela F.49 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V8..... | 317 |
| Tabela F.50 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V8..... | 317 |
| Tabela F.51 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V8 | 317 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 – Edifícios em estudo, isolado e com vizinhança | 3 |
| Figura 1.2 – Fator de interferência proposto para torres de resfriamento | 5 |
| Figura 1.3 – Disposição e fator de interferência proposto para torres de resfriamento | 6 |
| Figura 1.4 – Vizinhança ensaiada por Cho et al | 8 |
| Figura 2.1 – Fotografia do interior do túnel de vento mostrando a simulação da rugosidade do terreno | 17 |
| Figura 2.2 – Efeito Venturi..... | 17 |
| Figura 2.3 – Componentes do vetor velocidade | 19 |
| Figura 2.4 – Categorias para a classificação de uma edificação alta..... | 21 |
| Figura 2.5 –Influência das dimensões do edifício no comportamento do vento | 23 |
| Figura 2.6 – Influência no coeficiente de arrasto | 23 |
| Figura 2.7 – Variação da velocidade do vento com a altura..... | 25 |
| Figura 2.8 – Desprendimento de vórtices | 26 |
| Figura 2.9 – Catedral de Ulm, Alemanha..... | 28 |
| Figura 2.10 – Leis de semelhança | 30 |
| Figura 2.11 – Modelos simplificados do funcionamento de um arranha-céu | 36 |
| Figura 2.12 – Exemplos da evolução dos sistemas estruturais utilizados ao longo da história da construção dos arranha-céus | 37 |
| Figura 2.13 – Evolução do sistema estrutural – tomados uma mesma escala gráfica | 38 |
| Figura 2.14 –Exemplos de investigação de formas aerodinâmicas | 39 |
| Figura 2.15 –Imperial Tower..... | 40 |
| Figura 2.16 – Vizinhanças ensaiadas..... | 41 |
| Figura 2.17 –Aumento de cargas torcionais de dois dos onze edificios testados com vizinhança, comparando os resultados previstos nas normas brasileira, canadense e alemã | 45 |
| Figura 2.18 – Alteração dos coeficientes aerodinâmicos a partir da inserção de vizinhança | 46 |
| Figura 2.19 – Efeitos de vizinhança | 47 |
| Figura 2.20 – Coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas | 48 |
| Figura 3.1 – Vista da parte externa da câmara de ensaios do túnel de vento | 52 |
| Figura 3.2 – Planta baixa do circuito aerodinâmico do túnel de vento | 53 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.3 – Características do vento deslizando e turbulento simulado com expoente $p=0,23$ | 54 |
| Figura 3.4 – Equipamentos de leitura de dados..... | 55 |
| Figura 3.5 – Alguns dispositivos de geração das diferentes camadas limite do túnel de vento..... | 56 |
| Figura 3.6 – Dispositivos a barlavento e blocos no piso para a simulação adequada de velocidade e turbulência..... | 56 |
| Figura 3.7 – CAARC..... | 58 |
| Figura 3.8 – Fachadas 1 e 2 do CAARC e o respectivo posicionamento das tomadas de pressão..... | 59 |
| Figura 3.9 – Fachadas 3 e 4 do CAARC e o respectivo posicionamento das tomadas de pressão..... | 60 |
| Figura 3.10 – Tomadas de pressão..... | 61 |
| Figura 3.11 – Detalhes dos modelos..... | 62 |
| Figura 3.12 – Tomadas de pressão no CAARC..... | 64 |
| Figura 3.13 – Edifício isolado..... | 64 |
| Figura 3.14 – Sequência de inserção dos edifícios do primeiro e segundo experimentos, em planta e em perspectiva..... | 66 |
| Figura 3.15 – Sequência de inserção dos edifícios do terceiro e quarto experimentos, em planta e em perspectiva..... | 66 |
| Figura 3.16 – Sequência de inserção dos edifícios do quinto e sexto experimentos, em planta e em perspectiva..... | 67 |
| Figura 3.17 – Sequência de inserção dos edifícios do sétimo e oitavo experimentos, em planta e em perspectiva..... | 68 |
| Figura 3.18 – Ensaio experimental do edifício isolado..... | 69 |
| Figura 3.19 – Sequência de ensaios da Vizinhança 1..... | 69 |
| Figura 4.1 – Coeficientes da malha base organizados pelo ângulo de incidência: a) coeficiente de força por fachada; b) coeficiente de torção..... | 78 |
| Figura 4.2 – Coeficientes da malha base organizados pelo ângulo de incidência: a) coeficiente de força resultante; b) coeficiente de momento fletor..... | 78 |
| Figura 4.3 – a) Vizinhança V1; b) Vizinhança V2..... | 79 |
| Figura 4.4 – C_t : a) edifício isolado; b) de V1..... | 80 |
| Figura 4.5 – FV pelo C_t de V1..... | 80 |
| Figura 4.6 – Momento torçor da Vizinhança V1..... | 81 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.7 – FV calculados pelo coeficiente de torção da Vizinhaça V1..... | 81 |
| Figura 4.8 – Ct: a) edifício isolado; b) V2..... | 83 |
| Figura 4.9 – FV pelo Ct de V2 | 84 |
| Figura 4.10 – Momento torçor da Vizinhaça V2..... | 84 |
| Figura 4.11 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V2..... | 85 |
| Figura 4.12 –a) Vizinhaça V3; b) Vizinhaça V4..... | 86 |
| Figura 4.13 – Ct: a) edifício isolado; b) de V3..... | 87 |
| Figura 4.14 – FV calculado pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V3 | 87 |
| Figura 4.15 – Momento torçor da Vizinhaça V3..... | 87 |
| Figura 4.16 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V3..... | 88 |
| Figura 4.17 – Ct: a) edifício isolado; b) de V4..... | 90 |
| Figura 4.18 – FV pelo Ct de V4 | 90 |
| Figura 4.19 – Momento torçor da Vizinhaça V4..... | 90 |
| Figura 4.20 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V4..... | 91 |
| Figura 4.21 – Ct: a) edifício isolado; b) de V5..... | 92 |
| Figura 4.22 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V5..... | 93 |
| Figura 4.23 – Momento torçor da Vizinhaça V5..... | 93 |
| Figura 4.24 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V5..... | 94 |
| Figura 4.25 – Ct: a) edifício isolado; b) de V6..... | 95 |
| Figura 4.26 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V6..... | 96 |
| Figura 4.27 – Momento torçor da Vizinhaça V6..... | 96 |
| Figura 4.28 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V6..... | 97 |
| Figura 4.29 – a) Vizinhaça V7; b) Vizinhaça V8..... | 98 |
| Figura 4.30 – Ct: a) edifício isolado; b) de V7..... | 99 |
| Figura 4.31 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V7..... | 99 |
| Figura 4.32 – Momento torçor da Vizinhaça V7..... | 100 |
| Figura 4.33 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V7..... | 100 |
| Figura 4.34 – Ct: a) edifício isolado; b) de V8..... | 101 |
| Figura 4.35 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V8..... | 102 |
| Figura 4.36 – Momento torçor da Vizinhaça V8..... | 102 |
| Figura 4.37 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V8..... | 103 |
| Figura 4.38 – FV pelo Ct de todas as vizinhaças | 104 |
| Figura 4.39 – a) Vizinhaça V1; b) Vizinhaça V2..... | 105 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.40 – FV calculados para a Vizinhança V1 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 105 |
| Figura 4.41 – Momento fletor para a Vizinhança V1..... | 106 |
| Figura 4.42 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V1: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 107 |
| Figura 4.43 – FV calculados para a Vizinhança V1, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 107 |
| Figura 4.44 – FV calculados para a Vizinhança V1 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 109 |
| Figura 4.45 – Momento fletor para a Vizinhança V2..... | 109 |
| Figura 4.46 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V2: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 110 |
| Figura 4.47 – FV calculados para a Vizinhança V1, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 111 |
| Figura 4.48 – a) Vizinhança V3; b) Vizinhança V4..... | 112 |
| Figura 4.49 – FV calculados para a Vizinhança V3 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 113 |
| Figura 4.50 – Momento fletor para a Vizinhança V3..... | 113 |
| Figura 4.51 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V3: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 114 |
| Figura 4.52 – FV calculados para a Vizinhança V3, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 115 |
| Figura 4.53 – FV calculados para a Vizinhança V4 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 116 |
| Figura 4.54 – Momento fletor da Vizinhança V4..... | 117 |
| Figura 4.55 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V4: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 117 |
| Figura 4.56 – FV calculados para a Vizinhança V4, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 118 |
| Figura 4.57 – a) Vizinhança V5; b) Vizinhança V7..... | 119 |
| Figura 4.58 – FV calculados para a Vizinhança V5 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 120 |
| Figura 4.59 – Momento fletor para a Vizinhança V5..... | 121 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.60 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V5: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 122 |
| Figura 4.61 – FV calculados para a Vizinhança V5, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 123 |
| Figura 4.62 – FV calculados para a Vizinhança V6 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 124 |
| Figura 4.63 – Momento fletor para a Vizinhança V6..... | 125 |
| Figura 4.64 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V6: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 125 |
| Figura 4.65 – FV calculados para a Vizinhança V6, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 126 |
| Figura 4.66 – a) Vizinhança V7; b) Vizinhança V8..... | 127 |
| Figura 4.67 – FV calculados para a Vizinhança V7 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 128 |
| Figura 4.68 – Momento fletor para a Vizinhança V7..... | 128 |
| Figura 4.69 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V7 pelo coeficiente de momento fletor em x, C_{Mx} | 129 |
| Figura 4.70 – FV calculados para a Vizinhança V7, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 130 |
| Figura 4.71 – FV calculados para a Vizinhança V8 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 131 |
| Figura 4.72 – Momento fletor para a Vizinhança V8..... | 131 |
| Figura 4.73 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V8: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 132 |
| Figura 4.74 – FV calculados para a Vizinhança V7, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 133 |
| Figura 4.75 – Resumos dos resultados dos FV calculado pelos coeficientes de momento fletor em x e em y de todas as vizinhanças propostas a) C_{Mx} ; b) C_{My} | 135 |
| Figura 4.76 – a) Vizinhança V1; b) Vizinhança V2..... | 135 |
| Figura 4.77 – FV calculados para a Vizinhança V1 pelos coeficientes de força: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 136 |
| Figura 4.78 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V1..... | 136 |
| Figura 4.79 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V7 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 137 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.80 – FV calculados para a Vizinhança V1, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 138 |
| Figura 4.81 – FV calculados para a Vizinhança V1 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} . | 139 |
| Figura 4.82 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V2 | 140 |
| Figura 4.83 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V2: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 140 |
| Figura 4.84 – FV calculados para a Vizinhança V2, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 141 |
| Figura 4.85 – a) Vizinhança V3; b) Vizinhança V4..... | 142 |
| Figura 4.86 – FV calculados para a Vizinhança V3 pelos coeficientes de força: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 143 |
| Figura 4.87 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V3 | 143 |
| Figura 4.88 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V3 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 144 |
| Figura 4.89 – FV calculados para a Vizinhança V3, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 145 |
| Figura 4.90 – FV calculados para a Vizinhança V4 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} . | 147 |
| Figura 4.91 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V4 | 147 |
| Figura 4.92 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V4: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 148 |
| Figura 4.93 – FV calculados para a Vizinhança V4, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 149 |
| Figura 4.94 – a) Vizinhança V5; b) Vizinhança V6 | 150 |
| Figura 4.95 – FV calculados para a Vizinhança V5 pelos coeficientes de força: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 151 |
| Figura 4.96 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V5 | 151 |
| Figura 4.97 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V5 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 152 |
| Figura 4.98 – FV calculados para a Vizinhança V5, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 153 |
| Figura 4.99 – FV calculados para a Vizinhança V6 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} . | 154 |
| Figura 4.100 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V6 | 155 |
| Figura 4.101 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V6: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 156 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.102 – FV calculados para a Vizinhança V6, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 157 |
| Figura 4.103 – a) Vizinhança V7; b) Vizinhança V8..... | 158 |
| Figura 4.104 – FV calculados para a Vizinhança V7 pelos coeficientes de força: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 159 |
| Figura 4.105 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V7 | 159 |
| Figura 4.106 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V7 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 160 |
| Figura 4.107 – FV calculados para a Vizinhança V7, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 161 |
| Figura 4.108 – FV calculados para a Vizinhança V8 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 162 |
| Figura 4.109 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V8..... | 162 |
| Figura 4.110 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V8: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 163 |
| Figura 4.111 – FV calculados para a Vizinhança V8, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 164 |
| Figura 4.112 – Resumos dos resultados dos FV calculado pelos coeficientes de força resultante em x e em y de todas as vizinhanças propostas a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} | 166 |
| Figura 4.113 – Distância s para os ventos 0^0 , 90^0 , 180^0 e 270^0 na vizinhança V1..... | 167 |
| Figura 4.114 – Distância s para os ventos 0^0 , 90^0 , 180^0 e 270^0 na vizinhança V2..... | 168 |
| Figura 4.115 – Distância s para os ventos 0^0 , 90^0 , 180^0 e 270^0 na vizinhança V3..... | 168 |
| Figura 4.116 – Distância s para os ventos 0^0 , 90^0 , 180^0 e 270^0 na vizinhança V4..... | 169 |
| Figura 4.117 – Distância s para os ventos 0^0 , 90^0 , 180^0 e 270^0 na vizinhança V5..... | 169 |
| Figura 4.118 – Distância s para os ventos 0^0 , 90^0 , 180^0 e 270^0 na vizinhança V6..... | 170 |
| Figura 4.119 – Distância s para os ventos 0^0 , 90^0 , 180^0 e 270^0 na vizinhança V7..... | 171 |
| Figura 4.120 – Distância s para os ventos 0^0 , 90^0 , 180^0 e 270^0 na vizinhança V8..... | 171 |
| Figura 4.121 – Coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência..... | 174 |
| Figura 4.122 – Excentricidade do túnel <i>versus</i> NBR da malha base (edifício isolado) na direção a | 178 |
| Figura 4.123 – Excentricidade túnel x NBR na direção a: a) V1; b) V2..... | 179 |
| Figura 4.124 – Excentricidade túnel x NBR na direção a: a) V3; b) V4..... | 179 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.125 – Excentricidade túnel x NBR na direção a: a) V5; b) V6..... | 180 |
| Figura 4.126 – Excentricidade túnel x NBR na direção a: a) V7; b) V8..... | 181 |
| Figura 4.127 – Excentricidade túnel <i>versus</i> NBR da malha base (edifício isolado) na direção b | 181 |
| Figura 4.128 – Excentricidade túnel x NBR na direção b: a) V1; b) V2 | 182 |
| Figura 4.129 – Excentricidade túnel x NBR na direção b: a) V3; b) V4 | 182 |
| Figura 4.130 – Excentricidade túnel x NBR na direção b: a) V5; b) V6 | 183 |
| Figura 4.131 – Excentricidade túnel x NBR na direção b: a) V7; b) V8 | 184 |
| Figura 4.132 – Valores dos FV de todas as vizinhanças: a) máximos; b) mínimos..... | 187 |
| Figura 4.133 – Ângulos: a) valores máximos para V1; b) valores mínimos para V1; c) valores máximos para V2; d) valores mínimos para V2; e) valores máximos para V3; f) valores mínimos para V3..... | 188 |
| Figura 4.134 – Ângulos: a) valores máximos para V4; b) valores mínimos para V4; c) valores máximos para V5; d) valores mínimos para V5; e) valores máximos para V6; f) valores mínimos para V6..... | 189 |
| Figura 4.135 – Ângulos: a) valores máximos para V7; b) valores mínimos para V7; c) valores máximos para V8; d) valores mínimos para V8 | 190 |
| Figura 5.1 – Máximos e mínimos valores dos FV calculados pelo coeficiente de força resultante por fachada..... | 193 |
| Figura 5.2 – Vizinhanças propostas com afastamento | 194 |
| Figura 5.3 – Arranha-céus e imagens de grandes metrópoles | 195 |
| Figura B.1 – Edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência | 214 |
| Figura C.1 – Edifício isolado na mesa de ensaios | 216 |
| Figura C.2 – Vizinhança V1 na mesa de ensaios | 217 |
| Figura C.3 – Vizinhança V2 na mesa de ensaios | 217 |
| Figura C.4 – Vizinhança V3 na mesa de ensaios | 218 |
| Figura C.5 – Vizinhança V4 na mesa de ensaios | 219 |
| Figura C.6 – Vizinhança V5 na mesa de ensaios | 220 |
| Figura C.7 – Vizinhança V6 na mesa de ensaios | 220 |
| Figura C.8 – Vizinhança V7 na mesa de ensaios | 221 |
| Figura C.9 – Vizinhança V8 na mesa de ensaios | 222 |
| Figura D.1 – Edifício isolado na mesa de ensaios..... | 223 |
| Figura D.2 – C_t do Edifício isolado | 223 |
| Figura D.3 – C_{Fi} do Edifício isolado | 224 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura D.4 – C_{Mi} do Edifício isolado..... | 224 |
| Figura D.5 – Vizinhança V1 na mesa de ensaios | 225 |
| Figura D.6 – C_t de V1..... | 225 |
| Figura D.7 – FV calculado pelo C_t de V1 | 225 |
| Figura D.8 – C_{Fi} de V1 | 226 |
| Figura D.9 – FV calculado pelo C_{Fi} de V1 | 227 |
| Figura D.10 – FV calculado pelo C_{Fi} de V1 sem os valores de pico..... | 228 |
| Figura D.11 – C_{Mi} de V1 | 228 |
| Figura D.12 – FV calculado pelo C_{Mi} de V1 | 229 |
| Figura D.13 – FV calculado pelo C_{Mi} de V1 sem os valores de pico..... | 229 |
| Figura D.14 – Vizinhança V2 na mesa de ensaios | 230 |
| Figura D.15 – C_t de V2..... | 230 |
| Figura D.16 – FV calculado pelo C_t de V2 | 230 |
| Figura D.17 – FV calculado pelo C_t de V2 sem os valores de pico | 231 |
| Figura D.18 – C_{Fi} de V2 | 231 |
| Figura D.19 – FV calculado pelo C_{Fi} de V2 | 232 |
| Figura D.20 – FV calculado pelo C_{Fi} de V2 sem os valores de pico..... | 233 |
| Figura D.21 – C_{Mi} de V2 | 234 |
| Figura D.22 – FV calculado pelo C_{Mi} de V2 | 234 |
| Figura D.23 – FV calculado pelo C_{Mi} de V2 sem os valores de pico..... | 235 |
| Figura D.24 – Vizinhança V3 na mesa de ensaios | 235 |
| Figura D.25 – C_t de V3..... | 236 |
| Figura D.26 – FV calculado pelo C_t de V3 | 236 |
| Figura D.27 – FV calculado pelo C_t de V3 sem os valores de pico | 236 |
| Figura D.28 – C_{Fi} de V3 | 237 |
| Figura D.29 – FV calculado pelo C_{Fi} de V3 | 237 |
| Figura D.30 – FV calculado pelo C_{Fi} de V3 sem os valores de pico..... | 238 |
| Figura D.31 – C_{Mi} de V3 | 239 |
| Figura D.32 – FV calculado pelo C_{Mi} de V3 | 239 |
| Figura D.33 – FV calculado pelo C_{Mi} de V3 sem os valores de pico..... | 240 |
| Figura D.34 – Vizinhança V4 na mesa de ensaios | 240 |
| Figura D.35 – C_t de V4..... | 241 |
| Figura D.36 – FV calculado pelo C_t de V4 | 241 |
| Figura D.37 – FV calculado pelo C_t de V4 sem os valores de pico | 241 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura D.38 – C_{Fi} de V4 | 242 |
| Figura D.39 – FV calculado pelo C_{Fi} de V4 | 243 |
| Figura D.40 – FV calculado pelo C_{Fi} de V3 sem os valores de pico | 243 |
| Figura D.41 – C_{Mi} de V4 | 244 |
| Figura D.42 – FV calculado pelo C_{Mi} de V4 | 244 |
| Figura D.43 – FV calculado pelo C_{Mi} de V4 sem os valores de pico | 245 |
| Figura D.44 – Vizinhança V5 na mesa de ensaios | 245 |
| Figura D.45 – C_t de V5 | 246 |
| Figura D.46 – FV calculado pelo C_t de V5 | 246 |
| Figura D.47 – FV calculado pelo C_t de V5 sem os valores de pico | 246 |
| Figura D.48 – C_{Fi} de V5 | 247 |
| Figura D.49 – FV calculado pelo C_{Fi} de V5 | 248 |
| Figura D.50 – FV calculado pelo C_{Fi} de V5 sem os valores de pico | 248 |
| Figura D.51 – C_{Mi} de V5 | 249 |
| Figura D.52 – FV calculado pelo C_{Mi} de V5 | 249 |
| Figura D.53 – FV calculado pelo C_{Mi} de V5 sem os valores de pico | 250 |
| Figura D.54 – Vizinhança V6 na mesa de ensaios | 250 |
| Figura D.55 – C_t de V6 | 251 |
| Figura D.56 – FV calculado pelo C_t de V6 | 251 |
| Figura D.57 – FV calculado pelo C_t de V6 sem os valores de pico | 251 |
| Figura D.58 – C_{Fi} de V6 | 252 |
| Figura D.59 – FV calculado pelo C_{Fi} de V6 | 252 |
| Figura D.60 – FV calculado pelo C_{Fi} de V6 sem os valores de pico | 253 |
| Figura D.61 – C_{Mi} de V6 | 254 |
| Figura D.62 – FV calculado pelo C_{Mi} de V6 | 254 |
| Figura D.63 – FV calculado pelo C_{Mi} de V6 sem os valores de pico | 255 |
| Figura D.64 – Vizinhança V7 na mesa de ensaios | 255 |
| Figura D.65 – C_t de V7 | 256 |
| Figura D.66 – FV calculado pelo C_t de V7 | 256 |
| Figura D.67 – FV calculado pelo C_t de V7 sem os valores de pico | 256 |
| Figura D.68 – C_{Fi} de V7 | 257 |
| Figura D.69 – FV calculado pelo C_{Fi} de V7 | 258 |
| Figura D.70 – FV calculado pelo C_{Fi} de V6 sem os valores de pico | 258 |
| Figura D.71 – C_{Mi} de V7 | 259 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura D.72 – FV calculado pelo C_{Mi} de V7 | 259 |
| Figura D.73 – FV calculado pelo C_{Mi} de V7 sem os valores de pico | 260 |
| Figura D.74 – Vizinhança V8 na mesa de ensaios | 260 |
| Figura D.75 – C_t de V8..... | 261 |
| Figura D.76 – FV calculado pelo C_t de V8 | 261 |
| Figura D.77 – FV calculado pelo C_t de V8 sem os valores de pico | 261 |
| Figura D.78 – C_{Fi} de V8 | 262 |
| Figura D.79 – FV calculado pelo C_{Fi} de V8 | 262 |
| Figura D.80 – FV calculado pelo C_{Fi} de V8 sem os valores de pico..... | 263 |
| Figura D.81 – C_{Mi} de V8 | 264 |
| Figura D.82 – FV calculado pelo C_{Mi} de V8 | 264 |
| Figura D.83 – FV calculado pelo C_{Mi} de V8 sem os valores de pico | 265 |
| Figura E.1 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 0° | 266 |
| Figura E.2 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 0° | 267 |
| Figura E.3 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 0° | 267 |
| Figura E.4 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 15° | 268 |
| Figura E.5 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 15° | 268 |
| Figura E.6 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 15° | 269 |
| Figura E.7 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 30° | 269 |
| Figura E.8 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 30° | 270 |
| Figura E.9 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 30° | 270 |
| Figura E.10 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 45° | 271 |
| Figura E.11 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 45° | 271 |
| Figura E.12 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 45° | 272 |
| Figura E.13 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 60° | 272 |
| Figura E.14 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 60° | 273 |
| Figura E.15 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 60° | 273 |
| Figura E.16 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 75° | 274 |
| Figura E.17 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 75° | 274 |
| Figura E.18 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 75° | 275 |
| Figura E.19 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 90° | 275 |
| Figura E.20 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 90° | 276 |
| Figura E.21 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 90° | 276 |
| Figura E.22 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 105° | 277 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura E.23 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 105° | 277 |
| Figura E.24 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 105° | 277 |
| Figura E.25 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 120° | 278 |
| Figura E.26 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 120° | 279 |
| Figura E.27 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 120° | 279 |
| Figura E.28 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 135° | 280 |
| Figura E.29 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 135° | 280 |
| Figura E.30 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 135° | 281 |
| Figura E.31 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 150° | 281 |
| Figura E.32 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 150° | 282 |
| Figura E.33 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 150° | 282 |
| Figura E.34 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 165° | 283 |
| Figura E.35 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 165° | 283 |
| Figura E.36 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 165° | 284 |
| Figura E.37 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 180° | 284 |
| Figura E.38 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 180° | 285 |
| Figura E.39 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 180° | 285 |
| Figura E.40 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 195° | 286 |
| Figura E.41 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 195° | 286 |
| Figura E.42 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 195° | 287 |
| Figura E.43 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 210° | 287 |
| Figura E.44 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 210° | 288 |
| Figura E.45 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 210° | 288 |
| Figura E.46– FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 225° | 289 |
| Figura E.47 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 225° | 289 |
| Figura E.48 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 225° | 290 |
| Figura E.49 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 240° | 290 |
| Figura E.50 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 240° | 291 |
| Figura E.51 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 240° | 291 |
| Figura E.52 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 255° | 292 |
| Figura E.53 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 255° | 292 |
| Figura E.54 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 255° | 293 |
| Figura E.55 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 270° | 293 |
| Figura E.56 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 270° | 294 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura E.57 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 270° | 294 |
| Figura E.58 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 285° | 295 |
| Figura E.59 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 285° | 295 |
| Figura E.60 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 285° | 296 |
| Figura E.61 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 300° | 296 |
| Figura E.62 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 300° | 297 |
| Figura E.63 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 300° | 297 |
| Figura E.64 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 315° | 298 |
| Figura E.65 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 315° | 298 |
| Figura E.66 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 315° | 299 |
| Figura E.67 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 330° | 299 |
| Figura E.68 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 330° | 300 |
| Figura E.69 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 330° | 300 |
| Figura E.70 – FV calculado pelo C_t com incidência do vento a 345° | 301 |
| Figura E.71 – FV calculado pelo C_{Fi} com incidência do vento a 345° | 301 |
| Figura E.72 – FV calculado pelo C_{Mi} com incidência do vento a 345° | 302 |
| Figura AN.1 – Anexo G da norma brasileira de ventos | 318 |

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

| | |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a | - lado maior: a maior dimensão horizontal de uma edificação |
| b | - Lado menor: a menor dimensão horizontal de uma edificação |
| c_a | - Coeficiente de arrasto |
| c_e | - Coeficiente de forma |
| c_{fi} | - Coeficiente de força em relação à fachada i ($i=1,2,3,4$) |
| c_{Fx} | - Coeficiente de força resultante na direção x |
| c_{Fy} | - Coeficiente de força resultante na direção y |
| c_{Mx} | - Coeficiente de momento fletor na direção x |
| c_{My} | - Coeficiente de momento fletor na direção y |
| c_p | - Coeficiente de pressão |
| c_{pe} | - Coeficiente de pressão externa |
| c_t | - Coeficiente de torção |
| C | - Coeficiente aerodinâmico |
| CTBUH | - <i>Council on Tall Buildings and Urban Habitat</i> |
| d | - a menor das duas dimensões: lado menor b; ou semidiagonal $\frac{1}{2}\sqrt{a^2 + b^2}$ |
| e | - excentricidade |
| FV | - Fator de Vizinhança |
| $FV_{f_fachada\ i}$ | - Fator de Vizinhança calculado pelo coeficiente de força por fachada i ($i=1,2,3,4$) |
| FV_{Fx} | - Fator de Vizinhança calculado pelo coeficiente de força resultante em relação ao eixo x |
| FV_{Fy} | - Fator de Vizinhança calculado pelo coeficiente de força resultante em relação ao eixo y |
| FV_t | - Fator de Vizinhança calculado pelo coeficiente de torção |
| FV_{Mx} | - Fator de Vizinhança calculado a partir do coeficiente da componente do Momento Fletor na direção x |
| FV_{My} | - Fator de Vizinhança calculado a partir do coeficiente da componente do Momento Fletor na direção y |
| L | - Comprimento escolhido para caracterizar o corpo em estudo |

| | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| p | - expoente da lei potencial de variação de S_2 |
| q | - pressão dinâmica do vento, correspondente à velocidade característica V_k , em condições normais de pressão (1 atm) e temperatura (15°C) |
| Re | - Número de Reynolds |
| s | - afastamento entre os planos das faces confrontantes de duas edificações altas vizinhas, sendo $a \times b$ as dimensões em planta das edificações ($a \times b$ entre 1x1 e 4x1) |
| S_1 | - Fator topográfico |
| S_2 | - Fator que considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou pare da edificação em estudo, e de sua altura sobre o terreno |
| S_3 | - Fator baseado em conceitos probabilísticos |
| u | - velocidade característica |
| α | - ângulo de incidência do vento |
| ν | - viscosidade cinemática |

TERMINOLOGIA BÁSICA

Tratam-se dos termos e definições básicas presentes ao longo dessa tese, proveniente de livros textos e notas de aula (BRITO, 1998). O termo entre parêntesis refere-se à expressão em inglês.

ARRASTO (*drag*): componente da força global na direção do escoamento.

BARLAVENTO (*windward*): região de onde sopra o vento em relação ao modelo ou a estrutura.

CAMADA LIMITE (*boundary layer*): fina camada nas proximidades da superfície do corpo onde são importantes os efeitos de viscosidade.

DESPRENDIMENTO DE VÓRTICES (*vortex shedding*): fenômeno que se caracteriza por turbilhões que se descolam sucessivamente de um lado e de outro do corpo.

DRAPEJAMENTO (*flutter*): pode ser definido como uma instabilidade dinâmica de corpos elásticos em um escoamento de ar. É geralmente encontrado em corpos sujeitos a grandes cargas aerodinâmicas laterais, do tipo sustentação, tais como asas de aeronaves ou pontes suspensas. Talvez seja um dos problemas aeroelásticos mais característicos. A instabilidade aeroelástica tem origem a partir de certa velocidade do escoamento quando pequenas perturbações de natureza casual induzem oscilações mais ou menos violentas na estrutura, sendo caracterizada pela ação conjunta de forças aerodinâmicas, elásticas ou de inércia. O termo drapejamento é utilizado por alguns autores de maneira ampla englobando qualquer instabilidade oscilatória devida ao vento. Na literatura da aeroelasticidade, entretanto, o termo drapejamento é utilizado de forma mais restrita e atualmente é comum o seu uso com termos adicionais classificatórios, como por exemplo, drapejamentos: clássico, de estol, em um único grau de liberdade e de painéis.

EDIFICAÇÃO OU ESTRUTURA ALTEADA (*tall structure, slender structure*): a altura é preponderante sobre as demais dimensões, largura e profundidade, da edificação.

ESCOAMENTO INCIDENTE (*approaching flow, free stream*): é o escoamento não perturbado que se aproxima do modelo ou da estrutura.

ESCOAMENTO SUAVE (*smooth flow*): escoamento incidente de intensidade de turbulência muito baixa (<1% ou <2%).

ESCOAMENTO TURBULENTO (*turbulent flow*): escoamento incidente de intensidade de turbulência considerável.

ESTEIRA (*wake*): é a zona do fluxo descolado a sotavento das linhas de separação, com turbilhões de tamanhos e velocidades muito variáveis.

GALOPE (*galloping*): o termo galope refere-se ao drapejamento de estruturas, com seção transversal angulosa, em um único grau de liberdade: o movimento transversal ao escoamento. O fenômeno poderá ocorrer para seções transversais que apresentem pontos de separação fixos e que tenham uma certa largura na direção do escoamento. Assim, estruturas com seção quadrada, retangular, triangular e semicircular, além de estarem sujeitas a fortes excitações pelo desprendimento de vórtices são suscetíveis ao galope. O nome galope vem da justificativa dada por Den Hartog para a instabilidade deste tipo ocorrida em linhas de transmissão de energia elétrica cobertas com uma camada de gelo; estas linhas em certas condições oscilam com grandes amplitudes em planos verticais e com baixas frequências.

INTENSIDADE DE TURBULÊNCIA (*turbulence intensity*): é a razão entre o desvio padrão das flutuações da velocidade do escoamento incidente e sua velocidade do escoamento incidente e sua velocidade média.

MARTELAMENTO OU EFEITOS DE GOLPE (*buffeting*): trata-se da excitação de uma estrutura pela turbulência existente na esteira de outra ou outras edificações situadas a barlavento, principalmente pelos vórtices existentes na zona de separação entre esteira e escoamento adjacente.

RUGOSIDADE (*roughness*): refere-se às protuberâncias que podem existir sobre a superfície do modelo ou da estrutura.

SOBREPRESSÃO (*overpressure*): Pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência cujo sinal é positivo (NBR 6123/1988).

SOTAVENTO (*leeward*): região oposta àquela de onde sopra o vento em relação ao modelo ou estrutura.

SUCÇÃO: Pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de referência cujo sinal é negativo (NBR 6123/1988).

SUSTENTAÇÃO (*lift*): componente vertical da força global do vento.

TURBULÊNCIA (*turbulence*): flutuações irregulares da velocidade do escoamento, reguladas por equilíbrio estatístico. No capítulo 2 será discutida com maiores detalhes.

VENTURI (Venturi effect): trata-se de um afinilamento do vento acelerando o fluxo de ar com conseqüente alteração nas pressões.

VÓRTICES DE KÁRMÁN (*Kármán vortices*): fenômeno que se caracteriza por um sucessivo desprendimento alternado e ordenado de turbilhões (que se deslocam periodicamente de um lado e de outro do modelo ou da estrutura).

1 - INTRODUÇÃO

1.1 – GENERALIDADES

A verticalização das cidades tem acontecido cada vez mais nas cidades do mundo todo e isso tem um impacto tanto do ponto de vista de quem mora, circula e projeta os edifícios. Os avanços técnicos desde a época dos entalhes em pedra até o momento atual, das pesquisas em nanotecnologia, têm contribuído para o alcance de materiais mais resistentes e mais leves e, com isso, possibilitado maiores alturas das edificações. Isso, porém, significou mudanças significativas em termos do projeto dos edifícios uma vez que carregamentos laterais provenientes do vento e de abalos sísmicos são diretamente proporcionais a essas.

Essas solicitações suscitaram muitas pesquisas a partir de grandes tragédias ao longo da história da construção provenientes desse carregamento lateral. Investigações para mitigar seus efeitos e a correta absorção e encaminhamento para os elementos estruturais projetados para tanto são soluções para novas demandas do incremento de altura. Especificamente no que se refere ao escopo dessa tese, cujo estudo do carregamento lateral proveniente de vento tem grande importância no âmbito nacional: a discussão de um dos aspectos da norma brasileira que trata das forças devido ao vento em uma edificação, NBR 6123/1988. Em seu Anexo G traz orientações para a consideração dos efeitos de vizinhança como um fator de majoração das solicitações.

Já na década de 1980 Blessmann e Riera (1985) apontavam a crescente preocupação com os efeitos de vizinhança devido ao carregamento de vento. Observaram que desde os anos 30 a influência de edifícios vizinhos era testada em túneis de vento: dois blocos prismáticos foram testados na vizinhança do Empire State Building (Blessmann, 1985) constatando que a carga torsional advindo do vento dobrava seu valor. Em seus estudos Blessmann notou um aumento de 30% em relação ao edifício isolado devido ao efeito de martelamento gerado pelas edificações adjacentes.

Bailey (et al, 1985) apresentam a preocupação de estudos aeroelásticos em edifícios altos na década de 1980 devido aos efeitos causados por edifícios vizinhos. Fatores como a maior esbeltez e o uso de materiais mais leves com o passar do tempo foram citados como fatores que contribuíram muito no aumento de movimentos oscilatórios. Os autores mensuram esses a partir de efeitos de martelamento ressonante, Equação (1-1), constatando que o

carregamento dinâmico apresentou um acréscimo da ordem de 4,4 na parte superior de edifícios altos vizinhos e da ordem de 3,2 na parte inferior desses. O efeito de vizinhança é conhecido em vários casos pelo acréscimo de movimento percebido pelos ocupantes do edifício, gerando desconforto. O fator de martelamento chega à ordem de 2,1 em pontos críticos do edifício. Os autores ainda pontuam que os códigos trazem boas orientações quando o edifício está isolado mas insuficiente sob influência de vizinhança.

$$BF = \frac{\text{momento de tombamento com vizinhança}}{\text{momento de tombamento sem vizinhança}} \quad (1-1)$$

Kareem (1987) estudou o efeito de um edifício prismático em um modelo instrumentalizado de mesmas dimensões. O autor chegou a resultados no comportamento dinâmico do edifício em estudo que demonstram a interação entre os edifícios altos principalmente em áreas costeiras, seguido dos efeitos de áreas suburbanas e, em menor grau, de áreas urbanas: efeitos de martelamento nos edifícios vizinhos devido à proximidade; flutuações das pressões locais; alterações os coeficientes de forças – estáticas e dinâmicas, e na resposta aeroelástica dos modelos ensaiados. O autor apresenta seus resultados em termos de um quociente entre um fator de deslocamento dos modelos vizinhos e outro do modelo isolado, denominado fator de interação. Há uma diminuição desse fator por volta à medida que a velocidade média se aproxima de 5 e volta a aumentar após esse limite.

Blessmann (1992) destaca os efeitos estáticos do vento considerando a influência de edifícios vizinhos em centros urbanos. Esses efeitos podem ser de proteção do edifício em estudo bem como efeitos desfavoráveis, onde os efeitos de momento torçor pode ser aumentado em 100% e o de carregamento lateral em 50%. Os experimentos realizados são duas edificações construídas em São Paulo e no Rio de Janeiro. A interação foi medida em termos de um quociente, denominado fator de vizinhança (FV), entre três coeficientes aerodinâmicos do edifício com vizinhança e do edifício isolado. O autor destaca que pelo coeficiente de momento torçor o edifício de São Paulo teve um aumento significativo de seu FV, 125%. Já o do Rio, em relação ao mesmo fator, teve um efeito de proteção, contando com um FV menor que a unidade.

Taniike (1992) nota a influência em um edifício tanto na presença de edifícios altos vizinhos quanto a alteração de suas dimensões desses. Houve a alteração do fluxo ao redor do edifício em estudo: desprendimentos de vórtices dos edifícios a barlavento daquele em estudo

gerando incremento no momento angular nas quinas do edifício observado. O autor destaca que o desprendimento de vórtices alternados modificou o fluxo do vento em termos da flutuação de sua velocidade; além disso, o estreitamento do espaço entre dois edifícios adjacentes aumentou o desprendimento de vórtice no edifício em estudo.

A importância de seu estudo vai além da resistência estrutural frente às alterações do carregamento lateral do vento mas de possíveis desconfortos gerados em seus ocupantes devido a movimentação da edificação. Os resultados de seus modelos prismáticos retangulares são apresentados em termos de um fator de martelamento, denominado BF, que se trata do quociente entre os coeficientes de forças médias de arrasto e de sustentação pela flutuação dessas do edifício com vizinhança, e daquelas com o edifício isolado, Equação (1-2).

$$BF = \frac{\left(\frac{\text{Coeficientes médios}}{\text{Flutuação dos coeficientes}} \right)_{\text{força de arrasto e sustentação com vizinhança}}}{\left(\frac{\text{Coeficientes médios}}{\text{Flutuação dos coeficientes}} \right)_{\text{força de arrasto e sustentação sem vizinhança}}} \quad (1-2)$$

Para distâncias longitudinais entre os edifícios vizinhos de (3B) até (7B), Figura 1.1, Taniike (1992), ou de (1B) até (4B) encontra BF superiores a 2, ou seja, o fator de martelamento chega a dobrar para distâncias específicas. O autor ainda pontua que para alguns arranjos de vizinhança a frequência natural de uma estrutura poderia gerar respostas ressonantes e constata uma grande sucção nas faces confrontantes de edifícios próximos (na ordem de 1,5B até 4B).

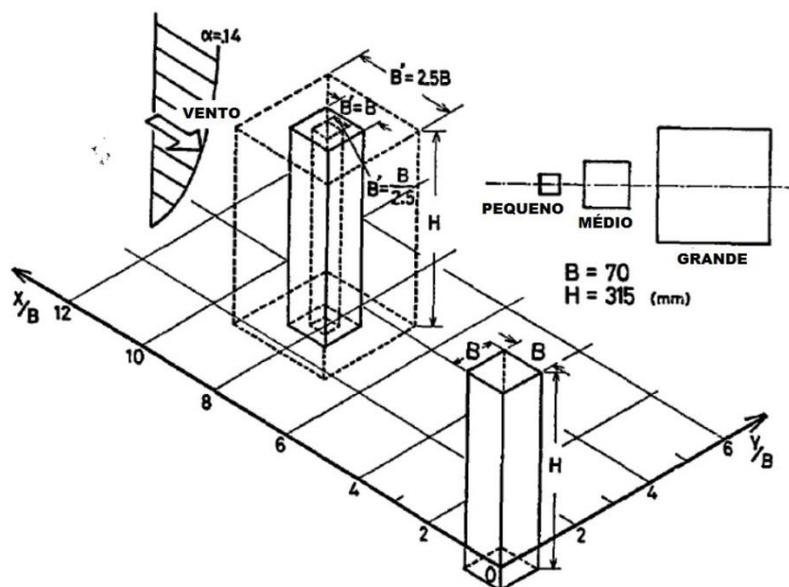


Figura 1.1 – Edifícios em estudo, isolado e com vizinhança (TANIIKE, 1992).

A avaliação dos carregamentos de ventos pelos principais códigos e normas mundiais estão baseados em testes em túnel de vento de edificações isoladas e em terreno aberto. Porém, em situações reais isso não acontece: estruturas vizinhas podem ter o efeito de aumentar ou diminuir esse carregamento dependendo principalmente da geometria e da disposição entre essas estruturas, a orientação em relação ao fluxo do vento e das condições superficiais do terreno. Em comparação alguns desses códigos ou estão contra a segurança, no sentido de subestimar a contribuição dos carregamentos ou estão economicamente inviáveis por ser conservadores na consideração desses.

Niemann & Köpper (1998) estudaram o efeito da interferência de edifícios semelhantes em um mesmo sítio – especificamente, o arranjo de torres de resfriamento. O objetivo do estudo foi identificar a influência desse efeito no momento fletor e nas forças de membrana; como o percurso dessa interferência afeta diferentes áreas da casca; e desenvolver regras simples de aplicação prática no projeto desse tipo de estrutura. A interferência foi medida a partir de um fator de interferência, F_I , mostrado na equação (1-3), que é a razão entre o pico máximo ou mínimo da resposta em estudo do grupo, S_{pG} , e o da torre isolada, S_{pS} .

$$F_I = \frac{S_{pG}}{S_{pS}} \quad (1-3)$$

Como resultado alcançado, na busca de regras práticas está a relação entre o fator de interferência e a tensão de borda, F_{IC} , equação (1-4). Essa relação mostra um acréscimo no reforço nas bordas de 2,5 vezes o caso da torre isolada.

$$F_{IC} = F_I^{3,5} \quad (1-4)$$

Outro resultado foi a relação entre a distância entre as torres, a_c , seu diâmetro, d_m , e altura, e o fator de interferência para a orientação de projetos que obedecem a equação (1-5) e a Figura 1.2,

$$2d_m \leq a_c \leq 5d_m \quad (1-5)$$

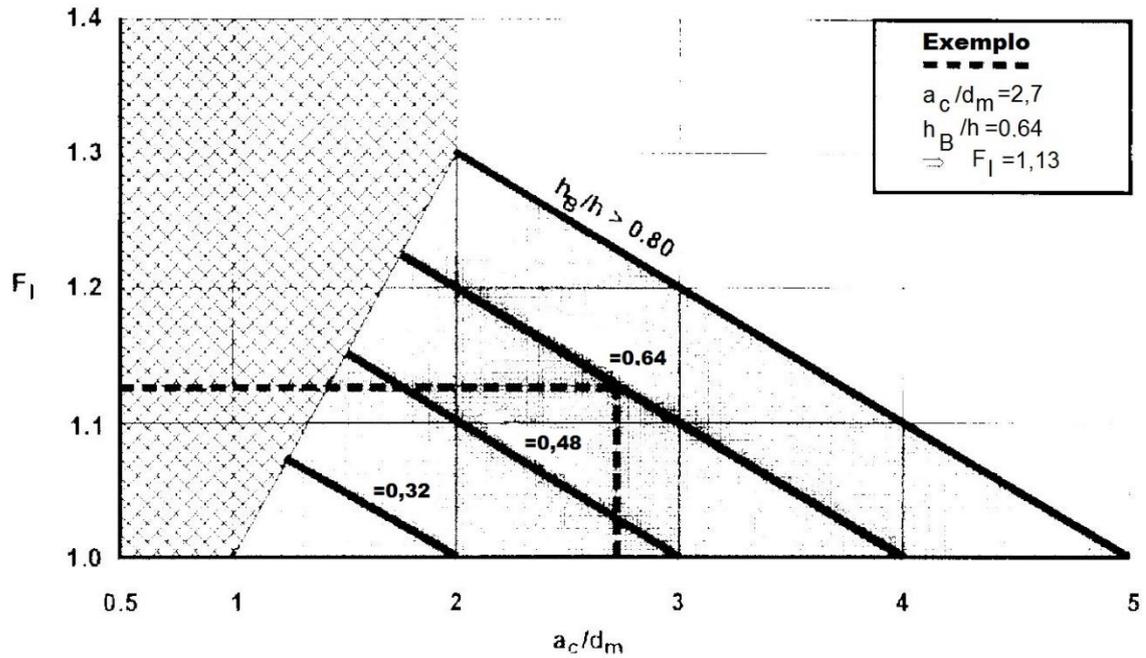
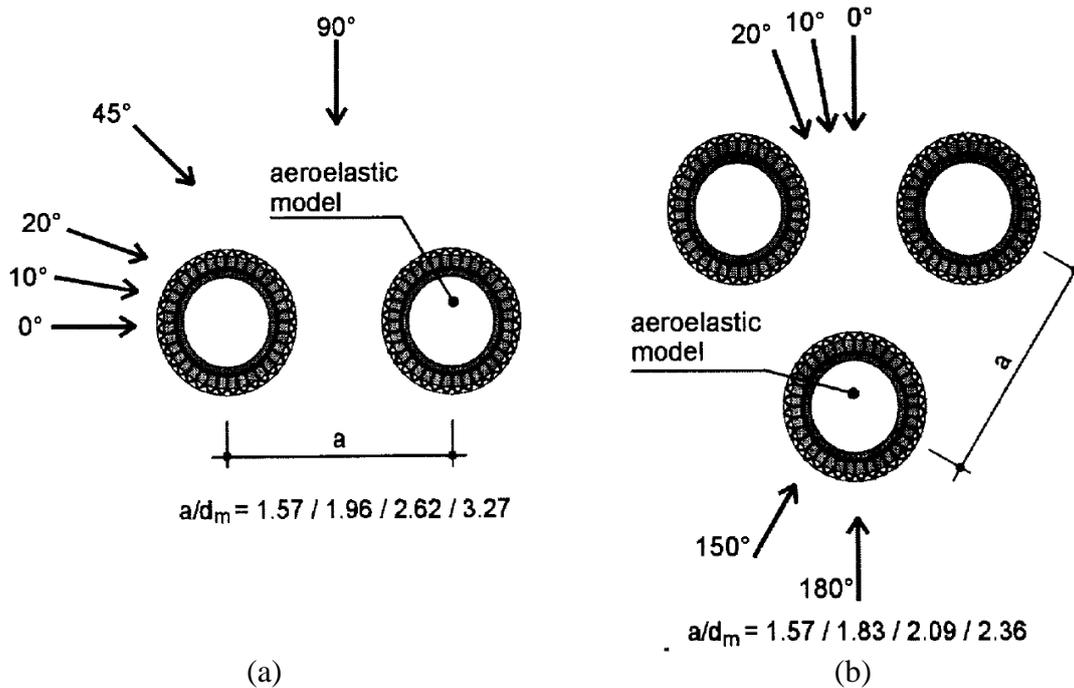


Figura 1.2 – Fator de interferência proposto para torres de resfriamento (NIEMANN et al, 1998).

resultando na relação (1-6)

$$F_I = 1,5 - 0,1 \frac{a_c}{d_m} \quad (1-6)$$

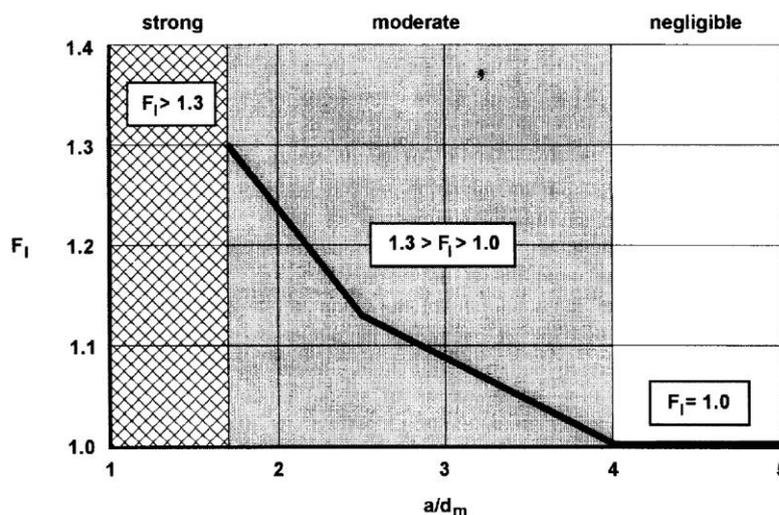
Os autores ainda chegam à consideração qualitativa da análise do efeito da interferência (se forte, moderada ou negligenciável) a partir da relação entre os diâmetro médio e a distância entre esses, para uma distância entre eixos de grupos de duas ou três torres, Figuras 1.3(a) e 1.3(b), que obedecem à relação $a > d_m$, conforme Figura 1.3(c).



(a)

(b)

effect of interference



(c)

Figura 1.3 – Disposição e fator de interferência proposto para torres de resfriamento: a) grupo de duas torres de resfriamento; b) grupo de três torres de resfriamento; c) efeitos da interferência de torres vizinhas (NIEMANN et al, 1998).

Khanduri et al (1998) estudaram o estado da arte do tema, analisando trabalhos produzidos ao longo de seis décadas de estudos experimentais com o objetivo de subsidiar a elaboração de orientações normativas de projeto relativas às solicitações nos edifícios devidos aos efeitos do vento. Os autores constataram que os dados disponíveis na literatura eram de natureza muito diversa e que a maioria dos estudos não permitia comparação direta devido a diferenças nas geometrias dos edifícios e condições de escoamento do vento. Identificaram ainda inconsistências de resultados e incoerências entre vários estudos, concluindo que a

literatura até então disponível não permitia a elaboração de recomendações gerais de projeto. A partir destes resultados, recomendaram que os efeitos da interferência de edifícios nas cargas de vento fossem estudados de forma mais sistemática, por meio de experimentos detalhados em túnel de vento, de forma a subsidiar a formulação de diretrizes simples de projeto e, a partir daí, a elaboração de normas de cálculo mais adequadas.

Stathopoulos (apud Khanduri et al, 1998), em um estudo sobre cargas de vento em edifícios baixos na presença de um edifício alto adjacente, comparou os resultados experimentais com as prescrições do National Building Code of Canada e do ANSI Standard e demonstrou que estas normas subestimavam (em até 46%) ou superestimavam (em até 525%) as cargas verificadas experimentalmente. Conforme Stathopoulos (ibidem), estes resultados indicam que as recomendações das normas podiam conduzir a projetos insuficientemente seguros ou excessivamente conservadores e, portanto, dispendiosos além do necessário. Os autores ainda apontam três razões para que o carregamento devido às forças de vento tenha lacunas para sua total compreensão e generalização: primeiro, a natureza complexa do problema mesmo para edifícios isolados, com muitas variáveis envolvidas como proporções e geometria dos edifícios, sua posição relativa, velocidade e direção do vento e condições topográficas; segundo, dados experimentais insuficientes até a década de 1990; e, por último, a noção amplamente difundida de que o carregamento proveniente do vento será menores quando a estrutura está rodeada de outros edifícios do que isolado. Essa noção será verdadeira caso o edifício em estudo esteja rodeado por estruturas similares. Porém, dois ou três edifícios vizinhos podem mudar drasticamente os efeitos naquele, dependendo da posição um em relação ao outro.

Cho et al (2004) coloca que a interferência entre edifícios vizinhos acontece devido a alguns fatores, principalmente, geometria e distribuição dos edifícios vizinhos, orientação e condições do terreno a montante da edificação em estudo. Destacando, entre esses fatores, a alteração do fluxo do vento a partir do arranjo dos edifícios. No estudo, o autor cita três principais razões para a lacuna encontrada no estudo da influência da vizinhança em um edifício específico: primeira, a natureza complexa do problema da inserção de vizinhança frente à análise de uma única edificação; segunda, a escassez de dados experimentais acerca do tema; e, por fim, a noção generalizada de que cargas de vento em um edifício deverão ser em geral, menos graves se rodeada por outras estruturas que quando está isolado. O autor ensaiou quatro vizinhanças, Figura 1.4, com a rugosidade característica da Categoria III da norma brasileira, que também foi utilizado nessa tese.

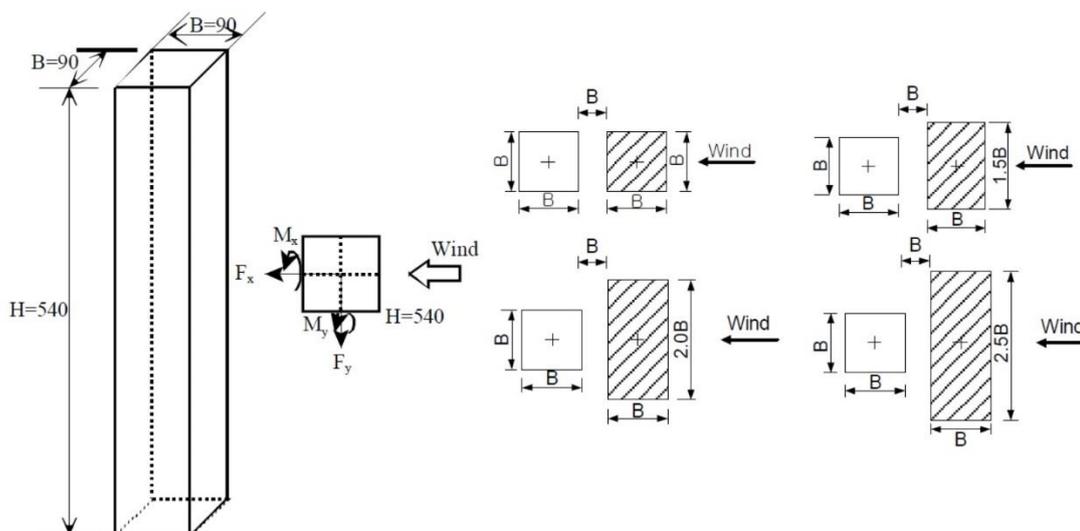


Figura 1.4 – Vizinhança ensaiada por Cho et al (2004).

Cho et al (2004) mostra seus resultados a partir de um fator de influência (IF) que é definido como a razão entre o efeito com vizinhança pelo respectivo efeito sem vizinhança e encontrou desde efeitos de proteção ($IF < 1$) até 40% de acréscimo do carregamento em questão. A distribuição dos fatores de influência está na Tabela 1.1 de acordo com a direção do carregamento em estudo.

Tabela 1.1 – Fatores de influência de acordo com a direção do vento/carregamento

| Direção | Acréscimo do respectivo carregamento |
|------------------------|--------------------------------------|
| Longitudinal | De 10% a 20% |
| Perpendicular ao vento | Até 30% |
| Momento torsional | Até 40% |

Carpeggiani et al (2005) pontuam que os efeitos de torção devido a ação do vento em edifícios devem ser considerados no cálculo de estruturas apesar da norma brasileira considerar apenas vento incidindo perpendicularmente às fachadas do edifício de planta retangular. Consideração justificada pela turbulência do vento que em um determinado instante faz com que a distribuição das pressões seja assimétrica. Quando os edifícios não possuem planta regular não existe a previsão em norma de qualquer coeficiente aerodinâmico logo são necessários estudos específicos em túnel de vento. Os autores apresentaram onze edifícios e seus resultados ensaiados no LAC/UFRGS e reforçam a afirmação do trabalho de Khanduri et al (1998) da complexidade do problema aerodinâmico tanto quanto às variáveis envolvidas quanto sua mutabilidade se quaisquer uma dessas variáveis sofram alterações.

O trabalho de Carpeggiani et al (2005) cita que a distribuição de pressões médias e flutuantes depende da forma externa da edificação, dos efeitos de interferência da vizinhança e dos efeitos dinâmicos e, nesse sentido, se propuseram a verificar a adequação da norma brasileira, NBR 6123/1988, da norma canadense, NBCC, e da norma alemã, DIN-1055, a estruturas com configurações diferentes das previstas nessas normas quanto ao momento torçor, a partir dos dados dos modelos ensaiados em túnel de vento e calculados os respectivos coeficientes aerodinâmicos de torção, equação (1-7), para 24 ângulos de incidência do vento, defasados um do outro de 15°. Em todos os casos foram consideradas as respectivas vizinhanças e os autores chegaram à conclusão de que, no caso da norma brasileira deveria ser considerado um único valor para a excentricidade no cálculo da edificação (15% da maior dimensão em planta) – a norma, atualmente, prevê dois valores: um considerando os efeitos de vizinhança e o outro sem esse. Quanto às normas internacionais, apesar de um mesmo critério de avaliação, levaram a resultados distintos.

$$C_t = \frac{M_t}{abhq}, \text{ onde } \begin{cases} M_t = \text{Momento torçor} \\ a = \text{maior dimensão do edifício} \\ b = \text{menor dimensão do edifício} \\ h = \text{altura do edifício} \\ q = \text{pressão dinâmica do vento} \end{cases} \quad (1-7)$$

Para um estudo refinado dos carregamentos em termos de resultados, de representação de situações reais de entorno de um edifício alto, a simulação em túnel de vento torna-se imprescindível devido ao fenômeno complexo do vento. Principalmente porque, como dito anteriormente, as normas e códigos preveem situações padrão (edificações de formato regulares e determinadas simplificações da situação real de projeto). Na maioria das vezes, a forma do edifício não obedece qualquer regularidade, que tem como consequência ser a aerodinâmica uma variável de grande relevância para mitigação dos esforços e custos. A determinação usual é que edifícios com mais de 40 andares já se tornam candidatos aos ensaios em túnel de vento, independentemente de sua forma (TARANATH, 1997). A norma brasileira que trata da ação do vento em edificações diz que os resultados obtidos em túnel de vento podem substituir os valores sugeridos em seu texto e que estudos especiais devem ser utilizados se as formas, dimensões ou localização fora do comum assim o determinarem para caracterizar as forças atuantes do vento e seus efeitos (ABNT NBR 6123/1988). Mais uma vez, as justificativas para o uso dos testes em túneis de vento incluem o custo da estrutura a ser construída, probabilidade de problemas com os efeitos do vento,

complexidade da edificação que justifica tal estudo e sua importância (tanto no contexto urbano quanto por si).

Outros estudos têm sido feitos no sentido de entender e mensurar como o vento influencia os projetos estruturais e de fechamento dos arranha-céus e de como a vizinhança pode causar efeitos diversos em edifícios altos além de outros efeitos de interesse da construção civil no comportamento dessa tipologia.

Nessa tese, para o estudo dos efeitos do vento sobre a estrutura foram realizados ensaios no Túnel de Vento Joaquim Blessmann do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Foi testado um edifício padronizado tanto isolado quanto inserido em oito vizinhanças diferentes, com vizinhos de três alturas diferentes. Os resultados foram alcançados a partir do estabelecimento de quatro coeficientes aerodinâmicos e de um fator, denominado fator de vizinhança (FV), para cada vizinhança, com vinte e quatro ângulos de incidência do vento.

Nos ensaios foi utilizado um edifício padronizado, o CAARC Standard Tall Building Model, tanto para que os ensaios possam ser comparativos quanto para subsidiar a discussão de efeitos de ventos em edifícios altos e criar um banco dos dados gerados nos ensaios de túnel de vento com as vizinhanças propostas. Melbourne (1980) comparou os resultados obtidos em estudos experimentais com o modelo padrão (CAARC), conduzidos nos seis centros de pesquisa que utilizaram o modelo entre 1969 e 1975, no Reino Unido, Canadá e Austrália. O autor aponta que o nível de concordância dos resultados é bom e em sua maior parte encontra-se dentro de uma dispersão compatível com a acurácia experimental. Algumas inconsistências pouco significativas foram observadas em relação aos valores de pressão e podem ser atribuídas a diferenças no espectro de velocidade longitudinal de entrada e ausência de obstáculos. Quanto aos valores de resposta dinâmica, a maior parte dos dados coincide dentro de uma faixa de mais ou menos 15%, não sendo observadas inconsistências evidentes.

Nos estudos experimentais realizados do modelo padrão instrumentalizado, o CAARC, foram testadas oito vizinhanças. Essas tentaram simular algumas situações encontradas em grandes centros urbanos cujos resultados subsidiaram discussões a respeito do fator de majoração das solicitações presente na norma brasileira de ventos – a NBR 6123/1988, em seu anexo G, cujo texto sugere o incremento das solicitações a partir da consideração da

influência de edificações situadas na vizinhança daquela em estudo. O fator de incremento é proposto a partir da razão entre coeficientes aerodinâmicos do edifício considerando a vizinhança, e daquele isolado. O anexo ainda sugere o FV encontrado pelo coeficiente de arrasto, do coeficiente de forma e para o valor médio de pressão, tanto para paredes confrontantes quanto para a cobertura da edificação em estudo, a partir de uma relação geométrica e da interpolação de valores ausentes nas faixas da norma.

A avaliação dos ângulos de incidência e da vizinhança inserida ao redor do CAARC mostram a influência tanto da altura quanto da proximidade dos edifícios vizinhos nos esforços gerados pelo vento na edificação em estudo.

1.2 – MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

São grandes os desafios técnicos encontrados para solucionar a equação (maior demanda por espaço + avanço tecnológico da construção civil + urbanismo consolidado + simbolismo = arranha-céus, ou mesmo, edifícios altos¹). E um dos pontos abordados na Engenharia, discussão trazida nessa tese, é o comportamento de um edifício padrão frente aos esforços causados pelo vento, especificamente, quanto à sua resposta estrutural frente aos efeitos de vizinhança. A norma brasileira NBR 6123/1988 propõe um fator de incremento às solicitações devido a esses efeitos em seu Anexo G e o estudo experimental realizado nesse trabalho chegou a valores que subsidiaram inclusive a discussão da adoção desse fator na norma brasileira não como uma opção de majoração dos esforços mas como necessária em determinados casos, como se pôde observar em alguns casos.

1.3 – OBJETIVOS

1.3.1. Objetivos Gerais

Diante da carência de dados que pudessem subsidiar a discussão do fator de vizinhança utilizado para majorar os esforços frente ao carregamento imposto pelo vento, esta tese vem

¹ De acordo com o CTBUH existem diferenças entre as duas terminologias. No capítulo 2, serão apresentadas essas definições (arranha-céus e edifícios altos).

estudar experimentalmente um edifício padronizado mediante inserção de oito vizinhanças e verificar seus efeitos naquele.

1.3.2 – Objetivos Específicos

Verificar em cada vizinhança proposta a pior, e a melhor, situação do ponto de vista dos esforços gerados na edificação a partir do ângulo de incidência do vento: mesmo que a orientação do edifício, muitas vezes, não é passível de discussão em um projeto real mas uma situação concreta no caso de sua implantação em uma vizinhança já consolidada. Porém, com os resultados alcançados nesse trabalho o projetista pode lançar mão da situação que pode gerar mitigação dos esforços (no caso de efeitos de proteção dos edifícios vizinhos).

Perceber os efeitos sobre um edifício padrão, CAARC², quando são inseridos edifícios vizinhos em termos de um fator de vizinhança, FV, que ora aumenta ora diminui evidenciando a alteração do comportamento da construção frente aos esforços causados pelo vento. Para tanto, foi feita a simulação experimental dos efeitos do vento em um modelo de escala reduzida e estabelecidos quatro coeficientes aerodinâmicos que poderão sofrer a majoração de seus valores através de um fator, FV, de modo a aumentar os esforços do vento atuantes na edificação. Os dados gerados nos ensaios poderão subsidiar a discussão da norma brasileira em seu Anexo G, o qual sugere esse incremento dos esforços por conta da influência da vizinhança, nesse trabalho, comprovada.

1.4 – ORGANIZAÇÃO

Os assuntos discutidos e apresentados nessa tese encontram-se em capítulos assim distribuídos:

- Capítulo 1: dedicado à apresentação do problema e da estrutura do texto da tese. Pontua as motivações e os objetivos deste trabalho;

² CAARC *Standard Tall Building* refere-se ao edifício alto tomado como padrão para calibração de técnicas de modelagem aerodinâmica.

- Capítulo 2: traz conceitos e generalidades sobre a aerodinâmica das construções bem como uma revisão bibliográfica dos efeitos de vizinhança no desempenho de edifícios altos;
- Capítulo 3: programa experimental – apresenta as vizinhanças e os resultados alcançados, conduzindo ao objeto do estudo que é a comprovação da influência da vizinhança nos coeficientes aerodinâmicos utilizados para o carregamento da estrutura e do fechamento do edifício;
- Capítulo 4: são apresentados os resultados e as discussões desses;
- Capítulo 5: conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

O Apêndice A traz informações sobre alguns arranha-céus mostrados no capítulo 2. No Apêndice B, o cálculo do coeficiente de arrasto a partir do protocolo proposto na norma brasileira NBR 6123/1988. No Apêndice C são apresentados os coeficientes aerodinâmicos experimentais do edifício isolado e de todas as vizinhanças ensaiadas. O Apêndice D mostra os valores experimentais dos FV e a respectiva solicitação tanto do edifício isolado quanto para o edifício com uma das oito vizinhanças ensaiadas. No Apêndice E são apresentados todos os valores do FV encontrados com os ensaios em túnel de vento organizados pelo ângulo de incidência de modo a evidenciar a alteração do FV quando se insere edifícios vizinhos ao edifício inicialmente isolado em estudo, o CAARC. No Apêndice F, cujos resultados foram organizados por vizinhança, são apresentadas as tabelas dos FV do edifício em estudo diante dos vinte e quatro ângulos de incidência do vento ensaiados bem como os das oito vizinhanças ensaiadas.

Ao final são apresentadas as referências bibliográficas e o anexo G da NBR 6123/1988 que se fizeram necessários neste estudo.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo traz conceitos e generalidades sobre a aerodinâmica das construções bem como uma revisão bibliográfica dos efeitos de vizinhança no desempenho de edifícios altos e ensaios experimentais em túnel de vento. Previamente, é apresentada a norma brasileira de ventos – NBR 6123/1988, de forma reduzida.

2.1 – REVISÃO CONCEITUAL

Neste item são trazidos os conceitos e abordagens da engenharia do vento para caracterizar o fenômeno estudado e conduzir a discussão a respeito do efeito de vizinhança no CAARC.

A Norma Brasileira de vento traz as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeito de cálculo de edificações (ABNT NBR 6123/1988). Ressalta a sua não aplicação a edificações de formas, dimensões ou localização fora do comum cujas investigações acerca dos carregamentos saem do escopo da norma. Sinaliza que os coeficientes aerodinâmicos propostos na norma poderão ser substituídos por aqueles encontrados em estudos realizados em túnel de vento.

Para o cálculo das forças estáticas devido ao vento, segundo a Norma Brasileira, são necessários alguns parâmetros. A velocidade básica do vento (V_0) adequada ao local da edificação buscada em um mapa de isopleias, estabelecido com uma rajada de 3s excedida uma vez a cada cinquenta ano a 10m acima do terreno. De posse dessa velocidade chega-se a velocidade característica, equação (2-1), com a multiplicação de V_0 por três fatores. Tais fatores são estabelecidos na Nbr 6123/1988 como sendo, respectivamente, o fator topográfico (S_1); o fator combinado da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação e altura sobre o terreno (S_2); e o fator estatístico (S_3) que é baseado em conceitos estatísticos que consideram o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 \quad (2-1)$$

Com a velocidade característica determinada passa-se ao estudo das pressões nas faces opostas da edificação a partir de coeficientes de pressão. Como esses coeficientes aerodinâmicos (de pressão interna e externa; de forma interno e externo; de força de arrasto, na direção do vento) é possível estabelecer os respectivos esforços ao longo da edificação. Ainda neste capítulo cada um desses coeficientes será detalhado.

No que se refere ao Anexo G da norma, alvo do estudo dessa tese, os efeitos de vizinhança devem fazer parte da investigação dos esforços em uma edificação. A influência de edifícios vizinhos pode aumentar as forças de vento de três modos: por efeito Venturi; por deflexão do vento na direção vertical e pela turbulência da esteira. Conceitos apresentados a seguir.

Nesse anexo da norma, encontra-se o formulário necessário para encontrar um Fator de Vizinhança (FV) que é um modo de majoração dos coeficientes aerodinâmicos utilizados na determinação dos esforços devido ao vento em uma edificação, considerando a influência de edifícios vizinhos. A partir de considerações geométricas, equações 2-2 e 2-3, é estabelecido o FV pela equação (2-4).

$$s = \begin{cases} \text{afastamento entre os planos das faces} \\ \text{confrontantes de duas edificações altas} \\ \text{vizinhas, sendo } axb \text{ as dimensões em planta} \\ \text{das edificações (} axb \text{ entre } 1x1 \text{ e } 4x1) \end{cases} \quad (2-2)$$

$$d^* = a \text{ menor das duas dimensões} \begin{cases} \text{lado menor } b \\ \text{semidiagonal } 1/2\sqrt{a^2 + b^2} \end{cases} \quad (2-3)$$

$$FV = \frac{C \text{ na edificação com vizinhança}}{C \text{ na edificação sem vizinhança}} \quad (2-4)$$

De posse das relações acima, tem-se que para o coeficiente de arrasto, de forma e para o valor médio do coeficiente de pressão, em paredes confrontantes as equações (2-5) e (2-6).

$$\frac{s}{d^*} \leq 1,0 \rightarrow FV = 1,3 \quad (2-5)$$

$$\frac{s}{d^*} \geq 3,0 \rightarrow FV = 1,0 \quad (2-6)$$

E para coeficientes de forma e para o valor médio do coeficiente de pressão na cobertura, tem-se as equações (2-7) e (2-8)

$$\frac{s}{d^*} \leq 0,5 \rightarrow FV = 1,3 \quad (2-7)$$

$$\frac{s}{d^*} \geq 3,0 \rightarrow FV = 1,0 \quad (2-8)$$

Para valores diferentes desses, interpolar linearmente os valores intermediários de s/d^* .

Já os efeitos de vizinhança do coeficiente de torção são dados no item 6.6 da norma brasileira que fala sobre a excentricidade em relação ao eixo vertical geométrico causada por vento, nas direções a e b do edifício, não considerando a vizinhança, equação (2-9), e considerando, equação (2-10).

$$e_a = 0,075a \quad \text{e} \quad e_b = 0,075b \quad (2-9)$$

$$e_a = 0,15a \quad \text{e} \quad e_b = 0,15b \quad (2-10)$$

Sendo e_a medida na direção do lado maior, a , e e_b medido na direção do lado menor, b .

2.1.1 – Rugosidade do terreno

A norma brasileira NBR 6123 (ABNT NBR6123/1988, p.8) considera o efeito combinado da rugosidade, da variação da velocidade do vento com a altura e das dimensões da edificação (ou parte dela) para estabelecer o valor do Fator S_2 . Para tanto, prevê cinco categorias para classificar a rugosidade do terreno em estudo. Os ensaios foram realizados considerando as categorias III e IV, de forma que o expoente (p) da lei matemática de variação de S_2 , equação (2-11), seja igual a 0,23. Os outros parâmetros dessa equação estão tabelados na norma brasileira.

$$S_2 = bF_r \left(\frac{z}{10} \right)^p \quad (2-11)$$

É sabido que as áreas dedicadas à construção de um arranha-céu são historicamente centros de grandes metrópoles, considerada a Categoria V, referente a terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e poucos espaçados. A simulação da rugosidade dos ensaios no túnel de vento realizados para esse trabalho é mostrada na Figura 2.1).



Figura 2.1 – Fotografia do interior do túnel de vento mostrando a simulação da rugosidade do terreno.

2.1.2 – Efeito Venturi

Como mostrado na Figura 2.2, edificações vizinhas podem, por suas dimensões, forma e orientação, causar um afunilamento do vento, acelerando o escoamento de ar, com conseqüente alteração nas pressões.

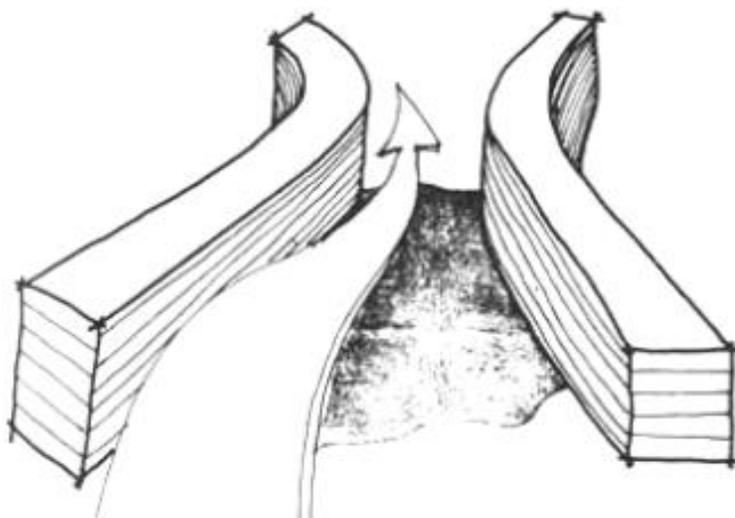


Figura 2.2 – Efeito Venturi.

2.1.3 – Turbulência

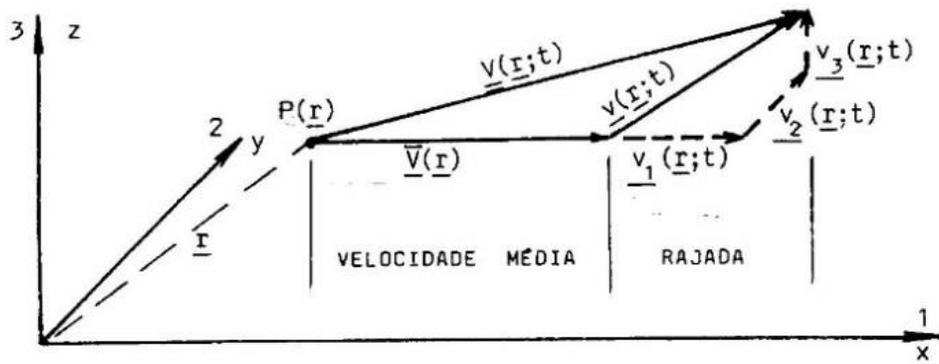
A turbulência é a agitação do escoamento médio causada pela rugosidade natural e artificial da superfície terrestre tanto quanto gradientes térmicos (convecção), formando-se os turbilhões ou redemoinhos (BLESSMANN, 1995). Esses, por sua vez, causarão flutuações da velocidade do vento. E define-se como rajadas a flutuação da velocidade em torno de um valor médio, que ocorrem em uma sequência aleatória de frequências e de intensidades. As solicitações estáticas dependem da velocidade média e esse será o domínio desse trabalho, não se desenvolvendo qualquer discussão acerca dos efeitos dinâmicos do vento sobre o edifício estudado. Embora as pressões obtidas no túnel sejam flutuantes, foram realizados ensaios estáticos que envolveram medidas da distribuição das pressões médias nos modelos. Oliveira (2009) salienta que mesmo medidas médias dependem de características da turbulência do vento incidente, sendo necessário simular a turbulência atmosférica. Tendo esse cuidado, foram determinados experimentalmente coeficientes de pressão ou de força que foram usados nesse trabalho.

O tratamento matemático da turbulência é atribuído a Theodore von Kàrmán que definiu a turbulência como “flutuações irregulares da velocidade, governadas por equilíbrio estatístico” (BLESSMANN, 1995).

Sendo o vetor velocidade média, $\bar{V}(\mathbf{r})$, uma função do vetor posição, $\bar{\mathbf{r}}$, a velocidade será dada como na equação (2-12)

$$\mathbf{V}(\mathbf{r}; t) = \bar{\mathbf{V}}(\mathbf{r}) + \mathbf{v}(\mathbf{r}; t) \quad (2-12)$$

onde o último termo da equação é denominado vetor flutuação de velocidade ou vetor rajada. Esse por sua vez pode ser decomposto em suas componentes, conforme Figura 2.3, mostradas na equação (2-13).



(a)

Figura 2.3 – Componentes do vetor velocidade (BLESSMANN, 1995).

$$\mathbf{v}(\mathbf{r}; t) = \mathbf{v}_1(\mathbf{r}; t) + \mathbf{v}_2(\mathbf{r}; t) + \mathbf{v}_3(\mathbf{r}; t) \quad (2-13)$$

Sendo assim, a velocidade de rajada é definida como o módulo do vetor rajada, equação 2-14.

$$v_{(t)}^2 = |\mathbf{v}(t)|^2 = \sqrt{v_1^2(t) + v_2^2(t) + v_3^2(t)} \quad (2-14)$$

Já a irregularidade das flutuações, mencionada na definição de von Kármán, não permite um tratamento determinístico cabendo, portanto, um estudo por meio da teoria da probabilidade e médias estatísticas.

Ainda, Blessmann (1995) traz os parâmetros estatísticos que são necessários para o estudo da intensidade da turbulência. São eles:

- a) Velocidade média, dada pela equação 2-15;

$$\bar{V}(z) = \frac{1}{T} \int_0^T V(z; t) dt = \langle V(z; t) \rangle \quad , \text{ onde o símbolo } \langle \ \rangle \text{ indica média temporal} \quad (2-15)$$

- b) Valor quadrado médio, mostrado na equação 2-16;

$$\overline{V^2}(z) = \frac{1}{T} \int_0^T V^2(z; t) dt = \langle V^2(z; t) \rangle \quad (2-16)$$

c) Variância das flutuações de velocidade; equação 2-17. Que ainda pode ser expressa a partir de suas componentes, equação 2-18;

$$\sigma_v^2(z) = \frac{1}{T} \int_0^T v^2(z; t) dt = \langle v^2(z; t) \rangle \quad (2-17)$$

$$\sigma_i^2(z) = \frac{1}{T} \int_0^T v_i^2(z; t) dt = \langle v_i^2(z; t) \rangle; i = 1, 2, 3 \quad (2-18)$$

d) Desvio padrão: que é o valor positivo da raiz quadrada da variância, equação (2-19). Que ainda pode ser expressa a partir de suas componentes, equação 2-20;

$$\sigma_v(z) = [\langle v^2(z; t) \rangle]^{1/2} \quad (2-19)$$

$$\sigma_i(z) = [\langle v_i^2(z; t) \rangle]^{1/2}; i = 1, 2, 3 \quad (2-20)$$

Sendo o valor rms (*root mean square*), ou média quadrática, o valor positivo da raiz quadrada do valor quadrado médio.

Como propriedades da turbulência, para que se dê a resposta dinâmica das estruturas às rajadas de vento bem como para a simulação correta do vento em tuneis de vento, são apresentadas:

- a) A distribuição de probabilidade de cada uma das três componentes das flutuações. Essa distribuição fornece a frequência relativa de ocorrência das velocidades;
- b) A intensidade da turbulência de cada uma dessas componentes, que é a medida adimensional da energia cinética contida nas componentes das flutuações, respectivamente;
- c) As correlações espaciais das flutuações em pontos distintos – permite determinar a macroescala da turbulência;
- d) O espectro de potência, ou densidade espectral da variância das flutuações;
- e) O espectro cruzado que estuda a flutuação em dois pontos.

2.1.4 – Martelamento

Como mencionado, a norma brasileira em seu Anexo G pontua que uma edificação situada a sotavento de outra pode ser afetada sensivelmente pela turbulência gerada na esteira da

edificação de barlavento, podendo provocar efeitos dinâmicos (“efeitos de golpe”) consideráveis e alterações nas pressões (ABNT NBR 6123/1998). Segundo Blessmann (1998) nesse fenômeno dinâmico tem-se uma força excitadora periódica que causará efeitos dinâmicos de maior ou menor intensidade, podendo inclusive alcançar a frequência natural da edificação causando o denominado martelamento ressonante.

2.1.5 – Edifícios Altos

A definição de edifício alto utilizada nesse trabalho foi aquela estabelecida pelo CBTUH que se utiliza de categorias para tal classificação. São elas: altura em relação ao contexto, proporção e tecnologia, como mostra a Figura 2.4. Uma edificação pode ser enquadrada em uma ou várias dessas categorias mas uma delas já é o suficiente para classificá-la como um edifício alto.

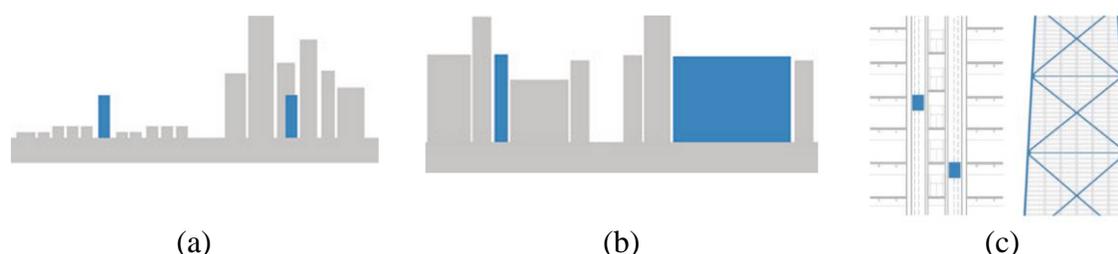


Figura 2.4 – Categorias para a classificação de uma edificação alta: a) Altura relativa ao contexto; b) Proporção; c) Tecnologia (CTBUH, 2010).

A primeira delas é relativa ao contexto no qual está inserida a edificação. De acordo com a Figura 2.4(a), um edifício de mesmas proporções poderá ser considerado alto se seu entorno imediato o expressa como tal. Já a segunda categoria diz respeito ao quanto delgado é a sua proporção, Figura 2.4(b). Nessa percebe-se que um edifício de mesma altura parece muito mais alto quanto sua proporção em relação aos demais possui uma relação menor entre sua altura e largura. Já para a terceira categoria o que conta é a existência de tecnologias agregadas ao edifício que o classifiquem como edifício alto: existência de transporte vertical, contraventamento e outros sistemas que são justificados pela altura do edifício.

Nesse trabalho, algumas definições importantes de Blessmann (1998) agrega maior entendimento da proporção, no caso de construções paralelepípedicas: o alteamento (E)

refere-se à relação entre altura e largura, o alargamento (A) entre largura e altura, e a profundidade (Pr) à profundidade pela menor dimensão da secção transversal. Para classificar a edificação em uma das três categorias acima, são observadas as relações evidenciadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Influência das proporções na classificação da edificação paralelepípedica, segundo Blessmann, (1998).

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| $E = \frac{h}{l_1} = \frac{\textit{altura}}{\textit{largura}}$ | Classificação em relação ao alteamento (E) |
| $E > 1$ | Edificações alteadas |
| $E < 1$ | Edificações alargadas |
| $A = \frac{l_1}{h} = \frac{\textit{largura}}{\textit{altura}}$ | Classificação em relação ao alargamento (A) |
| $A > 1$ | Edificações alargadas |
| $A < 1$ | Edificações alteadas |
| $Pr = \frac{\textit{profundidade}}{\textit{menor dimensão da sessão transversal}}$ | Classificação em relação à profundidade (Pr) |
| $Pr = \frac{l_2}{l_1} = \frac{\textit{profundidade}}{\textit{largura}}$ para $E \gg 1$ | Edificações alteadas |
| $Pr = \frac{l_2}{h} = \frac{\textit{profundidade}}{\textit{altura}}$ para $E \ll 1$ | Edificações alargadas |

Os efeitos de deslocamento causados pelos efeitos do vento influenciam diretamente a distribuição das pressões em todas as suas faces, conforme ilustrado na Figura 2.5, e esses efeitos dependem do tipo e dimensões do edifício.

Para edifícios profundos, Figura 2.5(a), com o vento incidindo em sua fachada menor tem como característica o fato do escoamento nas faces laterais tender a se aderir novamente na zona a sotavento das faces laterais, diminuindo a esteira e as sucções a sotavento. Vórtices não muito pronunciados próximos ao chão, portanto, um baixo incremento de velocidade pelas bordas nessa área. Já nas construções alargadas, Figura 2.5(b), grande pressão negativa no lado de sotavento devido ao descolamento considerável do escoamento apenas a uma grande distância do edifício, vórtices de pé de fachada muito pronunciados provocando uma elevada velocidade próxima do solo. Nos edifícios alteados, Figura 2.5(c), o fluido que escoo pelo topo influenciará pouco quanto mais alteada for a construção. A esteira apresenta-se muito agitada causando grandes esforços à edificação, (BLESSMANN, 1990; GERHARDT in EISELE, 2003).

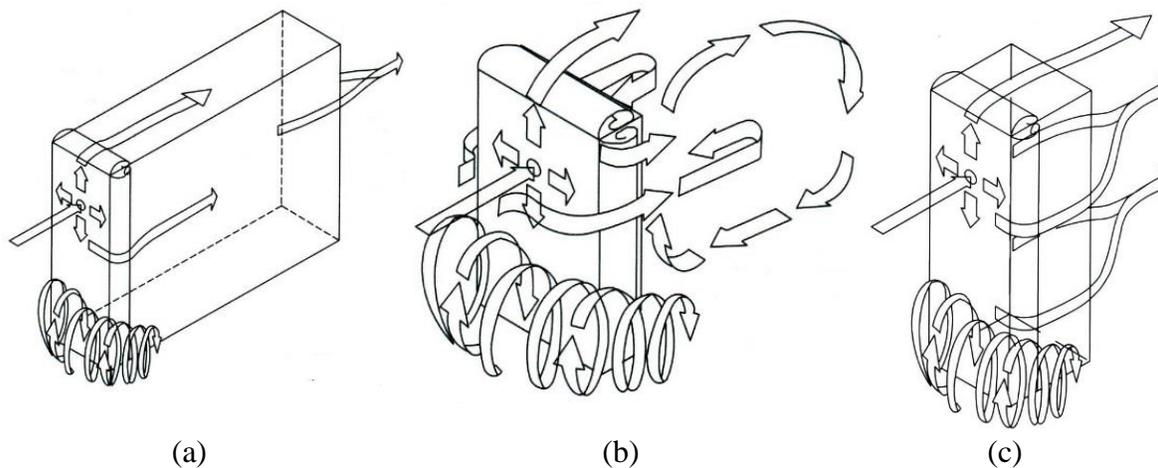


Figura 2.5 – Influência das dimensões do edifício no comportamento do vento: a) vento paralelo ao eixo longitudinal de edifício alto delgado, b) vento normal ao eixo longitudinal de edifício alto delgado, c) edificações alteadas (GERHARDT in EISELE, 2003).

Para exemplificar essa influência em termos de coeficientes aerodinâmicos Blessmann (1998) mostra valores numéricos na Figura 2.6 e na Tabela 2.2 – foi evidenciado o coeficiente de arrasto.

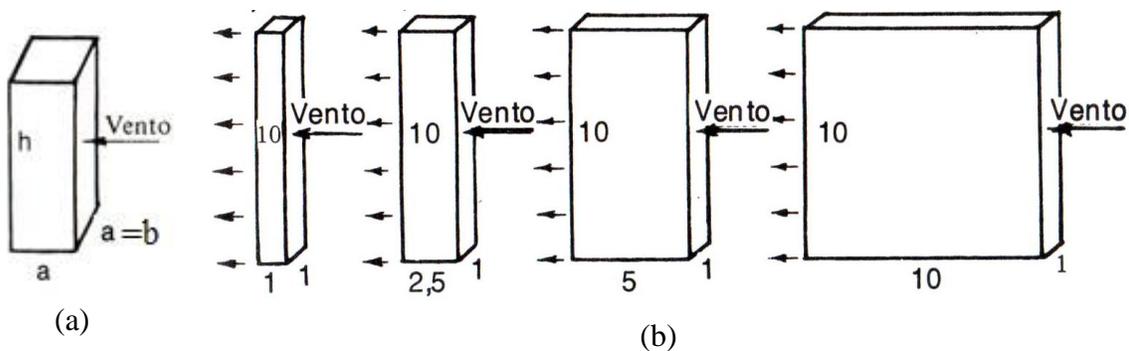


Figura 2.6 – Influência no coeficiente de arrasto: a) do alteamento, b) da profundidade (modificada de BLESSMANN, 1998).

O autor ainda pontua que o alargamento pouco influi no coeficiente de arrasto, no caso estudado.

Tabela 2.2 – Influência das proporções no coeficiente de arrasto.

| Influência do alteamento (Blessmann, 1998). | | | | | |
|-----------------------------------------------|---------------|------|------|------|----------|
| $E = h/a$ | $\frac{1}{2}$ | 3 | 5 | 10 | ∞ |
| $Ca = Fa/qA$ | 0,94 | 1,50 | 1,55 | 1,64 | 2,00 |
| Influência da profundidade (Blessmann, 1990). | | | | | |
| $Pr = a/b$ | 1 | 2,50 | 5 | 10 | |
| $Ca = Fa/qA$ | 1,64 | 1,30 | 0,98 | 1,00 | |

A norma brasileira contempla o cálculo para edificações paralelepípedicas, de formatos regulares, sendo que para outros formatos existe a sugestão que estes deverão contar com ensaios em túnel de vento. Porém, a tendência dos projetos de arranha-céus é exatamente buscar em sua forma a mitigação de efeitos que elevam brutalmente custos e, por vezes, inviabilizam suas construções quanto às tecnologias existentes (GERHARDT in EISELE, 2003).

2.1.6 – Características do Vento

É sabido que o vento é um fenômeno complexo ainda mais numa interação entre seu escoamento com a edificação. Na engenharia do vento são feitas algumas simplificações que possibilitam caracterizar o comportamento do vento (TARANATH, 1998):

- Variação da velocidade do vento com a altura;
- Natureza turbulenta do vento;
- Abordagem probabilística;
- Desprendimento de vórtices;
- Natureza dinâmica da interação vento-estrutura.

Assim como um fluido em movimento, o vento também sofrerá influência em seu movimento quando um obstáculo é encontrado. Um efeito de retardamento da velocidade do vento é encontrado próximo ao solo (vai de zero) até chegar a um valor inalterado. Essa variação da velocidade vai depender da viscosidade do ar, da turbulência e de movimentos aleatórios, além do tipo de terreno. O perfil dessa variação pode ser visto na Figura 2.7.

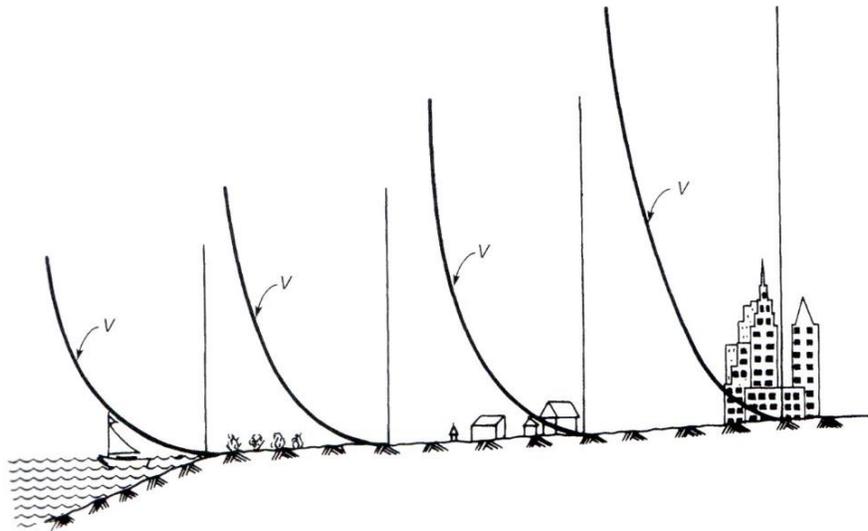


Figura 2.7 – Variação da velocidade do vento com a altura (TARANATH, 1998).

Quando um escoamento é turbulento isso significa dizer que partículas do ar se movem aleatoriamente. O que contrasta com um escoamento laminar de partículas de fluidos viscosos, os quais se movem predominantemente paralelo a direção do escoamento.

Em diversas ciências a intensidade de certos eventos são considerados como uma função da duração do intervalo de recorrência. Assim é com a engenharia de vento que deve entender a probabilidade de ocorrência da velocidade de projeto durante o tempo de vida do edifício.

Um exemplo de amplificação de um dos efeitos do vento nas construções seria a questão da deflexão da edificação com o vento. Taranath (1998) coloca que como o vento tem direção aleatória é possível decompor forças e momentos atuantes nas três direções. Na direção do vento são denominadas forças de arrasto e na direção transversa, de força transversal do vento. À medida que a altura aumenta na edificação, mais suscetível a deflexões laterais porque as forças de arrasto e transversal continuam atuando e, por vezes, amplificando esse efeito. Logo, vórtices se desprendem e geram mais esforços em sua direção, Figura 2.8.

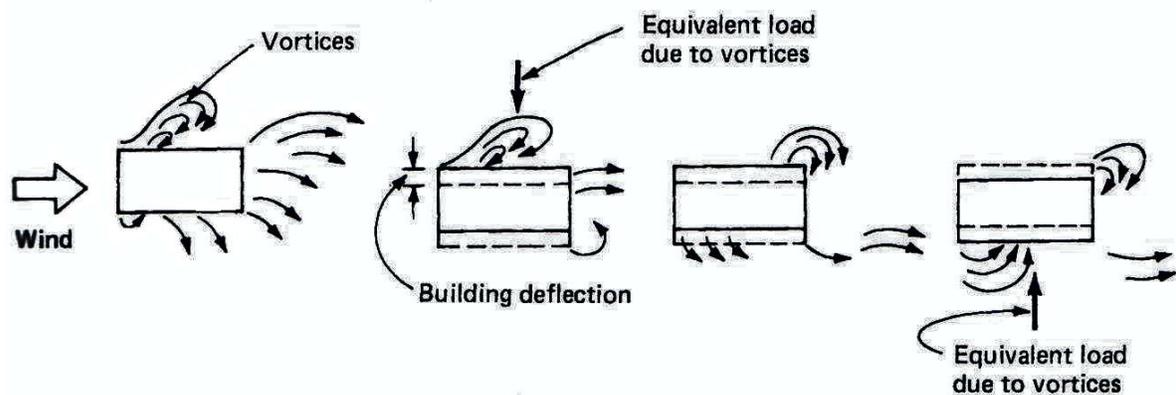


Figura 2.8 – Desprendimento de vórtices (TARANATH, 1998).

Quando o vento encontra um objeto em seu caminho, no caso um edifício alto, transfere parte de sua energia para a edificação. Essa porção de energia transferida é denominada fator de rajada e vai depender da rugosidade do terreno e da altura acima do solo. Logo, com um edifício alto, delgado e com sua estrutura flexível é fato que terá significativa resposta dinâmica ao vento devido ao efeito de martelamento (ou *buffeting*). Claro que essa resposta dinâmica também é dependente da frequência natural da estrutura e da rajada em relação ao tamanho do edifício.

2.1.7 – Ação do Vento em edifícios altos

A mais ponderosa e variável força que afeta os arranha-céus é o Vento. Um edifício alto vai se comportar como um maestro ancorado no terreno, fletindo e sacudindo ao sabor do vento (BENNETT, 1995).

Quando se trata de edifícios altos há de se pensar meticulosamente nos esforços causados pelo vento, não só no edifício em si, mas também nos efeitos que este provocará em seu entorno. E esses poderão ser positivos ou negativos dependendo do ponto de vista, mas é inegável que o incremento da altura trará custos maiores no planejamento de um arranha-céu. Gerhardt (2003) aponta as várias áreas envolvidas no projeto de um arranha-céu: carregamento de poluentes, conforto (ou desconforto) de pedestres, extração de fumaça em caso de incêndio, acústica e ventilação urbana, além das mitigações estruturais para efeitos

não desejáveis. Nesse sentido, a necessidade da simulação em túneis de vento se torna de vital importância já que a maioria das normas e programas computacionais não alcançam com precisão todos os efeitos envolvidos ou a precisão desejada.

É fato que o incremento na altura das edificações faz com que os efeitos gerados pelo vento sejam, por vezes, dramáticos. O exemplo mais emblemático do efeito do vento numa construção pode ser considerado a queda da ponte do estreito de Tacoma (*Tacoma Narrows*) nos EUA na década de 1940 – tal evento marcou inclusive o início das investigações dos esforços do vento em estruturas. Estudos mostraram que a ruína não se deu pela velocidade do vento ter atingido um alto valor (65 km/h) mas por sua seção transversal não ter a rigidez necessária e a forma aerodinâmica instável associada à resistência dos materiais (NOTAS DE AULA, 2007). No caso das edificações, o aumento da esbeltez ao longo do tempo, devido a arranjos estruturais otimizados, materiais leves e a resistência de novos materiais, fez com que a ação dos ventos fosse um ponto crítico no projeto de arranha-céus. Diferentemente dos primeiros edifícios que contavam com o peso próprio a seu favor (fachadas revestidas com pedra e membros estruturais maciços, por exemplo). Alguns fatores são apontados quando é calculada a resistência do edifício frente aos esforços causados pelo vento (TARANATH, 1998):

- Requisitos de resistência e estabilidade para o sistema estrutural;
- Fadiga em membros estruturais e/ou suas conexões causadas pela flutuação das cargas de vento;
- Excessiva deflexão lateral causando danos aos materiais de fechamento, desalinhamento de sistemas mecânicos e portas, e possíveis deformações permanentes;
- Desconforto aos ocupantes do edifício;
- Turbulências podem ser incrementadas por conta do efeito das edificações vizinhas;
- Efeitos em pedestres;

- Perturbações acústicas;
- Ressonâncias do edifício pela oscilações do içamento do elevador.

Como já comentado, é notório o aumento dos esforços com a altura a partir do aumento da velocidade do vento, Figura 2.7. Um exemplo histórico da otimização da altura frente aos esforços seria a cathedral de Ulm, construída entre os anos de 1377 a 1890 na Alemanha, Figura 2.9, na qual houve redução do carregamento de vento com sua torre em forma de um tubo contraventado de impecável eficiência estrutural (WELLS, 2005).



Figura 2.9 – Catedral de Ulm, Alemanha (GUARDIAN, 2010).

São vários os métodos para a abordagem dos esforços do vento numa edificação. Um primeiro método descreve um comportamento estático, considerando o arranha-céu como um corpo rígido submetido ao vento, com uma altura corriqueira (dez pavimentos) esbelto e

suscetível a vibrações provenientes de ventos; um segundo é tido como dinâmico aplicado a excepcional altura¹, esbelto, ou inclinado a vibrações.

No método dinâmico, se um edifício é extremamente esbelto ou localizado em condições extremas de exposição, conta-se com a interação dinâmica dos efeitos do vento. Um método de grande acuidade, caso caiba no orçamento, seria a exposição do edifício e seu entorno em testes em um túnel de vento. Outro, seria uma avaliação através de cálculos estimando o carregamento de ventos.

A norma brasileira NBR 6123/1988 fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações (ABNT NBR 6123/1988). Porém essa norma não se aplica a edificações de formas, dimensões ou localização fora do comum, casos estes em que estudos especiais devem ser feitos para determinar as forças atuantes do vento e seus efeitos (ibid). E especificamente no caso desse trabalho, a ênfase será dada ao Anexo G, que trata da influência da vizinhança nos esforços causados pelo vento na edificação. Essa norma ainda prevê que os resultados obtidos no método experimental do túnel de vento podem substituir os coeficientes constantes em seu texto.

2.1.8 – Leis de Semelhança

O projeto de uma edificação, muitas vezes, requer a conferência experimental dos parâmetros e do comportamento do modelo adotados. A simulação numa escala natural é raramente utilizada e a verificação do modelo reduzido é de extrema importância sendo garantida a partir de leis de semelhança, cujos benefícios são a rapidez na obtenção dos resultados, a economia, o estudo inicial de viabilidade do projeto, a verificação dos efeitos de mudanças

¹ De acordo com o Uniform Building Code a altura a partir da qual seria considerada excepcional seria de 123m (400 pés) ou cuja altura chega a cinco vezes a sua largura, ou mesmo referentes às estruturas que são sensíveis a oscilações provenientes da excitação promovida pelo vento; ou ainda tendo por base parâmetros entre sua proporção e altura (SMITH & COULL, 1991).

na forma exterior (BLESSMANN, 1990). São elas: a semelhança geométrica; a cinemática e a dinâmica.

2.1.8.1 – Semelhança geométrica

A semelhança geométrica do objeto testado abrange a forma do modelo (incluída a estrutura do modelo), seu entorno e as características topográficas representadas (LIU, 1991). Blessmann (1990) coloca a similaridade geométrica sob dois aspectos: o físico e o matemático. Fisicamente, as formas semelhantes são dispostas com a mesma orientação em relação aos dois escoamentos. Essas incluem também a semelhança de detalhes e de rugosidade das superfícies dos dois sólidos (mesma escala geométrica dos corpos). Matematicamente diz respeito à manutenção da constância da relação entre os comprimentos em todos os pares de linhas homólogas nos dois escoamentos, Figura 2.10 e equação (2-21).

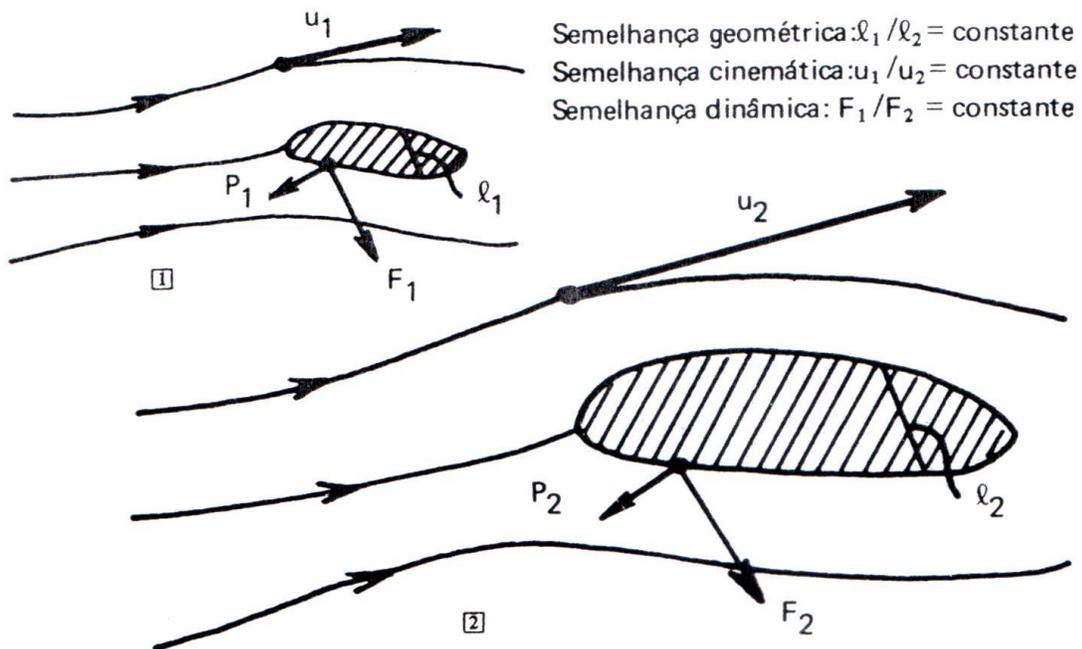


Figura 2.10 – Leis de semelhança (BLESSMANN, 1990).

$$\frac{l_1}{l_2} = \textit{constante} \quad (2-21)$$

2.1.8.2 – Semelhança cinemática

A cinemática significa dizer que o campo de velocidade e camada limite devem ser semelhantes ao real (LIU, 1991). Ou seja, há de se ter a semelhança dos escoamentos: no campo da Física significa que a distribuição das velocidades médias e as características da turbulência devem ser análogas nos dois escoamentos. Já no da matemática a relação entre os módulos das velocidades (u_i) em todos os pares de pontos correspondentes se mantem constante nos dois escoamentos (BLESSMANN, 1990), conforme a Figura 2.10 e a equação (2-22)

$$\frac{u_1}{u_2} = \textit{constante} \quad (2-22)$$

2.1.8.3 – Semelhança dinâmica

A semelhança dinâmica diz que a distribuição das pressões e as forças geradas pelo vento tenham similaridade (LIU, 1991). Isso quer dizer semelhança das forças (BLESSMANN, 1990). Fisicamente: forças idênticas (forças de gravidade², de pressão, de viscosidade, de inércia) em dois pontos correspondentes nos dois escoamentos são paralelas e guardam uma proporção constante. Na Matemática, é constante a relação entre os módulos das forças em todos os pares de pontos correspondentes nos dois escoamentos, como mostram a Figura 2.10 e a equações (2-23) e (2-24), e por conseguinte a equação (2-25).

$$\frac{F_1}{F_2} = \textit{constante} = k \quad (2-23)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \textit{constante} = k \quad (2-24)$$

2 Para o caso da aerodinâmica, as forças de gravidade não são consideradas, pois o peso do volume de ar interessado não apresenta influência digna de nota (BLESSMANN, 1990).

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{P_1}{P_2} \rightarrow \frac{F_1}{P_1} = \frac{F_2}{P_2} \quad (2-25)$$

Neste trabalho foram garantidas as condições para que o modelo fosse semelhante ao edifício real no que se refere ao comportamento estático, ou seja, frente às solicitações impostas pelo vento ensaiado em túnel de vento através de um modelo reduzido foram garantidas as semelhanças geométrica, dos coeficientes de pressão, velocidade do escoamento.

2.1.9 – Número de Reynolds

Ainda em relação à semelhança dinâmica alguns aspectos foram sinalizados por Von Kármán para que essa seja garantida. As forças que agem em um escoamento são as forças de gravidade, viscosidade, inércia e pressão. Tanto a da gravidade quanto as de pressão são previamente obedecidas já que, em termos da aerodinâmica, a primeira não é considerada porque o peso de volume de ar interessado não apresenta influência significativa no modelo, e as de pressão no caso aerodinâmico considerando o fluido como incompressível existe uma espécie de reação passiva: a pressão se liga a outras forças que agem no fluido através de equilíbrio mútuo (BLESSMANN, 1990). Resta portanto a análise das forças de inércia e de viscosidade.

O número de Reynolds é uma relação entre as forças de inércia e as de viscosidade, dada pela equação (2-26) (BLESSMANN, 1990), que é utilizado na identificação do regime de escoamento dos fluidos.

$$Re = \frac{uL}{\nu} = \frac{\text{forças de inércia}}{\text{forças de viscosidade}} \quad (2-26)$$

onde $\left\{ \begin{array}{l} u = \text{velocidade média do fluido} \\ L = \text{Comprimento escolhido para caracterizar o corpo em estudo} \\ \nu = \text{viscosidade cinemática do fluido} \end{array} \right.$

Isso quer dizer que um elevado número de Reynolds indica forças de inércia preponderantes e, pelo contrário, um pequeno valor de Re corresponderá a uma maior influência da

viscosidade. Vale mencionar que formas típicas de edifícios, como a utilizada nesse trabalho, são menos dependentes do Número de Reynolds (BARLOW et al, 1999).

2.2 – COEFICIENTES AERODINÂMICOS

Neste trabalho foi considerada apenas a ação estática do vento equivalente à ação real, dinâmica do vento, conforme condições de similaridade com as condições reais discutidas na seção anterior. Para tanto, essa ação estática atuante na edificação em estudo foi determinada pelos denominados coeficientes aerodinâmicos descritos a seguir, conforme formulário apresentado na NBR 6123/1988.

2.2.1 – Coeficiente de pressão

Como a força do vento depende da diferença de pressão nas faces opostas da parte da edificação em estudo, os coeficientes de pressão são dados tanto para as superfícies externas quanto as internas. Matematicamente, são definidos conforme equações (2-27) e (2-28).

$$c_{pe} = \frac{\Delta p_e}{q}, \text{ onde } \begin{cases} \Delta p_e = \textit{pressão efetiva externa} \\ q = \textit{pressão dinâmica do vento} \end{cases} \quad (2-27)$$

$$c_{pi} = \frac{\Delta p_i}{q}, \text{ onde } \begin{cases} \Delta p_i = \textit{pressão efetiva interna} \\ q = \textit{pressão dinâmica do vento} \end{cases} \quad (2-28)$$

Valores positivos desses coeficientes significam sobrepressões e para valores negativos, sucções.

2.2.2 – Coeficiente de força resultante

De acordo com a norma brasileira, a força global do vento sobre uma edificação ou parte dela é obtida pela soma vetorial das forças do vento que aí atuam. De um modo geral, uma componente qualquer da força global é obtida pela equação (2-29)

$$F = c_f q A, \text{ onde } \begin{cases} c_f = \text{coef. de força em cada caso: } c_x, c_y, \text{ etc} \\ q = \text{pressão dinâmica do vento} \\ A = \text{área de referência, para cada caso} \end{cases} \quad (2-29)$$

Em cada direção, isolando o respectivo coeficiente tem-se

$$c_{Fx} = \frac{F_x}{qAL} \quad (2-30)$$

$$c_{Fy} = \frac{F_y}{qAL} \quad (2-31)$$

2.2.3 – Coeficiente de torção

O momento de torção, M_t , em relação ao eixo de torção da edificação é dado pela equação (2-32) e (2-33)

$$M_t = c_t q AL, \text{ onde } \begin{cases} c_t = \text{coeficiente de torção} \\ q = \text{pressão dinâmica do vento} \\ A = \text{área de referência para cada caso} \\ L = \text{dimensão linear de referência} \end{cases} \quad (2-32)$$

Isolando o valor do c_t , tem-se

$$c_t = \frac{M_t}{q AL} \quad (2-33)$$

2.2.4 – Coeficiente de momento fletor

De forma semelhante ao coeficiente anterior, o momento fletor, M_f , em relação aos eixos x e y é dado pela equação (2-34) a (2-35)

$$M_x = c_{Mx} q AL, \text{ onde } \begin{cases} c_{Mx} = \text{coeficiente de momento fletor em } x \\ q = \text{pressão dinâmica do vento} \\ A = \text{área de referência para cada caso} \\ L = \text{dimensão linear de referência} \end{cases} \quad (2-34)$$

E

$$M_y = c_{My} q AL, \text{ onde } \begin{cases} c_{My} = \text{coeficiente de momento fletor em } y \\ q = \text{pressão dinâmica do vento} \\ A = \text{área de referência para cada caso} \\ L = \text{dimensão linear de referência} \end{cases} \quad (2-35)$$

Isolando o valor do c_{Mi} (onde $i=x$ ou y), tem-se

$$c_{Mx} = \frac{M_x}{q AL} \quad (2-36)$$

$$c_{My} = \frac{M_y}{q AL} \quad (2-37)$$

2.3 – FORMAS AERODINÂMICAS

Estruturalmente, Ali & Moon (2007) retoma a idéia primária de aproximar um edifício-alto como uma viga vertical engastada no solo e que deve ter grande capacidade de suportar carregamentos laterais advindos de vento e terremotos bem como ter grande resistência à flexão e ao cisalhamento. Intuitivamente, os comportamentos a serem verificados: a não possibilidade de se partir faz com que a edificação tenda a se deslocar lateralmente diante do carregamento ilustrado, Figura 2.11(a); a ocorrência da flexão diante do fato do engaste da edificação no solo, Figura 2.11(b). O arranjo escolhido deverá ser capaz de responder a essas solicitações garantindo a integridade estrutural da edificação.

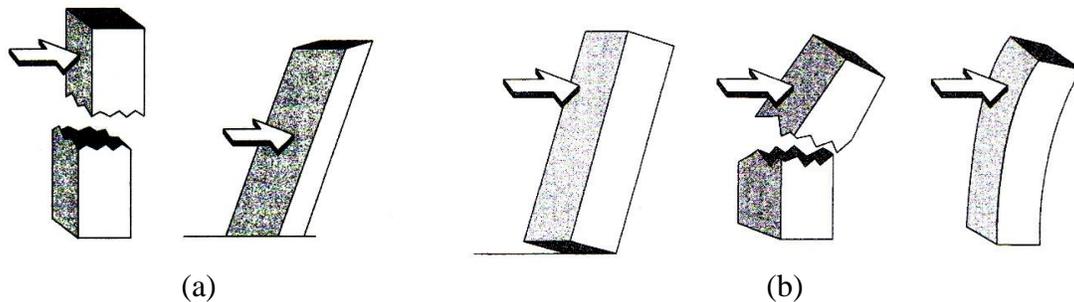


Figura 2.11 – Modelos simplificados do funcionamento de um arranha-céu, mediante: a) esforços cisalhantes; b) flexão (TARANATH, 1997).

Foi o engenheiro Fazlur Khan quem reconheceu que uma hierarquia dos sistemas estruturais poderia ser categorizada com respeito a sua rigidez em relação a carregamentos laterais. As Figuras 2.12 e 2.13 trazem essa evolução dos sistemas dos edifícios altos desde o final do século XIX e o crescimento em altura que esta proporcionou aos mesmos. Em ambas as pranchas foram mantidas uma mesma escala, aproximadamente, de forma a perceber a evolução da altura juntamente com a dos sistemas estruturais ao longo da história. O Apêndice A traz cada uma das edificações em separado para uma melhor visualização, contendo maiores detalhes de cada uma dessas.

Tratando-se de estruturas e fechamentos leves, o entendimento mudou ao longo dos anos: até a primeira metade do século XX contava com o espessamento da alvenaria, ou mesmo, do material de revestimento da fachada, para combater esforços horizontais dos ventos; depois, porém, fez-se o tratamento diferenciado de cada um dos problemas – a resistência ao vento e ondas sísmicas e o arranjo estrutural em termos de peso próprio e suporte das cargas de uso da edificação. Esse fato ficou evidenciado no uso de núcleos rígidos e contraventamentos independentes das fachadas, que aumentavam substancialmente a rigidez do sistema como um todo e aumentaram potencialmente as possibilidades de se encontrar formas aerodinâmicas interessantes.



(a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h) (i) (j) (k) (l) (m)

Figura 2.12 – Exemplos da evolução dos sistemas estruturais utilizados ao longo da história da construção dos arranha-céus: a) Reliance Building (FOTO DA AUTORA); b) Lever House (FOTO DA AUTORA); c) 225 West Washington; d) Natwest Bank Tower; e) Chicago Civic Center; f) First Wisconsin Center; g) Olympia Center; h) World Trade Center (FLICKR, c.2010); i) John Hancock Center (FOTO DA AUTORA); j) Willis Tower; k) Landmark Tower (FLICKR, c.2010); l) Chicago World Trade Center – não construído (BENNETT, 1995); m) Burj Khalifa (FLICKR , c.2010).

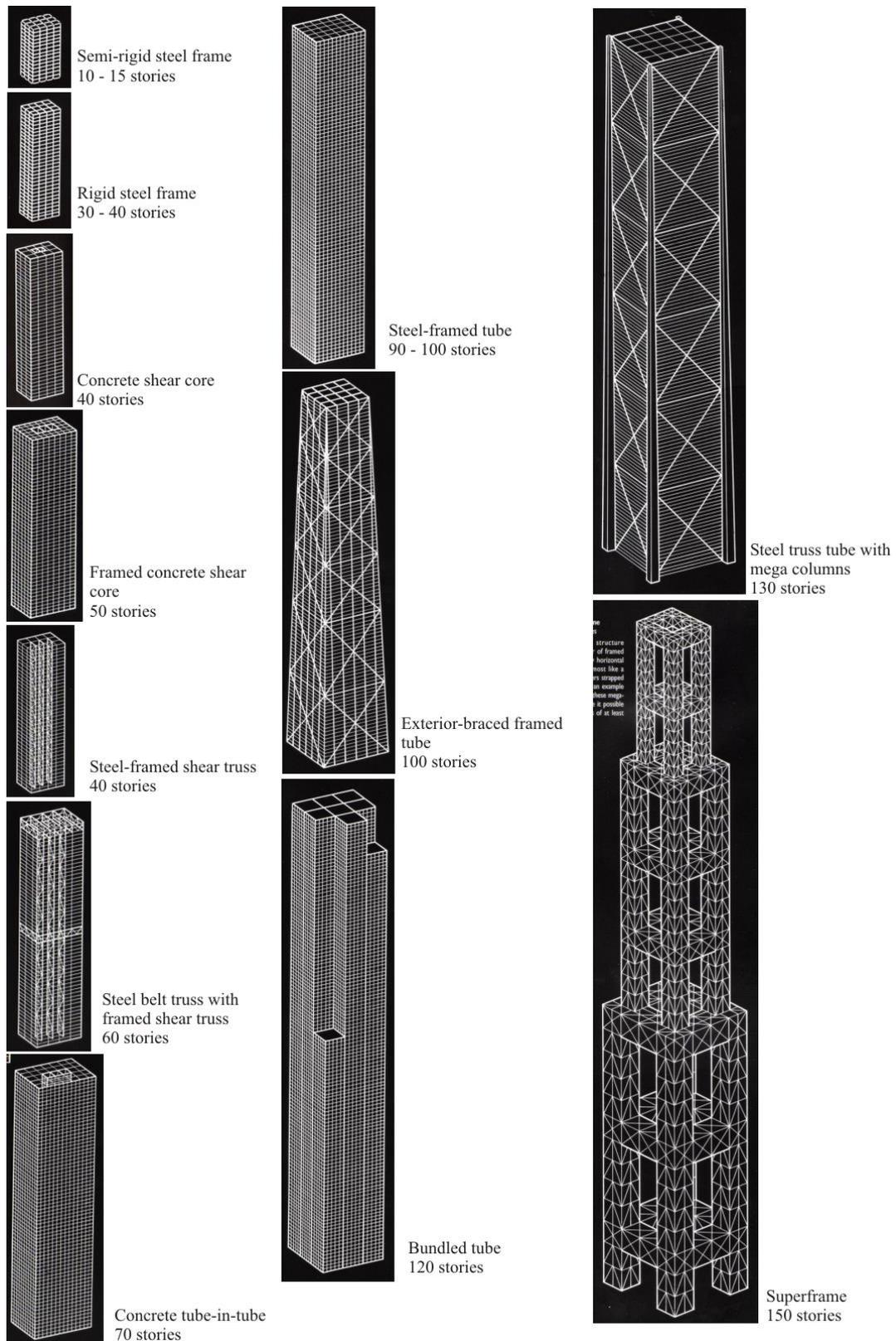


Figura 2.13 – Evolução do sistema estrutural – tomados uma mesma escala gráfica (BENNETT, 1995).

Uma busca tem sido feita em grandes escritórios de engenharia e arquitetura para a combinação entre forma e arranjo estrutural (entrevista com Tornton Tomasetti, 2010). Ao longo da história da arquitetura percebemos momentos em que esses dois elementos funcionam completamente separados e em outros que são efetivamente amalgamados, expressados na forma final da edificação. Porém, nos dias de hoje encontramos ambas posições: uma arquitetura de adereços e ornamentação gratuita cujo intuito é o impacto visual, sem qualquer correspondência ou comunicação com sua estrutura, exemplo do Chicago Spire com 610m, cuja construção está interrompida (CTBUH, 2013), Figura 2.14 (a) e (b); e outros edifícios que utilizam do arranjo estrutural como expressão da arquitetura, como os projetos da Shanghai Tower e da Tameer Tower, Figura 2.14(c) e (d). Na primeira, sua forma foi exaustivamente pensada em função dos esforços do vento (ibid).

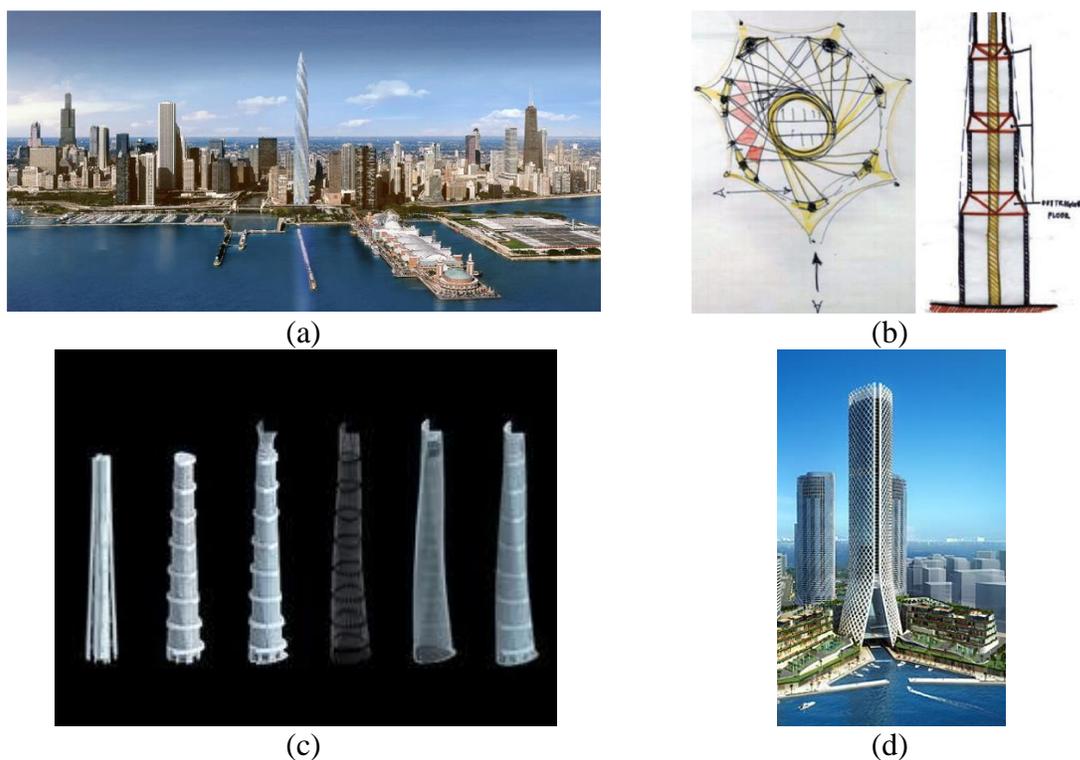


Figura 2.14 – Exemplos de investigação de formas aerodinâmicas – Chicago Spire: a) Previsão na cidade de Chicago (SKYSCRAPERCITY, 2000); b) Croqui do sistema estrutural (ELNIMERI & GUPTA, 2008); Projetos (TOMASETTI, s/d); c) Shanghai Tower (FLICKR, 2010); d) Tameer Towers (FLICKR, 2010).

Na história das construções existem as formas eficazes de combater ou de minimizar os efeitos do vento. E essa não é uma preocupação pequena para projetistas e construtores – os

efeitos do vento impactam substancialmente os custos de um arranha-céu (GERHARDT in EISELE, 2003). Como exemplo, no projeto do edifício mais alto de Mumbai, Índia, com 400m de altura os arquitetos preocuparam-se em dar-lhe uma forma aerodinâmica para minimizar efeitos indesejáveis do vento em edifícios altos, como o desprendimento de vórtices abrandado pelos denominados *sky gardens*, mostrados na Figura 2.15.

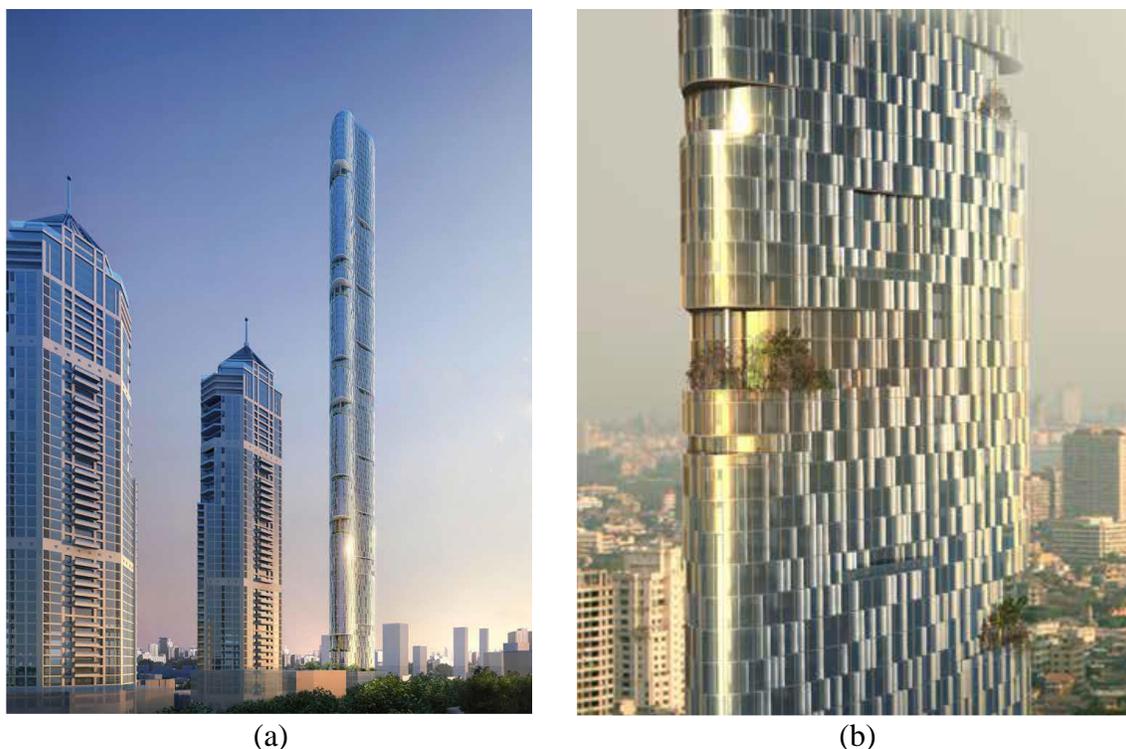


Figura 2.15 – Imperial Tower: a) Inserção na cidade, foto-maquete; b) Detalhe do projeto – *sky gardens* (SMITH GILL, 2013).

2.4 – EFEITOS DE VIZINHANÇA

Tanto a configuração do local de inserção quanto a forma da edificação têm grande influência no comportamento dos esforços aos quais está submetido. O denominado efeito da vizinhança sobre uma edificação altera, às vezes substancialmente, os coeficientes aerodinâmicos que são utilizados no dimensionamento estrutural e de fechamento da construção. Nos resultados dos ensaios experimentais realizados nessa tese ficou comprovado que esse efeito pode provocar alterações que minimizam os esforços do vento –

vizinhança com efeito de proteção sobre o edifício em estudo, e em outras situações os amplificam.

Blessmann (1989) aponta que edifícios cuja proporção é de 2x1x4 contam com valores de sucção bastante elevados nas faces maiores – o aumento chegaria a 60%. Por isso foi importante a inserção de edifícios em momentos subsequentes – por exemplo, nessa tese foi realizado o experimento na vizinhança do CAARC, denominado V1, e logo depois tomou-se a mesma vizinhança e se inseriu um novo conjunto de edifícios, denominando o experimento de V2, e observada a mudança nos respectivos coeficientes aerodinâmicos do edifício padronizado. Os efeitos de sobrepressão e sucção mudaram e, por vezes, foram atenuados ou até aumentados, conforme mostra a Tabela 2.3, os coeficientes de momento fletor da sétima e oitava vizinhanças nos dois experimentos para os ângulos ensaiados do primeiro quadrante mudam significativamente com a inserção do terceiro grupo de edifícios (de mesma altura do CAARC), Figura 2.16. Observa-se que para uma mesma angulação se passa de sobrepressão para sucção em alguns casos, por exemplo a 0°, e que para alguns casos, mesmo numa mesma situação (ou de sobrepressão ou de sucção) os valores dos coeficientes modificam-se substancialmente, como o C_{My} a 30° para o que passa de -0,51 para -0,09.

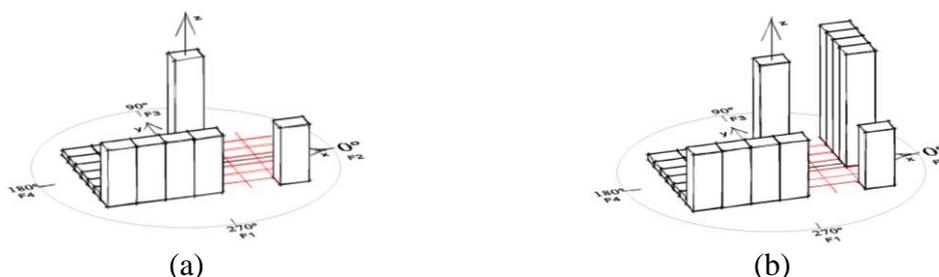
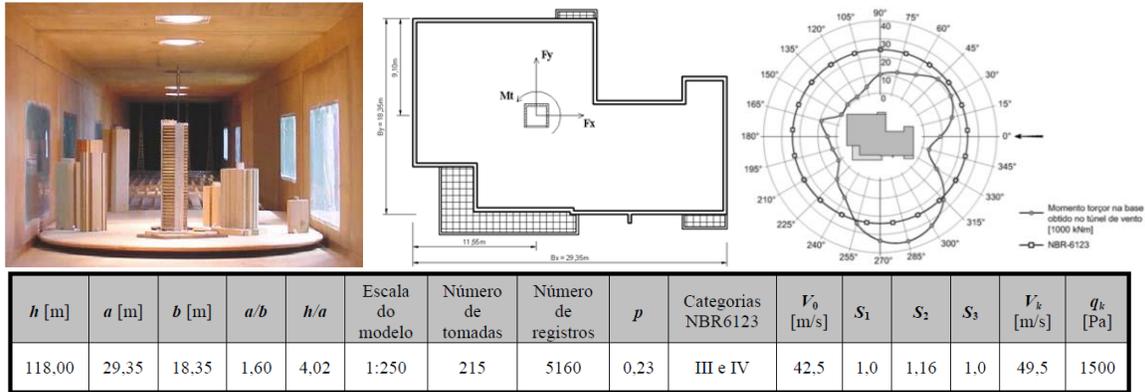


Figura 2.16 – Vizinhanças ensaiadas: a) V7; b) V8.

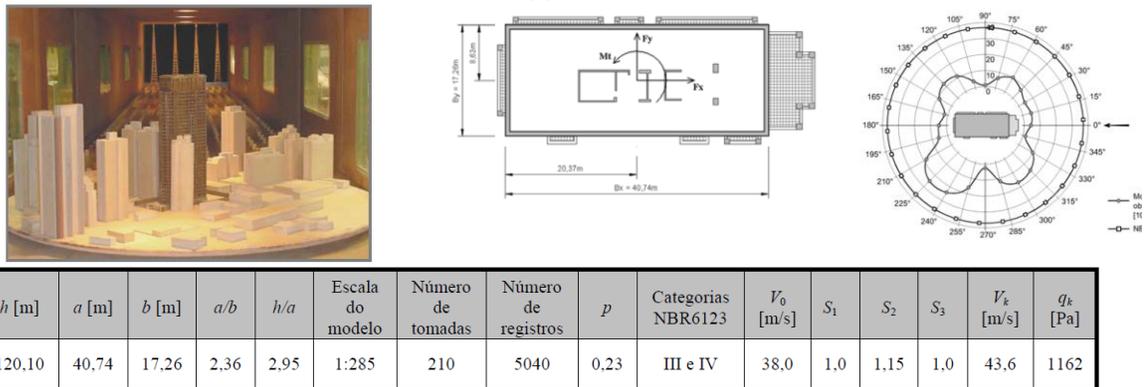
Tabela 2.3 – Coeficiente de Momento Fletor das vizinhanças V7 e V8.

| Vizinhança V7 | | | | | | | |
|----------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° |
| C_{Mx} | 0,38 | 0,39 | 0,40 | 0,34 | 0,20 | -0,05 | -0,03 |
| C_{My} | 0,00 | -0,09 | -0,51 | -0,78 | -0,83 | -0,94 | -1,04 |
| Vizinhança V8 | | | | | | | |
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° |
| C_{Mx} | -0,04 | -0,16 | -0,09 | -0,05 | -0,04 | -0,04 | 0,00 |
| C_{My} | 0,14 | 0,06 | -0,09 | -0,68 | -0,83 | -0,97 | -1,02 |

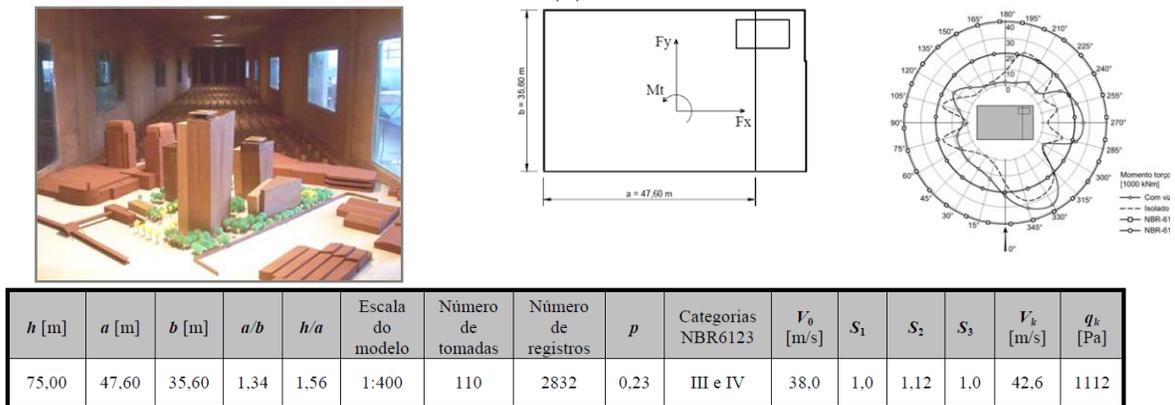
Carpeggianni (et al, 2005) apresentou o aumento de cargas torcionais considerando a vizinhança de onze edificações, como é mostrado na Figura 2.17, comparando as normas brasileira, canadense e alemã.



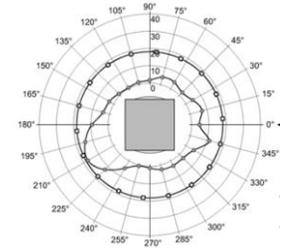
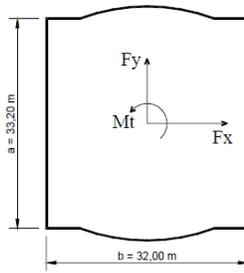
(a)



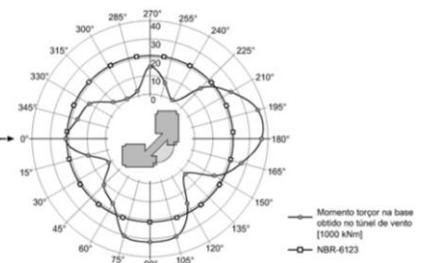
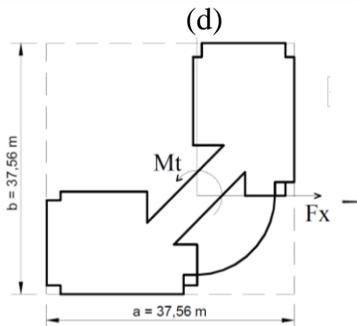
(b)



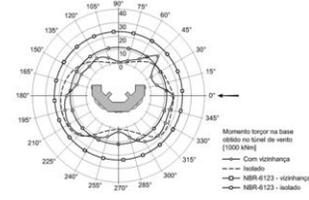
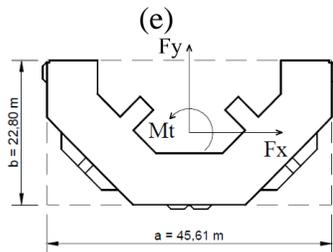
(c)



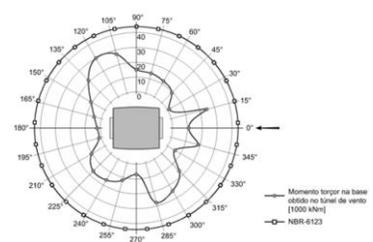
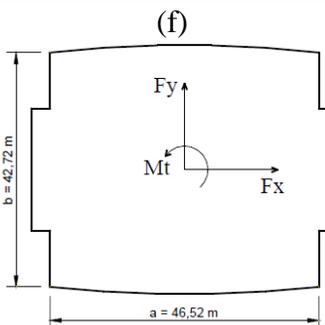
| h [m] | a [m] | b [m] | a/b | h/a | Escala do modelo | Número de tomadas | Número de registros | p | Categorias NBR6123 | V_0 [m/s] | S_1 | S_2 | S_3 | V_k [m/s] | q_k [Pa] |
|---------|---------|---------|-------|-------|------------------|-------------------|---------------------|------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|------------|
| 93,50 | 33,20 | 32,00 | 1,04 | 2,82 | 1:400 | 137 | 11544 | 0,23 | III e IV | 38,0 | 1,0 | 1,17 | 1,0 | 44,4 | 1209 |



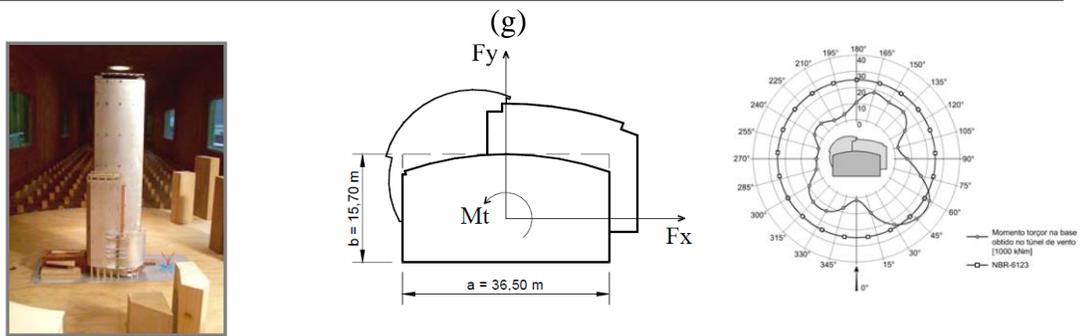
| h [m] | a [m] | b [m] | a/b | h/a | Escala do modelo | Número de tomadas | Número de registros | p | Categorias NBR6123 | V_0 [m/s] | S_1 | S_2 | S_3 | V_k [m/s] | q_k [Pa] |
|---------|---------|---------|-------|-------|------------------|-------------------|---------------------|---------------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|------------|
| 108,60 | 37,56 | 37,56 | 1,00 | 2,89 | 1:350 | 153 | 3672 | 0,23/ 0,34 | III e IV/ V | 38,0 | 1,0 | 1,16 | 1,0 | 44,2 | 1196 |



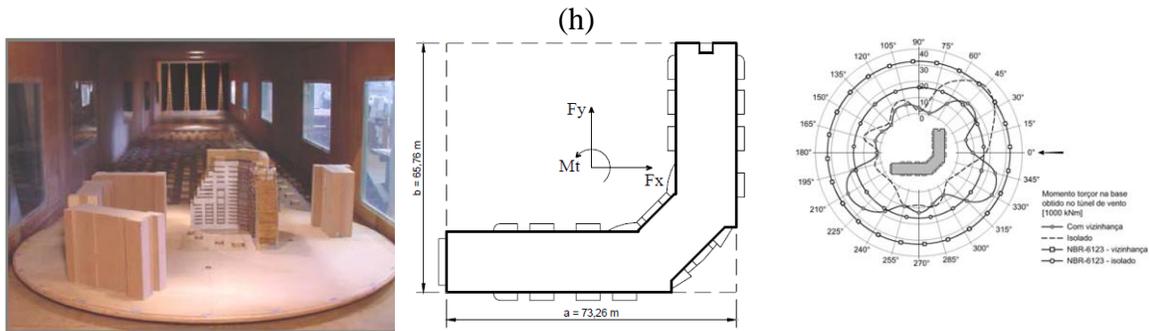
| h [m] | a [m] | b [m] | a/b | h/a | Escala do modelo | Número de tomadas | Número de registros | p | Categorias NBR6123 | V_0 [m/s] | S_1 | S_2 | S_3 | V_k [m/s] | q_k [Pa] |
|---------|---------|---------|-------|-------|------------------|-------------------|---------------------|------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|------------|
| 72,52 | 45,61 | 22,80 | 2,00 | 1,59 | 1:250 | 211 | 5064 | 0,23 | III e IV | 38,0 | 1,0 | 1,11 | 1,0 | 42,2 | 1090 |



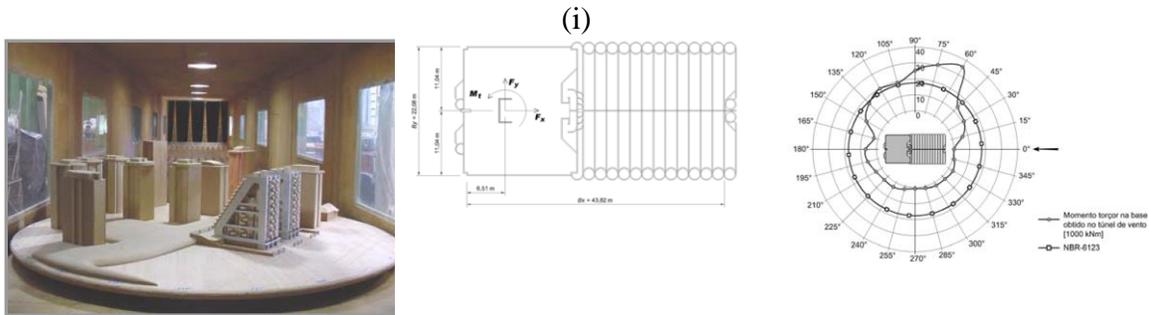
| h [m] | a [m] | b [m] | a/b | h/a | Escala do modelo | Número de tomadas | Número de registros | p | Categorias NBR6123 | V_0 [m/s] | S_1 | S_2 | S_3 | V_k [m/s] | q_k [Pa] |
|---------|---------|---------|-------|-------|------------------|-------------------|---------------------|------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|------------|
| 142,50 | 46,52 | 42,72 | 1,09 | 3,06 | 1:400 | 244 | 5983 | 0,23 | III e IV | 38,0 | 1,0 | 1,21 | 1,0 | 45,8 | 1288 |



| h [m] | a [m] | b [m] | a/b | h/a | Escala do modelo | Número de tomadas | Número de registros | p | Categorias NBR6123 | V_0 [m/s] | S_1 | S_2 | S_3 | V_k [m/s] | q_k [Pa] |
|---------|---------|---------|-------|-------|------------------|-------------------|---------------------|------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|------------|
| 149,50 | 36,50 | 15,70 | 2,33 | 4,10 | 1:333 | 219 | 5256 | 0,23 | III e IV | 38,0 | 1,0 | 1,18 | 1,0 | 44,8 | 1230 |

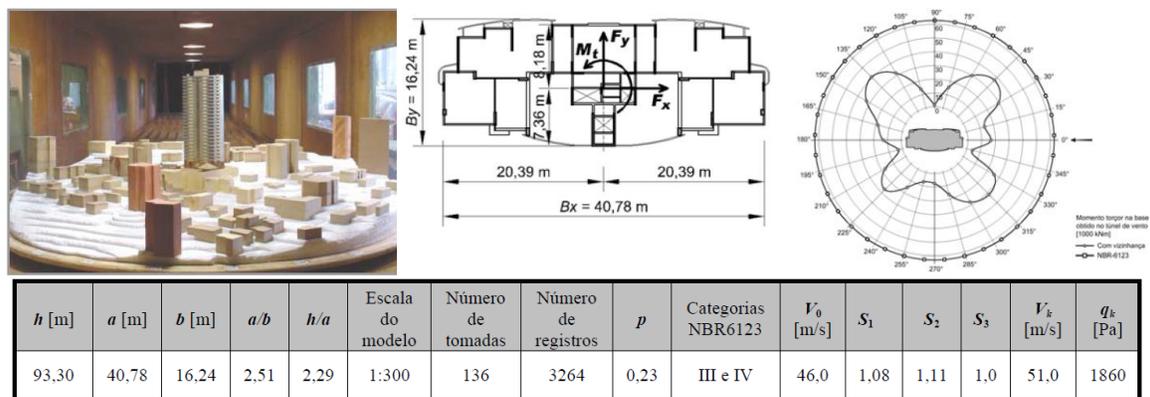


| h [m] | a [m] | b [m] | a/b | h/a | Escala do modelo | Número de tomadas | Número de registros | p | Categorias NBR6123 | V_0 [m/s] | S_1 | S_2 | S_3 | V_k [m/s] | q_k [Pa] |
|---------|---------|---------|-------|-------|------------------|-------------------|---------------------|------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|------------|
| 63,50 | 73,26 | 65,76 | 1,11 | 0,87 | 1:220 | 320 | 15360 | 0,19 | III | 35,0 | 1,0 | 1,09 | 1,0 | 38,0 | 885 |



| h [m] | a [m] | b [m] | a/b | h/a | Escala do modelo | Número de tomadas | Número de registros | p | Categorias NBR6123 | V_0 [m/s] | S_1 | S_2 | S_3 | V_k [m/s] | q_k [Pa] |
|---------|---------|---------|-------|-------|------------------|-------------------|---------------------|---------------|---------------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|------------|
| 56,50 | 43,82 | 22,08 | 1,99 | 1,29 | 1:300 | 80 | 3840 | 0,11/ 0,23 | I e II/ III e IV | 35,0 | 1,0 | 1,17 | 1,0 | 41,0 | 1031 |

(j)



(k)

Figura 2.17 – Aumento de cargas torcionais de onze edifícios testados com vizinhança, comparando os resultados previstos nas normas brasileira, canadense e alemã: a) Torre de Málaga; b) L'Essence Jardins; c) RochaVerá; d) SP Wellness; e) Brascan Century Plaza; f) Cyrela Classique Klabin; g) Gafisa-Eldorado; h) e-Tower; i) Mandarin; j) Sundeck Residence; k) Sunset Residence; (CARPEGGIANNI et al, 2005).

Os autores citam que a distribuição de pressões médias e flutuantes depende da forma externa da edificação, dos efeitos de interferência da vizinhança e dos efeitos dinâmicos e, nesse sentido, se propuseram a verificar a adequação da norma brasileira, a norma canadense e a norma alemã respectivamente, NBR 6123/1988, NBCC e DIN-1055, de estruturas com configurações diferentes das previstas nessas normas quanto ao momento torçor. Ainda, chegaram à conclusão de que, no caso da norma brasileira, deveria ser considerado um único valor para a excentricidade no cálculo da edificação (15% da maior dimensão em planta) – a norma, atualmente, prevê dois valores: um considerando os efeitos de vizinhança e o outro sem esse. Quanto às normas internacionais, apesar de um mesmo critério de avaliação, levaram a resultados distintos.

Blessmann (1989) mostra a alteração de alguns coeficientes aerodinâmicos a partir da inserção de um edifício vizinho, colocado a distâncias diferentes, de um edifício instrumentado, Figura 2.17(a), tanto para fluxo suave quanto turbulento. Já na Figura 2.18(b) um mesmo edifício vizinho foi girado e observadas as alterações nos respectivos coeficientes.

| Situação 1 | $C_x = C_a$ | | Situação 2 | C_a | |
|------------|-------------|-------|------------|-------|-------|
| | Suave | Turb. | | Suave | Turb. |
| | +2,19 | +1,77 | | +1,82 | +1,94 |
| | -0,34 | -0,44 | | -0,28 | -0,37 |
| | -0,40 | +0,34 | | -0,42 | -0,33 |

(a)

| Situações 3 e 4 | Suave | | | | Turbulento | | | |
|-----------------|-------|-------|------|-------|------------|-------|------|-------|
| | C_x | C_y | C | C_t | C_x | C_y | C | C_t |
| | +1,20 | +0,21 | 1,22 | -0,20 | +1,01 | +0,36 | 1,07 | -0,24 |
| | +1,20 | +0,21 | 1,22 | -0,20 | +0,77 | +0,50 | 0,92 | -0,33 |

(b)

Figura 2.18 – Alteração dos coeficientes aerodinâmicos a partir da inserção de vizinhança (BLESSMANN, 1989).

A norma brasileira de ventos, NBR 6123 publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas em 1988, traz em seu Anexo G a influência das edificações vizinhas, que podem causar aumento das forças do vento de três maneiras distintas: por efeito Venturi; por deflexão do vento na direção vertical, aumentando a velocidade em zona próximas ao solo; e pela turbulência da esteira, gerada pelo edifício a barlavento; Figura 2.19.

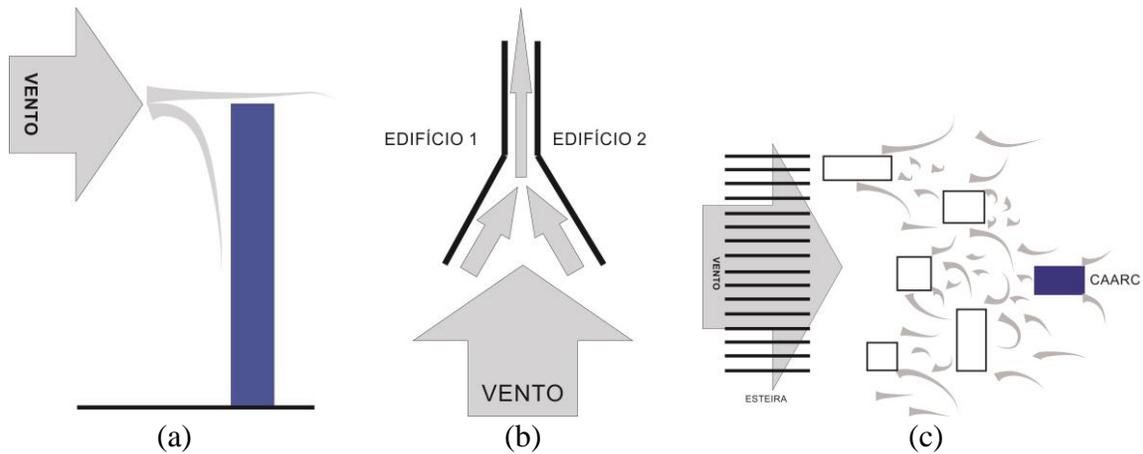


Figura 2.19 – Efeitos de vizinhança: a) por Efeito Venturi; b) por deflexão do vento na direção vertical; c) pela turbulência da esteira.

É razoável pensar que não se pode indicar valores para o efeito da vizinhança de modo único porque cada situação vai determinar a distribuição do carregamento imposto pelo vento de maneira única. Porém essas situações poderão ser simuladas em ensaios experimentais em túnel de vento buscando-se chegar nas condições reais de solicitação da edificação em estudo.

Conforme a norma brasileira o fator de vizinhança (FV) pode ser encontrado a partir da equação (2-38):

$$FV = \frac{c_{\text{edificação com vizinhança}}}{c_{\text{edificação isolada}}}, \text{ onde } c \text{ é o coef. aerodinâmico de interesse} \quad (2-38)$$

De uma forma aproximada, utilizando-se dos parâmetros geométricos do edifício em estudo e de relações de afastamento com sua vizinhança obtém-se a majoração dos coeficientes aerodinâmicos – indica o aumento que podem sofrer esses coeficientes por efeito de vizinhança a partir da relação dada nas equações (2-39) (em paredes confrontantes) e (2-40) (na cobertura).

$$\text{para } c_a, c_e \text{ e } c_{pe} \begin{cases} \frac{s}{d^*} \leq 1,0 \rightarrow FV = 1,3 \\ \frac{s}{d^*} \geq 3,0 \rightarrow FV = 1,0 \end{cases} \quad (2-39)$$

$$\text{para } c_e \text{ e } c_{pe} \begin{cases} \frac{s}{d^*} \leq 0,5 \rightarrow FV = 1,3 \\ \frac{s}{d^*} \geq 3,0 \rightarrow FV = 1,0 \end{cases} \quad (2-40)$$

Onde, s = afastamento entre os planos das faces confrontantes de duas edificações altas vizinhas, sendo axb as dimensões em planta das edificações axb entre $1x1$ e $4x1$; e ângulos de incidência de 0° e 180° ; de 90° e 270° .

$$d^* = a \text{ menor das duas dimensões} \begin{cases} \text{lado menor } b; \\ \text{semidiagonal } \frac{1}{2}\sqrt{a^2 + b^2} \end{cases} \quad (2-41)$$

A norma ainda sugere interpolar os valores intermediários de s/d^* . No Apêndice A tem-se os valores dos FV para cada coeficiente aerodinâmico das oito vizinhanças propostas seguindo o que é estabelecido na NBR 6123/1988 a título de comparação futura com os resultados experimentais alcançados.

Para a obtenção do coeficiente de arrasto a norma traz em suas Figuras 4 e 5, reproduzidas nas Figuras 2.20(a) e (b) desse trabalho, com os parâmetros geométricos e as incidências do vento a 0° e 180° ; e 90° e 270° . Para o CAARC é apresentado o Apêndice B.

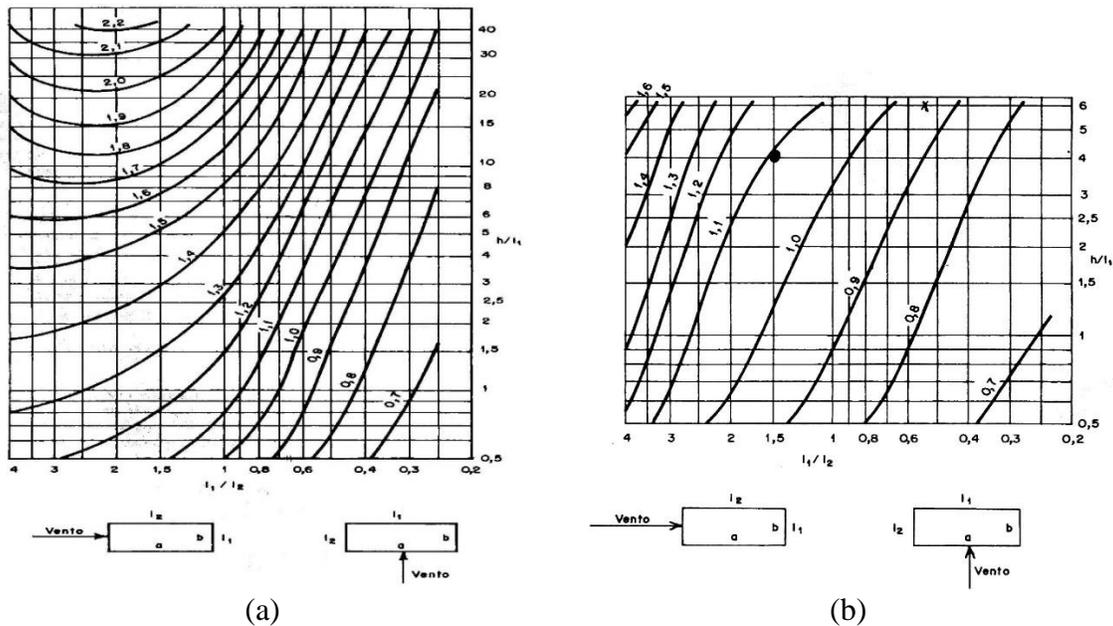


Figura 2.20 – Coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas: a) em vento de baixa turbulência; b) em vento de alta turbulência (ABNT NBR 6123/1988).

Ainda, explicita no item 6.6 que devem ser considerados os efeitos da excentricidade da força de arrasto. Para tanto, nesse trabalho o Apêndice C traz as excentricidades calculadas a partir dos dados experimentais calculados no túnel de vento e aquelas trazidas pela norma, nas equações (2-42) quando a edificação está isolada, e (2-43) quando sob efeito de vizinhança. Sendo e_a medido na direção do maior lado do CAARC, e e_b medido na direção do lado menor.

$$e_a = 0,075a \quad e \quad e_b = 0,075b \quad (2-42)$$

$$e_a = 0,15a \quad e \quad e_b = 0,15b \quad (2-43)$$

Nos resultados experimentais, que serão apresentados no capítulo 5, verificou-se que o FV para cada uma das vinte e quatro angulações do vento incidindo nas 8 vizinhanças propostas e no edifício isolado estão, ora abaixo de 1,3 ora acima. Cada caso será discutido e a leitura de todos os FV gerados a partir dos quatro coeficientes aerodinâmicos estudados mostram que para alguns os FV gerados estão abaixo dos 30 % de majoração sugeridos pela norma e para outros, acima desses.

CAPÍTULO 3 – ESTUDO EXPERIMENTAL

3.1 – ENSAIOS DE EDIFÍCIOS ALTOS EM TÚNEL DE VENTO

Para um estudo refinado dos carregamentos em termos de resultados, de representação de situações reais de entorno de um edifício alto, a simulação em túnel de vento torna-se imprescindível devido ao fenômeno complexo do vento. Principalmente porque, como dito anteriormente, as normas e códigos preveem situações padrão (edificações de formato regulares e determinadas simplificações da situação real de projeto) e, na maioria das vezes, a forma do edifício não obedece qualquer regularidade porque a aerodinâmica é uma variável de grande relevância para mitigação dos esforços e custos. De acordo com Taranath (1997) a determinação usual é que edifícios com mais de 40 andares já se tornam candidatos aos ensaios em túnel de vento, independente de sua forma. A norma brasileira NBR 6123/98 diz que os resultados obtidos em túnel de vento podem substituir os valores sugeridos em seu texto e que estudos especiais devem ser utilizados se as formas, dimensões ou localização fora do comum assim o determinarem para caracterizar as forças atuantes do vento e seus efeitos (ABNT NBR 6123/1988).

As justificativas para o uso dos testes em túneis de vento vão desde o custo da estrutura a ser construída, probabilidade de problemas com os efeitos do vento, complexidade da edificação que justifica tal estudo, sua importância (tanto no contexto urbano quanto por si).

Taranath (1997) assinala os objetivos pelos quais uma edificação é submetida ao túnel de vento, além de determinar os carregamentos laterais, a resposta do edifício frente aos esforços impostos pelo vento e melhor configuração da forma, são eles:

- Perfil da camada limite e turbulência;
- Intensidade e duração de ventos extremos;
- Influência da vizinhança e do edifício proposto;
- Arrasto, desprendimento de vórtices, e separação o da camada limite na envoltória do edifício;
- Resposta dinâmica da edificação;

- Esforços sobre revestimentos e vidros;
- Efeitos locais – estabilidade de veículos e pedestres;
- Tolerância de movimento – desconforto dos ocupantes;
- Efeito de martelamento a jusante do edifício;
- Danos à estrutura devido ao desprendimento de partículas;
- Penetração de umidade;
- Acúmulo de neve e problemas no controle da poluição.

Liu (1991) apresenta várias formas de classificar os túneis de vento. No caso desse trabalho, o túnel utilizado tem circuito fechado do vento, ou seja, o ar recircula durante os testes e tem como característica a ocupação de grande área do laboratório, como se trata de um túnel horizontal. Essa tipologia de túnel tem como vantagem não causar ventos indesejáveis no laboratório; geram menos ruídos no laboratório que o de circuito aberto; quando implantados externamente não submetem seu interior a chuva, neve ou poeira. Barlow et al. (1999) acrescenta ainda como vantagens a qualidade do fluxo do vento pelo fato do circuito ser fechado, independente das outras atividades existentes no edifício ou das condições climáticas; além disso, consumo baixo de energia, considerando seu desempenho quando utilizado seis dias da semana, por vezes; e pouco ruído no meio ambiente ao qual está inserido. Porém, assinalam suas desvantagens: o custo inicial ser alto para sua implantação e quando o túnel tiver alta utilização ser necessário formas de resfriamento.

Os ensaios desse trabalho foram realizados no túnel de vento de camada limite Prof. Joaquim Blessmann do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Figura 3.1. Esse túnel foi projetado para ensaios estáticos e dinâmicos de modelos para a construção civil.

3.1.1 – Túnel de Vento Professor Joaquim Blessmann

O Túnel de Vento Professor Joaquim Blessmann, como mencionado anteriormente, é um túnel de camada limite e circuito fechado, em operação desde 1977 (BLESSMANN, 1990). De acordo com o autor, com o objetivo de resultados mais próximos à realidade vários túneis foram sendo construídos para auxiliar a construção civil na simulação cada vez mais fidedignas. Esses túneis tem a relação comprimento altura a partir de oito – o

túnel de realização dos ensaios dessa tese possui a relação acima de 10. Já os tuneis aeronáuticos, que geram ventos uniformes de baixa turbulência mas de velocidade mais alta, chegam a uma relação comprimento/altura em torno de dois.

Dentre os experimentos realizados no túnel estão tanto estudos de efeito estáticos quanto dinâmicos, a saber: efeitos sobre usuários, efeitos sobre transeuntes (veículos e plantas), dispersão de poluentes, estudo de características da camada limite, ventilação interna, estudos hidráulicos por via aerodinâmica. A Figura 3.1 mostra uma foto recente do laboratório.



Figura 3.1 – Vista da parte externa da câmara de ensaios do túnel de vento Professor Joaquim Blessmann, da UFRGS (LAC, 2011).

3.1.1.1 – Características do túnel de vento

A seção de altas velocidades do túnel de vento Professor Joaquim Blessmann apresenta as características a seguir, Figura 3.2:

- a) relação comprimento/ altura $\cong 10,3$;
- b) dimensões médias = 1,30m x 0,90m x 9,32 (largura x altura x comprimento);
- c) velocidade máxima do escoamento com vento uniforme e suave sem a presença de modelos é de aproximadamente 44m/s (160 km/h);
- d) número de Reynolds do túnel = $2,6 \times 10^6$;
- e) motor elétrico que acionam as hélices do ventilador = 100HP.

3.1.1.2 – Mesas para fixação dos modelos

O Túnel de Vento *Prof. Joaquim Blessmann* dispõe de quatro mesas giratórias para fixação de modelos. Cada mesa tem suas aplicações específicas, a saber:

- Mesa M-I: ensaios de tipo aeronáutico no piso do túnel; pesquisa básica em formas geométricas simples, em modelos bi ou tridimensionais; ensaios para construção civil com geradores de turbulência colocados na câmara de simuladores. Nesta, os modelos podem ser colocados tanto na posição vertical quanto horizontal;
- Mesa M-II: ensaios de tipo aeronáutico no eixo do túnel; ensaios para construção civil, com blocos colocados no piso e/ou geradores de turbulência na câmara de simuladores e/ou em outras seções; estudos de fenômenos de instabilidade aerodinâmica com modelos bidimensionais colocados na horizontal;
- Mesa M-III: construída especialmente para estudos dinâmicos em estruturas muito alteadas, tais como pilares de viadutos, mastros, torres de televisão e chaminés;
- Mesa M-IV: localizada no retorno do túnel, onde a seção transversal mede 2,40m x 2,10m. Serve para ensaios de dissipação de fumaça e de gases industriais, influência da topografia dos terrenos sobre os ventos, efeitos de interação, modelos de pontes, entre outros.

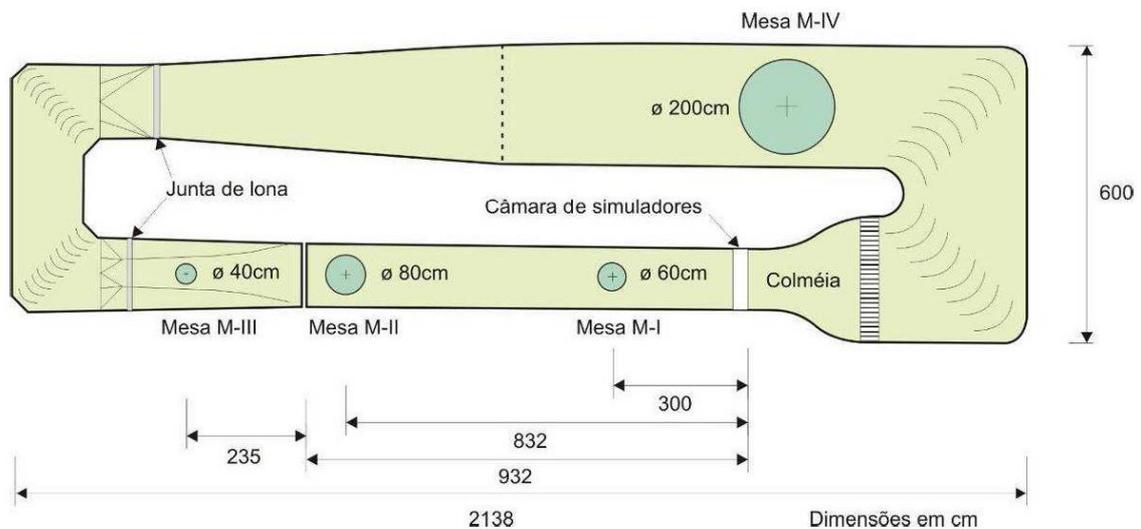


Figura 3.2 – Planta baixa do circuito aerodinâmico do túnel de vento Professor Joaquim Blessmann (MACHADO, 2012).

A mesa escolhida para a realização dos ensaios desse trabalho foi a M-II e foi simulado um vento com perfil potencial de velocidades médias de expoente $p = 0,23$ (rugosidade entre as Categorias III e IV, de acordo com a NBR 6123/1988), presente na Figura 3.3.

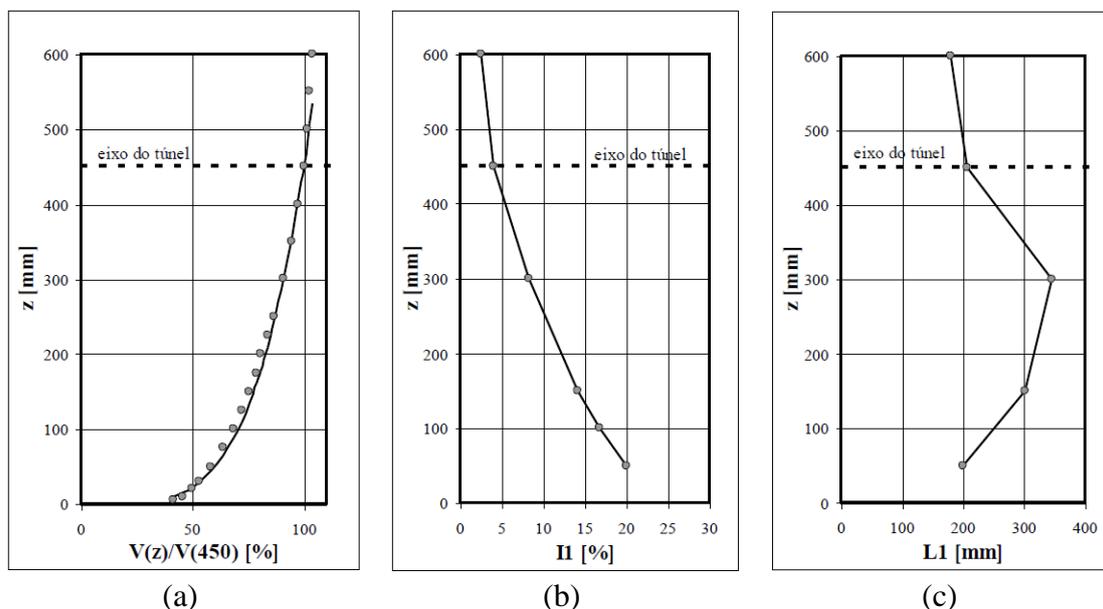


Figura 3.3 – Características do vento deslizante e turbulento simulado com expoente $p = 0,23$ (LAC, 2011): a) perfil de velocidades médias; b) intensidade da componente longitudinal da turbulência; c) macroescala da componente longitudinal da turbulência.

3.1.1.3 – Determinação da velocidade do vento

A velocidade do vento no túnel foi determinada através do diferencial de pressão, Δp , obtido da leitura de dois anéis piezométricos situados na entrada da seção de trabalho. As leituras podem ser feitas com a utilização de um micromanômetro à água tipo Betz, por um multimanômetro, por transdutores de pressão, Manoair ou Scanivalve, Sistema de Aquisição de Dados de Pressão (MACHADO, 2012). A Figura 3.4 mostra os transdutores de pressão do Sistema Scanivalve e o Manoair.

São determinados os coeficientes k_0 , que relacionam a pressão dinâmica q , em um determinado local do túnel e a diferença de pressão entre os anéis piezométricos do convergente do túnel. Para o cálculo da velocidade do escoamento ou pressão dinâmica

em qualquer ponto do escoamento, basta fazer a leitura da pressão de referência no ponto da seção desejado.

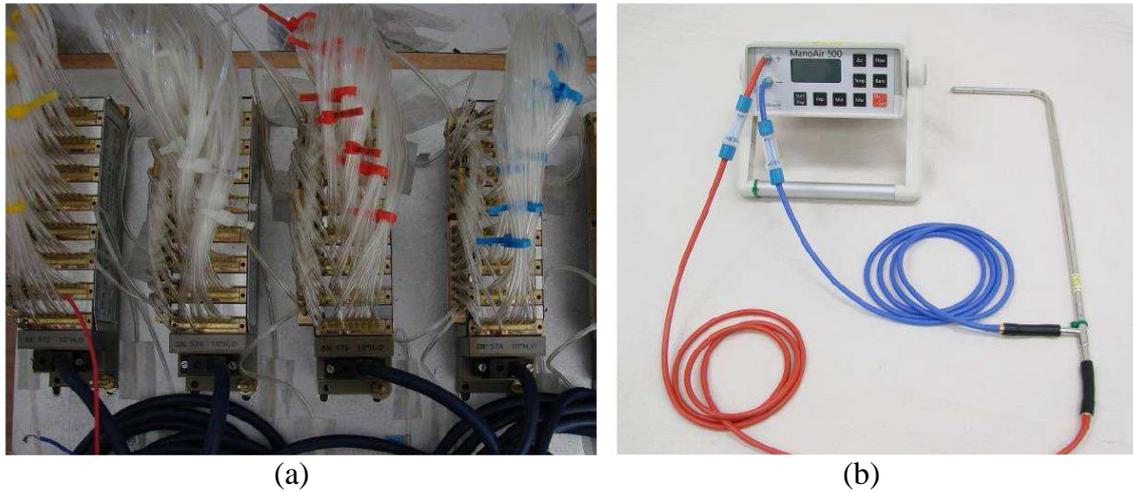


Figura 3.4 – Equipamentos de leitura de dados: (a) Vista superior dos transdutores de 64 canais do Scanivalve; (b) Manoair e mangueiras de conexão aos anéis piezométricos (MACHADO, 2012).

3.1.1.4 – Simulação das características do vento natural

É alcançada uma escala apropriada do vento natural em túnel de vento cobrindo certo comprimento do piso com materiais que representem o efeito de rugosidade adequada (simulando a rugosidade local da implantação do edifício). Conforme Blessmann (1990), esta técnica corresponde à principal fonte de turbulência em baixa altitude. Os diversos dispositivos podem ser combinados para melhor reproduzirem as características do vento natural e gerar diferentes camadas limites, Figura 3.5.



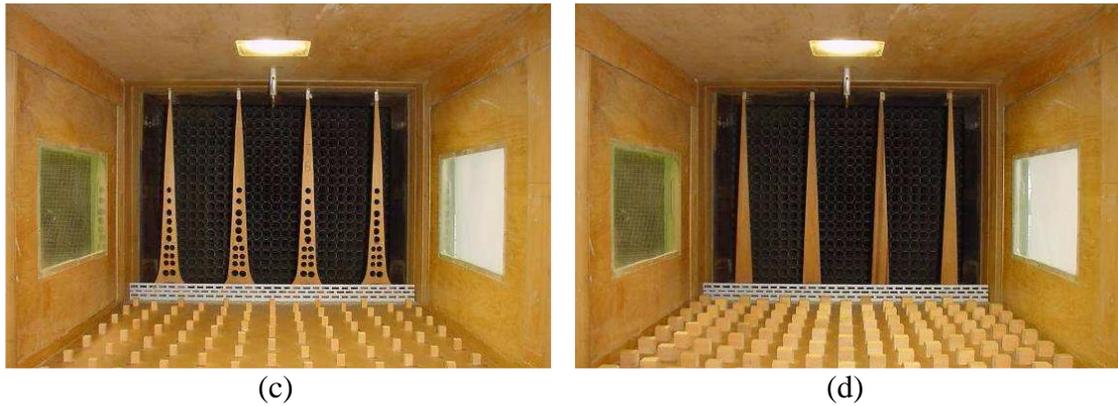


Figura 3.5 – Alguns dispositivos de geração das diferentes camadas limites do túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann. (a) grelha; (b) $p=0,11$; (c) $p=0,23$; (d) $p=0,34$ (Ibid, 2012).

De acordo com o autor, os dispositivos acima podem ser utilizados para simular uma ou mais características do vento natural, por exemplo, intensidade de turbulência, escala de turbulência, espectro, curva de autocorrelação, etc. Tais dispositivos podem ser telas curvas ou telas planas de malha variável, grelhas de malha quadrada ou retangular, grelha única de malha variável ou diversas grelhas superpostas, telas uniformes e triângulos de diversas formas geométricas. Outra técnica constitui-se na pela injeção de ar, paralelamente, perpendicularmente ou obliquamente à direção do escoamento, através de jatos de ar. Ao contrário das técnicas citadas acima que diminuem cerca de 80% a velocidade média do escoamento (em casos extremos), a técnica da injeção de ar não provoca perdas na velocidade média.

No caso desse trabalho, foram utilizados obstáculos bem a barlavento do modelo, no início da câmara dos ensaios: dispositivos triangulares vazados, de lados curvos, que associados com blocos colocados no piso do túnel perfil foram capazes de reproduzir um perfil de velocidades médias adequado e turbulência com estrutura adequada à situação proposta, Figura 3.6.



Figura 3.6 – Dispositivos à barlavento e blocos no piso para a simulação adequada de velocidade e turbulência.

3.2 – CAARC STANDARD TALL BUILDING

3.2.1 – Histórico

Para a realização dos ensaios, foi utilizado um edifício padronizado, o CAARC Standard Tall Building Model, tanto para que os ensaios pudessem ser comparativos quanto para subsidiar a discussão de efeitos de ventos em edifícios altos e criar um banco dos dados gerados nos ensaios de túnel de vento com as vizinhanças propostas nessa tese.

Melbourne (1980) comparou os resultados obtidos em estudos experimentais com o modelo padrão (CAARC), conduzidos nos seis centros de pesquisa que utilizaram o modelo entre 1969 e 1975, no Reino Unido, Canadá e Austrália. O autor aponta que o nível de concordância dos resultados é bom e em sua maior parte encontra-se dentro de uma dispersão compatível com a acurácia experimental, o que permite inclusive a calibração de modelos em diversos experimentos pelo mundo.

Algumas inconsistências pouco significativas foram observadas em relação aos valores de pressão e podem ser atribuídas a diferenças no espectro de velocidade longitudinal de entrada e ausência de obstáculos. Quanto aos valores de resposta dinâmica, a maior parte dos dados coincide dentro de uma faixa de mais ou menos 15%, não sendo observadas inconsistências evidentes.

3.2.2 – Geometria do Edifício

Como um edifício padronizado, o CAARC possui medidas pré-definidas de base 30,48m por 45,72m e com 182,88m de altura (100ft x 150ft x 600ft), constituindo assim um prisma regular. Possui ainda topo horizontal, plano e sem qualquer elemento construtivo; fechamento considerado paredes externas planas e sem qualquer detalhe geométrico, conforme Figura 3.7.

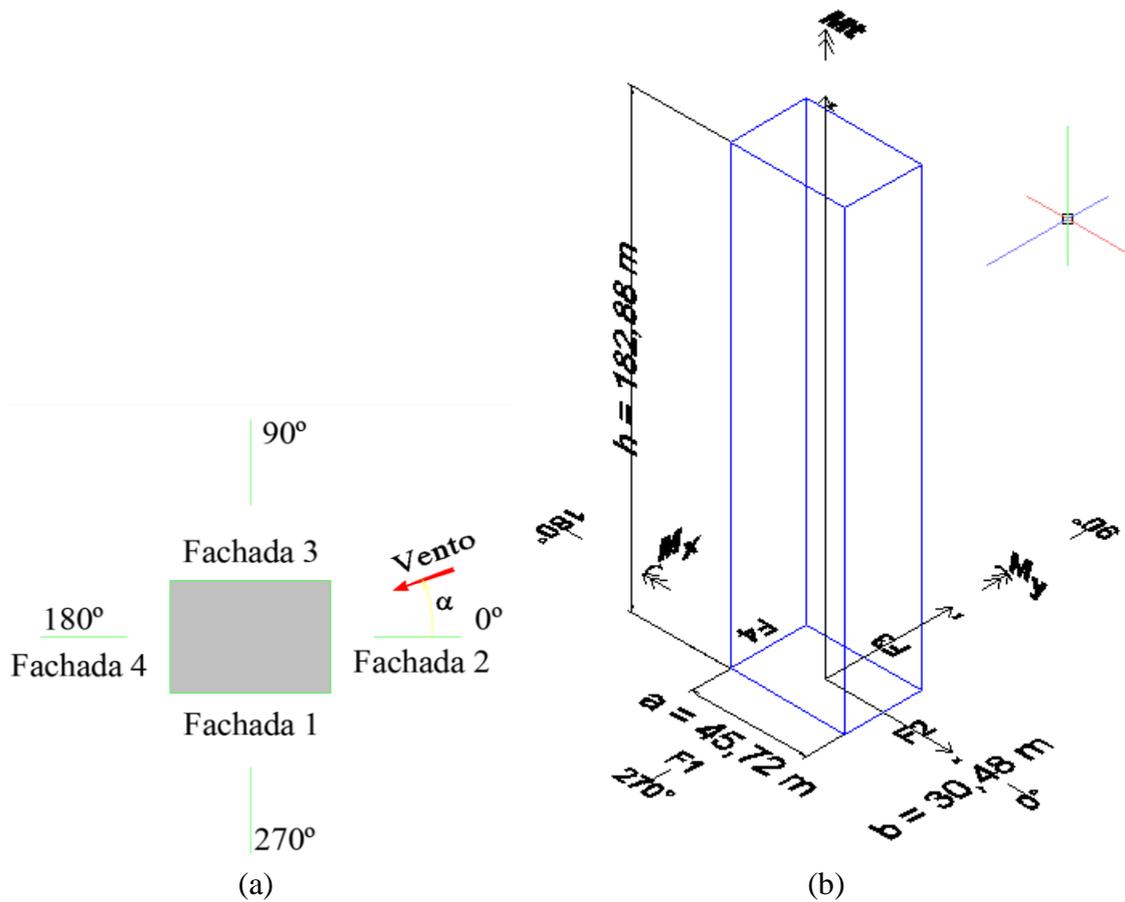
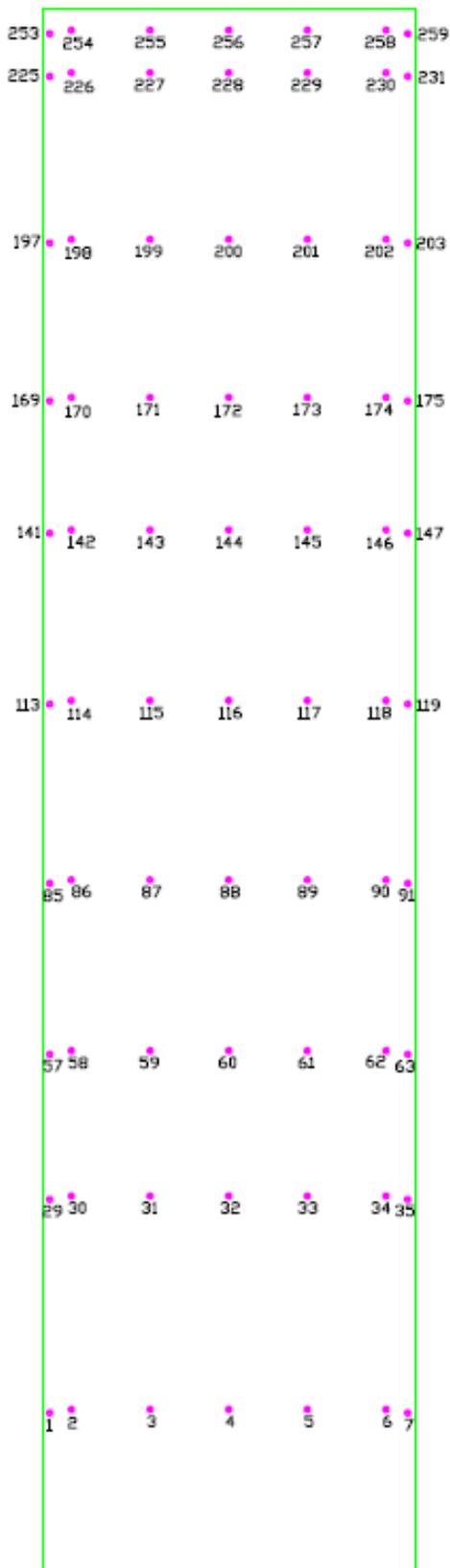
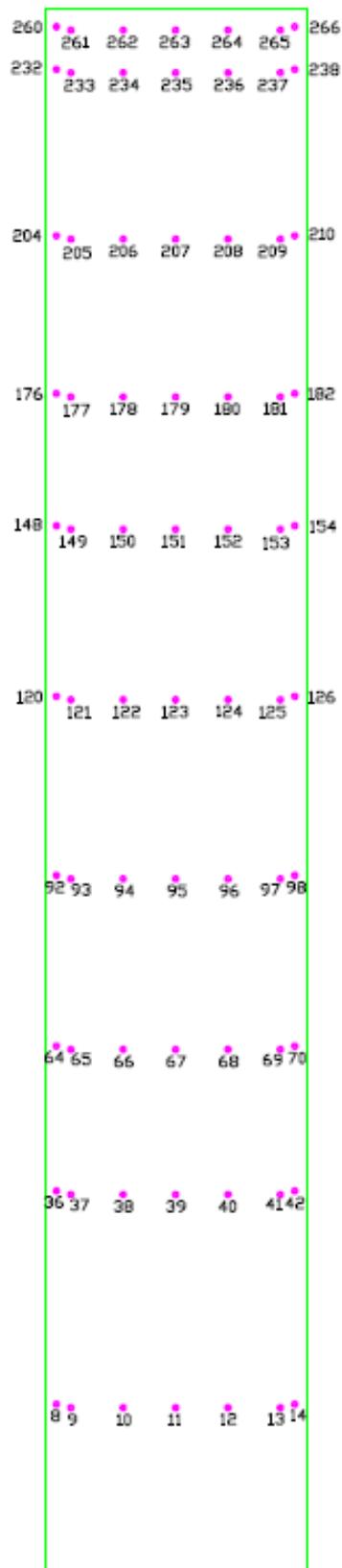


Figura 3.7– CAARC: a) Planta baixa; b) Perspectiva isométrica.

Somente o edifício CAARC foi instrumentado com 280 pontos de tomadas de pressão distribuídos ao longo de 10 alturas em cada fachada, com 7 pontos de cada uma dessas, conforme Figuras 3.8, 3.9 e 3.10. Na planilha de aquisição dos dados experimentais, mostrada na Tabela 4.1, consta o dado coletado na respectiva tomada de pressão mapeada conforme sua posição na fachada, perfazendo nove zonas de influência correspondendo à altura da tomada.

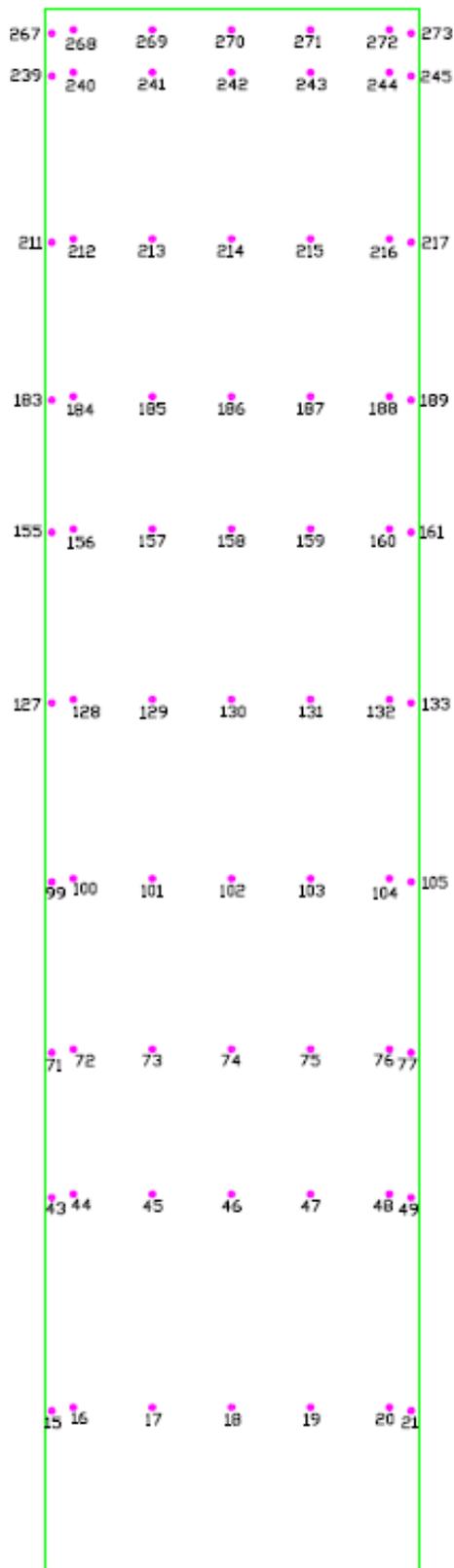


FACHADA 1

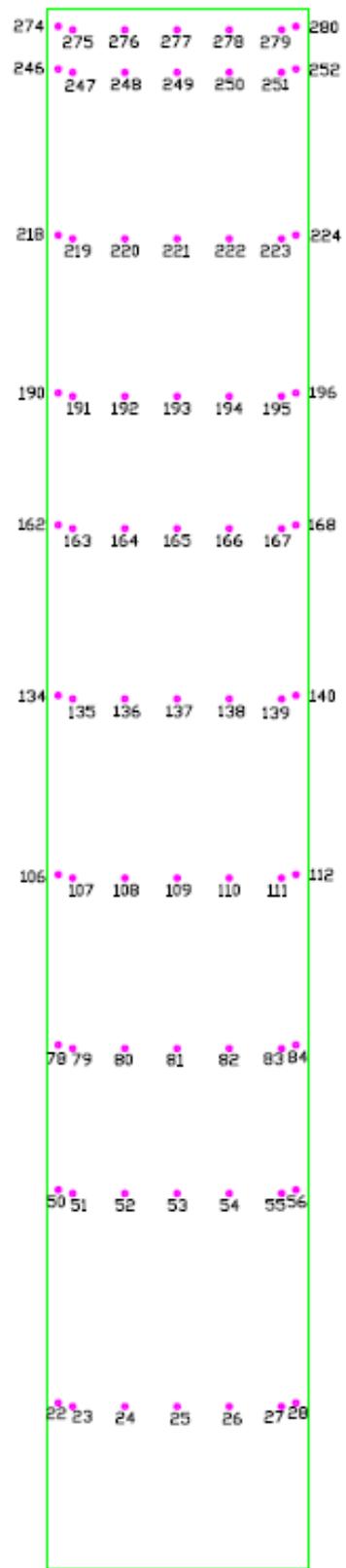


FACHADA 2

Figura 3.8 – Fachadas 1 e 2 do CAARC e o respectivo posicionamento das tomadas de pressão.



FACHADA 3



FACHADA 4

Figura 3.9 – Fachadas 3 e 4 do CAARC e o respectivo posicionamento das tomadas de pressão.

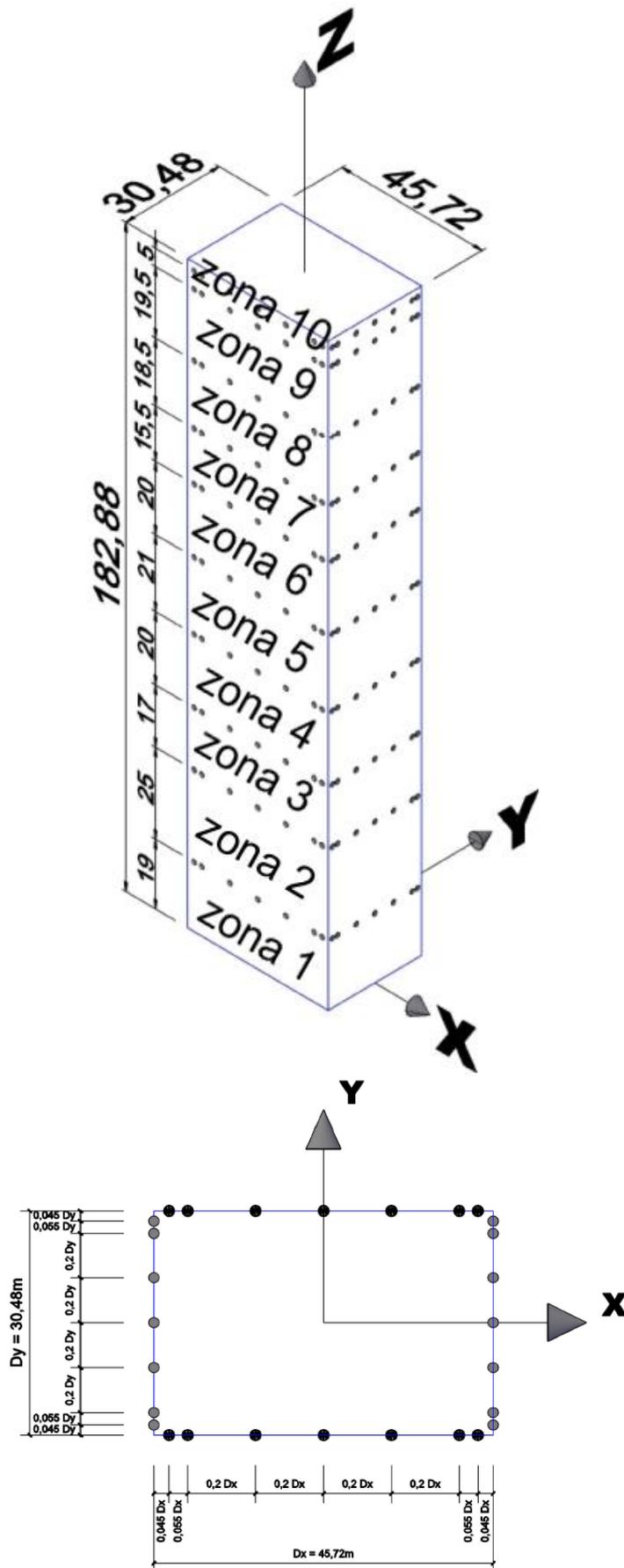


Figura 3.10 – Tomadas de pressão: a) perspectiva; b) em planta (LAC,2011).

3.2.3 – Modelo Construído

A escala do modelo construído para os ensaios dessa tese foi de 1:406, de modo que a altura do CAARC ficou com aproximadamente a metade da altura do túnel. Todos os modelos dos edifícios foram feitos em acrílico – peça a peça colada com cola de contato. Esses, por sua vez, são fixos com parafusos em uma base circular, Figura 3.11(a). Essa base, denominada “mesa giratória de ensaio”, também é constituída de madeira, assim como o túnel de vento. Esta mesa de ensaio é fixada com parafusos a uma mesa auxiliar que fica imediatamente abaixo do piso túnel e essa mesa auxiliar tem o giro livre em torno do eixo que passa pelo centro da mesa, desta forma pode-se girar a mesa que está com os modelos e simular a angulação necessária para o ensaio. Nos ensaios realizados para esse trabalho foram simulados vinte e quatro ângulos de incidência do vento, de 15° em 15°, como é mostrado na Figura 3.11(b). As Figuras 3.11(c) e 3.11(d) mostram as dimensões do modelo em vista e em planta.

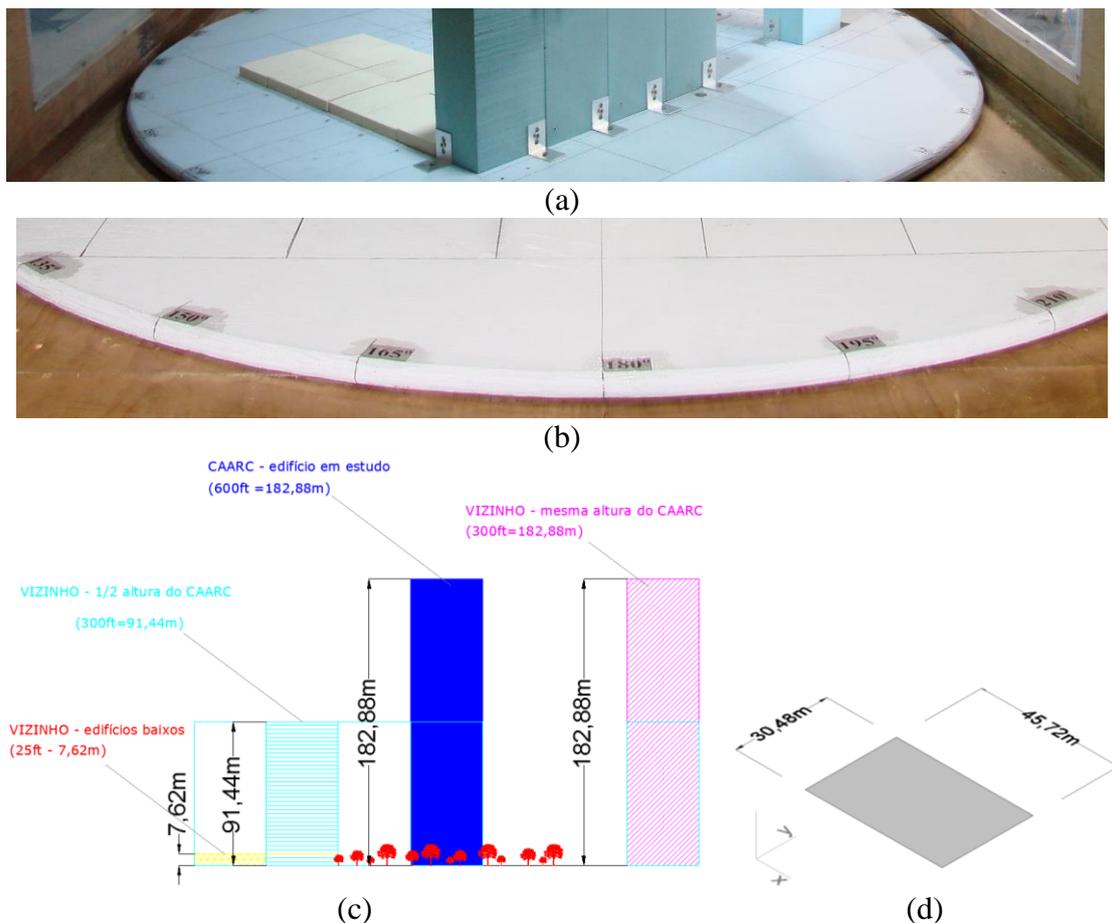


Figura 3.11 – Detalhes dos modelos: a) Fixação na mesa giratória; b) Marcações na mesa, defasadas de 15°; c) Altura dos modelos; d) base de todos os modelos e quadricula da malha urbana idealizada.

Os materiais usados para este tipo de estudo não interferem nos resultados porque os modelos são rígidos – o modelo não se movimenta dentro do túnel de vento e desta forma não perturba a formação das pressões causadas pelo vento. Esta perturbação do edifício na distribuição das pressões é denominada de interação fluido-estrutura. Como não é objetivo desse trabalho esta interação, o único parâmetro que determina a distribuição das pressões é a forma geométrica do modelo e a dos seus vizinhos. A premissa para os ensaios desse trabalho foi que qualquer material constituinte dos modelos e mesas fosse capaz de conferir a rigidez necessária para que não houvesse essa interação e outros efeitos pudessem mascarar o resultado das pressões.

Mangueiras de pressão ou tomadas de pressão instaladas no CAARC levam a medida da variação da pressão em cada ponto escolhido no modelo até os sensores, Figura 3.12 (transdutores de pressão, do tipo Scanivalve ZOC33/64Px-10"H2O 64-channel Pressure module). Dentro desta mangueira existe uma coluna de ar inicialmente parado que, ao ligar o túnel, os campos de pressão começam a atuar sobre as faces do modelo que transmitem as variações das pressões para a coluna de ar “parado” dentro de cada mangueira, cuja outra extremidade está ligada a um equipamento de monitoração que mede a variação da pressão em função do tempo.

Cada ponto medido por uma tomada registra 8192 valores de pressão num intervalo de tempo de aproximadamente 16s. Essas medidas são feitas para cada tomada e para cada ângulo de incidência do vento testado. Estes registros da variação da pressão ao longo do tempo são chamamos séries de temporais de pressão. A partir destas séries temporais podemos extrair os seguintes valores de pressão: média, máxima, mínima e rms. Esses valores são os resultados que foram manipulados para se calcular as forças que vão agir no edifício, de acordo com cada configuração de vizinhança testada.



Figura 3.12 – Tomadas de pressão no CAARC.

3.3 – VIZINHANÇAS PROPOSTAS AO CAARC *STANDARD TALL BUILDING*

Foram propostas nove vizinhanças ao CAARC envolvendo edifícios de várias alturas, contando com o experimento do CAARC isolado. A malha adotada tem as mesmas dimensões da base do edifício, 30,48m x 45,72m (100ft x 150ft), Figura 3.13. Foram ensaiadas as vizinhanças sem afastamento entre os edifícios, ou seja, a projeção de cada um deles ocupa toda a quadrícula da malha, Figuras 3.14 a 3.17.

A proposição das alturas e das vizinhanças foram imaginadas tomando por base várias configurações urbanas de grandes centros urbanos estudados ao longo desse trabalho, na implantação de arranha-céus pelo mundo, seja ele assentado sobre uma malha urbana já existente seja em um novo sítio.

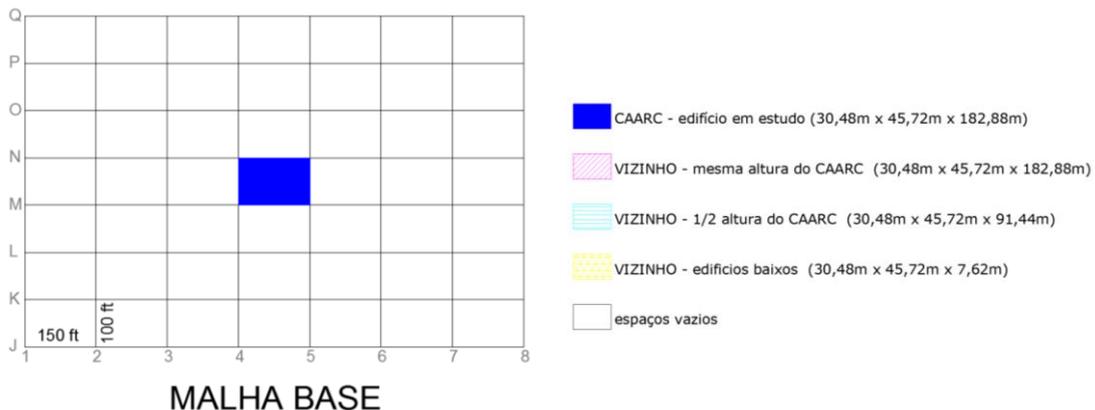
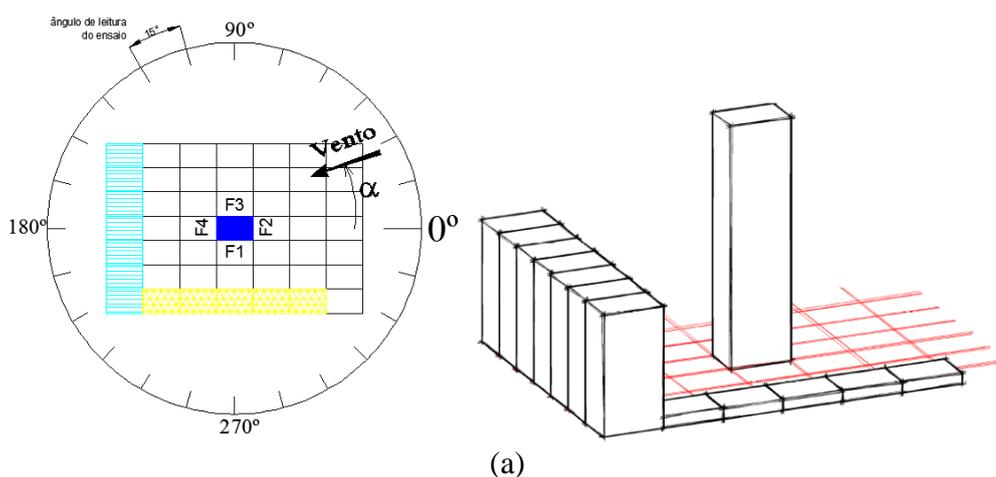


Figura 3.13 – Edifício isolado (sem afastamento) – denominada MALHA BASE.

A sequência de nove ensaios foi realizada com as edificações sem afastamento lateral, ou seja, toda a edificação ocupando a quadrícula da malha. Isso foi pensado de forma a simular uma malha consolidada no tecido urbano – quando não haviam exigências quanto ao afastamento e sim o máximo aproveitamento possível do loteamento. Os edifícios vizinhos são modelos não instrumentalizados (modelos mudos) e foram colocados em duas etapas em cada uma das oito vizinhanças propostas. Foram tipificadas três alturas dos edifícios vizinhos: o primeiro grupo (blocos em amarelo) são edifícios de menor altura (25ft=7,62m=2 pavimentos) representando um bairro residencial ou mesmo de centros comerciais de pequena altura; um segundo grupo (blocos azuis) simbolizam edifícios com a metade da altura do CAARC (300ft = 91,44m=25 a 30 pavimentos), estimada como a medida média de grande parte dos edifícios brasileiros; e o terceiro grupo (em cor-de-rosa), da mesma altura do CAARC (600ft=182,88m=50 pavimentos¹⁴), simbolizando intervenções mais novas, geralmente, com maior demanda de espaço do tecido urbano consolidado.

Na primeira simulação de vizinhança, denominada Vizinhança 1 – V1, foram inseridos apenas os edifícios azuis e amarelos, ou seja, os mais baixos (com respectivamente 91,44m e 7,62m), Figura 3.14(a). Na segunda simulação do vento, denominado Vizinhança 2 – V2, se mantém os modelos da simulação anterior (de V1) e se insere os vizinhos maiores, ou seja, de mesma altura do objeto de estudo, 182,88m, Figura 3.14(b).



¹⁴ Até a data de defesa desta tese, o edifício mais alto do Brasil é o Mirante do Vale (antigo Palácio W. Zarzur), São Paulo, 1966, com 50 andares e 170m de altura.

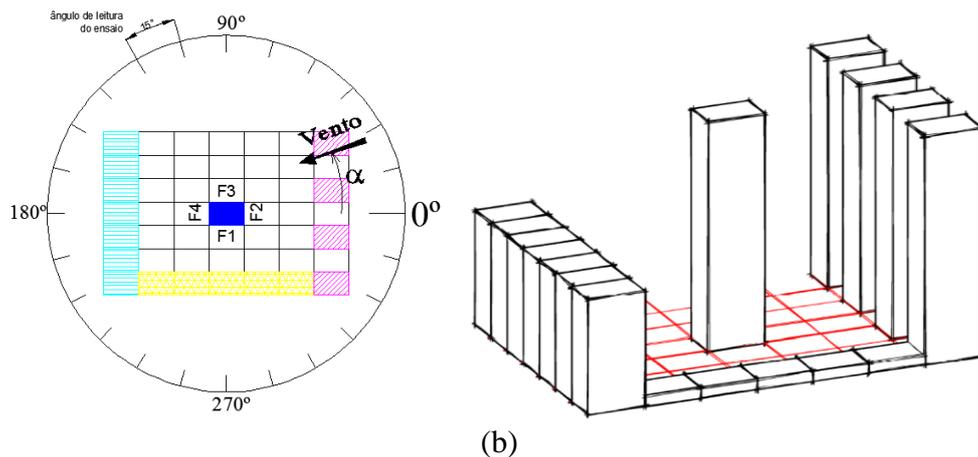


Figura 3.14 – Sequência de inserção dos edifícios do primeiro e segundo experimentos, em planta e em perspectiva: a) vizinhança V1; b) vizinhança V2.

Na terceira simulação de vizinhança, denominada Vizinhança 3 – V3, foram inseridos apenas os edifícios azuis, ou seja, com metade da altura do CAARC, Figura 3.15(a). No quarto experimento, denominado Vizinhança 4 – V4, se mantém os modelos da simulação anterior (de V3) e se insere os vizinhos maiores, ou seja, de mesma altura do objeto de estudo, Figura 3.15(b).

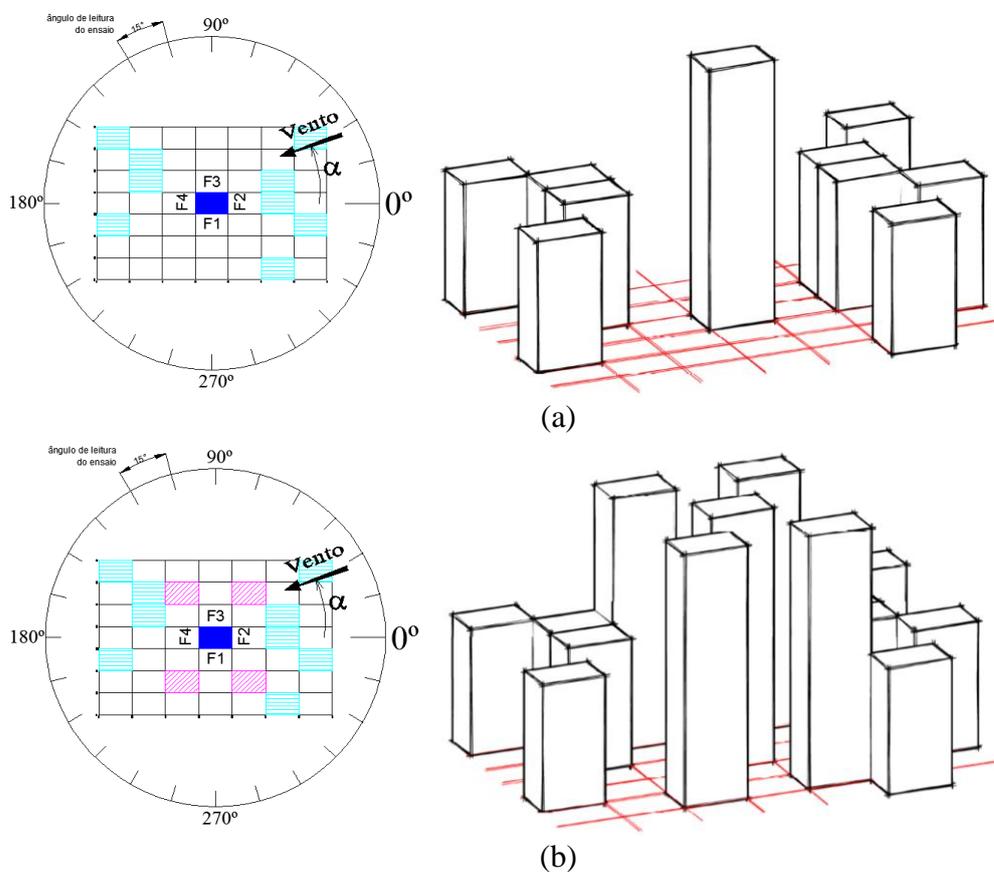


Figura 3.15 – Sequência de inserção dos edifícios do terceiro e quarto experimentos, em planta e em perspectiva: a) vizinhança V3; b) vizinhança V4.

Na quinta simulação de vizinhança, denominada Vizinhança 5 – V5, foram inseridos apenas os edifícios cor-de-rosa, ou seja, de mesma altura do CAARC, Figura 3.16(a). No sexto experimento, denominado Vizinhança 6 – V6, se mantém os modelos da simulação anterior (de V5) e se insere os vizinhos com a metade da altura do CAARC, Figura 3.16(b).

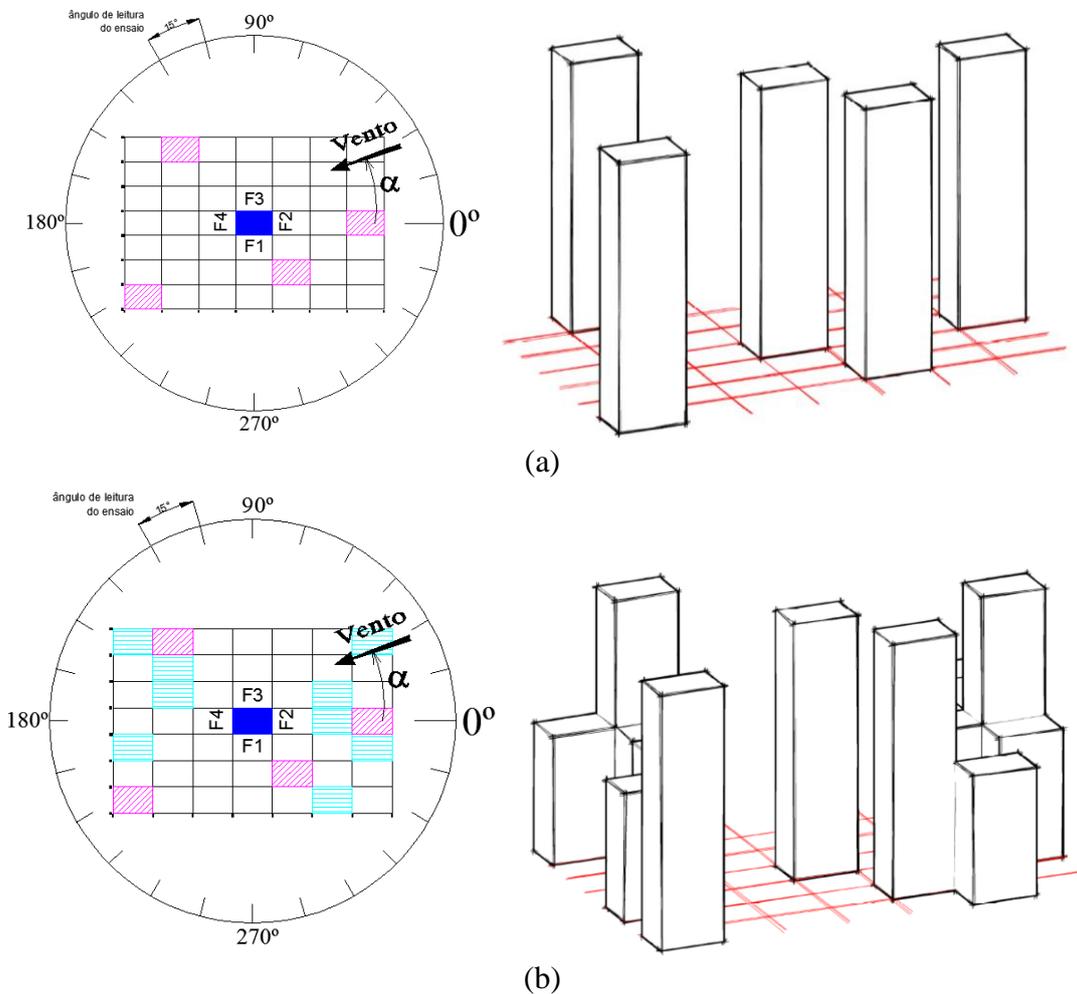


Figura 3.16 – Sequência de inserção dos edifícios do quinto e sexto experimentos, em planta e em perspectiva: a) vizinhança V5; b) vizinhança V6.

Na penúltima simulação de vizinhança, sétimo experimento, denominado Vizinhança 7 – V7, foram inseridos os mais baixos edifícios, em amarelo, e o que possuem a metade da altura do CAARC, blocos azuis, Figura 3.17(a). No oitavo experimento, denominado Vizinhança 8 – V8, se mantém os modelos da simulação anterior (de V7) e se insere os vizinhos de mesma altura do CAARC, Figura 3.17(b).

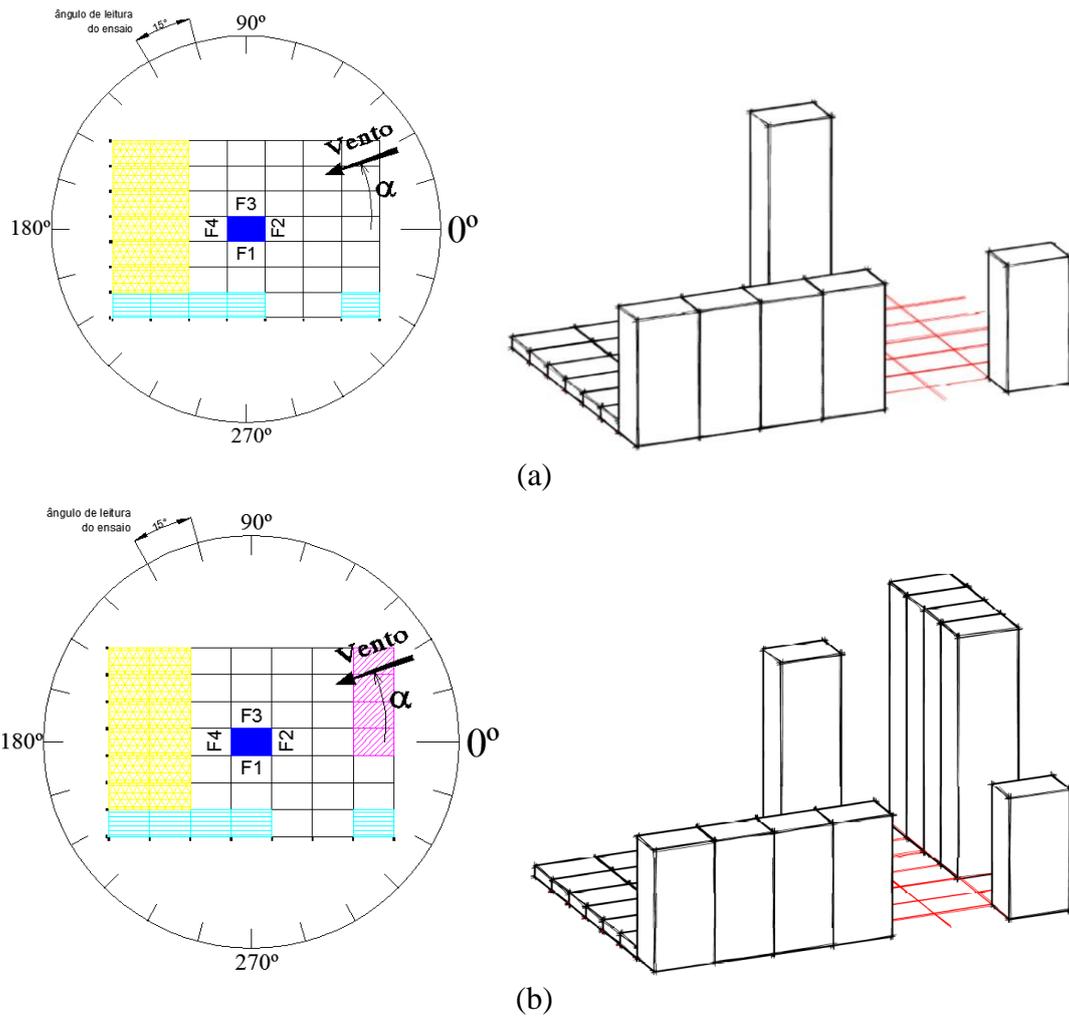


Figura 3.17 – Sequência de inserção dos edifícios do sétimo e oitavo experimentos, em planta e em perspectiva: a) vizinhança V4E17; b) vizinhança V8.

3.4 – ENSAIOS REALIZADOS

A seguir seguem algumas fotos de alguns dos ensaios realizados no túnel de vento. A Figura 3.18 mostra parte do ensaio do edifício isolado, cujos resultados no caso dessa tese são denominados “malha base”. Já a Figura 3.19 traz algumas imagens do ensaio da primeira vizinhança proposta e a inserção das edificações ao longo dos ensaios dos vinte e quatro ângulos de incidência do vento.

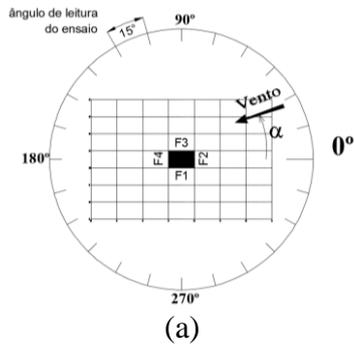


Figura 3.18 – Ensaio experimental do edifício isolado: a) malha base inserida na mesa de ensaios e suas orientações; b) imagem do CAARC sendo ensaiado no túnel de vento Professor Joaquim Blessmann.

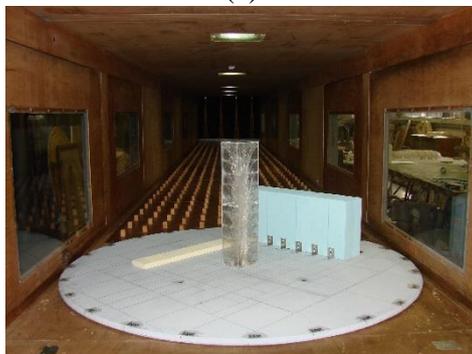
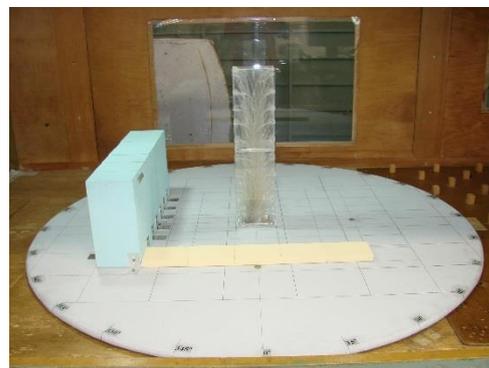
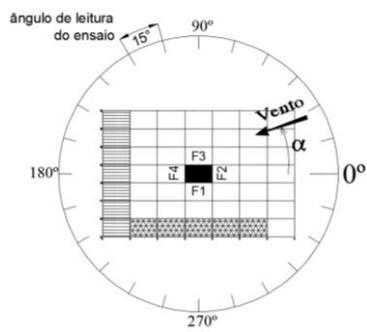


Figura 3.19 – Sequência dos ensaios da Vizinhança 1: a) desenho de V1 na mesa giratória e suas orientações; b), c), d), e), f) ensaio no túnel de V1.

4 – RESULTADOS

Nesse capítulo serão mostrados os resultados dos ensaios experimentais da influência da vizinhança proposta para o CAARC. Foram coletados quatro coeficientes aerodinâmicos que geraram quatro fatores de vizinhança referente, cada um, a um esforço solicitante do edifício em questão.

4.1 – TOMADA DE PRESSAO PONTO A PONTO DAS FACHADAS DO CAARC

Nos ensaios realizados para essa tese, foram estabelecidos os coeficientes de pressão em todos os 280 pontos de tomada de pressão do edifício padrão (único instrumentado), mostrados na Tabela 4.1, e os coeficientes de força por fachada, de torção, de força resultante e de momento fletor, conforme Tabela 4.2. Foi adotado um valor único para todos os ensaios realizados no túnel da pressão dinâmica (q). Feito isso tanto para o edifício CAARC isolado quanto acompanhado das diversas vizinhanças propostas¹.

¹No caso isolado foi denominado nas planilhas e tabelas que se seguem como resultados da “malha base”.

Tabela 4.1 – Valores dos coeficientes aerodinâmicos do CAARC isolado, ponto a ponto, por fachada e zona de influência.

| | | Cp Média / fachada da Malha Base | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° | 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° | 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° |
| FACHADA 1 - zona 1 | | -0,44 | -0,71 | -0,70 | -0,73 | -0,69 | -0,74 | -0,84 | -0,69 | -0,63 | -0,64 | -0,64 | -0,68 | -0,92 | -0,77 | -0,08 | 0,31 | 0,25 | 0,03 | -0,06 | -0,11 | -0,22 | -0,35 | -0,43 | -0,46 |
| | | -0,44 | -0,71 | -0,70 | -0,72 | -0,69 | -0,74 | -0,85 | -0,71 | -0,64 | -0,65 | -0,65 | -0,69 | -0,95 | -0,76 | -0,01 | 0,29 | 0,32 | 0,19 | 0,12 | 0,06 | -0,06 | -0,22 | -0,34 | -0,41 |
| | | -0,54 | -0,71 | -0,68 | -0,70 | -0,68 | -0,73 | -0,86 | -0,73 | -0,66 | -0,67 | -0,67 | -0,71 | -0,95 | -0,49 | 0,01 | 0,21 | 0,33 | 0,34 | 0,32 | 0,28 | 0,17 | 0,00 | -0,17 | -0,33 |
| | | -0,75 | -0,72 | -0,67 | -0,69 | -0,66 | -0,74 | -0,86 | -0,75 | -0,67 | -0,69 | -0,68 | -0,72 | -0,78 | -0,33 | -0,06 | 0,13 | 0,28 | 0,34 | 0,37 | 0,35 | 0,28 | 0,13 | -0,06 | -0,34 |
| | | -0,94 | -0,71 | -0,66 | -0,68 | -0,66 | -0,74 | -0,86 | -0,75 | -0,70 | -0,71 | -0,70 | -0,72 | -0,58 | -0,33 | -0,16 | 0,00 | 0,17 | 0,26 | 0,32 | 0,34 | 0,33 | 0,21 | -0,01 | -0,52 |
| FACHADA 2 - zona 1 | | -0,95 | -0,69 | -0,65 | -0,65 | -0,64 | -0,71 | -0,84 | -0,75 | -0,71 | -0,73 | -0,71 | -0,71 | -0,45 | -0,41 | -0,37 | -0,29 | -0,17 | -0,08 | -0,03 | 0,06 | 0,27 | 0,33 | -0,10 | -0,78 |
| | | -0,92 | -0,68 | -0,64 | -0,64 | -0,63 | -0,69 | -0,83 | -0,75 | -0,70 | -0,73 | -0,71 | -0,71 | -0,45 | -0,41 | -0,37 | -0,29 | -0,17 | -0,08 | -0,03 | 0,06 | 0,27 | 0,33 | -0,10 | -0,78 |
| | | -0,06 | -0,10 | -0,23 | -0,37 | -0,47 | -0,65 | -0,92 | -0,85 | -0,74 | -0,75 | -0,71 | -0,65 | -0,50 | -0,58 | -0,65 | -0,67 | -0,68 | -0,79 | -0,98 | -1,11 | -0,59 | 0,14 | 0,31 | 0,11 |
| | | 0,12 | 0,06 | -0,08 | -0,25 | -0,39 | -0,64 | -0,90 | -0,83 | -0,73 | -0,73 | -0,69 | -0,63 | -0,50 | -0,58 | -0,65 | -0,67 | -0,68 | -0,79 | -0,98 | -1,12 | -0,54 | 0,18 | 0,34 | 0,25 |
| | | 0,30 | 0,26 | 0,13 | -0,06 | -0,28 | -0,72 | -0,96 | -0,81 | -0,72 | -0,72 | -0,68 | -0,62 | -0,51 | -0,60 | -0,67 | -0,69 | -0,70 | -0,81 | -1,02 | -1,09 | -0,35 | 0,12 | 0,29 | 0,33 |
| FACHADA 3 - zona 1 | | 0,33 | 0,34 | 0,24 | 0,05 | -0,25 | -0,88 | -1,00 | -0,80 | -0,70 | -0,69 | -0,66 | -0,60 | -0,49 | -0,60 | -0,68 | -0,70 | -0,70 | -0,81 | -1,01 | -0,92 | -0,26 | 0,04 | 0,23 | 0,33 |
| | | 0,29 | 0,35 | 0,31 | 0,13 | -0,32 | -1,06 | -1,00 | -0,79 | -0,69 | -0,68 | -0,65 | -0,60 | -0,50 | -0,61 | -0,70 | -0,72 | -0,71 | -0,82 | -0,96 | -0,76 | -0,29 | -0,07 | 0,11 | 0,25 |
| | | 0,11 | 0,25 | 0,35 | 0,19 | -0,51 | -1,11 | -0,97 | -0,77 | -0,67 | -0,66 | -0,63 | -0,57 | -0,49 | -0,62 | -0,71 | -0,73 | -0,72 | -0,84 | -0,90 | -0,67 | -0,40 | -0,25 | -0,10 | 0,05 |
| | | -0,05 | 0,12 | 0,32 | 0,15 | -0,55 | -1,11 | -0,97 | -0,78 | -0,68 | -0,66 | -0,64 | -0,58 | -0,51 | -0,64 | -0,73 | -0,75 | -0,74 | -0,86 | -0,92 | -0,68 | -0,47 | -0,36 | -0,23 | -0,10 |
| | | -0,94 | -0,82 | -0,10 | 0,33 | 0,25 | 0,01 | -0,11 | 0,16 | -0,27 | -0,40 | -0,49 | -0,49 | -0,49 | -0,71 | -0,75 | -0,74 | -0,71 | -0,78 | -0,85 | -0,71 | -0,64 | -0,65 | -0,66 | -0,69 |
| FACHADA 4 - zona 1 | | -0,96 | -0,78 | -0,02 | 0,32 | 0,33 | 0,20 | 0,11 | 0,05 | -0,09 | -0,24 | -0,36 | -0,42 | -0,48 | -0,69 | -0,73 | -0,72 | -0,69 | -0,75 | -0,84 | -0,70 | -0,63 | -0,64 | -0,66 | -0,69 |
| | | -0,94 | -0,50 | -0,01 | 0,22 | 0,33 | 0,34 | 0,32 | 0,28 | 0,15 | -0,01 | -0,19 | -0,35 | -0,60 | -0,72 | -0,73 | -0,72 | -0,70 | -0,76 | -0,89 | -0,76 | -0,67 | -0,68 | -0,69 | -0,73 |
| | | -0,76 | -0,36 | -0,08 | 0,13 | 0,27 | 0,35 | 0,37 | 0,36 | 0,27 | 0,12 | -0,09 | -0,37 | -0,78 | -0,72 | -0,70 | -0,70 | -0,68 | -0,77 | -0,88 | -0,76 | -0,68 | -0,69 | -0,69 | -0,73 |
| | | -0,56 | -0,35 | -0,19 | -0,01 | 0,15 | 0,26 | 0,32 | 0,35 | 0,33 | 0,20 | -0,02 | -0,52 | -0,93 | -0,71 | -0,69 | -0,68 | -0,67 | -0,77 | -0,89 | -0,76 | -0,70 | -0,72 | -0,72 | -0,73 |
| | | -0,46 | -0,43 | -0,37 | -0,25 | -0,09 | 0,03 | 0,11 | 0,20 | 0,33 | 0,29 | -0,04 | -0,77 | -0,94 | -0,69 | -0,67 | -0,66 | -0,65 | -0,73 | -0,86 | -0,76 | -0,70 | -0,73 | -0,73 | -0,72 |
| FACHADA 1 - zona 2 | | -0,46 | -0,49 | -0,49 | -0,40 | -0,26 | -0,15 | -0,09 | 0,02 | 0,26 | 0,31 | -0,12 | -0,79 | -0,92 | -0,68 | -0,66 | -0,65 | -0,63 | -0,72 | -0,85 | -0,76 | -0,70 | -0,73 | -0,73 | -0,72 |
| | | -0,48 | -0,56 | -0,62 | -0,66 | -0,66 | -0,75 | -0,96 | -1,10 | -0,54 | 0,16 | 0,32 | 0,13 | -0,01 | -0,07 | -0,20 | -0,33 | -0,44 | -0,67 | -0,91 | -0,84 | -0,72 | -0,73 | -0,70 | -0,63 |
| | | -0,48 | -0,57 | -0,62 | -0,66 | -0,67 | -0,76 | -0,97 | -1,12 | -0,51 | 0,18 | 0,33 | 0,24 | 0,14 | 0,06 | -0,09 | -0,24 | -0,39 | -0,67 | -0,90 | -0,83 | -0,72 | -0,73 | -0,69 | -0,63 |
| | | -0,48 | -0,58 | -0,63 | -0,68 | -0,68 | -0,77 | -0,99 | -1,06 | -0,32 | 0,13 | 0,30 | 0,33 | 0,31 | 0,25 | 0,12 | -0,06 | -0,30 | -0,77 | -0,94 | -0,80 | -0,70 | -0,71 | -0,67 | -0,60 |
| | | -0,47 | -0,59 | -0,65 | -0,70 | -0,69 | -0,78 | -0,99 | -0,90 | -0,25 | 0,05 | 0,23 | 0,32 | 0,34 | 0,32 | 0,22 | 0,03 | -0,30 | -0,93 | -0,99 | -0,79 | -0,70 | -0,70 | -0,66 | -0,60 |
| FACHADA 2 - zona 2 | | -0,49 | -0,61 | -0,67 | -0,72 | -0,71 | -0,80 | -0,96 | -0,74 | -0,28 | -0,06 | 0,12 | 0,34 | 0,30 | 0,33 | 0,29 | 0,11 | -0,40 | -1,08 | -1,00 | -0,80 | -0,70 | -0,70 | -0,66 | -0,61 |
| | | -0,48 | -0,62 | -0,68 | -0,74 | -0,72 | -0,81 | -0,90 | -0,65 | -0,39 | -0,25 | -0,09 | 0,06 | 0,14 | 0,25 | 0,33 | 0,16 | -0,58 | -1,11 | -0,97 | -0,78 | -0,68 | -0,67 | -0,64 | -0,58 |
| | | -0,47 | -0,63 | -0,68 | -0,74 | -0,72 | -0,82 | -0,90 | -0,64 | -0,44 | -0,33 | -0,19 | -0,06 | 0,00 | 0,16 | 0,33 | 0,15 | -0,60 | -1,09 | -0,96 | -0,76 | -0,67 | -0,66 | -0,63 | -0,57 |
| | | -0,57 | -0,77 | -0,74 | -0,72 | -0,68 | -0,74 | -0,87 | -0,70 | -0,64 | -0,64 | -0,65 | -0,67 | -0,94 | -0,89 | -0,10 | 0,43 | 0,36 | 0,11 | 0,01 | -0,07 | -0,20 | -0,35 | -0,45 | -0,47 |
| | | -0,57 | -0,74 | -0,71 | -0,70 | -0,67 | -0,71 | -0,85 | -0,69 | -0,63 | -0,64 | -0,64 | -0,67 | -0,95 | -0,89 | 0,01 | 0,40 | 0,45 | 0,31 | 0,22 | 0,13 | -0,02 | -0,20 | -0,34 | -0,41 |
| FACHADA 3 - zona 2 | | -0,70 | -0,70 | -0,68 | -0,69 | -0,66 | -0,70 | -0,84 | -0,72 | -0,65 | -0,65 | -0,65 | -0,68 | -0,95 | -0,58 | 0,05 | 0,28 | 0,45 | 0,46 | 0,43 | 0,38 | 0,24 | 0,04 | -0,16 | -0,33 |
| | | -0,85 | -0,70 | -0,67 | -0,68 | -0,66 | -0,71 | -0,83 | -0,72 | -0,66 | -0,68 | -0,67 | -0,70 | -0,87 | -0,35 | -0,04 | 0,18 | 0,37 | 0,45 | 0,47 | 0,46 | 0,37 | 0,18 | -0,05 | -0,37 |
| | | -0,95 | -0,67 | -0,64 | -0,65 | -0,64 | -0,71 | -0,83 | -0,71 | -0,66 | -0,69 | -0,69 | -0,70 | -0,72 | -0,31 | -0,14 | 0,05 | 0,25 | 0,37 | 0,44 | 0,47 | 0,45 | 0,30 | 0,04 | -0,59 |
| | | -0,94 | -0,65 | -0,62 | -0,63 | -0,62 | -0,68 | -0,84 | -0,71 | -0,65 | -0,68 | -0,71 | -0,73 | -0,57 | -0,37 | -0,29 | -0,16 | 0,01 | 0,15 | 0,24 | 0,34 | 0,47 | 0,42 | 0,00 | -0,87 |
| | | -0,93 | -0,66 | -0,63 | -0,64 | -0,63 | -0,69 | -0,85 | -0,73 | -0,68 | -0,71 | -0,74 | -0,77 | -0,57 | -0,40 | -0,35 | -0,26 | -0,13 | -0,02 | 0,05 | 0,16 | 0,39 | 0,43 | -0,13 | -0,88 |
| FACHADA 4 - zona 2 | | 0,05 | 0,00 | -0,16 | -0,32 | -0,43 | -0,65 | -1,00 | -0,85 | -0,74 | -0,71 | -0,66 | -0,62 | -0,54 | -0,54 | -0,62 | -0,64 | -0,66 | -0,77 | -0,97 | -1,19 | -0,62 | 0,27 | 0,45 | 0,22 |
| | | 0,23 | 0,16 | -0,02 | -0,20 | -0,36 | -0,65 | -0,98 | -0,84 | -0,72 | -0,70 | -0,65 | -0,59 | -0,52 | -0,54 | -0,62 | -0,64 | -0,65 | -0,77 | -0,97 | -1,19 | -0,58 | 0,30 | 0,48 | 0,38 |
| | | 0,43 | 0,38 | 0,22 | 0,00 | -0,23 | -0,79 | -0,99 | -0,81 | -0,70 | -0,69 | -0,64 | -0,58 | -0,51 | -0,56 | -0,64 | -0,67 | -0,67 | -0,79 | -1,01 | -1,19 | -0,31 | 0,21 | 0,43 | 0,48 |
| | | 0,46 | 0,46 | 0,34 | 0,12 | -0,19 | -1,00 | -1,01 | -0,79 | -0,69 | -0,68 | -0,64 | -0,58 | -0,51 | -0,57 | -0,66 | -0,69 | -0,70 | -0,81 | -1,03 | -1,04 | -0,21 | 0,11 | 0,33 | 0,45 |
| | | 0,41 | 0,47 | 0,42 | 0,21 | -0,30 | -1,18 | -1,00 | -0,78 | -0,68 | -0,66 | -0,64 | -0,58 | -0,52 | -0,58 | -0,67 | -0,71 | -0,72 | -0,83 | -1,01 | -0,83 | -0,25 | -0,02 | 0,20 | 0,36 |
| FACHADA 1 - zona 3 | | 0,21 | 0,36 | 0,46 | 0,30 | -0,58 | -1,20 | -0,98 | -0,77 | -0,67 | -0,65 | -0,62 | -0,56 | -0,54 | -0,60 | -0,69 | -0,73 | -0,74 | -0,87 | -1,00 | -0,69 | -0,39 | -0,23 | 0,04 | 0,13 |
| | | 0,04 | 0,22 | 0,45 | 0,29 | -0,60 | -1,17 | -0,97 | -0,76 | -0,66 | -0,64 | -0,61 | -0,55 | -0,54 | -0,62 | -0,69 | -0,73 | -0,75 | -0,88 | -1,01 | -0,68 | -0,46 | -0,34 | -0,19 | -0,02 |
| | | -0,95 | -0,90 | -0,13 | 0,45 | 0,38 | 0,14 | 0,04 | -0,04 | -0,17 | -0,30 | -0,40 | -0,43 | -0,59 | -0,77 | -0,76 | -0,72 | -0,68 | -0,76 | -0,88 | -0,69 | -0,63 | -0,64 | -0,65 | -0,67 |
| | | -0,94 | -0,89 | 0,00 | 0,43 | 0,47 | 0,33 | 0,24 | 0,14 | -0,01 | -0,17 | -0,31 | -0,39 | -0,59 | -0,73 | -0,72 | -0,69 | -0,65 | -0,72 | -0,85 | -0,67 | -0,62 | -0,62 | -0,63 | -0,64 |
| | | -0,97 | -0,61 | 0,04 | 0,31 | 0,45 | 0,47 | 0,45 | 0,38 | 0,24 | 0,04 | -0,16 | -0,33 | -0,72 | -0,70 | -0,71 | -0,69 | -0,67 | -0,72 | -0,86 | -0,72 | -0,65 | -0,66 | -0,66 | -0,68 |
| FACHADA 2 - zona 3 | | -0,86 | -0,37 | -0,05 | 0,19 | 0,37 | 0,46 | 0,50 | 0,47 | 0,37 | 0,18 | -0,05 | -0,37 | -0,85 | -0,69 | -0,69 | -0,68 | -0,66 | -0,73 | -0,84 | -0,72 | -0,66 | -0,68 | -0,68 | -0,69 |
| | | -0,71 | -0,34 | -0,17 | 0,04 | 0,23 | 0,36 | 0,44 | 0,48 | 0,44 | 0,29 | 0,02 | -0,59 | -0,94 | -0,68 | -0,68 | -0,67 | -0,66 | -0,74 | -0,86 | -0,72 | -0,67 | -0,70 | -0,71 | -0,72 |
| | | -0,56 | -0,41 | -0,35 | -0,21 | -0,03 | 0,13 | 0,24 | 0,34 | 0,47 | 0,42 | -0,01 | -0,88 | -0,92 | -0,64 | -0,64 | -0,63 | -0,62 | -0,69 | -0,85 | -0,70 | -0,65 | -0,69 | -0,72 | -0,73 |
| | | -0,57 | -0,49 | -0,49 | -0,40 | -0,24 | -0,10 | 0,00 | 0,13 | 0,38 | 0,44 | -0,13 | -0,90 | -0,93 | -0,66 | -0,65 | -0,64 | -0,63 | -0,71 | -0,88 | -0,74 | -0,68 | -0,72 | -0,75 | -0,78 |
| | | -0,52 | -0,54 | -0,59 | -0,63 | -0,64 | -0,73 | -0,95 | -1,17 | -0,59 | 0,30 | 0,45 | 0,24 | 0,09 | 0,02 | -0,15 | -0,30 | -0,42 | -0,68 | -0,99 | -0,84 | -0,73 | -0,71 | -0,66 | -0,61 |
| FACHADA 3 - zona 3 | | -0,52 | -0,55 | -0,61 | -0,64 | -0,66 | -0,74 | -0,97 | -1,20 | -0,58 | 0,31 | 0,46 | 0,37 | 0,25 | 0,16 | -0,02 | -0,21 | -0,37 | -0,70 | -0,99 | -0,85 | -0,73 | -0,71 | -0,66 | -0,60 |
| | | -0,52 | -0,57 | -0,63 | -0,67 | -0,68 | -0,77 | -1,00 | -1,20 | -0,31 | 0,21 | 0,41 | 0,45 | 0,43 | 0,35 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| FACHADA 2 - zona 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,10 | 0,04 | -0,13 | -0,29 | -0,42 | -0,65 | -1,04 | -0,86 | -0,73 | -0,69 | -0,64 | -0,60 | -0,56 | -0,53 | -0,59 | -0,62 | -0,64 | -0,75 | -0,97 | -1,21 | -0,61 | 0,34 | 0,52 | 0,28 |
| 0,28 | 0,20 | 0,01 | -0,19 | -0,35 | -0,66 | -1,02 | -0,85 | -0,72 | -0,68 | -0,63 | -0,58 | -0,55 | -0,54 | -0,60 | -0,64 | -0,65 | -0,76 | -0,98 | -1,24 | -0,60 | 0,35 | 0,54 | 0,43 |
| 0,49 | 0,43 | 0,26 | 0,02 | -0,22 | -0,84 | -1,00 | -0,81 | -0,70 | -0,67 | -0,63 | -0,56 | -0,53 | -0,55 | -0,62 | -0,65 | -0,66 | -0,78 | -1,00 | -1,25 | -0,31 | 0,26 | 0,49 | 0,54 |
| 0,53 | 0,52 | 0,40 | 0,16 | -0,16 | -1,08 | -1,02 | -0,78 | -0,68 | -0,66 | -0,62 | -0,56 | -0,52 | -0,56 | -0,63 | -0,67 | -0,68 | -0,80 | -1,03 | -1,11 | -0,19 | 0,15 | 0,39 | 0,52 |
| 0,48 | 0,54 | 0,49 | 0,27 | -0,28 | -1,24 | -0,99 | -0,77 | -0,67 | -0,65 | -0,62 | -0,56 | -0,53 | -0,56 | -0,64 | -0,69 | -0,70 | -0,83 | -1,02 | -0,89 | -0,24 | 0,01 | 0,25 | 0,42 |
| 0,27 | 0,41 | 0,54 | 0,36 | -0,59 | -1,23 | -0,97 | -0,76 | -0,66 | -0,63 | -0,60 | -0,54 | -0,55 | -0,58 | -0,66 | -0,71 | -0,73 | -0,87 | -1,04 | -0,70 | -0,37 | -0,20 | 0,00 | 0,19 |
| 0,07 | 0,25 | 0,50 | 0,34 | -0,60 | -1,22 | -0,97 | -0,75 | -0,65 | -0,63 | -0,60 | -0,54 | -0,57 | -0,61 | -0,67 | -0,72 | -0,75 | -0,89 | -1,05 | -0,69 | -0,44 | -0,32 | -0,16 | 0,01 |
| FACHADA 3 - zona 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,92 | -0,92 | -0,14 | 0,52 | 0,46 | 0,19 | 0,08 | -0,02 | -0,15 | -0,29 | -0,40 | -0,42 | -0,64 | -0,77 | -0,75 | -0,68 | -0,64 | -0,72 | -0,86 | -0,67 | -0,60 | -0,61 | -0,62 | -0,63 |
| -0,94 | -0,96 | -0,01 | 0,48 | 0,53 | 0,38 | 0,28 | 0,17 | 0,00 | -0,18 | -0,33 | -0,40 | -0,66 | -0,76 | -0,74 | -0,69 | -0,65 | -0,72 | -0,86 | -0,69 | -0,63 | -0,64 | -0,64 | -0,65 |
| -0,97 | -0,69 | 0,05 | 0,34 | 0,51 | 0,53 | 0,51 | 0,43 | 0,27 | 0,06 | -0,16 | -0,34 | -0,79 | -0,71 | -0,71 | -0,69 | -0,65 | -0,71 | -0,83 | -0,70 | -0,64 | -0,65 | -0,66 | -0,67 |
| -0,92 | -0,40 | -0,04 | 0,22 | 0,42 | 0,52 | 0,56 | 0,53 | 0,41 | 0,21 | -0,05 | -0,39 | -0,90 | -0,68 | -0,68 | -0,67 | -0,65 | -0,72 | -0,82 | -0,71 | -0,65 | -0,67 | -0,68 | -0,69 |
| -0,79 | -0,35 | -0,16 | 0,06 | 0,28 | 0,42 | 0,51 | 0,55 | 0,50 | 0,34 | 0,04 | -0,67 | -0,96 | -0,67 | -0,66 | -0,66 | -0,65 | -0,73 | -0,84 | -0,70 | -0,65 | -0,69 | -0,71 | -0,72 |
| -0,64 | -0,42 | -0,35 | -0,21 | -0,01 | 0,15 | 0,28 | 0,39 | 0,53 | 0,48 | -0,01 | -0,96 | -0,94 | -0,65 | -0,64 | -0,64 | -0,62 | -0,70 | -0,86 | -0,71 | -0,65 | -0,69 | -0,74 | -0,77 |
| -0,64 | -0,49 | -0,48 | -0,38 | -0,22 | -0,07 | 0,03 | -0,17 | 0,44 | 0,51 | -0,15 | -0,95 | -0,92 | -0,65 | -0,64 | -0,64 | -0,62 | -0,71 | -0,89 | -0,73 | -0,66 | -0,71 | -0,76 | -0,80 |
| -0,56 | -0,54 | -0,58 | -0,63 | -0,64 | -0,73 | -0,96 | -1,22 | -0,61 | 0,35 | 0,48 | 0,24 | 0,10 | 0,02 | -0,15 | -0,30 | -0,43 | -0,72 | -1,05 | -0,86 | -0,74 | -0,71 | -0,66 | -0,62 |
| FACHADA 4 - zona 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,55 | -0,54 | -0,59 | -0,64 | -0,65 | -0,74 | -0,96 | -1,23 | -0,60 | 0,37 | 0,52 | 0,41 | 0,29 | 0,19 | 0,00 | -0,20 | -0,36 | -0,72 | -1,03 | -0,84 | -0,72 | -0,70 | -0,64 | -0,58 |
| -0,53 | -0,55 | -0,60 | -0,65 | -0,66 | -0,75 | -0,99 | -1,25 | -0,30 | 0,27 | 0,48 | 0,53 | 0,50 | 0,42 | 0,25 | 0,01 | -0,24 | -0,91 | -1,01 | -0,81 | -0,70 | -0,68 | -0,63 | -0,57 |
| -0,52 | -0,56 | -0,62 | -0,67 | -0,68 | -0,77 | -1,02 | -1,11 | -0,18 | 0,15 | 0,38 | 0,50 | 0,54 | 0,51 | 0,38 | 0,14 | -0,22 | -1,12 | -1,03 | -0,78 | -0,69 | -0,68 | -0,63 | -0,57 |
| -0,53 | -0,56 | -0,62 | -0,68 | -0,69 | -0,79 | -1,00 | -0,87 | -0,22 | 0,03 | 0,25 | 0,42 | 0,51 | 0,54 | 0,48 | 0,25 | -0,38 | -1,24 | -1,00 | -0,76 | -0,67 | -0,66 | -0,62 | -0,57 |
| -0,55 | -0,58 | -0,63 | -0,70 | -0,72 | -0,84 | -1,03 | -0,70 | -0,36 | -0,19 | 0,00 | 0,19 | 0,30 | 0,42 | 0,54 | 0,34 | -0,66 | -1,22 | -0,98 | -0,75 | -0,66 | -0,64 | -0,61 | -0,55 |
| -0,55 | -0,60 | -0,63 | -0,70 | -0,73 | -0,83 | -1,03 | -0,67 | -0,41 | -0,28 | -0,12 | 0,05 | 0,13 | 0,29 | 0,52 | 0,33 | -0,65 | -1,19 | -0,96 | -0,74 | -0,64 | -0,63 | -0,59 | -0,54 |
| FACHADA 1 - zona 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,69 | -0,80 | -0,74 | -0,69 | -0,63 | -0,69 | -0,86 | -0,68 | -0,61 | -0,62 | -0,62 | -0,62 | -0,90 | -0,96 | -0,12 | 0,59 | 0,51 | 0,23 | 0,10 | 0,00 | -0,16 | -0,33 | -0,43 | -0,45 |
| -0,68 | -0,75 | -0,70 | -0,67 | -0,61 | -0,65 | -0,81 | -0,66 | -0,60 | -0,61 | -0,60 | -0,61 | -0,89 | -0,97 | 0,05 | 0,56 | 0,61 | 0,47 | 0,35 | 0,24 | 0,05 | -0,15 | -0,31 | -0,38 |
| -0,83 | -0,70 | -0,67 | -0,68 | -0,63 | -0,66 | -0,78 | -0,70 | -0,63 | -0,64 | -0,64 | -0,64 | -0,95 | -0,77 | 0,10 | 0,41 | 0,59 | 0,62 | 0,58 | 0,51 | 0,34 | 0,10 | -0,13 | -0,33 |
| -0,95 | -0,68 | -0,65 | -0,67 | -0,63 | -0,69 | -0,77 | -0,70 | -0,64 | -0,66 | -0,66 | -0,67 | -0,95 | -0,42 | -0,01 | 0,26 | 0,48 | 0,59 | 0,62 | 0,60 | 0,49 | 0,26 | -0,02 | -0,42 |
| -0,96 | -0,65 | -0,63 | -0,65 | -0,62 | -0,69 | -0,78 | -0,68 | -0,64 | -0,67 | -0,68 | -0,69 | -0,85 | -0,32 | -0,12 | 0,10 | 0,34 | 0,50 | 0,58 | 0,63 | 0,59 | 0,40 | 0,09 | -0,76 |
| -0,93 | -0,64 | -0,61 | -0,63 | -0,61 | -0,67 | -0,83 | -0,69 | -0,64 | -0,68 | -0,72 | -0,77 | -0,72 | -0,38 | -0,31 | -0,16 | 0,04 | 0,21 | 0,32 | 0,45 | 0,60 | 0,53 | 0,01 | -1,00 |
| -0,92 | -0,63 | -0,61 | -0,63 | -0,60 | -0,67 | -0,87 | -0,71 | -0,65 | -0,68 | -0,75 | -0,80 | -0,72 | -0,44 | -0,43 | -0,34 | -0,17 | -0,03 | 0,07 | 0,21 | 0,52 | 0,58 | -0,16 | -0,98 |
| FACHADA 2 - zona 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,16 | 0,08 | -0,10 | -0,29 | -0,41 | -0,67 | -1,07 | -0,86 | -0,74 | -0,69 | -0,62 | -0,58 | -0,58 | -0,52 | -0,58 | -0,62 | -0,63 | -0,74 | -0,96 | -1,24 | -0,61 | 0,41 | 0,59 | 0,33 |
| 0,36 | 0,25 | 0,05 | -0,17 | -0,34 | -0,69 | -1,06 | -0,85 | -0,73 | -0,68 | -0,62 | -0,56 | -0,56 | -0,53 | -0,60 | -0,64 | -0,65 | -0,75 | -0,97 | -1,26 | -0,61 | 0,42 | 0,62 | 0,49 |
| 0,57 | 0,49 | 0,31 | 0,05 | -0,20 | -0,91 | -1,02 | -0,82 | -0,71 | -0,68 | -0,62 | -0,55 | -0,54 | -0,55 | -0,62 | -0,66 | -0,67 | -0,77 | -1,01 | -1,31 | -0,32 | 0,30 | 0,55 | 0,61 |
| 0,62 | 0,59 | 0,46 | 0,20 | -0,13 | -1,15 | -1,00 | -0,77 | -0,68 | -0,66 | -0,60 | -0,54 | -0,52 | -0,54 | -0,62 | -0,66 | -0,67 | -0,78 | -1,02 | -1,19 | -0,15 | 0,20 | 0,46 | 0,60 |
| 0,57 | 0,62 | 0,57 | 0,33 | -0,26 | -1,28 | -0,98 | -0,75 | -0,66 | -0,64 | -0,59 | -0,53 | -0,52 | -0,53 | -0,62 | -0,67 | -0,69 | -0,82 | -1,01 | -0,94 | -0,20 | 0,05 | 0,31 | 0,50 |
| 0,34 | 0,47 | 0,62 | 0,43 | -0,60 | -1,26 | -0,96 | -0,74 | -0,65 | -0,63 | -0,59 | -0,52 | -0,56 | -0,56 | -0,64 | -0,70 | -0,73 | -0,87 | -1,07 | -0,73 | -0,37 | -0,19 | 0,02 | 0,23 |
| 0,12 | 0,29 | 0,59 | 0,44 | -0,59 | -1,23 | -0,94 | -0,73 | -0,64 | -0,61 | -0,57 | -0,51 | -0,58 | -0,58 | -0,64 | -0,70 | -0,74 | -0,87 | -1,08 | -0,71 | -0,45 | -0,33 | -0,15 | 0,04 |
| FACHADA 3 - zona 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,91 | -1,00 | -0,16 | 0,59 | 0,52 | 0,22 | 0,08 | -0,02 | -0,18 | -0,34 | -0,44 | -0,45 | -0,73 | -0,80 | -0,77 | -0,69 | -0,64 | -0,72 | -0,88 | -0,68 | -0,61 | -0,63 | -0,63 | -0,63 |
| -0,92 | -1,01 | 0,02 | 0,54 | 0,60 | 0,45 | 0,33 | 0,21 | 0,02 | -0,17 | -0,33 | -0,39 | -0,72 | -0,77 | -0,75 | -0,68 | -0,63 | -0,69 | -0,85 | -0,68 | -0,62 | -0,63 | -0,63 | -0,64 |
| -0,96 | -0,76 | 0,08 | 0,40 | 0,59 | 0,62 | 0,58 | 0,50 | 0,32 | 0,10 | -0,14 | -0,33 | -0,84 | -0,70 | -0,70 | -0,67 | -0,63 | -0,68 | -0,80 | -0,69 | -0,63 | -0,65 | -0,65 | -0,65 |
| -0,95 | -0,42 | -0,01 | 0,27 | 0,49 | 0,60 | 0,63 | 0,61 | 0,48 | 0,26 | -0,02 | -0,41 | -0,94 | -0,66 | -0,67 | -0,66 | -0,63 | -0,70 | -0,77 | -0,69 | -0,63 | -0,66 | -0,67 | -0,67 |
| -0,83 | -0,33 | -0,13 | 0,11 | 0,34 | 0,50 | 0,59 | 0,63 | 0,58 | 0,40 | 0,08 | -0,75 | -0,94 | -0,64 | -0,64 | -0,64 | -0,62 | -0,71 | -0,78 | -0,67 | -0,63 | -0,67 | -0,69 | -0,70 |
| -0,70 | -0,39 | -0,31 | -0,16 | 0,04 | 0,22 | 0,34 | 0,46 | 0,60 | 0,54 | -0,03 | -0,99 | -0,90 | -0,62 | -0,63 | -0,63 | -0,61 | -0,69 | -0,83 | -0,68 | -0,63 | -0,67 | -0,74 | -0,77 |
| -0,70 | -0,43 | -0,39 | -0,30 | -0,13 | 0,01 | 0,12 | 0,25 | 0,53 | 0,59 | -0,16 | -0,96 | -0,89 | -0,62 | -0,62 | -0,62 | -0,60 | -0,69 | -0,86 | -0,69 | -0,64 | -0,67 | -0,76 | -0,79 |
| -0,57 | -0,51 | -0,56 | -0,62 | -0,63 | -0,71 | -0,93 | -1,22 | -0,59 | 0,43 | 0,57 | 0,30 | 0,15 | 0,06 | -0,13 | -0,29 | -0,42 | -0,74 | -1,07 | -0,85 | -0,73 | -0,69 | -0,63 | -0,59 |
| FACHADA 4 - zona 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,56 | -0,53 | -0,58 | -0,64 | -0,64 | -0,73 | -0,96 | -1,25 | -0,61 | 0,43 | 0,59 | 0,47 | 0,36 | 0,25 | 0,04 | -0,17 | -0,35 | -0,76 | -1,06 | -0,85 | -0,73 | -0,69 | -0,63 | -0,57 |
| -0,53 | -0,54 | -0,58 | -0,65 | -0,65 | -0,73 | -0,97 | -1,28 | -0,30 | 0,33 | 0,55 | 0,61 | 0,58 | 0,49 | 0,31 | 0,05 | -0,21 | -0,97 | -1,01 | -0,80 | -0,70 | -0,67 | -0,61 | -0,55 |
| -0,52 | -0,54 | -0,59 | -0,67 | -0,67 | -0,75 | -1,00 | -1,19 | -0,15 | 0,20 | 0,45 | 0,58 | 0,63 | 0,59 | 0,45 | 0,19 | -0,18 | -1,19 | -1,01 | -0,76 | -0,68 | -0,67 | -0,61 | -0,55 |
| -0,53 | -0,54 | -0,59 | -0,67 | -0,69 | -0,78 | -1,00 | -0,95 | -0,20 | 0,06 | 0,31 | 0,49 | 0,59 | 0,62 | 0,56 | 0,31 | -0,38 | -1,27 | -0,98 | -0,74 | -0,66 | -0,65 | -0,61 | -0,54 |
| -0,56 | -0,57 | -0,60 | -0,69 | -0,72 | -0,83 | -1,06 | -0,73 | -0,35 | -0,17 | 0,05 | 0,25 | 0,37 | 0,50 | 0,62 | 0,42 | -0,66 | -1,23 | -0,96 | -0,73 | -0,65 | -0,64 | -0,59 | -0,53 |
| -0,57 | -0,59 | -0,61 | -0,70 | -0,73 | -0,84 | -1,07 | -0,72 | -0,41 | -0,28 | -0,11 | 0,08 | 0,18 | 0,34 | 0,60 | 0,40 | -0,65 | -1,21 | -0,95 | -0,73 | -0,64 | -0,63 | -0,58 | -0,53 |
| FACHADA 1 - zona 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,78 | -0,82 | -0,77 | -0,71 | -0,64 | -0,68 | -0,86 | -0,70 | -0,62 | -0,64 | -0,63 | -0,62 | -0,88 | -0,98 | -0,14 | 0,66 | 0,59 | 0,29 | 0,16 | 0,05 | -0,13 | -0,31 | -0,43 | -0,44 |
| -0,76 | -0,79 | -0,74 | -0,71 | -0,64 | -0,66 | -0,82 | -0,70 | -0,63 | -0,65 | -0,64 | -0,63 | -0,90 | -1,01 | 0,03 | 0,61 | 0,67 | 0,52 | 0,39 | 0,27 | 0,06 | -0,15 | -0,32 | -0,39 |
| -0,89 | -0,73 | -0,71 | -0,72 | -0,66 | -0,68 | -0,78 | -0,73 | -0,66 | -0,69 | -0,67 | -0,66 | -0,95 | -0,88 | 0,10 | 0,43 | 0,63 | 0,67 | 0,62 | 0,55 | 0,36 | 0,11 | -0,14 | -0,35 |
| -0,95 | -0,67 | -0,66 | -0,69 | -0,64 | -0,68 | -0,73 | -0,69 | -0,65 | -0,68 | -0,67 | -0,66 | -0,96 | -0,47 | 0,02 | 0,31 | 0,55 | 0,67 | 0,70 | 0,68 | 0,55 | 0,32 | 0,02 | -0,46 |
| -0,94 | -0,66 | -0,65 | -0,68 | -0,64 | -0,70 | -0,77 | -0,68 | -0,66 | -0,70 | -0,71 | -0,71 | -0,90 | -0,33 | -0,12 | 0,13 | 0,38 | 0,56 | 0,64 | 0,70 | 0,65 | 0,45 | 0,11 | -0,86 |
| -0,88 | -0,62 | -0,62 | -0,65 | -0,61 | -0,67 | -0,81 | -0,67 | -0,64 | -0,69 | -0,73 | -0,77 | -0,77 | -0,37 | -0,29 | -0,14 | 0,08 | 0,27 | 0,40 | 0,54 | 0,69 | 0,62 | 0,00 | -1,00 |
| -0, | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabela 4.2 – Valores dos coeficientes aerodinâmicos do Edifício Isolado (Malha Base).

| Coeficiente de torção (C_t) para cada incidência do vento | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------|---------|-------|----------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Ângulo de incidência | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_t | -0,0015 | 0,12 | -0,01 | -0,07 | -0,11 | -0,09 | 0,0004 | 0,08 |
| Ângulo de incidência | 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° |
| C_t | 0,11 | 0,07 | -0,00009 | -0,12 | 0,0019 | 0,13 | 0,01 | -0,06 |
| Ângulo de incidência | 240° | 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° |
| C_t | -0,10 | -0,08 | 0,00018 | 0,08 | 0,10 | 0,06 | -0,01 | -0,13 |
| Coeficiente de Força Resultante (C_{Fi}) para cada incidência do vento | | | | | | | | |
| Ângulo de incidência | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_{Fx} | -1,00 | -1,05 | -1,03 | -0,86 | -0,40 | 0,24 | 0,0014 | -0,24 |
| Ângulo de incidência | 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° |
| C_{Fx} | 0,40 | 0,85 | 1,03 | 1,05 | 1,03 | 1,05 | 1,05 | 0,85 |
| Ângulo de incidência | 240° | 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° |
| C_{Fx} | 0,37 | -0,24 | 0,01 | 0,25 | -0,39 | -0,85 | -1,04 | -1,05 |
| Ângulo de incidência | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_{Fy} | 0,01 | -0,12 | -0,58 | -0,90 | -1,04 | -1,15 | -1,29 | -1,17 |
| Ângulo de incidência | 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° |
| C_{Fy} | -1,04 | -0,89 | -0,58 | -0,13 | -0,0031 | 0,15 | 0,64 | 0,92 |
| Ângulo de incidência | 240° | 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° |
| C_{Fy} | 1,06 | 1,18 | 1,30 | 1,18 | 1,05 | 0,91 | 0,61 | 0,14 |
| Coeficiente de Momento Torçor (C_{Mi}) para cada incidência do vento | | | | | | | | |
| Ângulo de incidência | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_{Mx} | 0,37 | 0,38 | 0,37 | 0,31 | 0,15 | -0,09 | -0,0002 | 0,09 |
| Ângulo de incidência | 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° |
| C_{Mx} | -0,15 | -0,31 | -0,37 | -0,38 | -0,38 | -0,38 | -0,38 | -0,31 |
| Ângulo de incidência | 240° | 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° |
| C_{Mx} | -0,13 | 0,09 | -0,00189 | -0,09 | 0,14 | 0,31 | 0,38 | 0,38 |
| Ângulo de incidência | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_{My} | 0,004 | -0,08 | -0,45 | -0,72 | -0,83 | -0,93 | -1,03 | -0,94 |
| Ângulo de incidência | 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° |
| C_{My} | -0,84 | -0,71 | -0,45 | -0,08 | -0,003 | 0,10 | 0,50 | 0,73 |
| Ângulo de incidência | 240° | 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° |
| C_{My} | 0,85 | 0,96 | 1,04 | 0,95 | 0,85 | 0,73 | 0,48 | 0,09 |

Essa investigação foi realizada para as oito vizinhanças propostas cujos resultados são apresentados nos Apêndices C, D, E e F.

4.2 – CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DA MALHA BASE

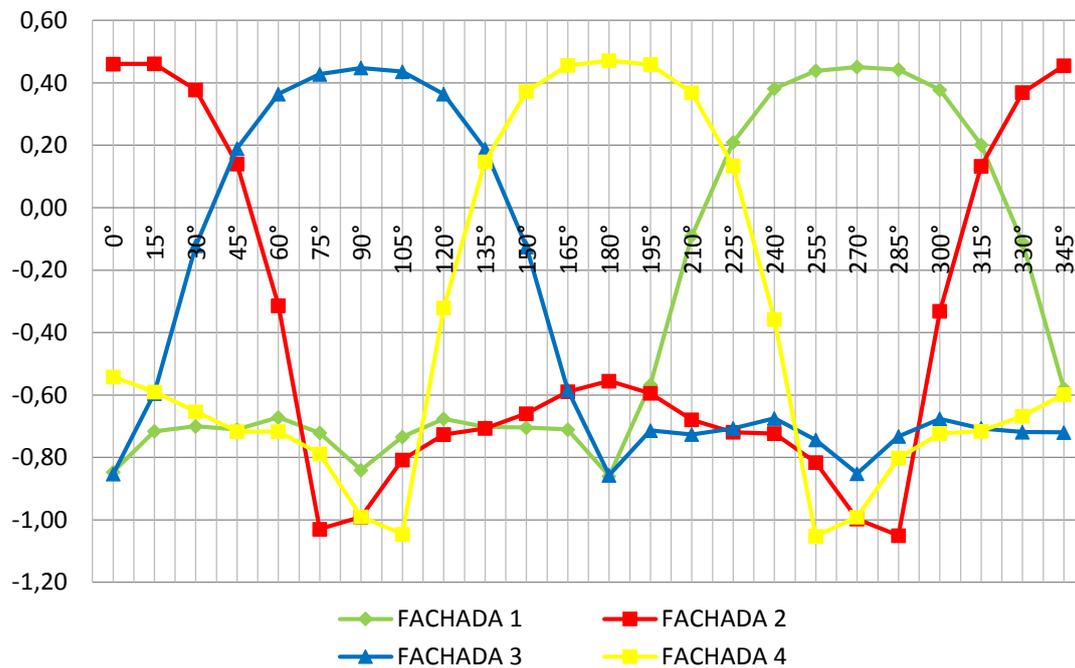
Após coletados os valores dos coeficientes aerodinâmicos e realizada as respectivas operações para a obtenção dos FV, seguindo a relação proposta pela NBR 6123/1988 em seu Anexo G, equação (4-1), referentes aos efeitos de torção, flexão, força resultante e por fachada, foram observados picos que não refletiam os valores esperados, gerando valores que ultrapassam a centena – o que não fazia qualquer sentido no estudo aerodinâmico em questão, e que acabavam mascarando os outros resultados, impedindo uma correta interpretação dos resultados.

$$FV = \frac{C_{na \text{ edificação com vizinhança}}}{C_{na \text{ edificação isolada}}} \quad (4-1)$$

Os ângulos de incidência do vento que ocorriam essas situações de pico foram identificados e estão evidenciados com uma seta na Figura 4.1. Uma primeira investigação foi feita e descoberto que se tratavam de coeficientes aerodinâmicos da malha base, parcela divisora da equação (4-1), muito próximos a zero. O segundo momento dessa investigação cuidou de contrapor os esforços solicitantes nesses mesmos ângulos aos valores dos FV e muitos puderam ser descartados porque o esforço ou era muito pequeno ou se inseria numa envoltória considerada para o cálculo da edificação, cujo descarte não traria qualquer efeito significativo. O Apêndice D mostra esse resultado (esforço e respectivo FV) para todas as vizinhanças propostas.

Coeficiente de força (por fachada)

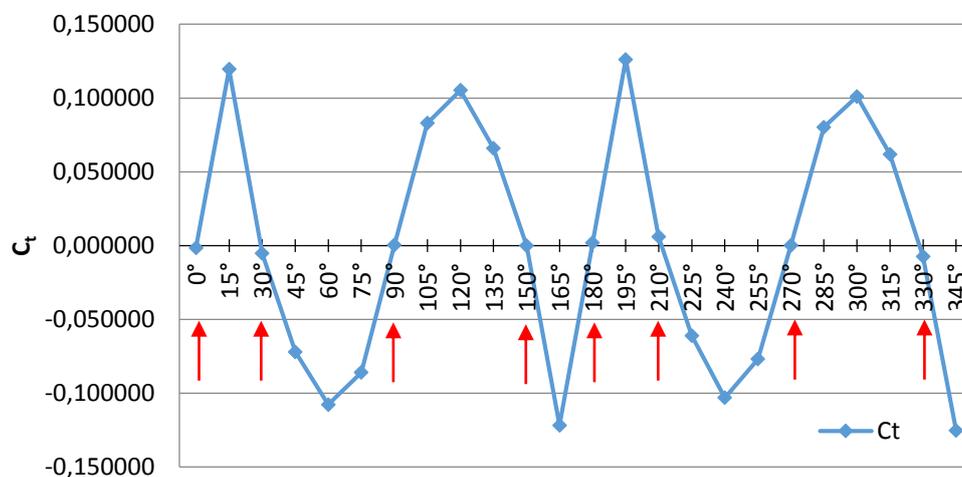
CAARC sem vizinhança (malha base)



(a)

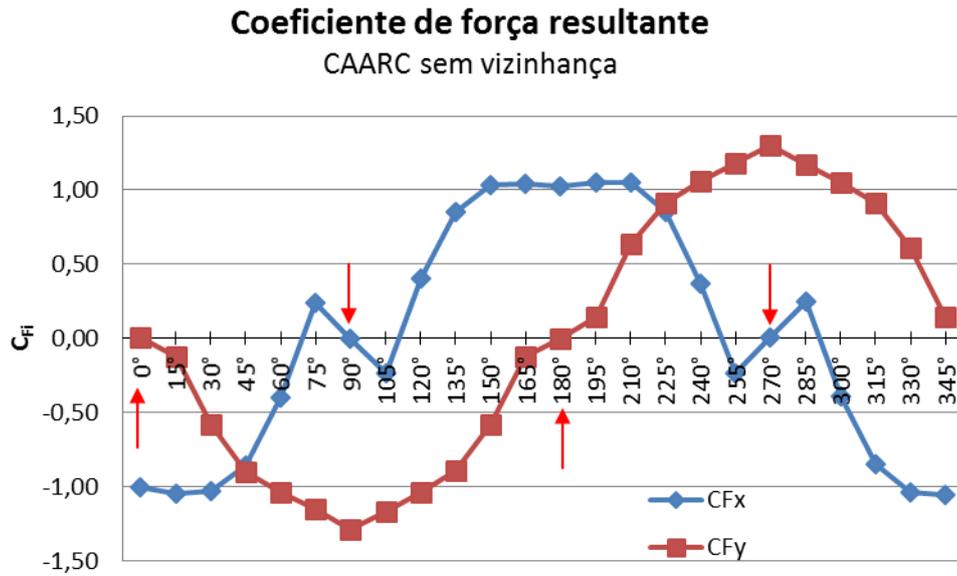
Coeficiente de Momento Torçor

CAARC sem vizinhança

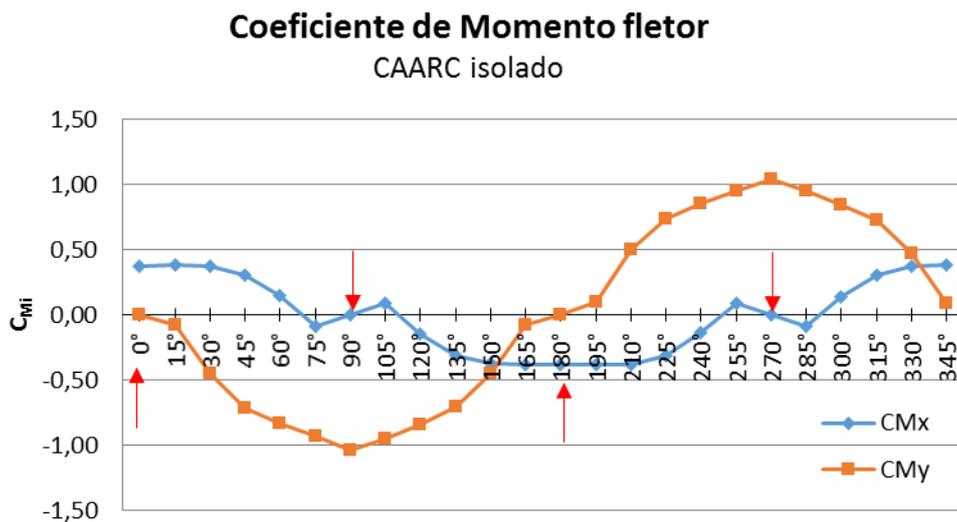


(b)

Figura 4.1 – Coeficientes da malha base organizados pelo ângulo de incidência: a) coeficiente de força por fachada; b) coeficiente de torção.



(a)



(b)

Figura 4.2 – Coeficientes da malha base organizados pelo ângulo de incidência: a) coeficiente de força resultante; b) coeficiente de momento fletor.

Mais uma vez, para todas as situações de pico observadas puderam ser descartados os respectivos FV tendo em vista que se tratavam de um reflexo matemático da divisão de um número por outro muito pequeno, pois quando se analisavam os respectivos esforços, esses estavam dentro da envoltória dos esforços para cada caso. Portanto, em termos do FV foi feita a inferência não só de seu valor em si, proveniente da equação (4-1) proposta pela norma, mas do esforço envolvido na respectiva angulação em estudo.

4.3 – RESULTADOS DOS ENSAIOS COM VIZINHANÇA PARA A TORÇÃO

4.3.1 – Resultados obtidos com a vizinhança V1

Verificando a vizinhança V1, Figura 4.3(a), observa-se picos no FV gerados pelo coeficiente de torção (C_t), Figura 4.4, nas incidências do vento a 0° , 30° , 90° , 150° , 210° , 270° e 330° , Figura 4.5. Porém, os respectivos Momentos Torçores, Figura 4.6, correspondentes não estão fora da envoltória dos esforços o que denota que esse valor discrepante aconteceu porque o respectivo coeficiente aerodinâmico (no caso coeficiente de torção) do edifício isolado está bem próximo de zero ($0,0015$ a 0° ; $0,0053$ a 30° ; $0,0004$ a 90° ; $0,000086$ a 150° ; $0,0002$ a 270°) e a divisão dos respectivos coeficientes da Vizinhança 1 por esses valores tão pequenos, assim como de todas as outras vizinhanças, induziu a picos no FV ($4,99$ a 0° ; $5,82$ a 30° ; $14,73$ a 90° ; $239,29$ a 150° ; $22,37$ a 270°) – que não correspondem à realidade, que conduziria a majoração dos carregamentos sem necessidade já que na análise dos respectivos esforços cada um estaria contemplado numa envoltória. Sendo assim, tais ângulos foram descartados da análise final dos FV.

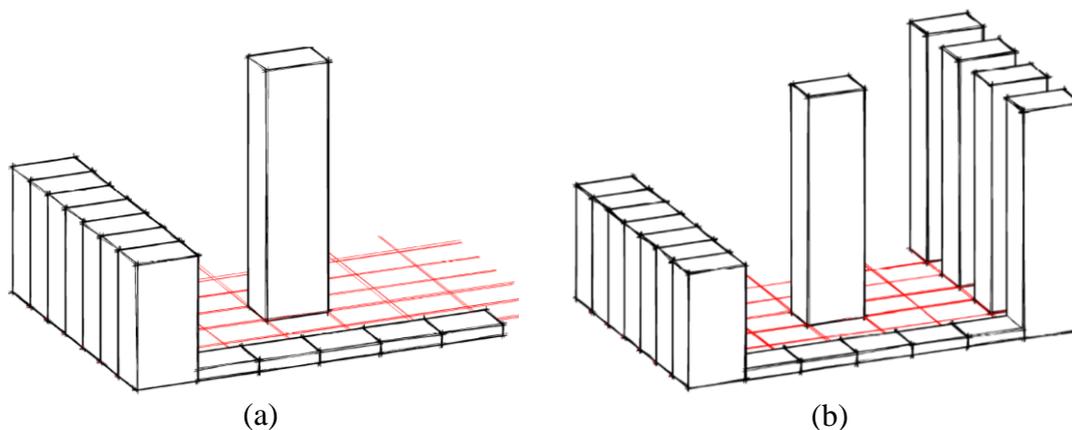
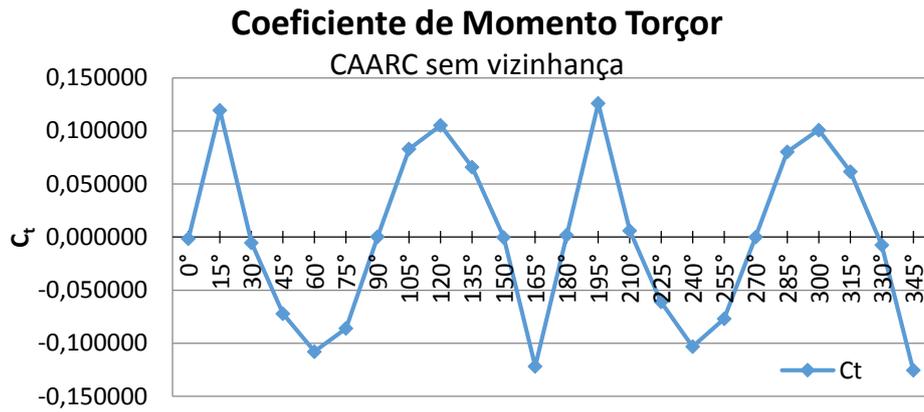
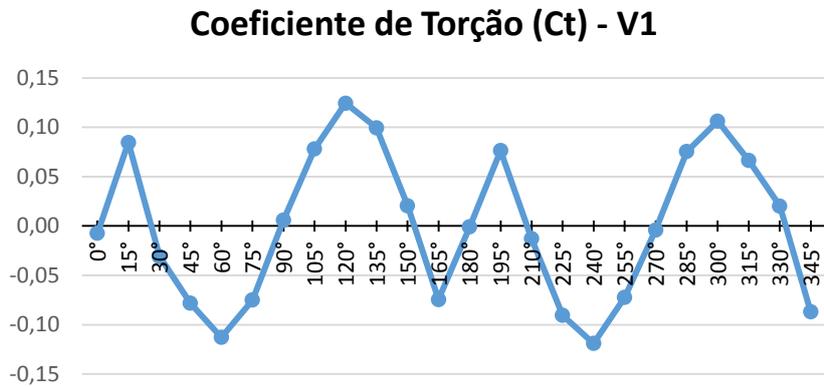


Figura 4.3 – a) Vizinhança V1; b) Vizinhança V2.



(a)



(b)

Figura 4.4 – Ct: a) Edifício isolado; b) Vizinhança V1.

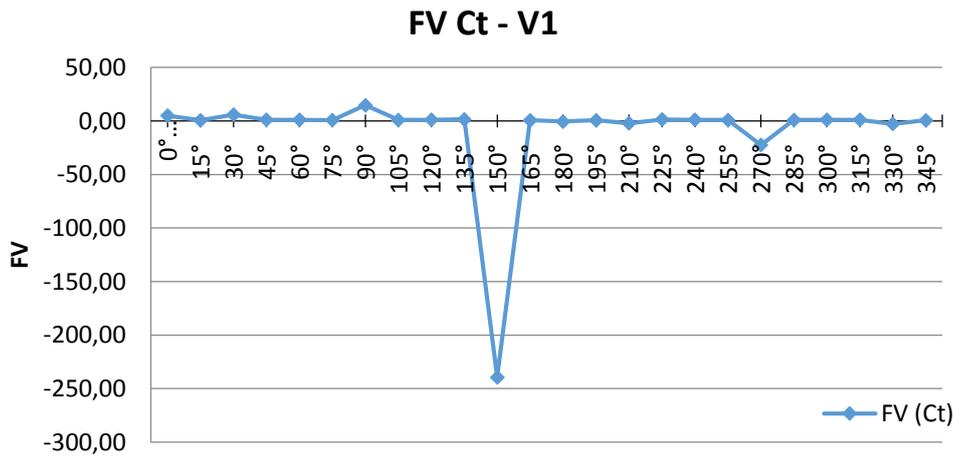


Figura 4.5 – FV calculado pelo coeficiente de torção para a Vizinhança V1.

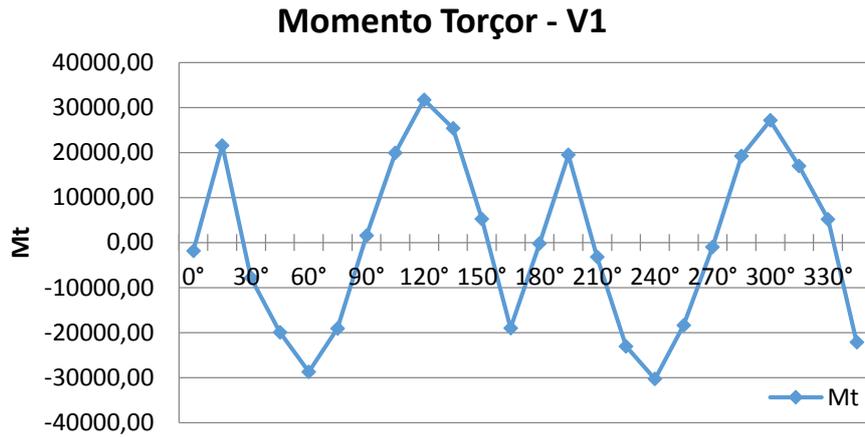
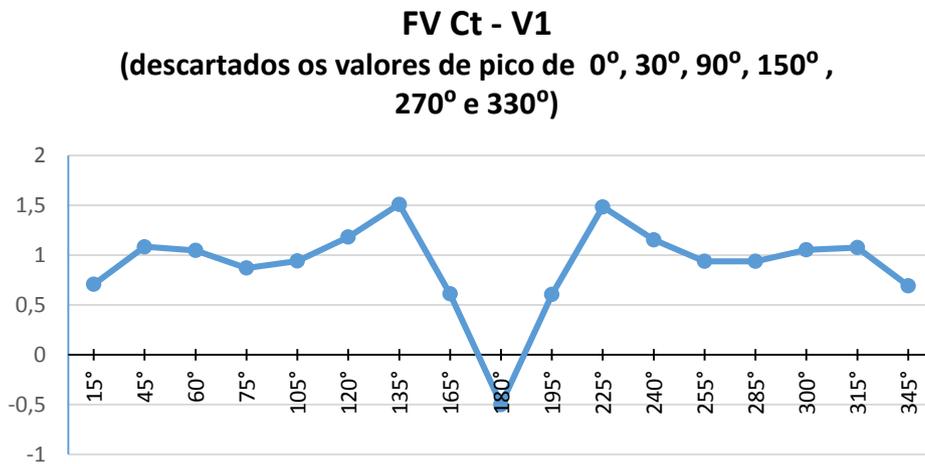
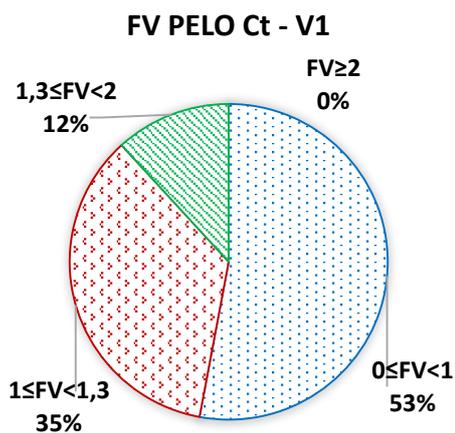


Figura 4.6 – Momento torçor da Vizinhança V1



(a)



(b)

| FAIXAS | QUANT |
|-------------------|-------|
| $0 \leq FV < 1$ | 9 |
| $1 \leq FV < 1,3$ | 6 |
| $1,3 \leq FV < 2$ | 2 |
| $FV \geq 2$ | 0 |

(c)

Figura 4.7 – FV calculados pelo coeficiente de torção da vizinhança V1: a) sem valores de pico; b) em porcentagem; c) quantidades por faixa de valores.

Analisando-se pelo FV alcançado nos ensaios de túnel de vento tem-se que para a maior parte dos ângulos de incidência do vento o FV não deveria ser majorado e que em seis dos dezessete ângulos considerados válidos deveriam ser majorados em 30% o valor da solicitação. E apenas dois ângulos necessitariam de um fator de majoração maior que essa porcentagem (135° e 225°). Ou ainda, por conta de duas incidências estaria se penalizando a estrutura que, na maior parte das angulações de incidência do vento estaria suficientemente dimensionada. E, pior, essa majoração em se seguindo a norma brasileira estaria aquém do que realmente estaria sendo solicitado (em torno de 1,5 enquanto a norma estabelece 1,3 para o FV). Porém essa majoração (máxima) estaria penalizando a estrutura porque os respectivos esforços de torção estariam menores que os valores máximos da solicitação.

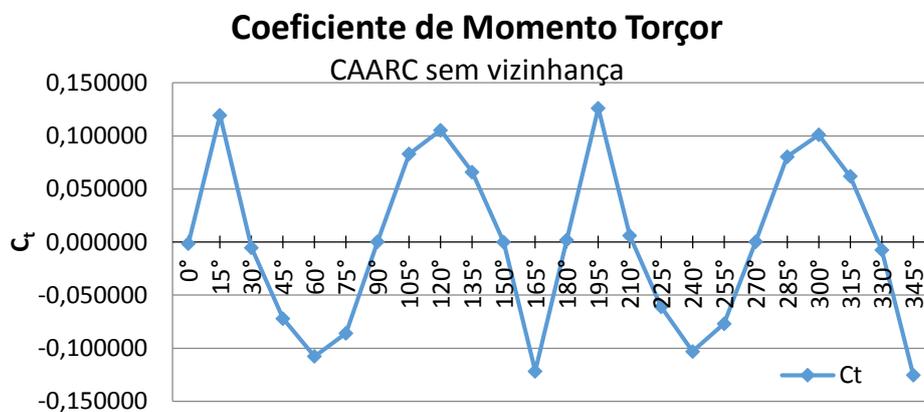
Ainda, se tem o máximo valor do momento torçor a 120° , cujo FV (1,18) está dentro da faixa $1 \leq FV < 1,3$ e aquém ao prescrito na NBR 6123/1988. Assim, numa análise inicial apenas do FV estaria sendo gerada a majoração dos esforços em ângulos de incidência do vento não condizente com a maior solicitação para o momento torçor.

Uma observação sobre a Figura 4.7(b): foram criadas faixas de valores para explicitar os dados experimentais alcançados e que traduzissem o quão distante do valor do FV prescrito na norma brasileira. Assim a faixa $0 \leq FV < 1$ traduz os ângulos de incidência do vento que não geraram qualquer majoração na solicitação estudada. A faixa $1 \leq FV < 1,3$ dizem respeito às angulações que estariam abaixo do valor prescrito pela norma brasileira para o FV (1,3) e que já solicitariam alguma majoração. A de $1,3 \leq FV < 2$ mostram a distribuição dos ângulos que estariam descobertos pela NBR 6123/1988 por requererem FV maior do que o valor previsto. E, finalmente, a faixa $FV \geq 2$ surgiu de alguns dos ângulos (poucos casos válidos de acordo com a discussão sobre os picos descrita anteriormente) que ultrapassaram muito a norma brasileira requerendo inclusive que se majorasse a solicitação em 100%.

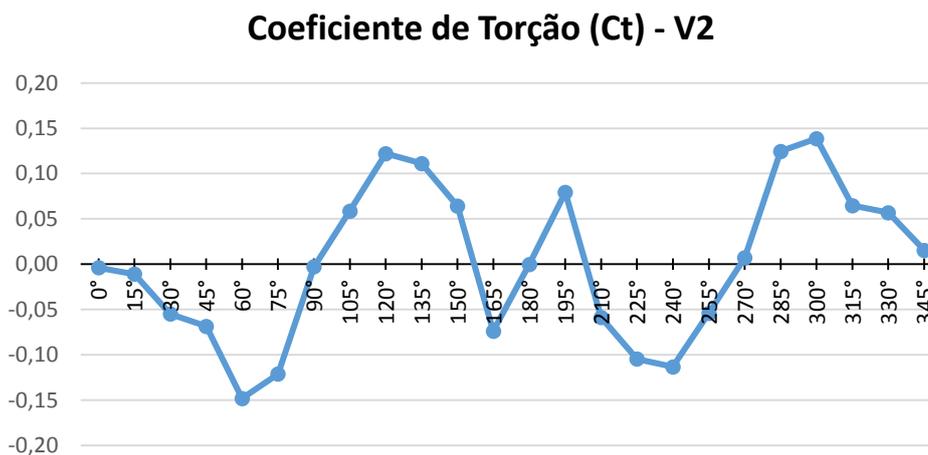
4.3.2 – Resultados obtidos com a Vizinhança V2

Para a vizinhança V2, Figura 4.3(b), tem-se a mesma análise da vizinhança anterior. Observam-se picos no FV gerados pelo coeficiente de torção nas incidências do vento a

30°, 90°, 150°, 210°, 270° e 330°, Figura 4.8. Porém, os respectivos Momentos Torçores correspondentes, Figura 4.9, não está fora da envoltória dos esforços o que denota que esse valor discrepante aconteceu porque o respectivo coeficiente aerodinâmico (no caso coeficiente de torção) do edifício isolado está bem próximo de zero (0,0015 a 0°; 0,0053 a 30°; 0,0004 a 90°; 0,000086 a 150°; 0,0002 a 270°) e a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V2 por esses valores, assim como todas as outras vizinhanças, induziu a valores altos no FV (10,38 a 30°; 6,97 a 90°; 744,86 a 150°; 9,78 a 210°, 41,40 a 270° e 7,63 a 330°). Mas analisando novamente o esforço da torção para essa inclinação, esses FV não são significativos para a análise do edifício.



(a)



(b)

Figura 4.8 – Ct: a) edifício isolado; b) Vizinhança V2.

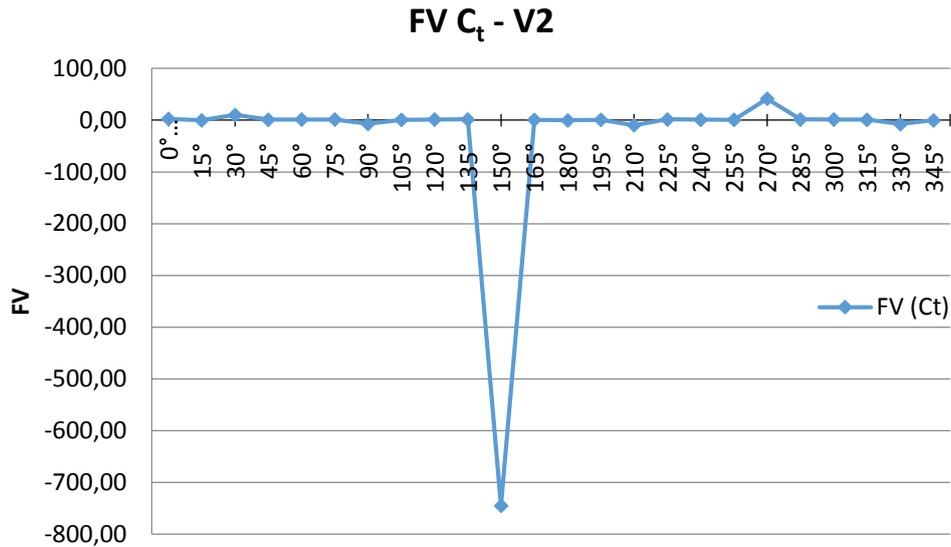


Figura 4.9 – FV calculado pelo coeficiente de torção da Vizinhança V2.

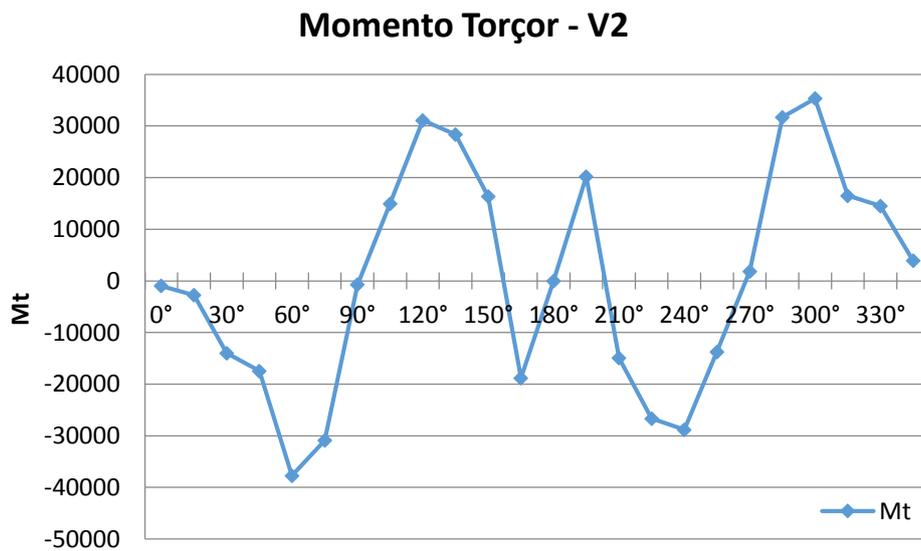
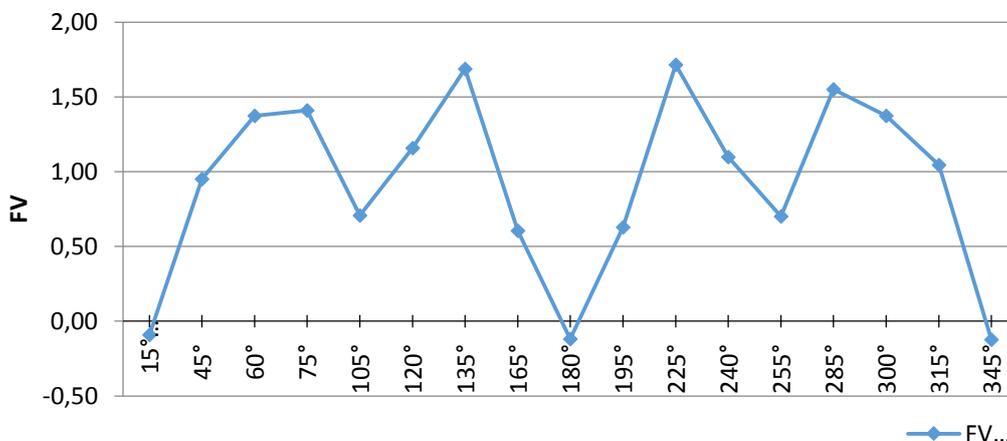


Figura 4.10 – Momento torçor para a Vizinhança V2.

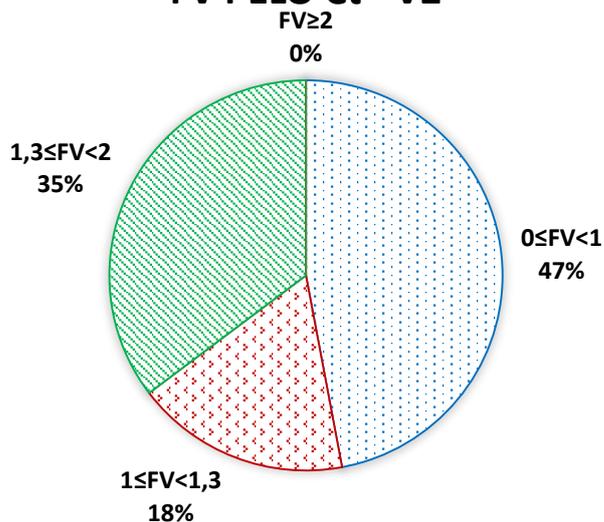
Descartando essas angulações, ainda assim são encontrados valores altos para o FV, Figura 4.10(a), que geram especulações sobre suas causas que, quando remetidas ao gráfico dos respectivos esforços mostra-se que são irrelevantes na análise do comportamento do FV.

FV Ct - V2
 (descartados os valores de pico de 0°, 30°, 90°,
 150°, 210°, 270° e 330°)



(a)

FV PELO Ct - V2



(b)

| FAIXAS | QUANT |
|-------------------|-------|
| $0 \leq FV < 1$ | 8 |
| $1 \leq FV < 1,3$ | 3 |
| $1,3 \leq FV < 2$ | 6 |
| $FV \geq 2$ | 0 |

(c)

Figura 4.11 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhança V2: a) sem valores de pico; b) em porcentagem; c) quantidades por faixa de valores.

Analisando os resultados obtidos para a vizinhança V2 observa-se situação semelhante à vizinhança anterior, ou seja, para a maior parte das angulações o respectivo FV fica abaixo do valor de majoração da solicitação prevista na norma brasileira. O maior esforço da torção ocorre em 60°, cujo FV é de 1,37 supera um pouco mais do que o prescrito pela norma brasileira de vento. Ou seja, para essa incidência faria sentido a majoração do carregamento.

4.3.3 – Resultados obtidos com a Vizinhança V3

Na vizinhança V3, Figura 4.12(a), levando-se em conta as análises feitas anteriormente. Observam-se picos no FV gerados pelo coeficiente de torção (C_t) nas incidências do vento a 0° , 30° , 90° , 150° , 180° , 210° e 270° . Porém, os respectivos Momentos Torçores correspondentes não está fora da envoltória dos esforços o que denota que esse valor discrepante aconteceu porque o respectivo coeficiente aerodinâmico (no caso coeficiente de torção) do edifício isolado está bem próximo de zero ($0,0015$ a 0° ; $0,0053$ a 30° ; $0,0004$ a 90° ; $0,000086$ a 150° ; $0,0002$ a 270°) e a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V3 por esses valores, assim como todas as outras vizinhanças, induziu a valores altos no FV ($10,65$ a 0° ; $8,95$ a 30° ; $23,10$ a 90° ; $367,30$ a 150° ; $18,36$ a 180° , $7,13$ a 210° e $45,57$ a 270°). Mas analisando novamente o esforço da torção para essa inclinação, esses FV não são significativos para a análise do edifício.

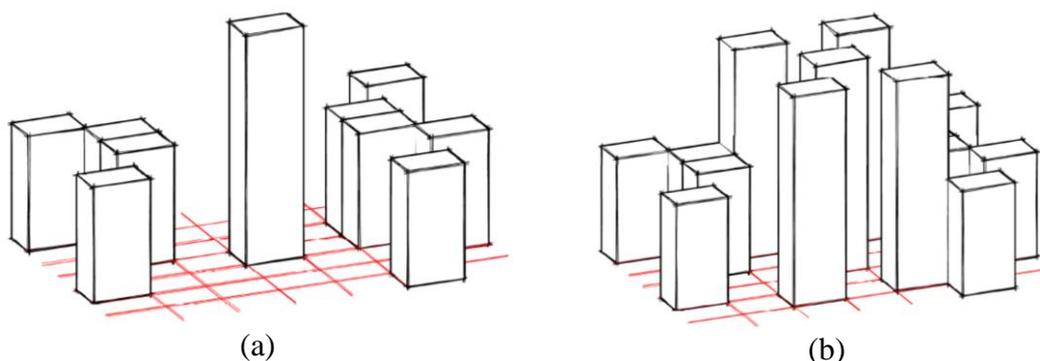
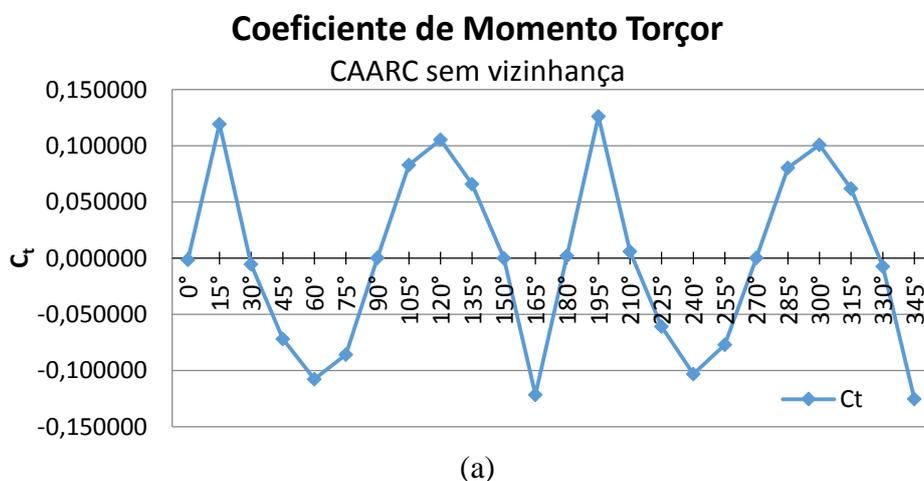
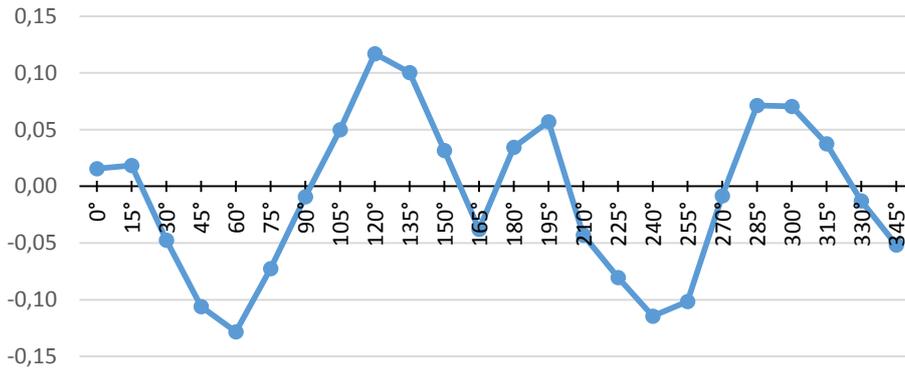


Figura 4.12 – a) Vizinhança V3; b) Vizinhança V4.



Coefficiente de Torção (Ct) - V3



(b)

Figura 4.13 – Ct: a) edifício isolado; b) Vizinhança V3.

FV Ct - V3

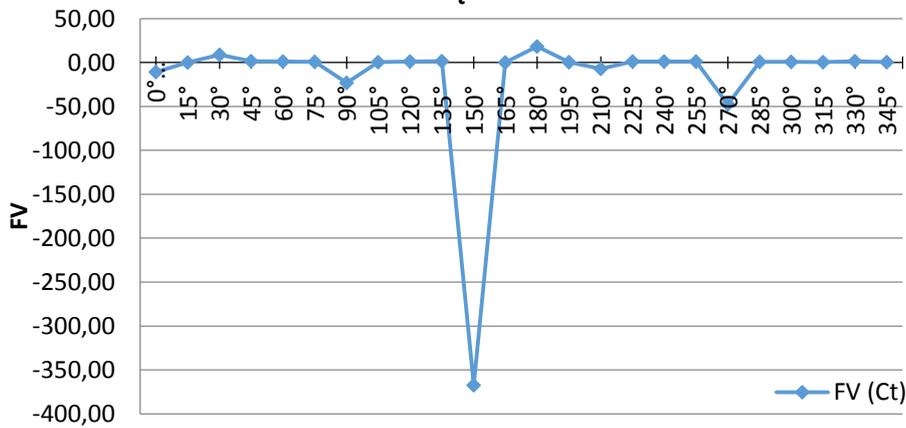


Figura 4.14 – FV calculado pelo coeficiente de torção para a Vizinhança V3.

Momento Torçor - V3

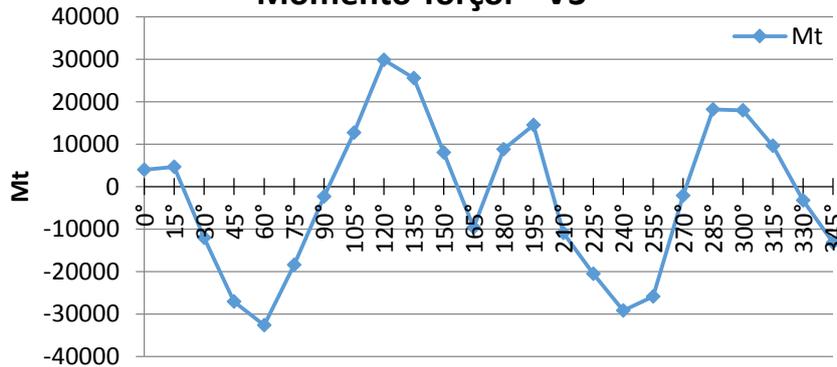
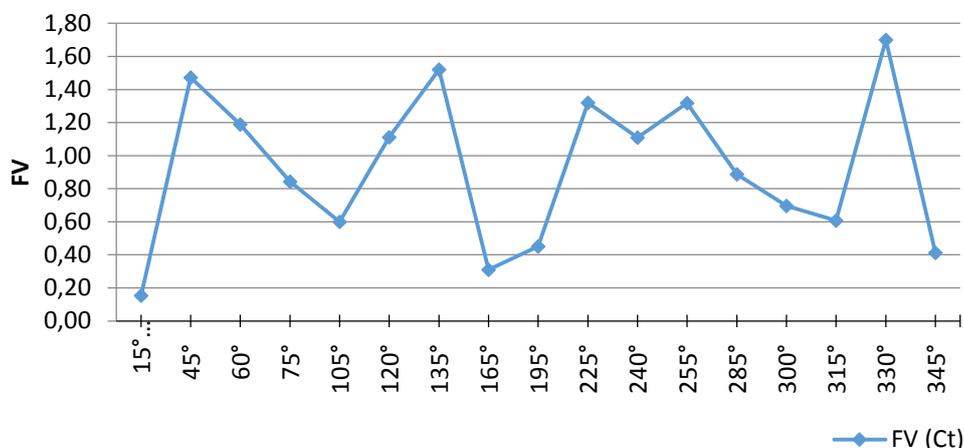


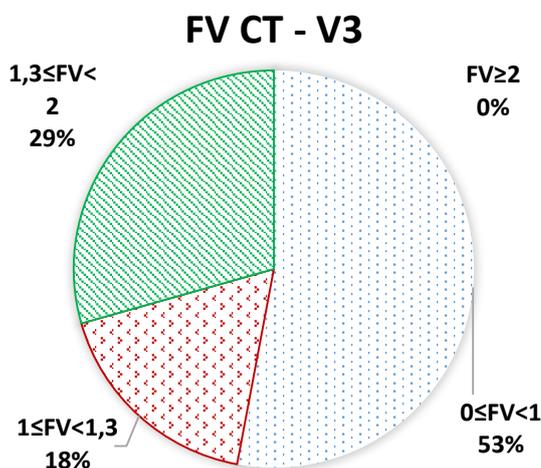
Figura 4.15 – Momento torçor da Vizinhança V3.

Descartando essas angulações de pico, tem-se a Figura 4.16(a)

FV C_t - V3
 (descartados os valores de pico de 0°, 30°, 90°, 150°, 180°, 210° e 270°)



(a)



(b)

| FAIXAS | QUANT |
|-------------------|-------|
| $0 \leq FV < 1$ | 9 |
| $1 \leq FV < 1,3$ | 3 |
| $1,3 \leq FV < 2$ | 5 |
| $FV \geq 2$ | 0 |

(c)

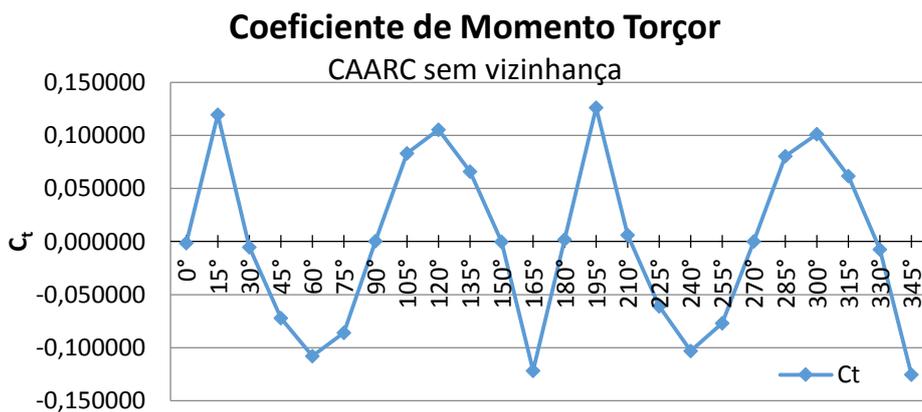
Figura 4.16 – FV calculados pelo coeficiente de torção da Vizinhança V3: a) sem valores de pico; b) em porcentagem; c) quantidades por faixa de valores.

Como nas vizinhanças anteriores, o experimento com a Vizinhança V3 mostrou que para a maior parte das angulações da incidência do vento não haveria a necessidade de majoração da carga de solicitação. Mas que em 50%, aproximadamente, do número de ângulos não majorados o projetista deveria considerar até mesmo o dobro desse carregamento (330°), mas que ao se analisar o esforço de torção nesse ângulo, essa consideração não faz sentido – o que denota que o alto valor do FV é proveniente de uma divisão cujo denominador (C_t da malha base) é muito menor que o numerador (C_t da Vizinhança V3). E mais, analisando todos os ângulos da faixa $1,3 \leq FV < 2$ (45°, 135°, 225°,

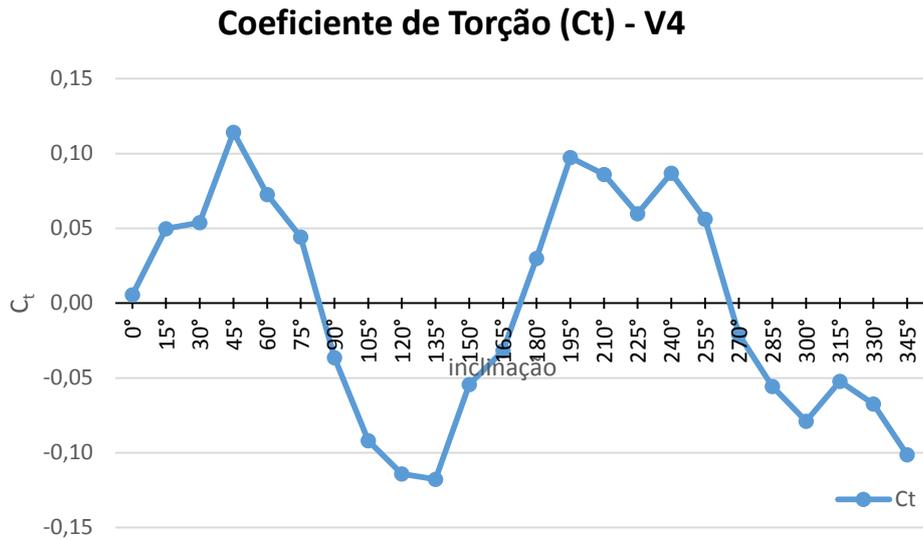
255° e 330° tem-se que o momento torçor alcançado nessas angulações tem seu valor dentro da envoltória dos esforços e estão aquém do seu valor máximo – alcançado para a angulação de 60° cujo FV é inferior (1,11) ao que a NBR 6123/1988 prescreve (1,3).

4.3.4 – Resultados obtidos com a Vizinhança V4

Para a vizinhança V4, Figura 4.12(b), levando-se em conta as análises feitas anteriormente. Observam-se picos no FV gerados pelo coeficiente de torção (C_t) nas incidências do vento a 0°, 30°, 90°, 150°, 180°, 210°, 270° e 330°. Porém, os respectivos Momentos Torçores correspondentes não está fora da envoltória dos esforços o que denota que esse valor discrepante aconteceu porque o respectivo coeficiente aerodinâmico (no caso coeficiente de torção) do edifício isolado está bem próximo de zero (0,0015 a 0°; 0,0053 a 30°; 0,0004 a 90°; 0,000086 a 150°; 0,0002 a 270°) e a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V3 por esses valores, assim como todas as outras vizinhanças, induziu a valores altos no FV (3,83 a 0°; 10,20 a 30°; 90,44 a 90°; 630,04 a 150°; 15,86 a 180°; 14,35 a 210°; 118,38 a 270° e 9,01 a 330°). Mas analisando os respectivos esforços da torção para essas inclinações, esses FV não são significativos para a análise do edifício, sendo descartados os respectivos ângulos.



(a)



(b)
 Figura 4.17 – Ct: a) edifício isolado; b) Vizinhança V4.

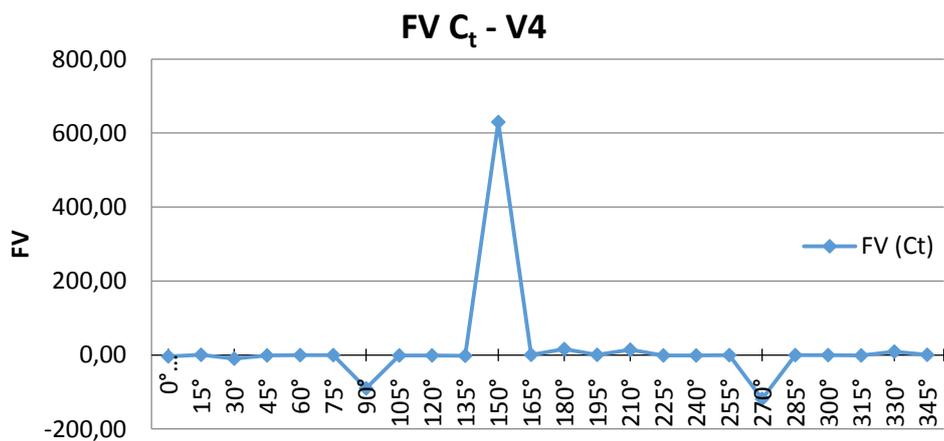


Figura 4.18 – FV calculado pelo coeficiente de torção para a Vizinhança V4.

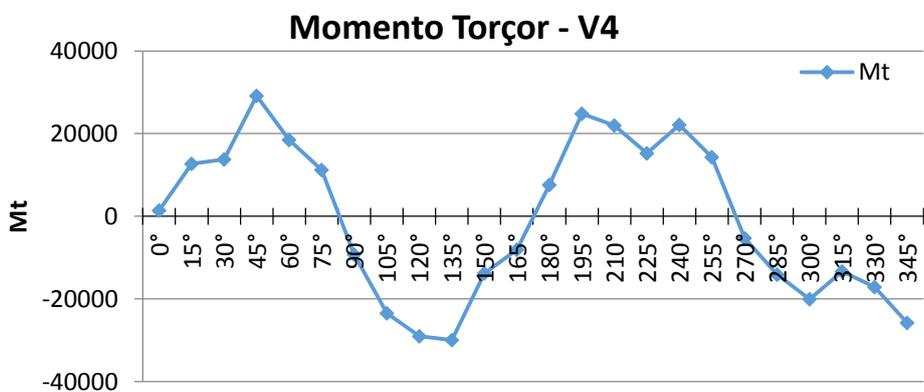
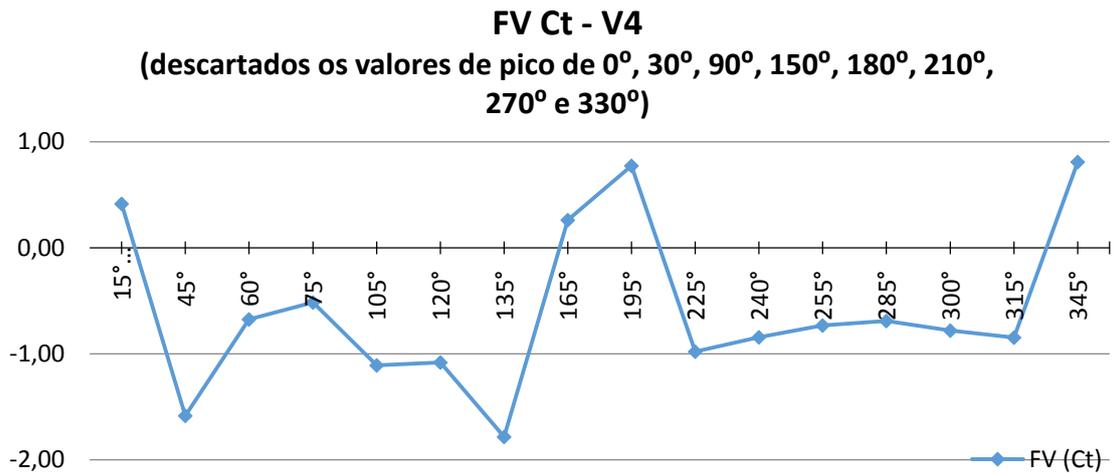
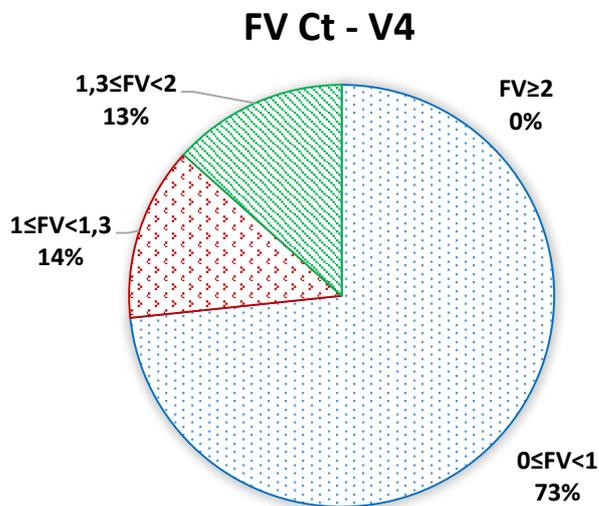


Figura 4.19 – Momento torçor da Vizinhança V4.



(a)



(b)

| FAIXAS | QUANT |
|-------------------|-------|
| $0 \leq FV < 1$ | 11 |
| $1 \leq FV < 1,3$ | 2 |
| $1,3 \leq FV < 2$ | 2 |
| $FV \geq 2$ | 0 |

(c)

Figura 4.20 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhança V4: a) sem valores de pico; b) em porcentagem; c) quantidades por faixa de valores.

Uma observação poderá ser feita em relação ao momento torçor a 180^0 que estaria na mesma ordem de grandeza do valor a 60^0 , o que caracteriza que desprezando o pico gerado a 180^0 não estaria sendo negligenciado o valor do esforço em si no caso do projeto estrutural do edifício.

Ainda, com relação a análise do momento torçor, observa-se a relação entre o seu maior valor (a 135^0) com o maior FV (1,78) comprova a necessidade da verificação da influência da vizinhança nos esforços gerados pelo vento.

4.3.5 – Resultados obtidos com a Vizinhança V5

Na vizinhança V5, Figura 4.20(a), temos situações semelhantes porque a 0° , 30° , 90° , 150° , 180° , 270° e 330° há picos nos FV, Figura 4.22, que perante a leitura dos respectivos esforços, Figura 4.23, ou dos coeficientes de momento torçor, Figura 4.21, esses ângulos não são significativos na análise final do comportamento do FV. Os valores dos picos no FV são, respectivamente, 41,50 a 0° ; 7,33 a 30° ; 144,45 a 90° ; 1313,08 a 150° ; 51,71 a 180° ; 483,80 a 210° ; 118,38 a 270° e 4,57 a 330° .

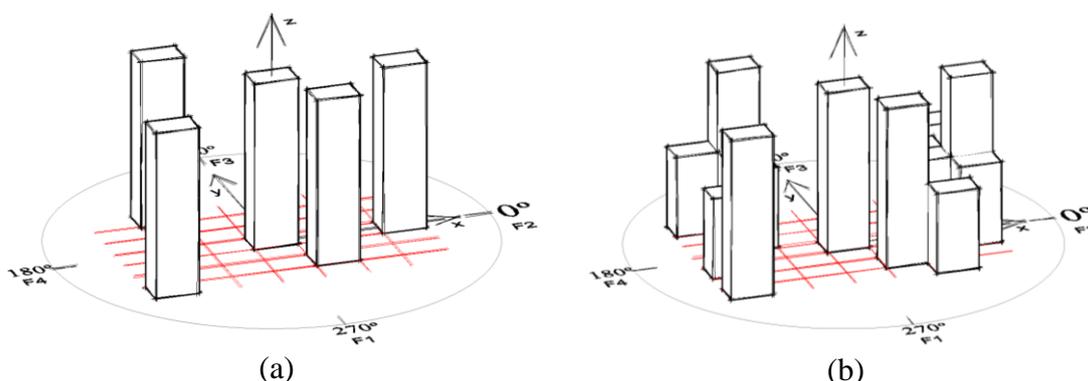
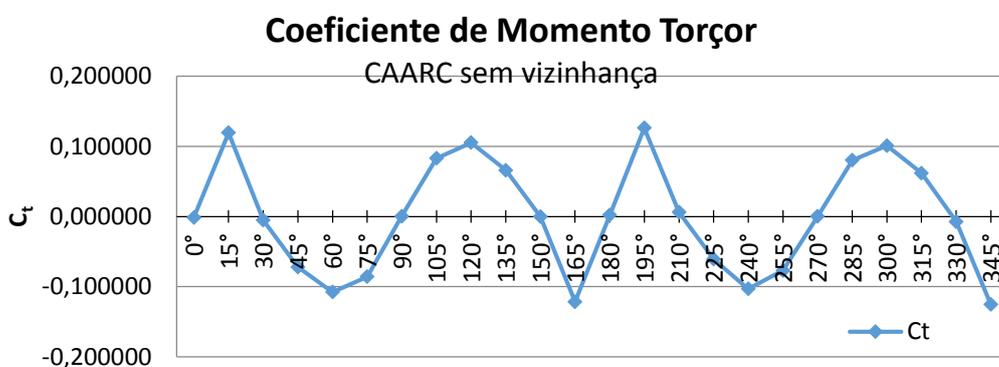
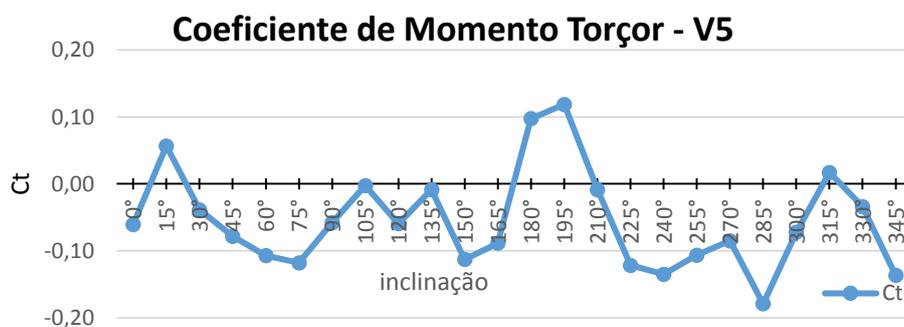


Figura 4.20 – a) Vizinhança V5; b) Vizinhança V6.



(a)



(b)

Figura 4.21 – Ct: a) edifício isolado; b) Vizinhança V5.

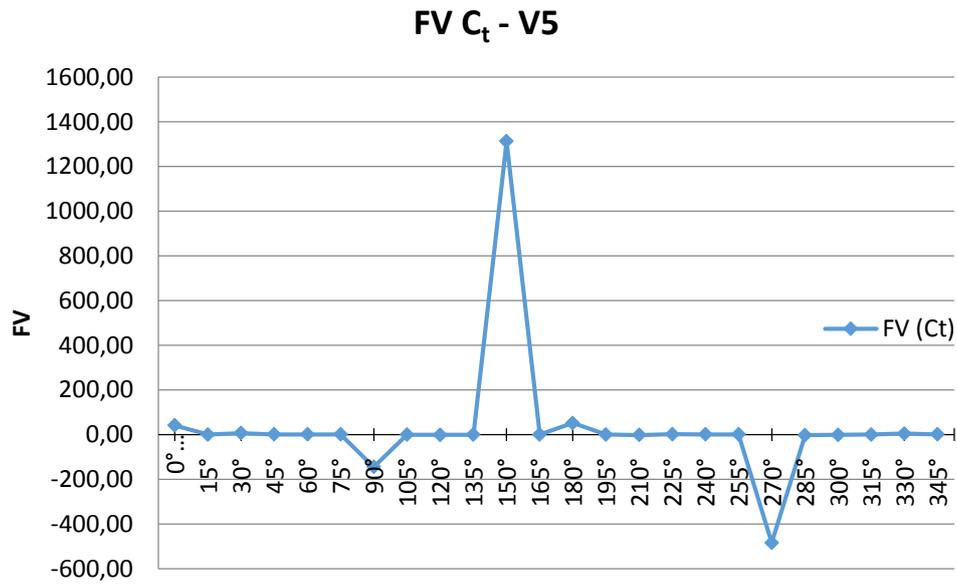


Figura 4.22 – FV calculado pelo coeficiente de torção da Vizinhança V5.

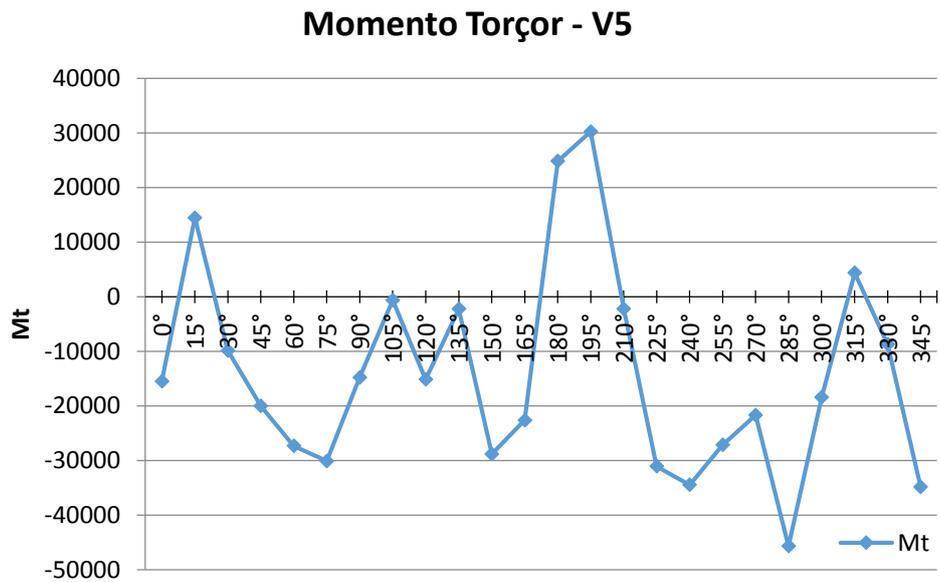
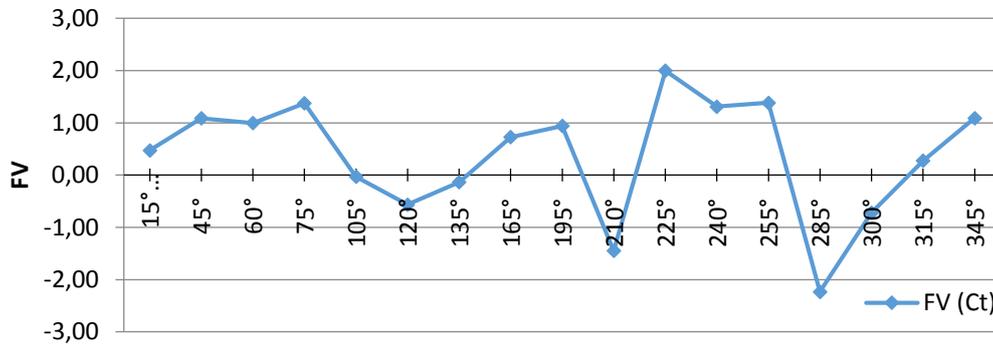


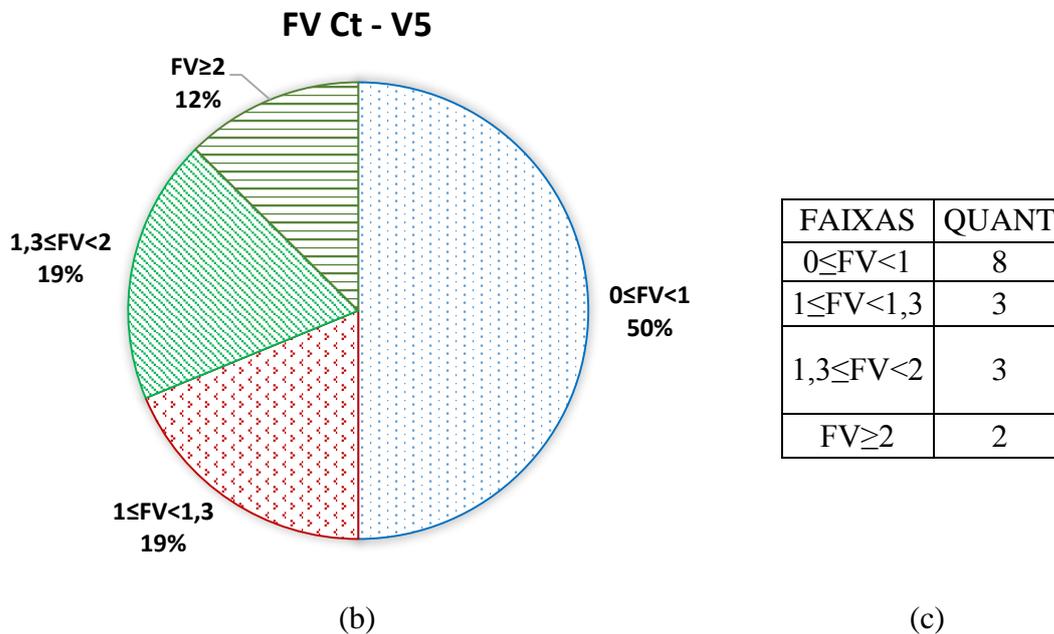
Figura 4.23 – Momento torçor da Vizinhança V5.

Descartando essas angulações de pico, tem-se a Figura 4.24(a).

FV Ct - V5
 (descartados os valores de pico de 0°, 30°, 90°, 150°, 180°, 210°, 270° e 330°)



(a)



(b)

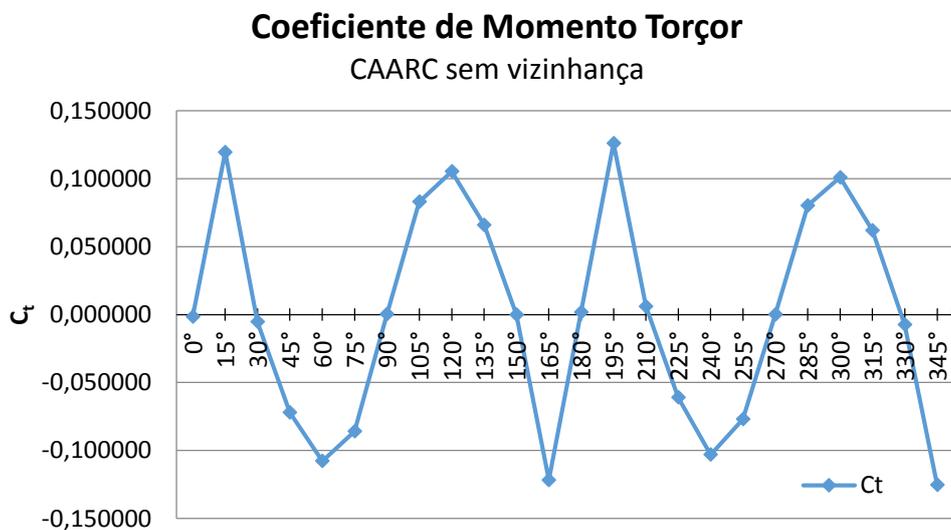
(c)

Figura 4.24 – FV calculados pelo coeficiente torçor da Vizinhança V5: a) sem valores de pico; b) em porcentagem; c) quantidades por faixa de valores.

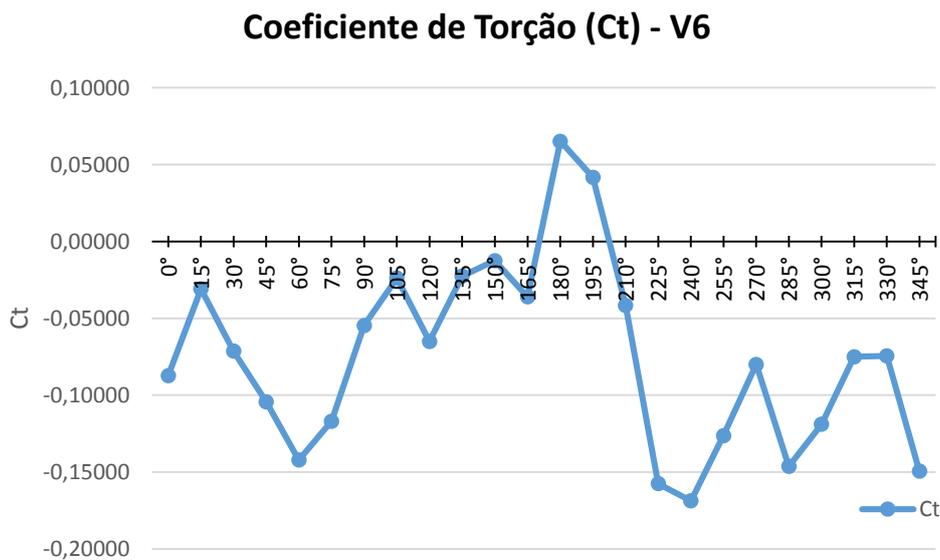
Analisando-se os FV para a vizinhança V5 tem-se que a metade dos ângulos de incidência do vento não teriam seus esforços de torção sendo majorados e a outra estaria entre majorar com o valor próximo ao prescrito em norma (1,3) e mesmo, dobrar o valor do carregamento (caso dos ângulos de 225° e 285°). E que, coincidentemente, a análise do momento torçor revela que seu maior valor (a 285°) coincide com o maior fator de majoração (por volta de 2,23).

4.3.6 – Resultados obtidos com a Vizinhança V6

Na vizinhança V6, Figura 4.20(b), aparecem cinco incidências para as quais os FV chegam a valores que caracterizam picos - 0° , 30° , 90° , 150° , 180° , 210° , 225° , 270° e 330° , Figura 4.26. Novamente, ao verificar os coeficientes do edifício isolado e os da vizinhança proposta, Figura 4.25, são gerados os picos nos FV, respectivamente, de 59,69; 13,48; 135,90; 144,74; 34,61; 6,94; 2,58; 454,36; e 9,97. Que, novamente com a inferência dos respectivos momentos, não estão fora da envoltória dos esforços considerada em um projeto estrutural.



(a)



(b)

Figura 4.25 – Ct: a) edifício isolado; b) Vizinhança V6.

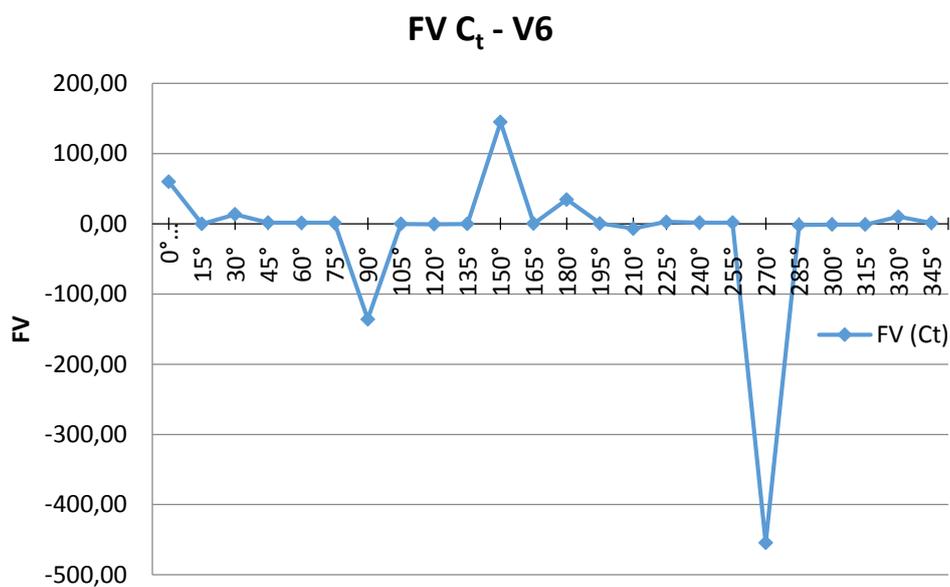


Figura 4.26 – FV calculado pelo coeficiente de torção da Vizinhança V6.

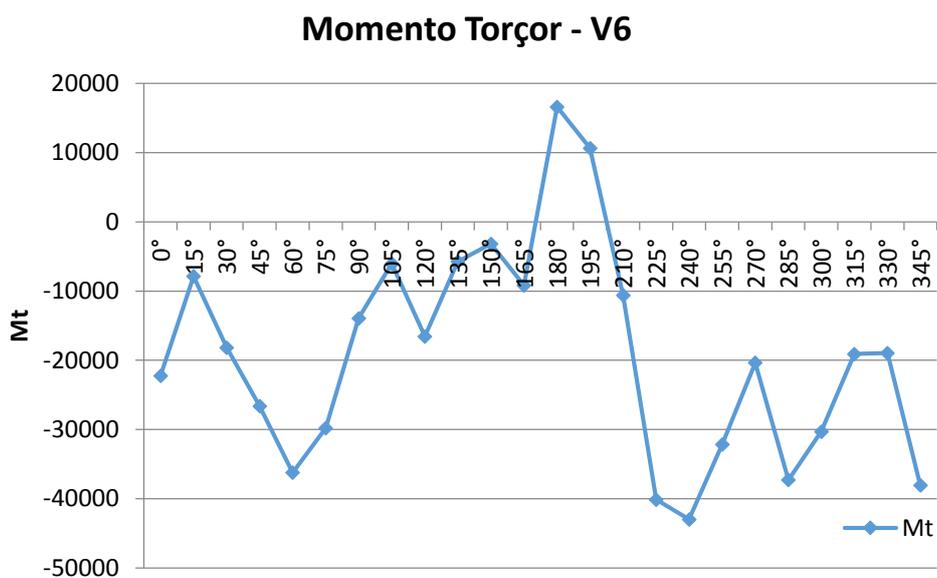


Figura 4.27 – Momento torçor da Vizinhança V6.

Descartando essas angulações, a Figura 4.28(a) mostra os FV sem os valores de pico.

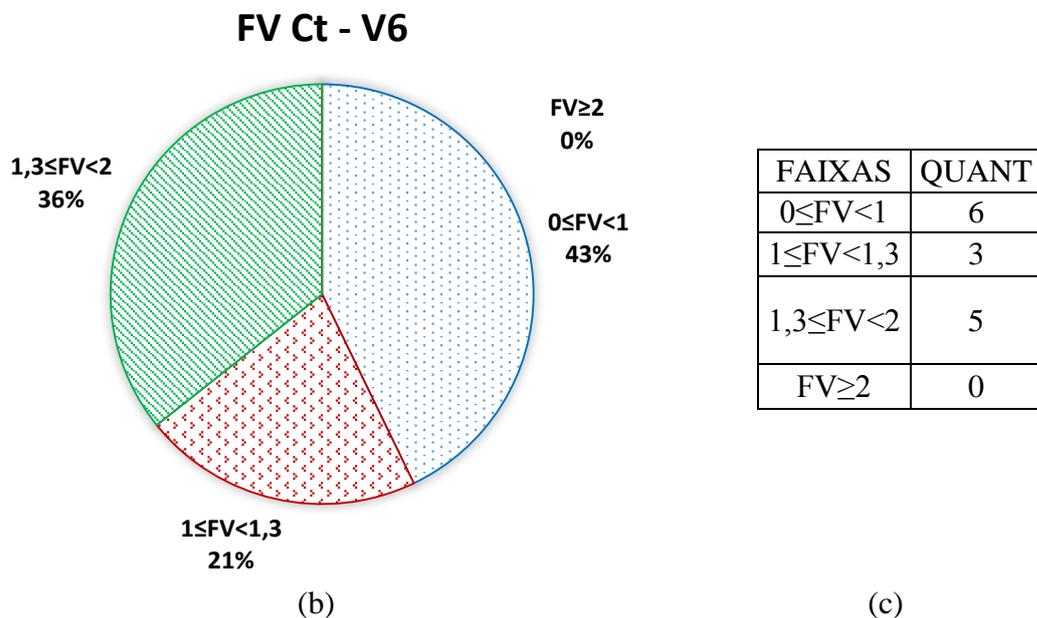
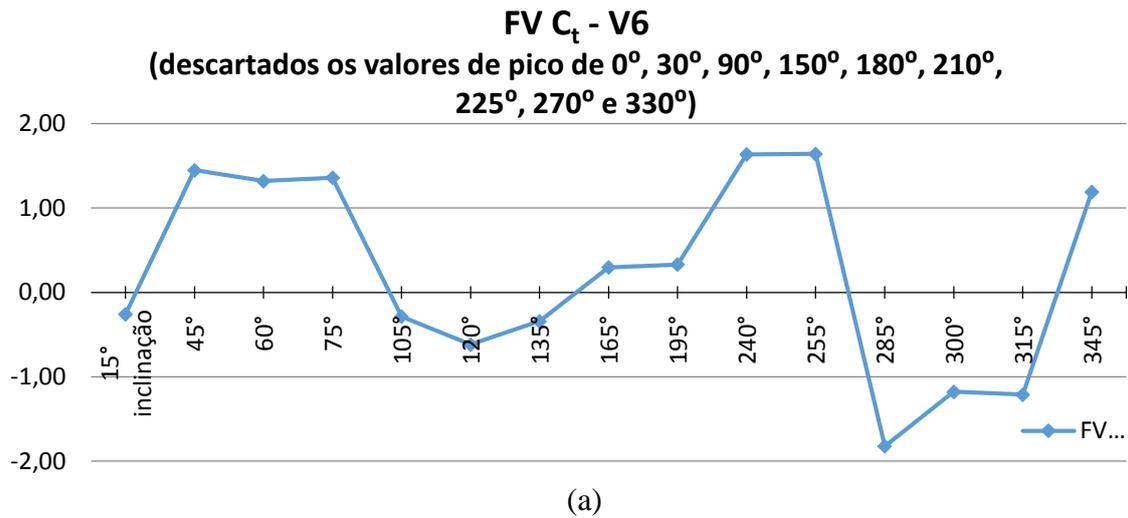


Figura 4.28 – FV calculados pelo coeficiente de torção da Vizinhança V6: a) sem valores de pico; b) em porcentagem; c) quantidades por faixa de valores.

Em termos de faixas de valores para o FV revela-se certo equilíbrio quanto ao fato de majorar ou não o carregamento. No caso, para a situação de majorar o carregamento na faixa de $1,3 \leq FV < 2$ (que revelam cinco dos quatorze ângulos de incidência do vento) a análise do momento torçor revelou que não seria necessária a majoração porque os esforços alcançados estariam na envoltória a ser considerada. E que o maior desses esforços (a 240°) não se refere ao maior valor do FV na faixa mencionada anteriormente. O que denota, mais uma vez, a necessidade de uma avaliação conjunta entre o esforço solicitante e o Fator de Vizinhança, FV, correspondente.

4.3.7 – Resultados obtidos com a Vizinhança V7

Para a Vizinhança V7, Figura 4.29(a), encontram-se valores de FV que, numa visão mais geral, frente a ordem de grandeza dos esforços gerados, Figuras 4.30 e 4.32, para as outras inclinações não seria significativo para a avaliação do comportamento dos FV da vizinhança proposta, Figura 4.31. São elas as inclinações de 0° , 90° , 150° , 180° , 270° e 330° , com os respectivos valores de 9,36; 69,50; 71,55; 4,75; 19,50 e 3,81.

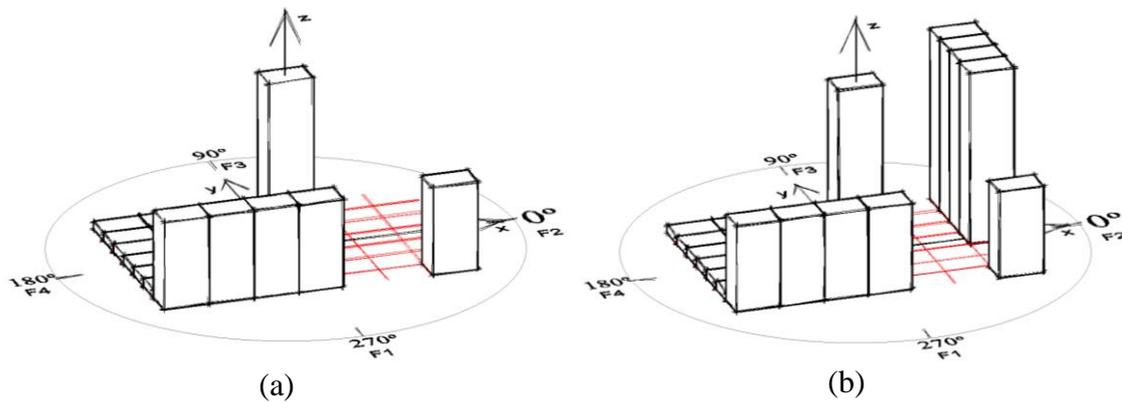
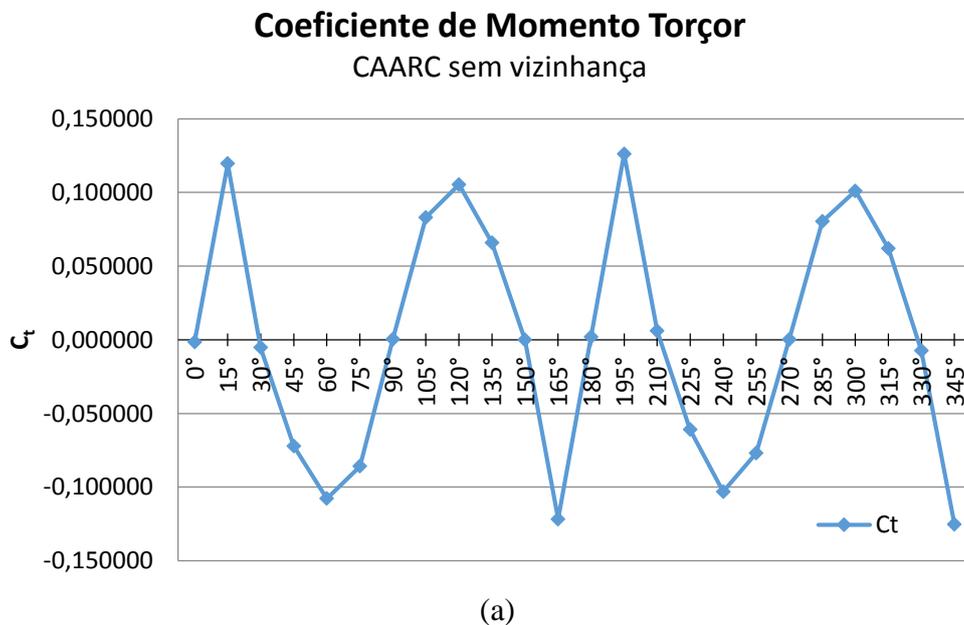


Figura 4.29 – a) Vizinhança V7; b) Vizinhança V8.



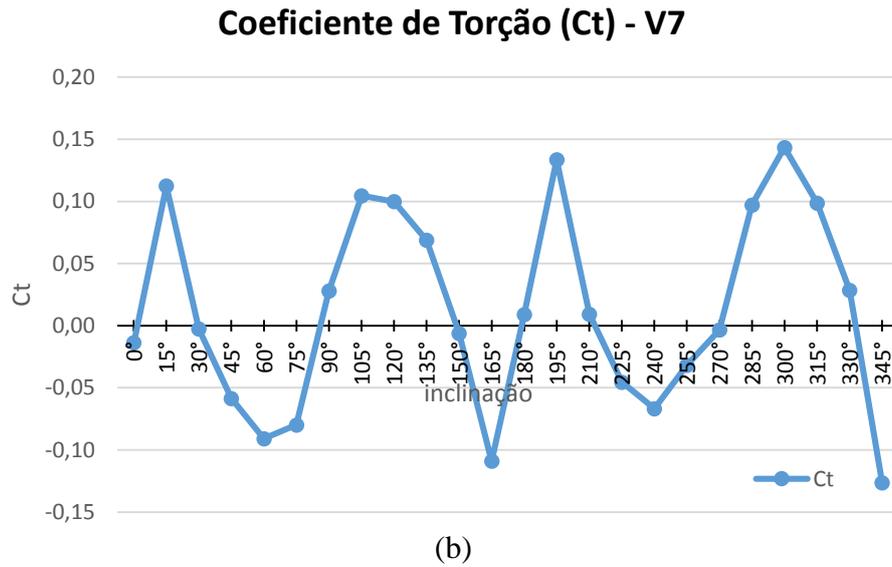


Figura 4.30 – Ct: a) edifício isolado; b) Vizinhança V7.

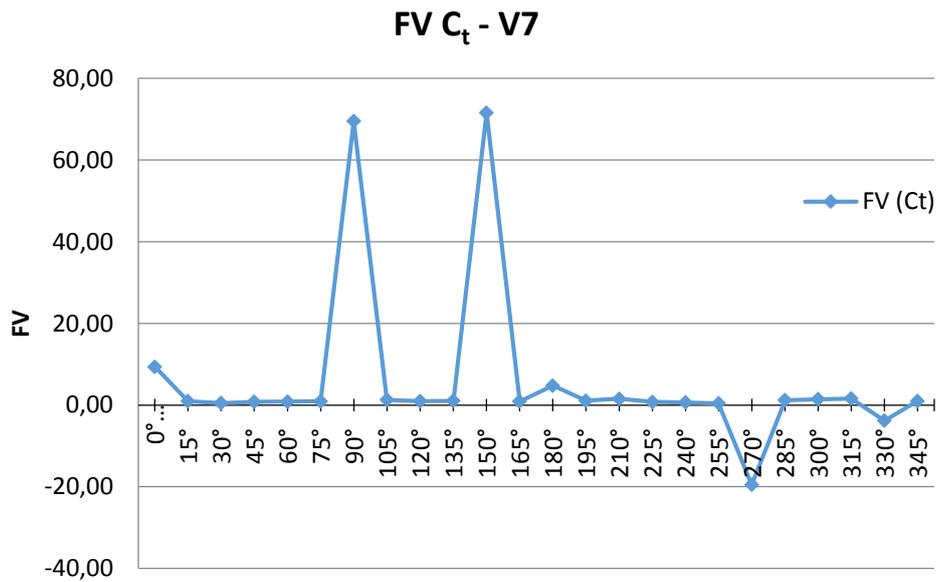


Figura 4.31 – FV calculado pelo coeficiente de torção da Vizinhança V7.

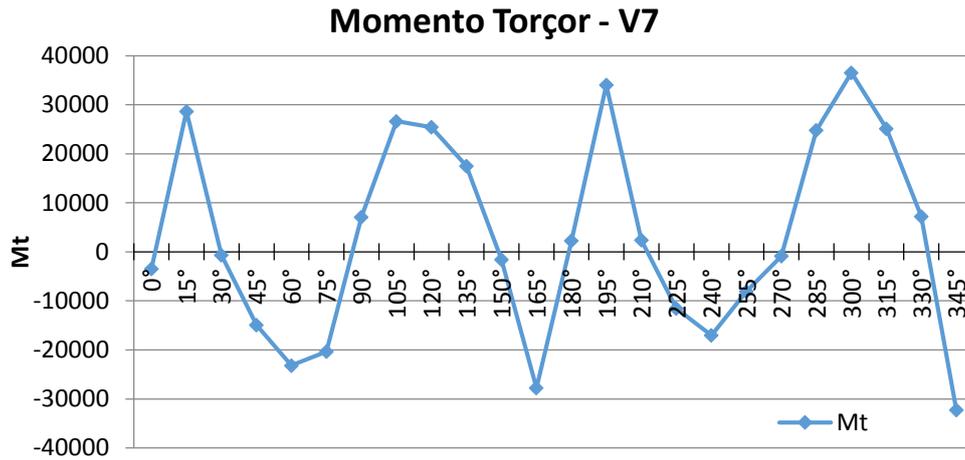
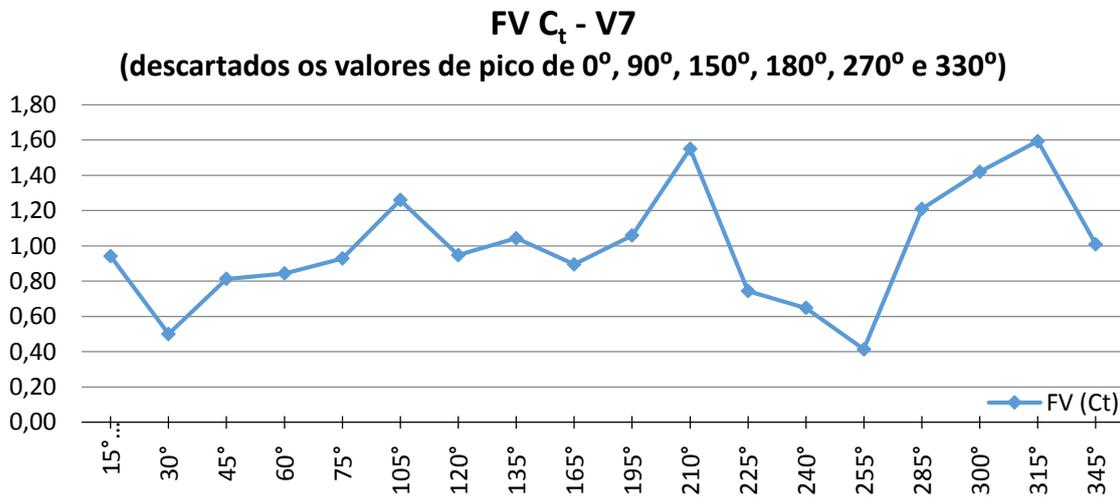
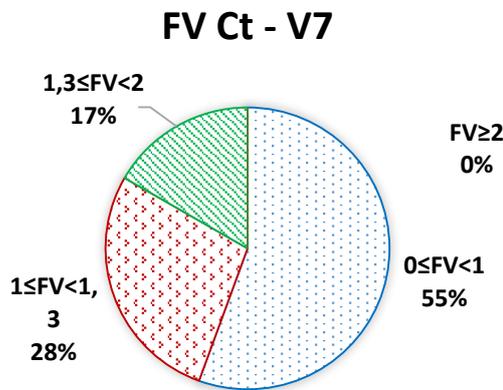


Figura 4.32 – Momento torçor para a Vizinhaça V7.

Descartando essas angulações com picos no FV tem-se a Figura 4.33(a).



(a)



(b)

| FAIXAS | QUANT |
|-------------------|-------|
| $0 \leq FV < 1$ | 10 |
| $1 \leq FV < 1,3$ | 5 |
| $1,3 \leq FV < 2$ | 3 |
| $FV \geq 2$ | 0 |

(c)

Figura 4.33 – FV calculados pelo coeficiente de torção para a Vizinhaça V7: a) sem valores de pico; b) em porcentagem; c) quantidades por faixa de valores.

Tendo como a pior solicitação de carregamento em relação ao momento torçor (a 300°) um dos FV cuja informação nos mostra ampliar o coeficiente em 42% e não em 59% como manda o maior dos FV. Ou seja, quando realizada a análise conjunta do esforço e do FV alcançado observa-se que nem sempre o maior FV denota a maior solicitação.

4.3.8 – Resultados obtidos com a Vizinhança V8

E, finalmente, para a Vizinhança V8 tem-se as cinco inclinações que fornecem picos no FV, Figura 4.35, calculado a partir do coeficiente de torção, Figura 4.34. A saber, 0°, 90°, 150°, 270° e 330°, com os valores de 12,70; 114,62; 459,05; 243,27 e 2,69, respectivamente.

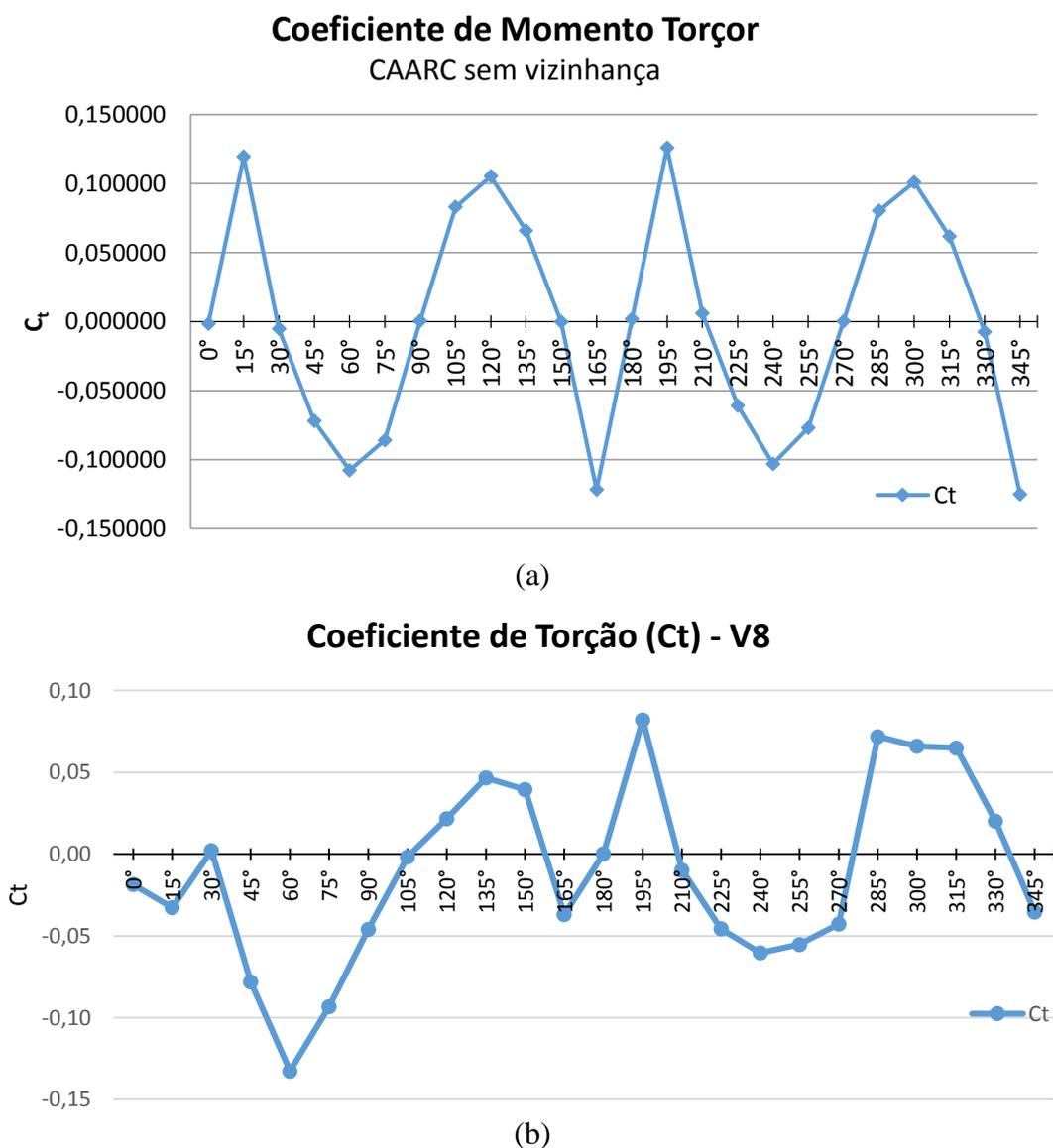


Figura 4.34 – Ct: a) edifício isolado; b) Vizinhança V8.

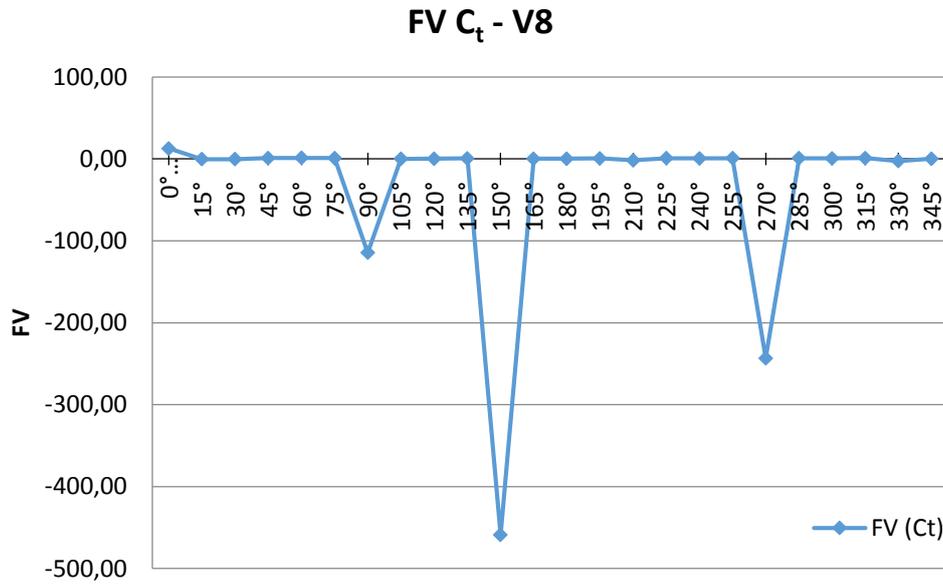


Figura 4.35 – FV calculado a partir do coeficiente de torção para a Vizinhança V8.

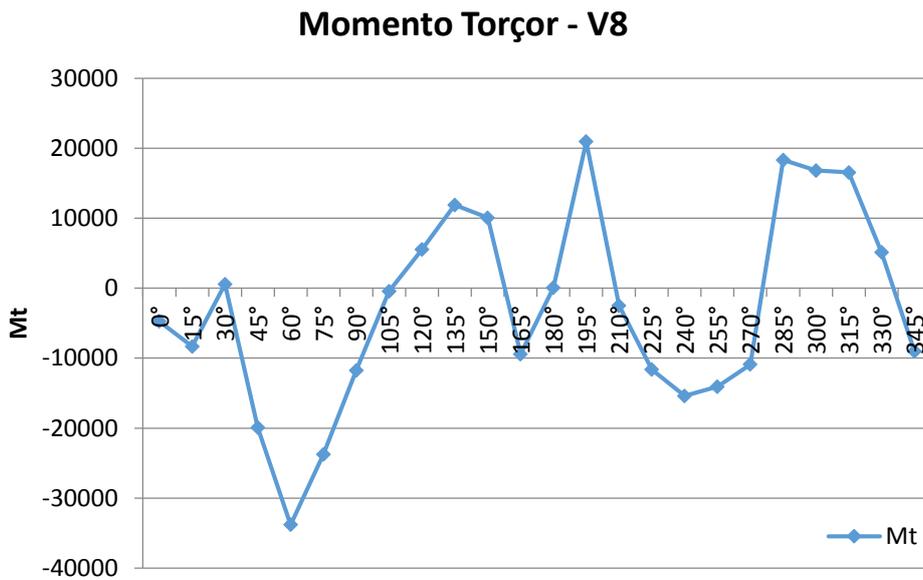


Figura 4.36 – Momento torçor para a Vizinhança V8.

A Figura 4.37(a) mostra o FV calculado pelo Ct sem as situações de pico, depois da confrontação dos gráficos do esforço correspondente ao FV.

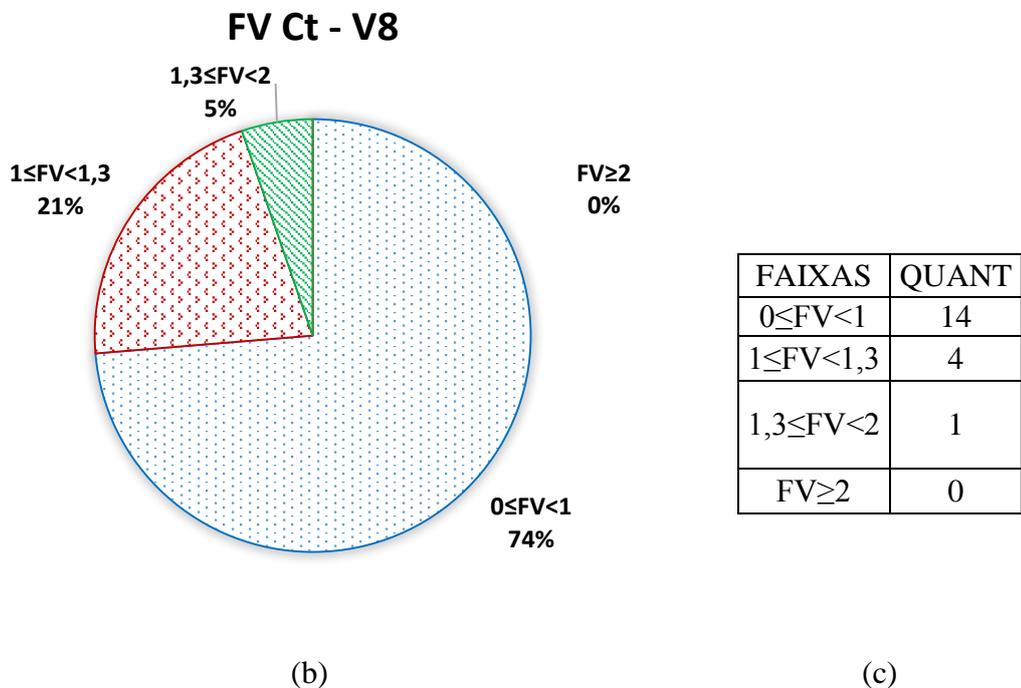
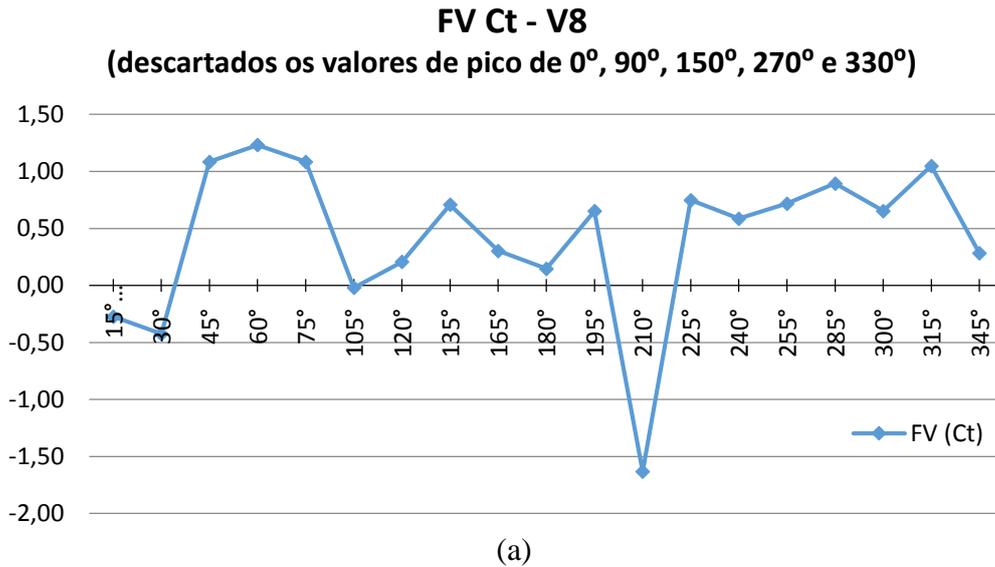


Figura 4.37 – FV calculado pelo coeficiente de torção para a Vizinhança V8: a) sem valores de pico; b) em porcentagem; c) quantidades por faixa de valores.

Tendo em vista o FV tem-se a majoração mais expressiva sendo para o ângulo de incidência de 210^0 que não condiz com o valor de maior solicitação da edificação (que o corre a 60^0), que não se mostra como o maior FV a ser considerado.

4.3.9 – Resultados do FV obtido pelo coeficiente de torção para todas as vizinhanças

Portanto, em termos do FV deverá ser feita a inferência não só de seu valor em si mas do esforço envolvido na respectiva angulação em estudo. Um outro resultado alcançado com a pesquisa mostra que para a maior parte dos ângulos de incidência do vento para todas as vizinhanças consideradas não é necessária a majoração das cargas, momento torçor, (FV até 1,0). E que uma parcela mínima dos ângulos considerados (retirando-se as situações de pico) teria a majoração em 100%, como mostra a Figura 4.38.

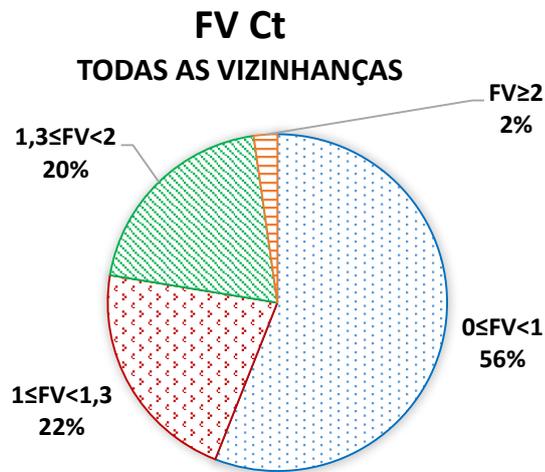


Figura 4.38 – FV pelo Ct de todas as vizinhanças.

4.4 – RESULTADOS DOS ENSAIOS COM VIZINHANÇA PARA O MOMENTO FLETOR

Seguindo o raciocínio para o esforço do Momento Fletor resultante temos algumas situações de pico conforme discussão que se inicia.

4.4.1 – Resultados obtidos para a Vizinhaça V1

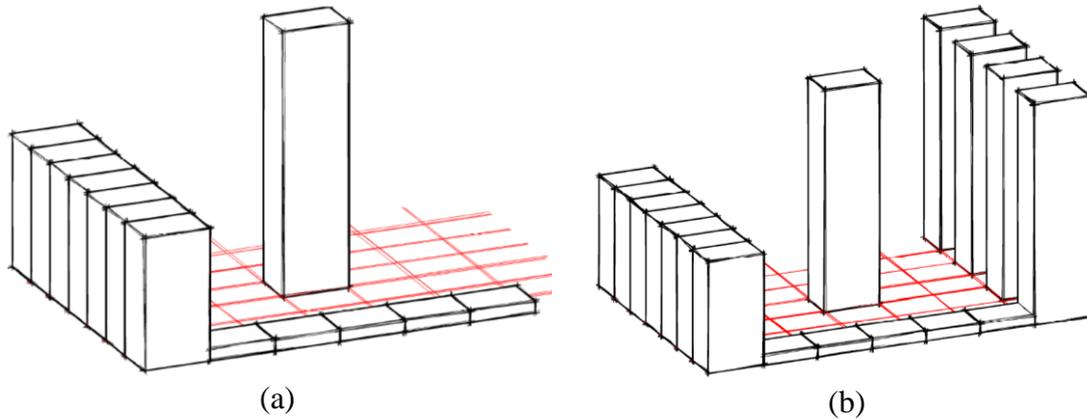
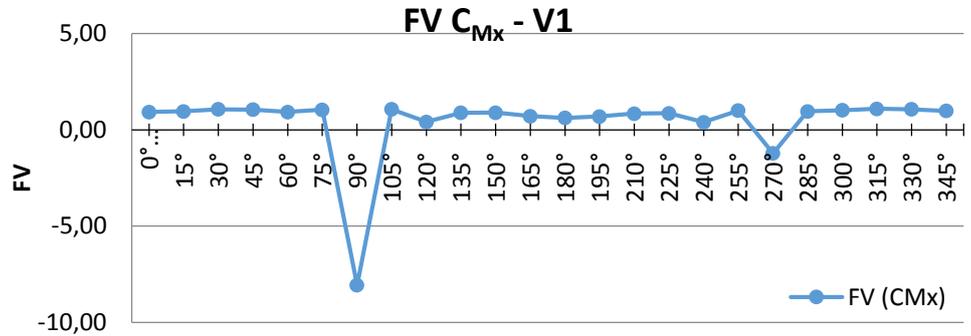
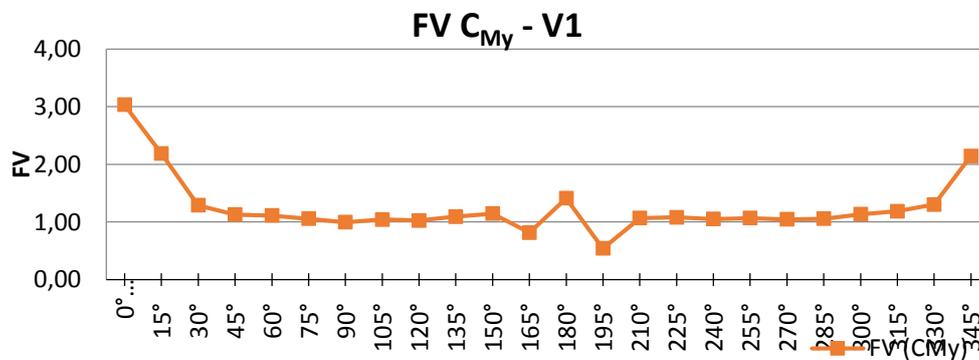


Figura 4.39 – a) Vizinhaça V1; b) Vizinhaça V2.



(a)



(b)

Figura 4.40 – FV calculados para a Vizinhaça V1 pelo: a) coeficiente C_{Mx} ; b) coeficiente C_{My} .

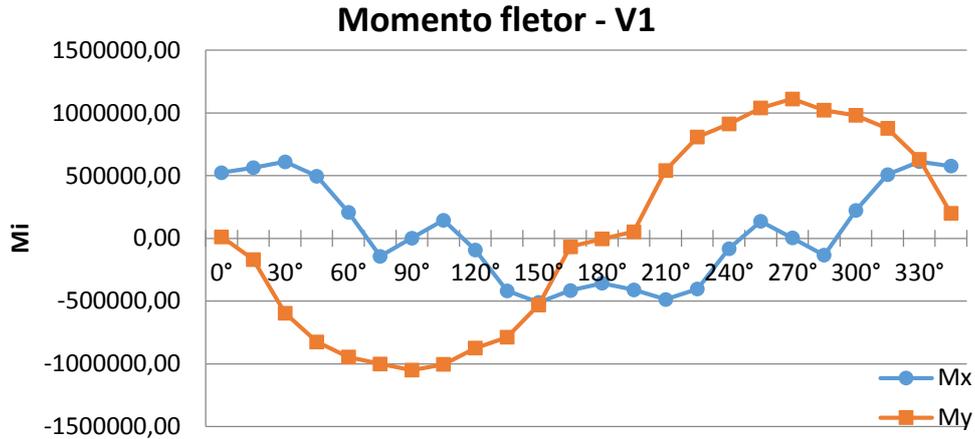
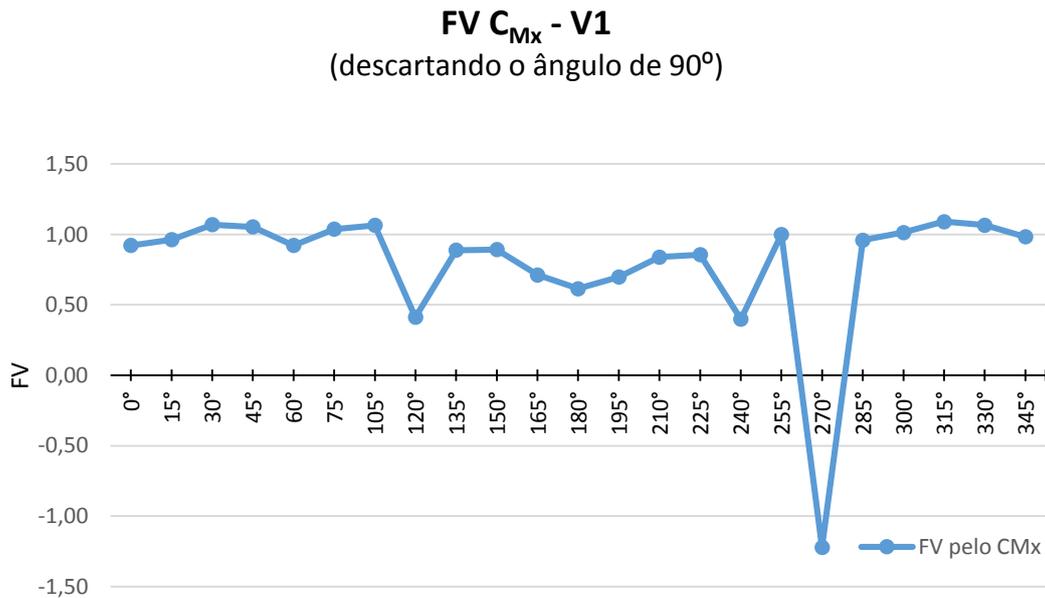
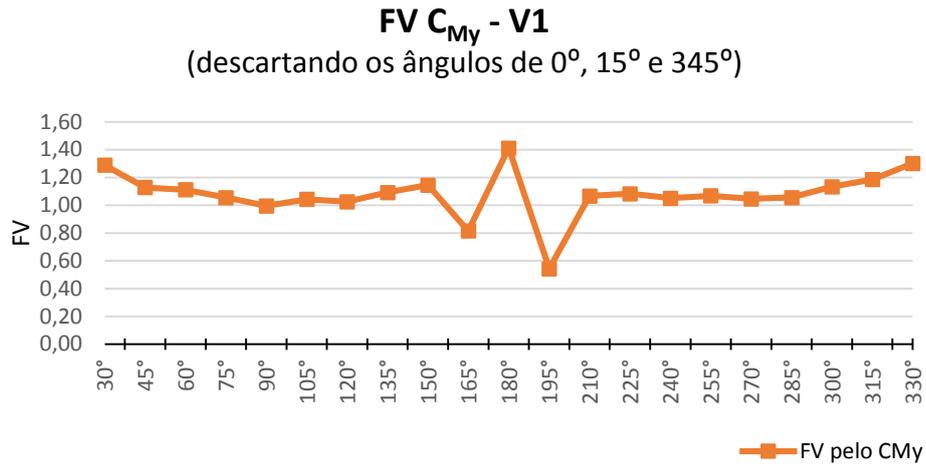


Figura 4.41 – Momento fletor para a Vizinhança V1.

Para a vizinhança V1 em termos do momento fletor solicitante a cada inclinação do vento, Figura 4.41, tem-se que o montante da solicitação a cada situação de pico (90° para o coeficiente de Momento fletor em x cujo valor é igual a -0,00018; e de 0°, 15°, 345° para o momento fletor em y, cujo valores de C_{My} da malha base é, respectivamente, 0,00396; -0,08 e 0,09) não estão fora da envoltória dos esforços que seriam considerados pelo projetista da edificação. Esses picos (para x a 90°=-8,07, e para y a 0°=3,03; 15=2,19 e 345=2,15, respectivamente) são mostrados na Figura 4.40. Quando descartados o FV configura-se conforme a Figura 4.42.

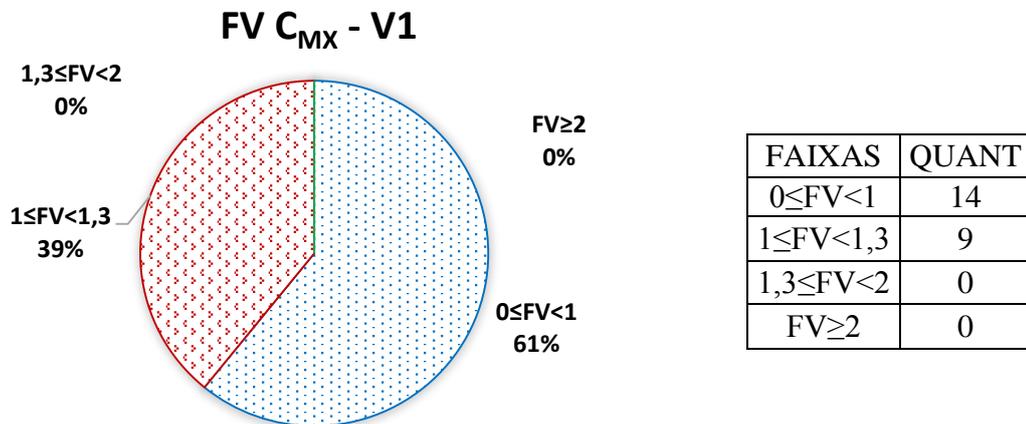


(a)

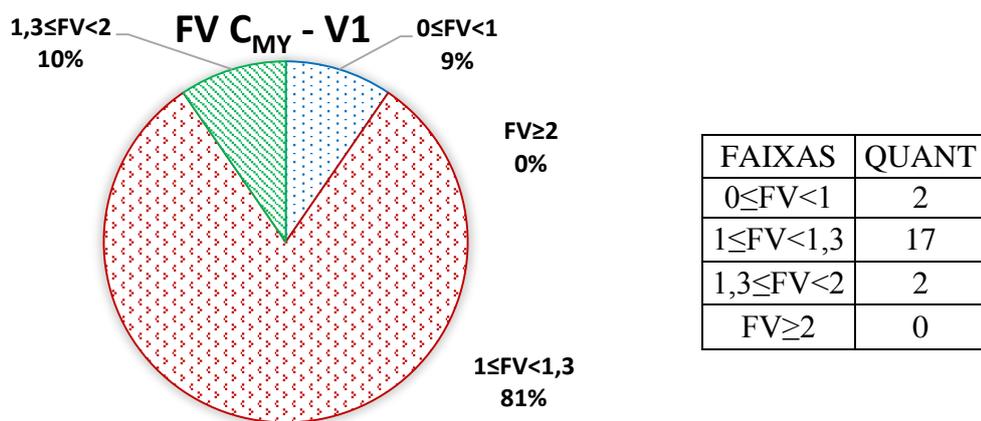


(b)

Figura 4.42 – FV, sem os valores de pico, calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V1: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .



(a)



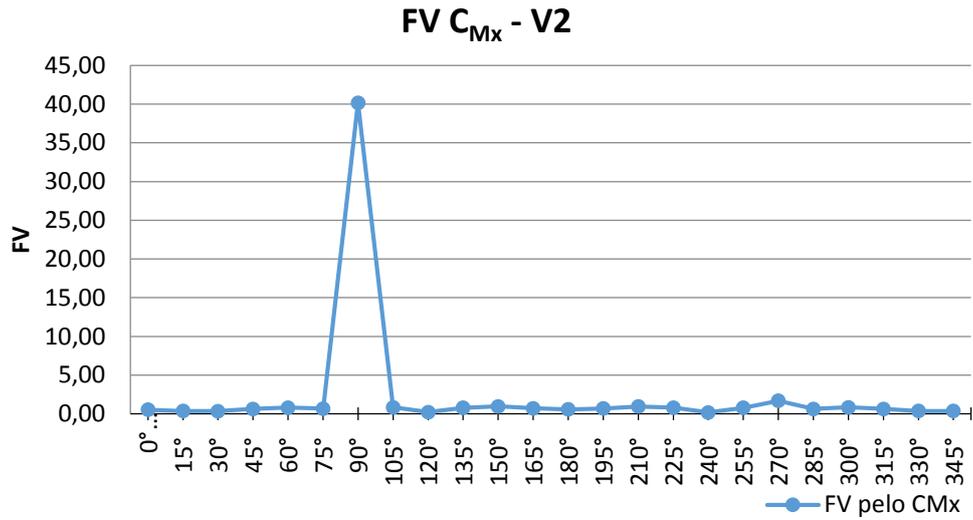
(b)

Figura 4.43 – FV calculado para a Vizinhança V1, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

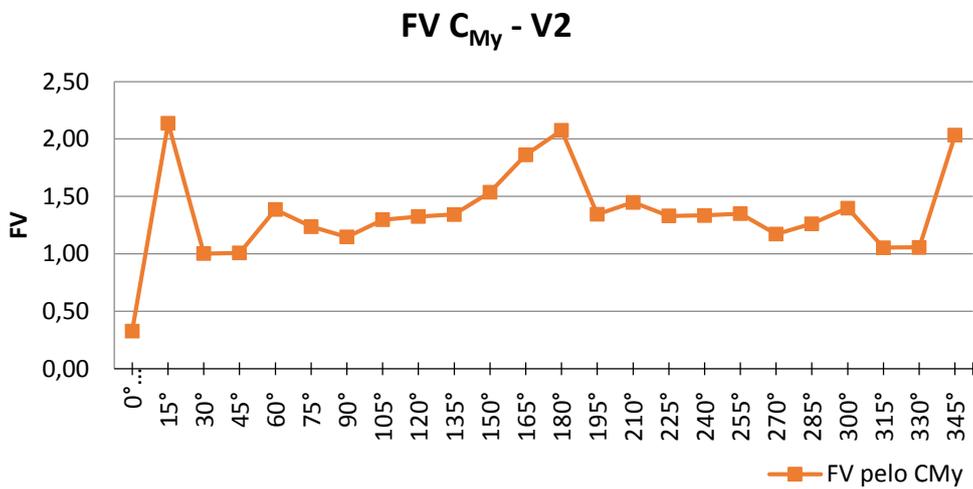
Nos resultados mostrados na Figura 4.43 tem-se que para o FV gerado por C_{Mx} 61% dos ângulos válidos não necessitariam de majoração contra 39% que estaria dentro da previsão do valor estabelecido na norma brasileira (1,3). Já no caso do FV gerado por C_{My} 81% dos valores estariam cobertos pelo valor de 1,3 da NBR 6123/1988 contra apenas 10% que iriam requerer a majoração acima dessa previsão. Mais uma vez associando o FV calculado a respectiva solicitação descartaríamos portanto essa porcentagem dos 10% que, numa análise do edifício, afastaria a penalização de toda a estrutura por conta de duas angulações. Ou, em outra leitura, para todas as angulações contar-se-ia com a majoração prevista na legislação brasileira quanto aos esforços e todos os casos válidos estariam cobertos.

4.4.2 – Resultados obtidos com a Vizinhança V2

Para a vizinhança V2, Figura 4.39(b), observam-se picos no FV gerados pelo coeficiente de momento fletor (C_{Mx} e C_{My}), Figura 4.44, nas incidências do vento de 90^0 para aqueles calculados a partir de C_{Mx} , e a 15^0 , 165^0 , 180^0 e 345^0 para aquele calculado a partir de C_{My} . Porém, os respectivos Momentos Fletores, Figura 4.45, correspondentes não está fora da envoltória dos esforços o que denota que esse valor discrepante aconteceu porque o respectivo coeficiente aerodinâmico (no caso coeficiente de momento fletor para as direções x e y) do edifício isolado está bem próximo de zero (respectivamente de C_{Mx} a $90^0 = -0,00018$; e C_{My} a $15^0 = -0,08$; C_{My} a $165^0 = -0,08$; C_{My} a $180^0 = -0,0028$ e C_{My} a $345^0 = 0,09$) e a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V2 por esses valores induziu a valores altos no FV (40,18 a 90^0 para C_{Mx} ; e 2,14 a 15^0 ; 1,86 a 165^0 ; 2,07 a 180^0 ; e 2,03 a 345^0) – que não fizeram sentido e que ao se analisar os respectivos momentos fletores poder-se-ia descartar esses FV, Figura 4.46.



(a)



(b)

Figura 4.44 – FV para a Vizinhança V2 calculado pelos coeficientes: a) C_{M_x} ; b) C_{M_y} .

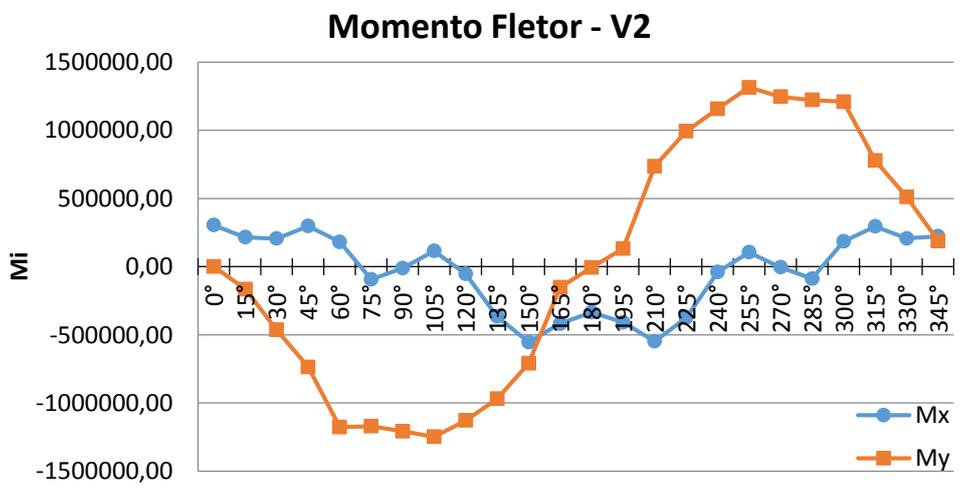
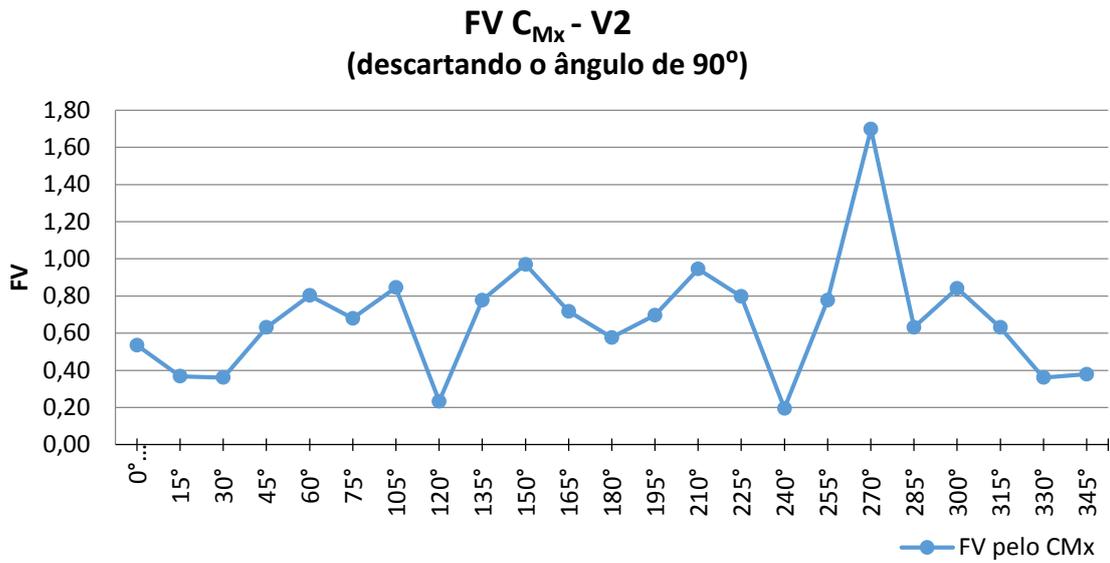
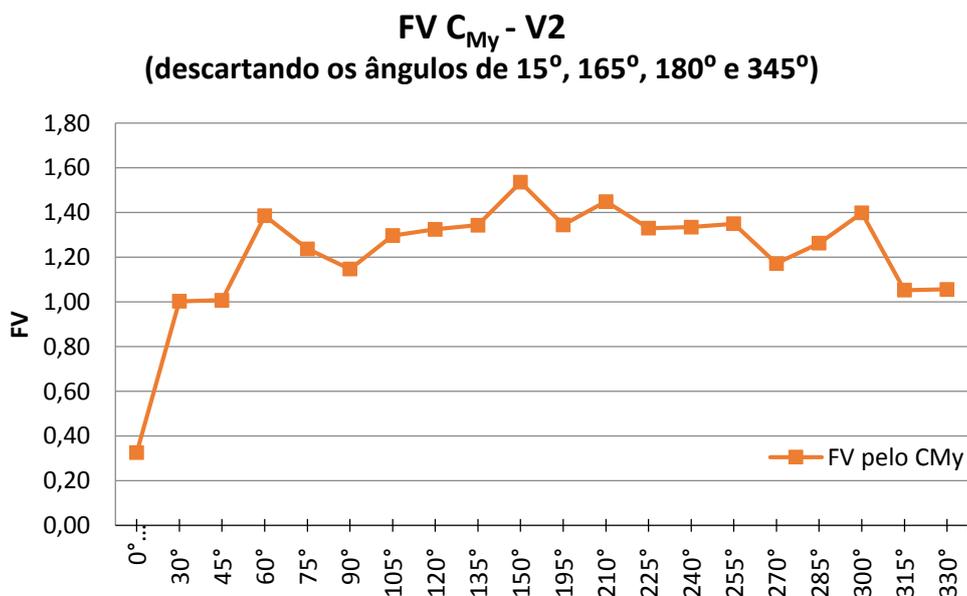


Figura 4.45 – Momento fletor para a Vizinhança V2.

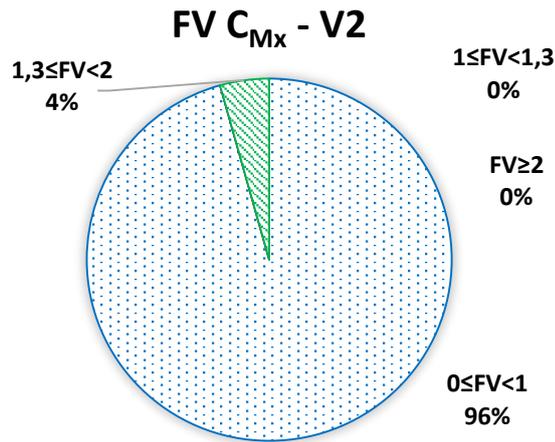


(a)



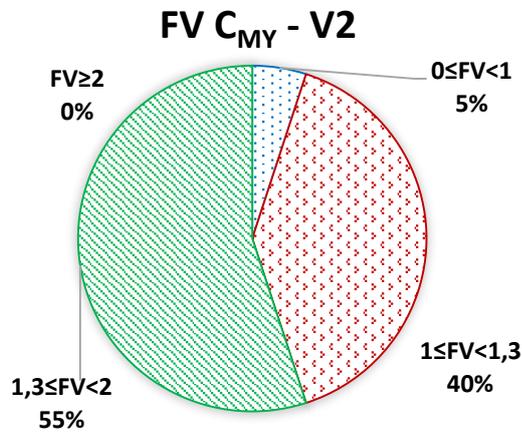
(b)

Figura 4.46 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V2 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .



| FAIXAS | QUANT |
|--------------|-------|
| 0 ≤ FV < 1 | 22 |
| 1 ≤ FV < 1,3 | 0 |
| 1,3 ≤ FV < 2 | 1 |
| FV ≥ 2 | 0 |

(a)



| FAIXAS | QUANT |
|--------------|-------|
| 0 ≤ FV < 1 | 1 |
| 1 ≤ FV < 1,3 | 8 |
| 1,3 ≤ FV < 2 | 11 |
| FV ≥ 2 | 0 |

(b)

Figura 4.47 – FV para a Vizinhança V2, em porcentagem, calculados pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a V2 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.47 na qual observa-se a grande maioria dos FV não majorando o carregamento frente ao esforço do Momento Fletor em relação ao eixo x sendo que em relação ao eixo y a majoração está mais frequente na faixa de 1,3 a 2, dependendo da angulação.

4.4.3 – Resultados obtidos para a Vizinhança V3

Com a Vizinhança V3, Figura 4.48(a), foram observados picos no FV gerados para aqueles calculados a partir de C_{Mx} a 90^0 e a 270^0 , e a 0^0 , 15^0 , 180^0 , 195^0 e 345^0 para

aquele calculado a partir de C_{My} . Porém, os respectivos Momentos Fletores, Figura 4.50, correspondentes não está fora da envoltória dos esforços o que denota que esse valor discrepante aconteceu porque o respectivo coeficiente aerodinâmico (no caso coeficiente de momento fletor para as direções x e y) do edifício isolado está bem próximo de zero (respectivamente de C_{Mx} a $90^\circ = -0,00018$ e C_{Mx} a $270^\circ = -0,00189$; e C_{My} a $0^\circ = 0,00396$; C_{My} a $15^\circ = -0,08$; C_{My} a $180^\circ = -0,0028$, C_{My} a $195^\circ = 0,10$ e C_{My} a $345^\circ = 0,09$) e a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V2E1 por esses valores induziu a valores altos no FV (100,46 a 90° e -7,67 a 270° para C_{Mx} ; e -4,69 a 0° ; 4,13 a 15° ; 10,80 a 180° ; 2,57 a 195° ; e 2,14 a 345°) – que não fizeram sentido e que ao se analisar os respectivos momentos fletores poder-se-ia descartar esses FV, Figura 4.51.

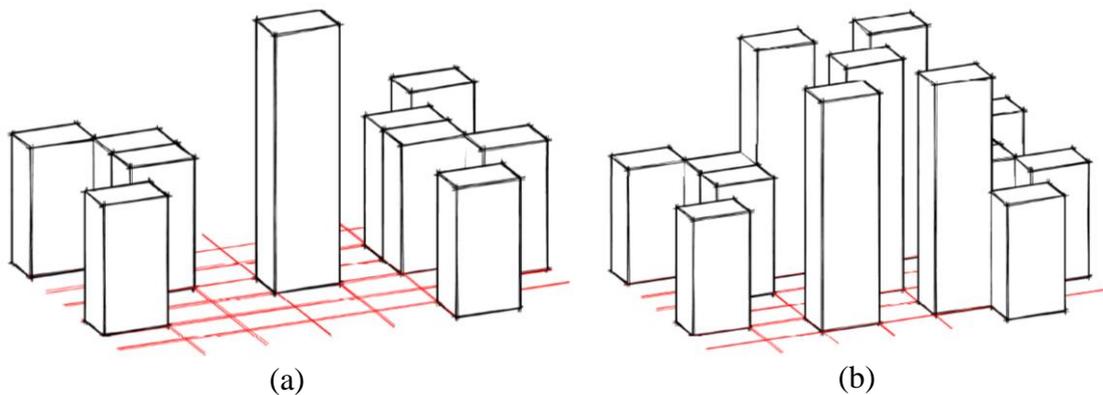
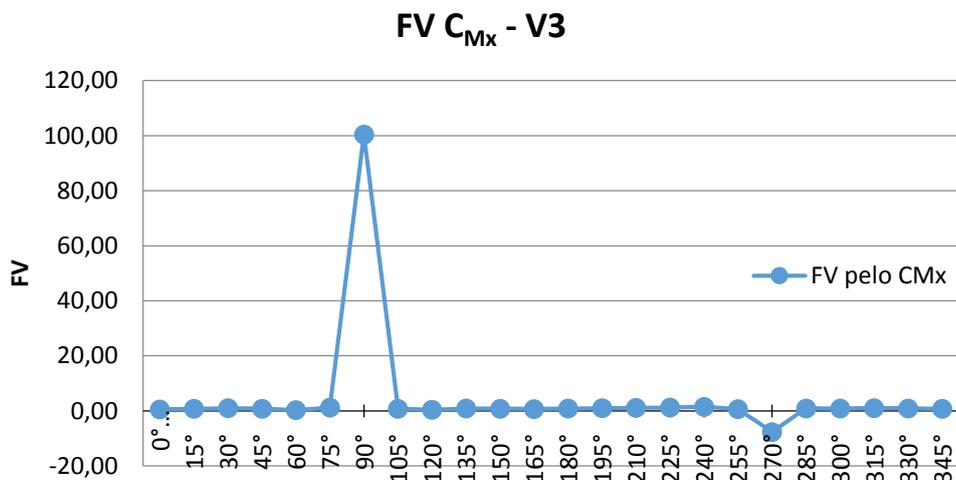
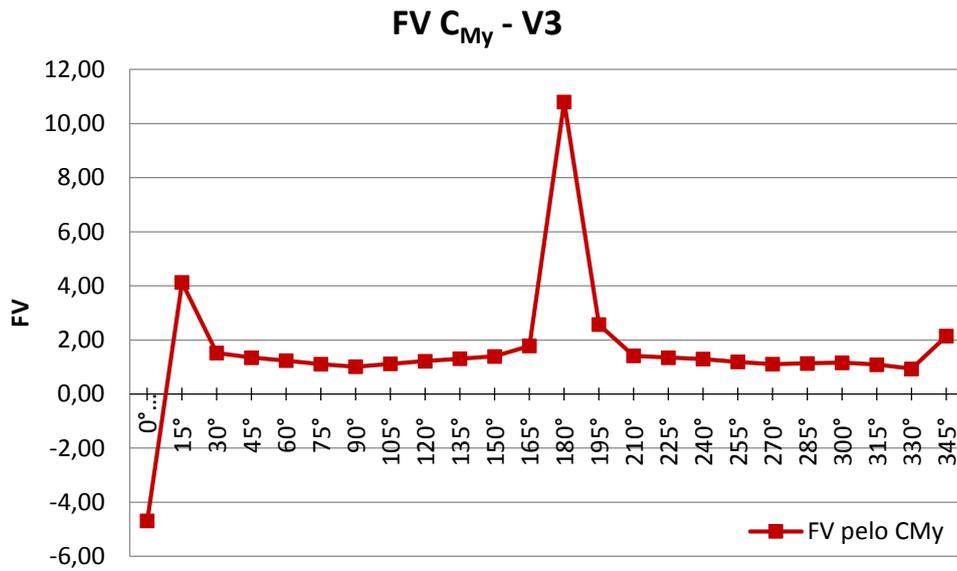


Figura 4.48 – a) Vizinhança V3; b) Vizinhança V4.



(a)



(b)

Figura 4.49 – FV para a Vizinhança V3 calculados pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

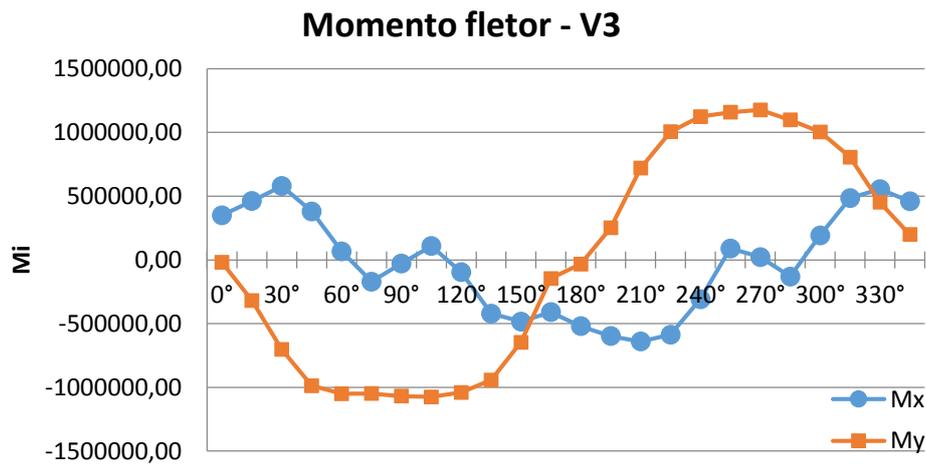


Figura 4.50 – Momento fletor para a Vizinhança V3.

Descartando esses valores de pico, uma nova configuração se mostra para a distribuição do FV, como visto na Figura 4.51.

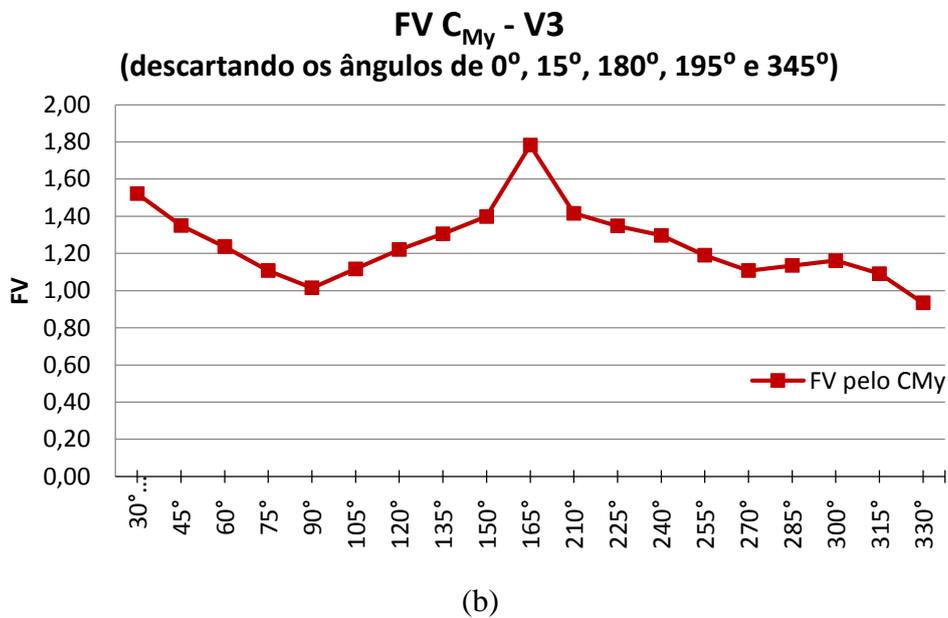
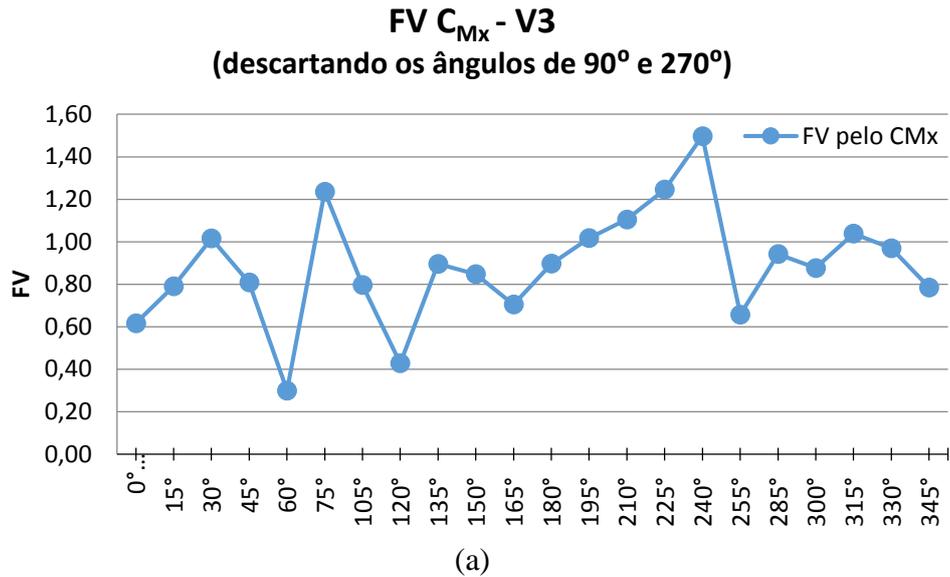
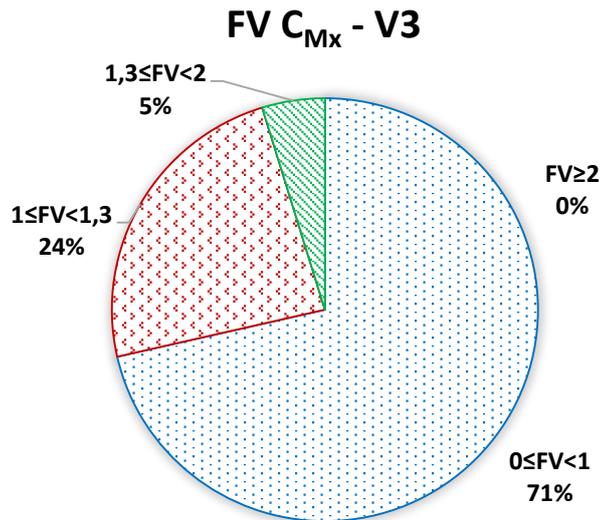


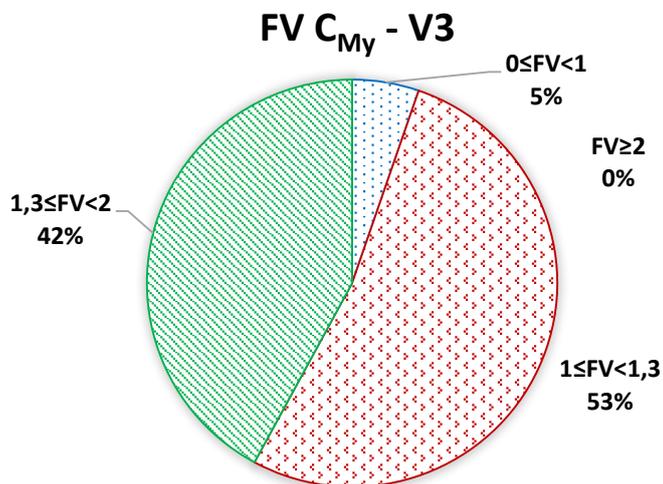
Figura 4.51 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V3 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a Vizinhança V3 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.52 na qual observa-se a grande maioria dos FV não majorando o carregamento frente ao esforço do Momento Fletor em relação ao eixo x sendo que em relação ao eixo y a majoração está mais frequente no que está prescrito na norma, 1,3.



| FAIXAS | QUANT |
|-------------------|-------|
| $0 \leq FV < 1$ | 15 |
| $1 \leq FV < 1,3$ | 5 |
| $1,3 \leq FV < 2$ | 1 |
| $FV \geq 2$ | 0 |

(a)



| FAIXAS | QUANT |
|-------------------|-------|
| $0 \leq FV < 1$ | 1 |
| $1 \leq FV < 1,3$ | 10 |
| $1,3 \leq FV < 2$ | 8 |
| $FV \geq 2$ | 0 |

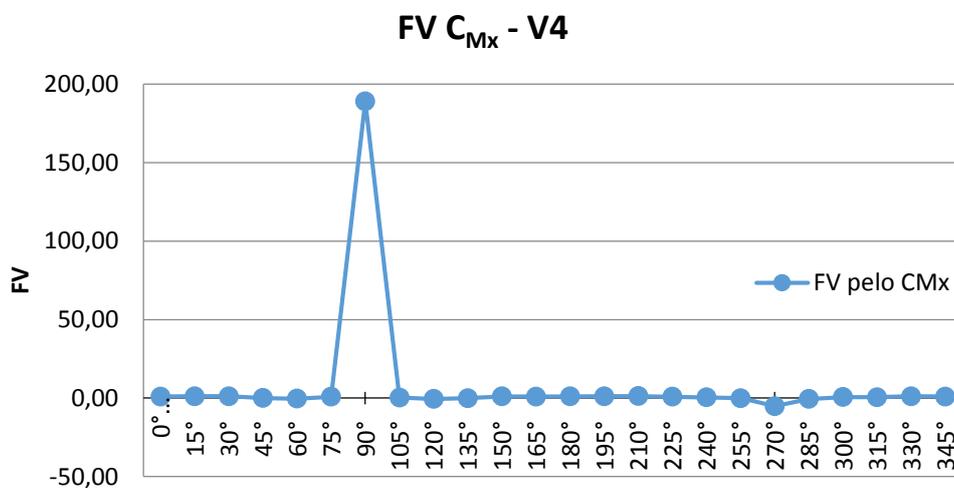
(b)

Figura 4.52 – FV para a Vizinhança V3 em porcentagem calculados pelos coeficientes: a) C_{M_x} ; b) C_{M_y} .

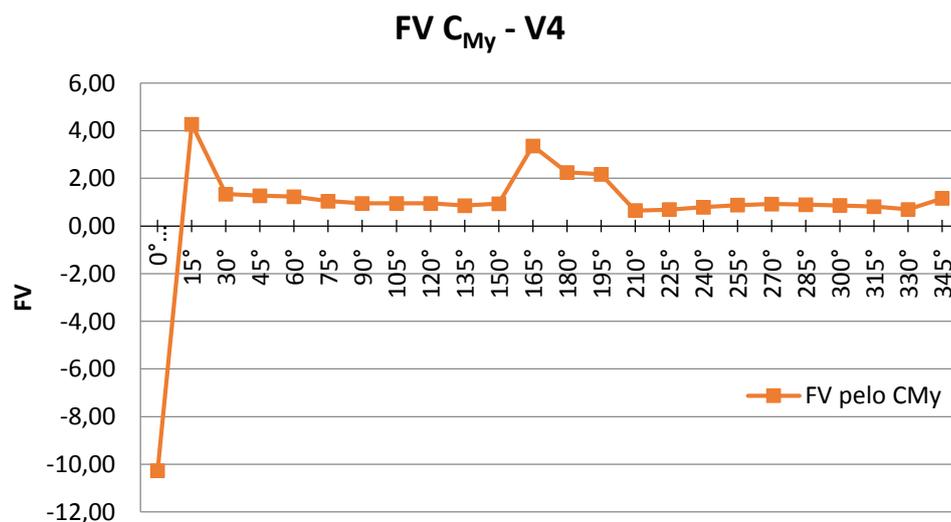
4.4.4 – Resultados obtidos para a Vizinhança V4

Para a vizinhança V4, Figura 4.48(a), foram observados picos no FV gerados para aqueles calculados a partir de C_{M_x} a 90° e a 270° , e a 0° , 15° , 180° , 195° e 345° para aquele calculado a partir de C_{M_y} . Porém, os respectivos Momentos Fletores, Figura 4.50, correspondentes não está fora da envoltória dos esforços o que denota que esse valor discrepante aconteceu porque o respectivo coeficiente aerodinâmico (no caso coeficiente

de momento fletor para as direções x e y) do edifício isolado está bem próximo de zero (respectivamente de C_{Mx} a $90^{\circ}=-0,00018$ e C_{Mx} a $270^{\circ}=-0,00189$; e C_{My} a $0^{\circ}=0,00396$; C_{My} a $15^{\circ}=-0,08$; C_{My} a $165^{\circ}=-0,08$; C_{My} a $180^{\circ}=-0,00298$ e C_{My} a $195^{\circ}=0,10$ e a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V2E2 por esses valores induziu a valores altos no FV (189,15 a 90° e -5,17 a 270° para C_{Mx} ; e -10,27 a 0° ; 4,27 a 15° ; 3,36 a 165° ; 2,25 a 180° ; 2,17 a 195°) – que não fizeram sentido e que ao se analisar os respectivos momentos fletores poder-se-ia descartar esses FV, Figura 4.55.



(a)



(b)

Figura 4.53 – FV para a Vizinhança V4 calculados pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

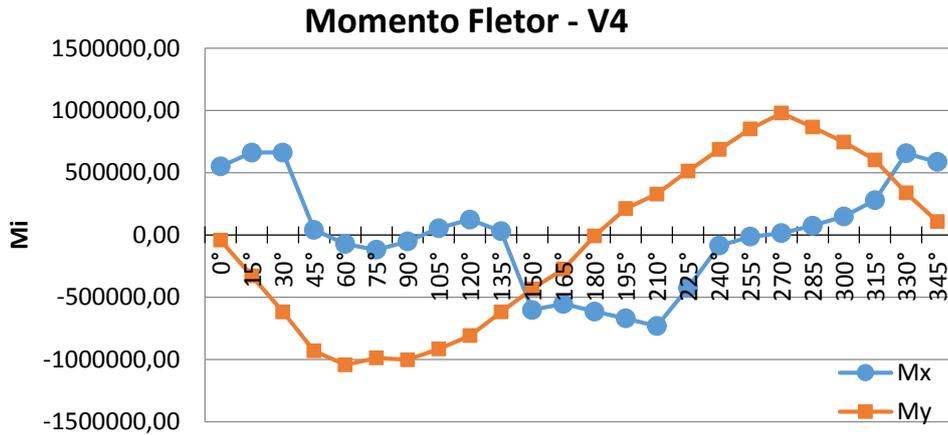
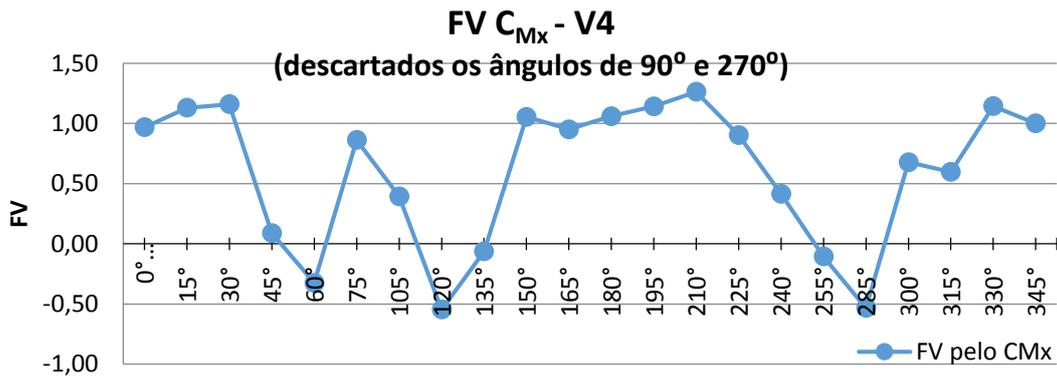
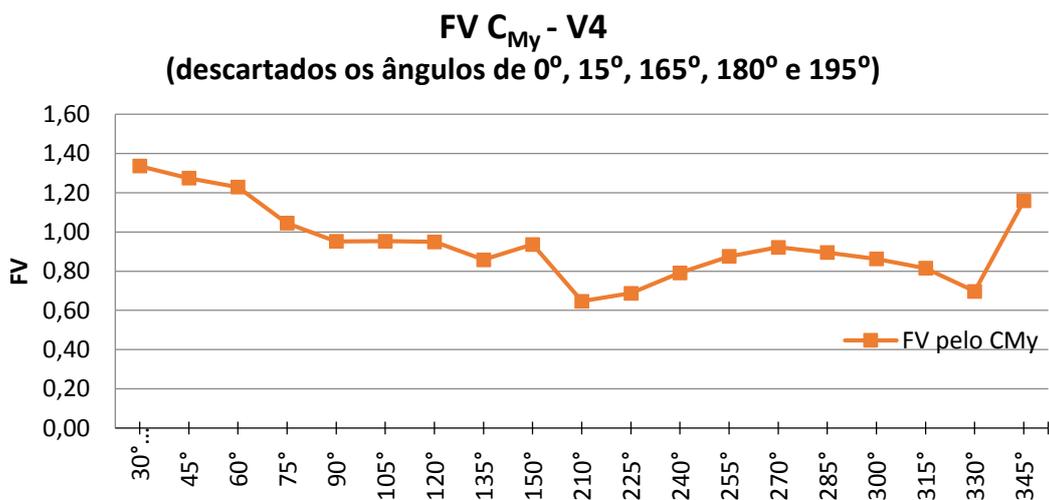


Figura 4.54 – Momento fletor da Vizinhança V4.

Descartando esses valores de pico, uma nova configuração se mostra para a distribuição do FV, como visto na Figura 4.55.



(a)



(b)

Figura 4.55 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V4 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a V4 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.56 na qual observa-se a grande maioria dos FV tanto no eixo x quanto em y mostra que não há necessidade de majoração do carregamento frente ao esforço do Momento Fletor.

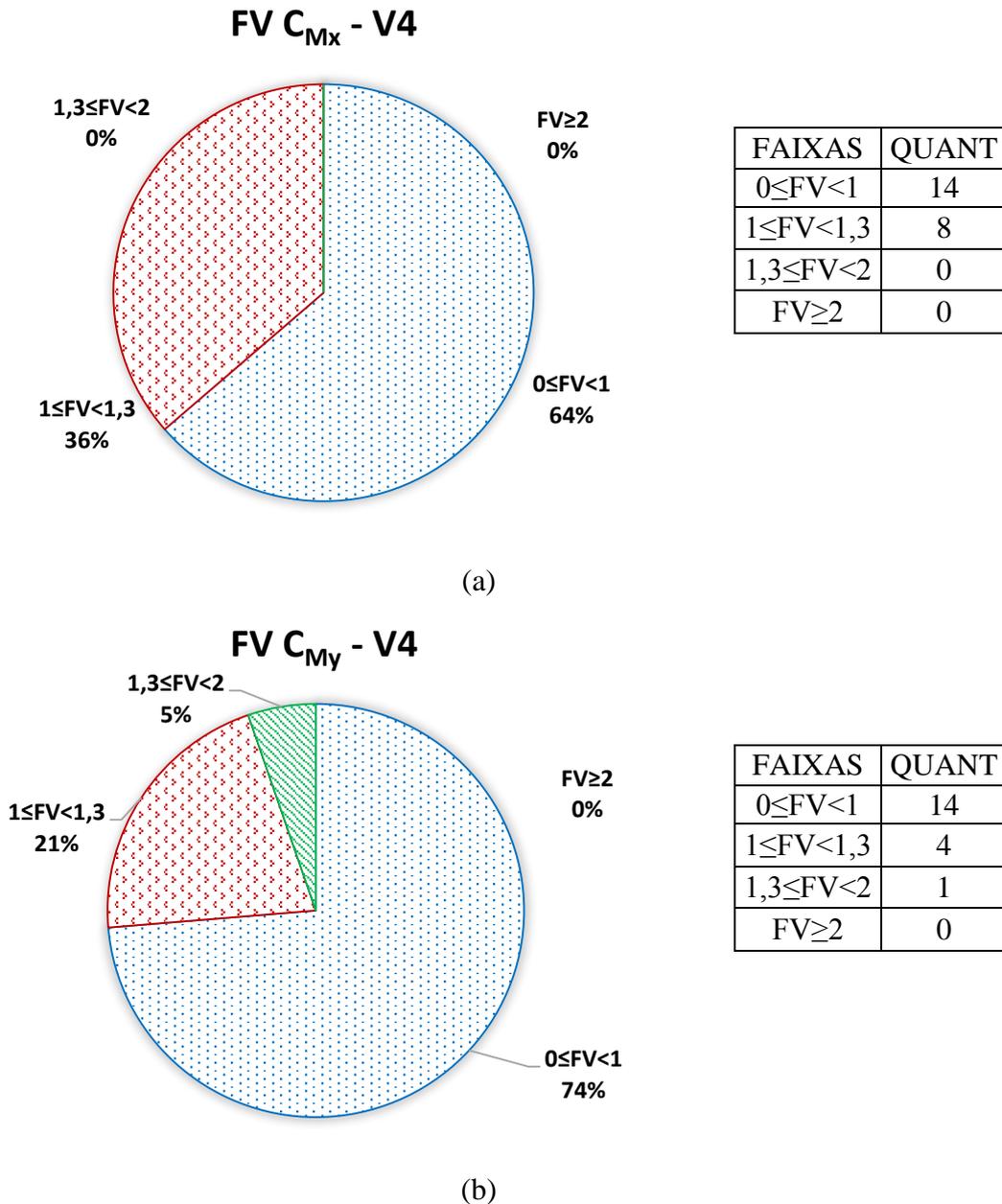


Figura 4.56 – FV para a Vizinhança V4, em porcentagem, calculados pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

4.4.5 – Resultados obtidos para a Vizinhança V5

Na vizinhança V5, Figura 4.57(a), foram observados picos no FV gerados para aqueles calculados a partir de C_{Mx} a 60° , 90° e a 270° , e a 0° , 15° , 180° e 345° para aquele calculado a partir de C_{My} . Porém, os respectivos Momentos Fletores, Figura 4.59, correspondentes não está fora da envoltória dos esforços o que denota que esse valor discrepante aconteceu porque o respectivo coeficiente aerodinâmico (no caso coeficiente de momento fletor para as direções x e y) do edifício isolado está bem próximo de zero (respectivamente de C_{Mx} a $60^\circ=0,15$; a $90^\circ=-0,00018$ e C_{Mx} a $270^\circ=-0,00189$; e C_{My} a $0^\circ=0,00396$; C_{My} a $15^\circ=-0,08$; C_{My} a $180^\circ=-0,00298$ e C_{My} a $345^\circ=0,09$. A divisão dos respectivos coeficientes de momento fletor da vizinhança V3E1 por esses valores induziu a valores altos no FV, a saber, 2,25 a 60° ; 465,45 a 90° e 16,38 a 270° para C_{Mx} . E para C_{My} -38,41 a 0° ; 3,88 a 15° ; -5,88 a 180° e -2,04 a 345° – que não fizeram sentido e ao se analisar os respectivos momentos fletores pelo fato de que os maiores valores dos FV não correspondiam aos maiores valores do Momento Fletor, ou seja, estavam compreendidos em uma envoltória de esforços e pôde-se descartar esses FV, Figura 4.60.

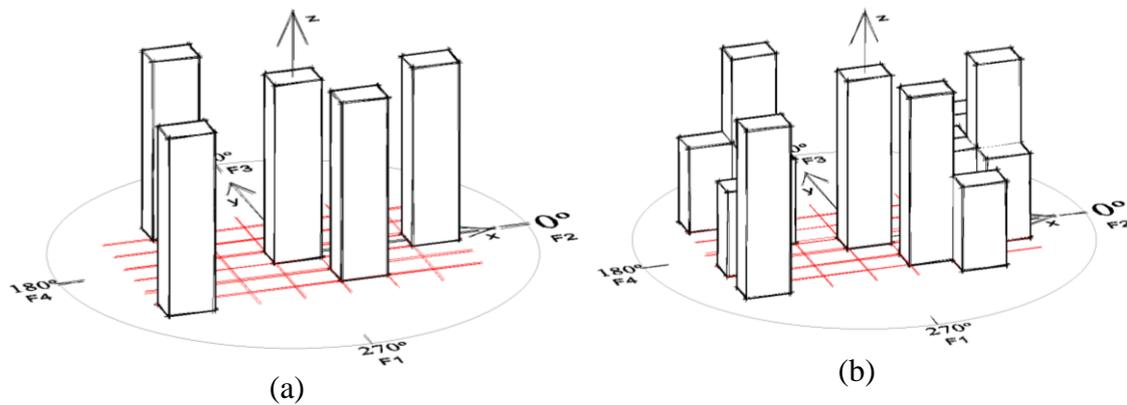


Figura 4.57 – a) Vizinhança V5; b) Vizinhança V6.

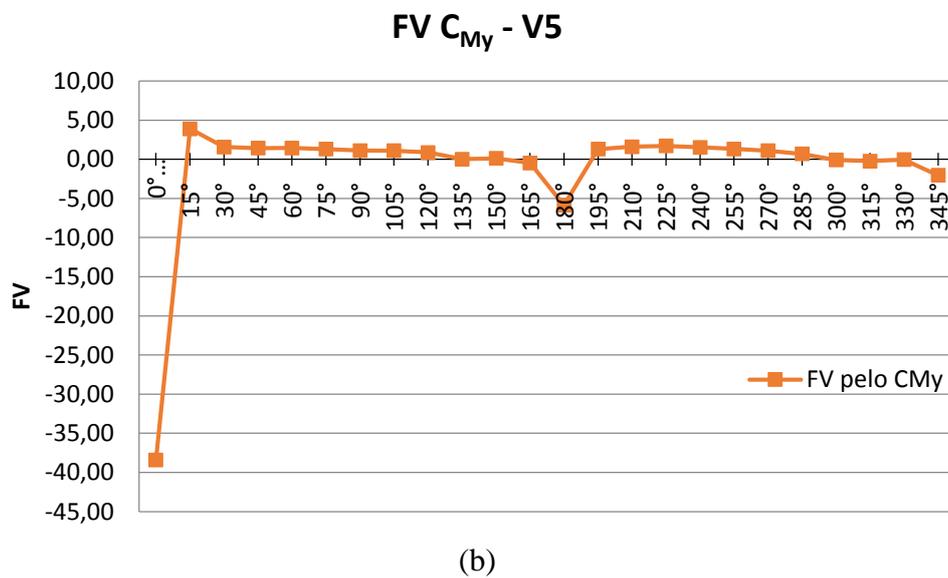
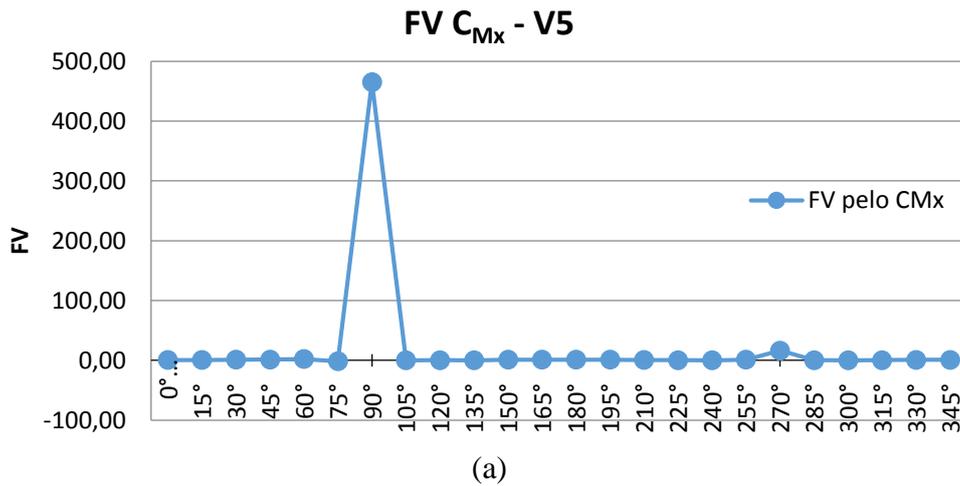


Figura 4.58 – FV para a Vizinhança V5 calculados pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

A distribuição do momento fletor para a vizinhança V5 é mostrada na Figura 4.59.

Momento Fletor - V5

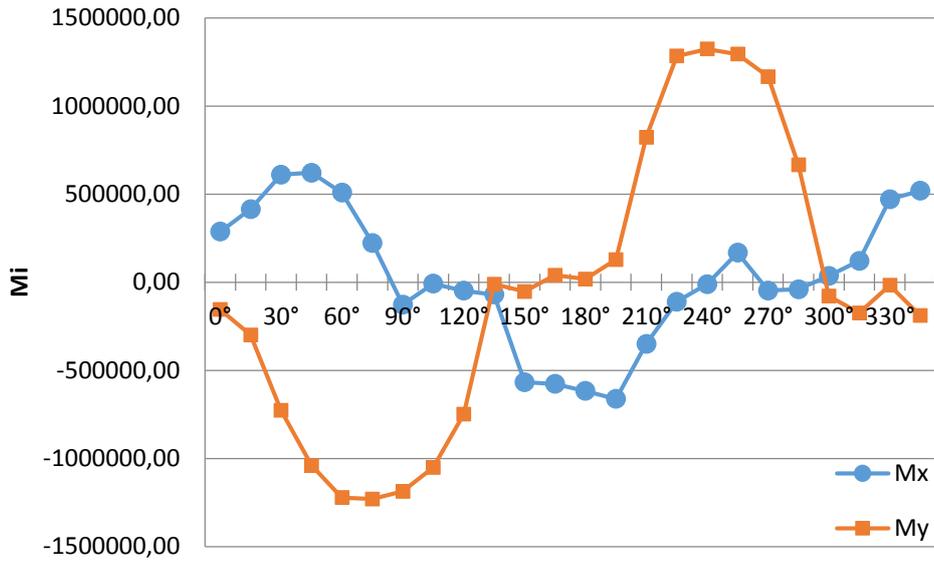
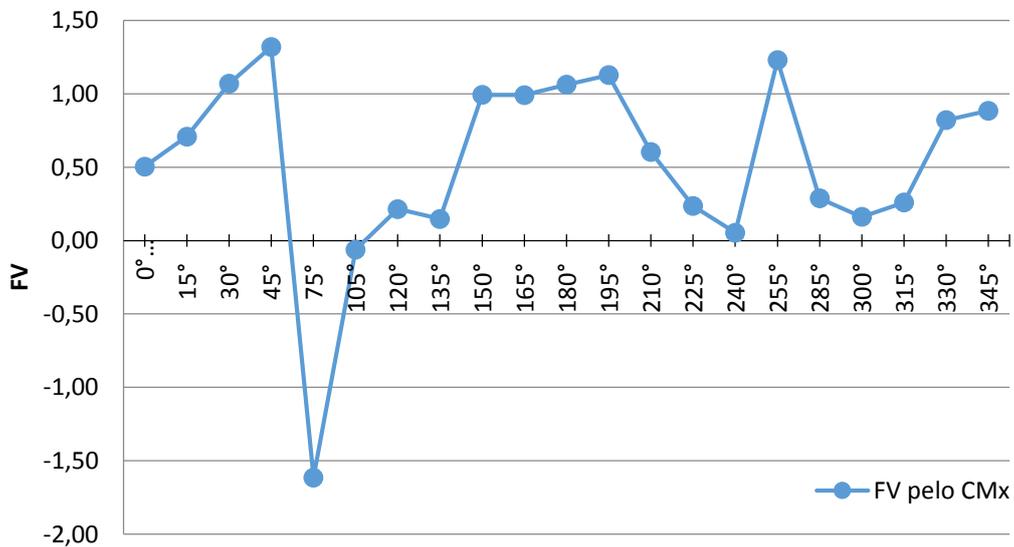
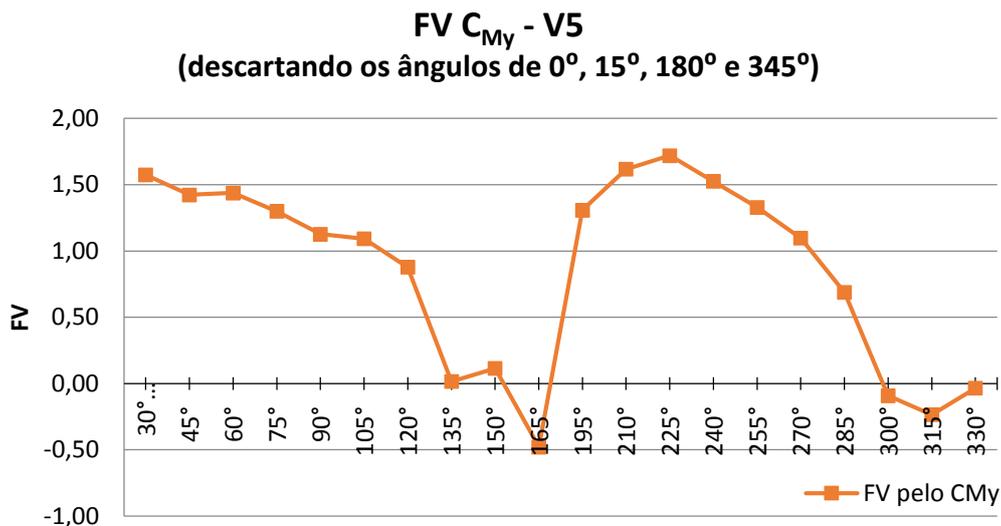


Figura 4.59 – Momento fletor Mx e My para a Vizinhança V5.

FV C_{Mx} - V5 (descartando os ângulos de 60°, 90° e 270°)



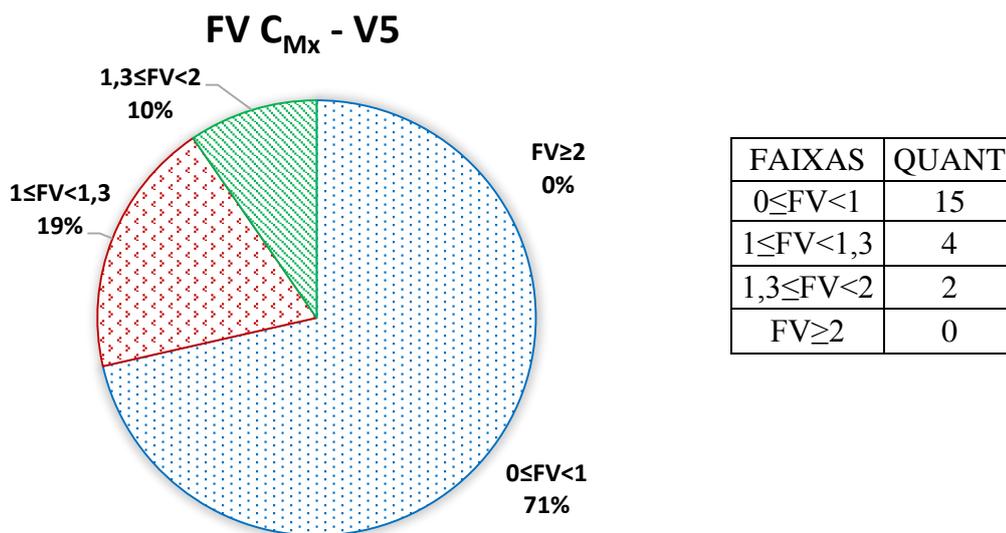
(a)



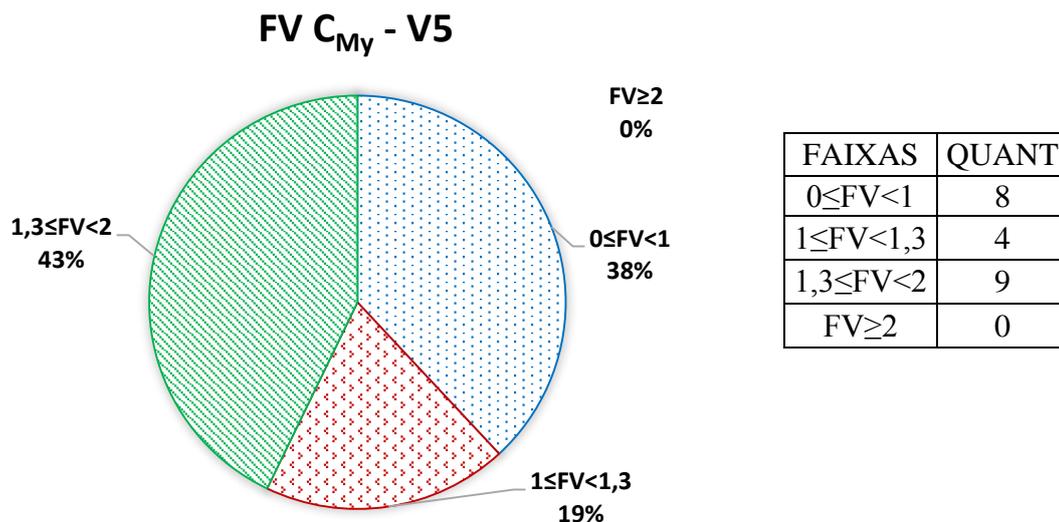
(b)

Figura 4.60 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V5 pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a V5 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.61 na qual observa-se que a grande maioria dos FV calculados em relação ao eixo x encontra-se na faixa que não exige a majorações dos esforços, enquanto que em relação ao eixo y o FV de vizinhança pede a majoração entre 1,3 e 2 em sua maioria, ou seja, 43% das angulações válidas estariam fora do que é sugerido na norma brasileira, majoração do FV em 1,3.



(a)

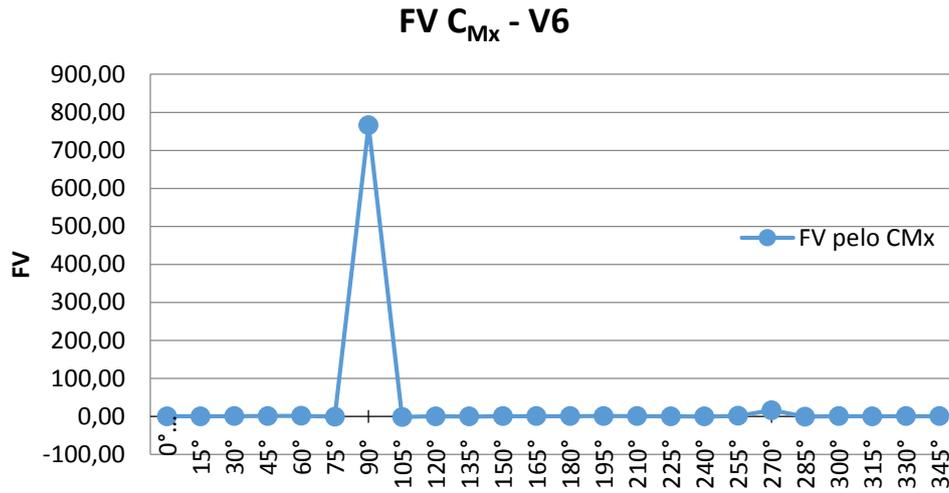


(b)

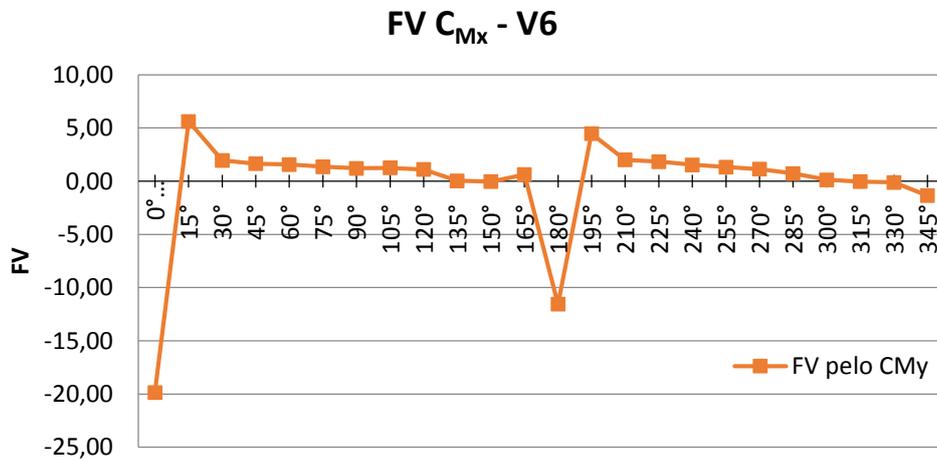
Figura 4.61 – FV para a Vizinhança V5, em porcentagem, calculados pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

4.4.6 – Resultados obtidos com a Vizinhança V6

Para a vizinhança V6, Figura 4.57(b), foram observados picos no FV gerados para aqueles calculados a partir de C_{Mx} a 90° e a 270° , e a 0° , 15° , 30° , 180° e 195° para aqueles calculado a partir de C_{My} . Porém, os respectivos Momentos Fletores, Figura 4.63, correspondentes não estão fora da envoltória dos esforços o que denota que esse valor discrepante aconteceu porque o respectivo coeficiente aerodinâmico (no caso coeficiente de momento fletor para as direções x e y) do edifício isolado está bem próximo de zero (respectivamente para C_{Mx} a $90^\circ = -0,00018$ e C_{Mx} a $270^\circ = -0,00189$; e C_{My} a $0^\circ = 0,00396$; C_{My} a $15^\circ = -0,08$; C_{My} a $30^\circ = -0,45$; C_{My} a $180^\circ = -0,0028$ e C_{My} a $195^\circ = 0,10$ e). A divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V6 por esses valores induziu a valores altos no FV (765,98 a 90° e 16,43 a 270°) para C_{Mx} ; e (-19,86 a 0° ; 5,62 a 15° ; 1,95 a 30° ; -11,57 a 180° ; 4,47 a 195°) para C_{My} – que não fizeram sentido já que ao se analisar os respectivos momentos fletores descobriu-se que não correspondiam aos maiores esforços, assim foram descartados esses FV, Figura 4.64.



(a)



(b)

Figura 4.62 – FV para a Vizinhança V6 calculados pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

A distribuição dos momentos fletores para a vizinhança V6 é mostrada na Figura 4.63.

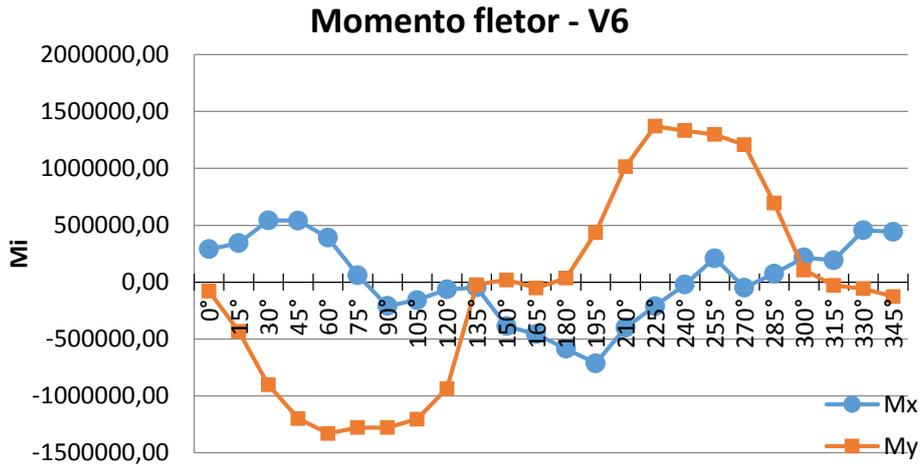
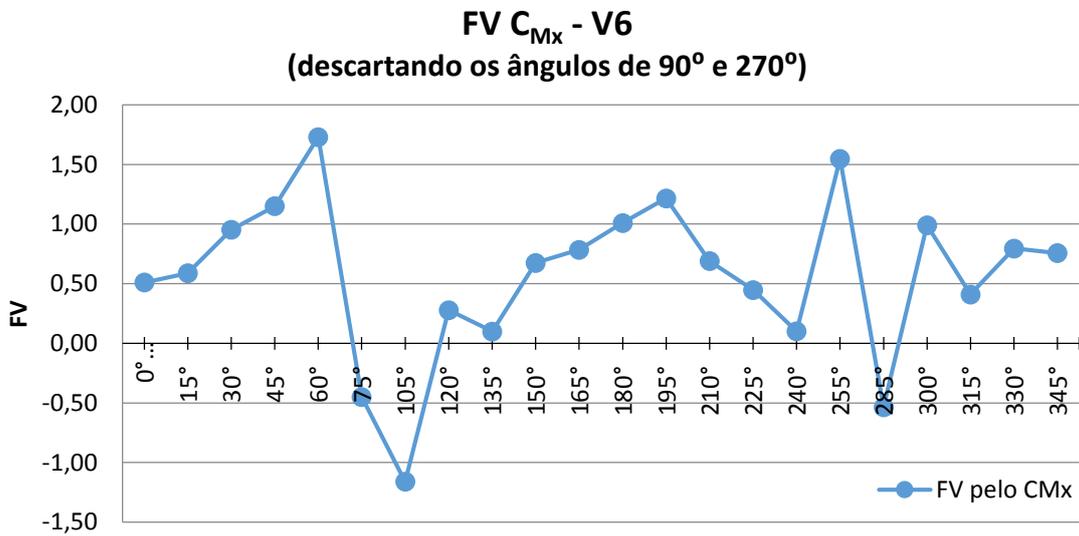
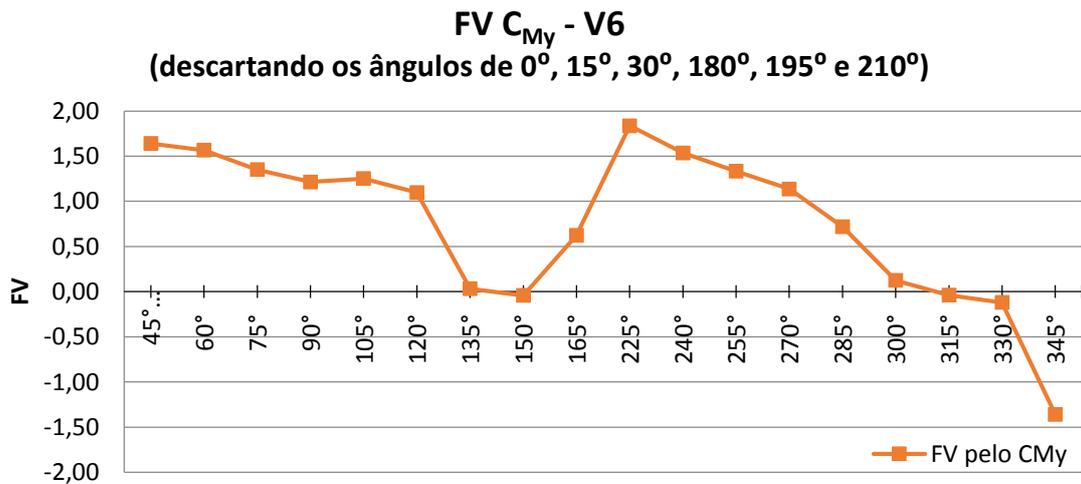


Figura 4.63 – Momento fletor para a Vizinhança V6.



(a)



(b)

Figura 4.64 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V6 pelos coeficientes: a) C_{M_x} ; b) C_{M_y} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a V6 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.65 na qual observa-se a grande maioria dos FV não majorando o carregamento frente ao esforço do Momento Fletor em relação ao eixo x (73% dos ângulos válidos). E em relação ao eixo y a majoração está mais igualmente distribuída, 39%, nas faixas de 1 a 1,3 (coberta pelo fator estabelecido na norma brasileira) e de 1,3 a 2 (que está fora da norma atual), ou seja, o mesmo número de dados para uma faixa e para a outra.

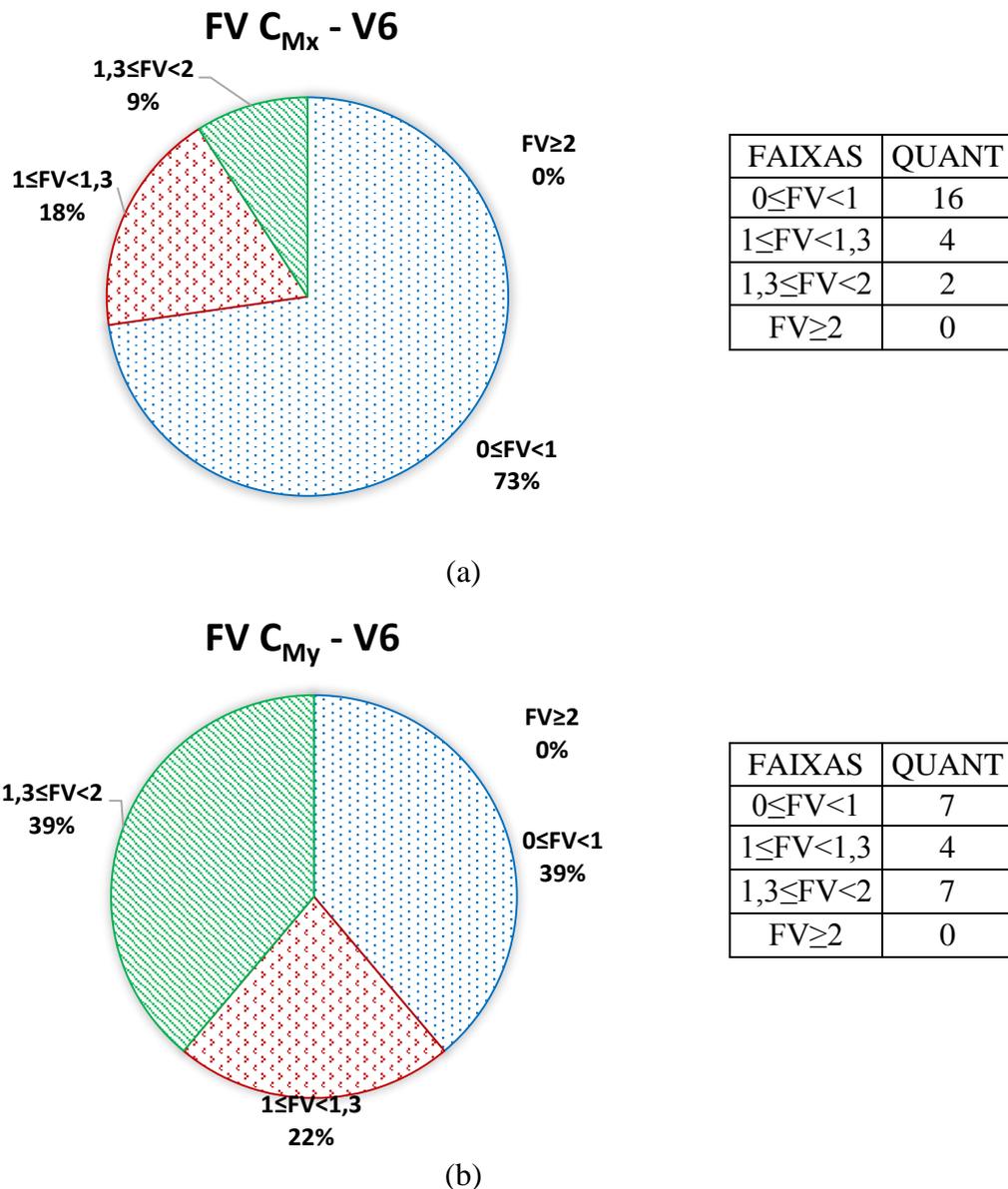


Figura 4.65 – FV para a Vizinhança V6, em porcentagem, calculados pelos coeficientes: a) C_{M_x} ; b) C_{M_y} .

4.4.7 – Resultados obtidos com a Vizinhança V7

Para a vizinhança V7, Figura 4.66(a), foram observados picos no FV gerados para aqueles calculados a partir de C_{M_x} a 90° , 120° e a 270° , Figura 4.67(a). Já para o FV calculado a partir de C_{M_y} não foram observados picos que necessitem ser descartados nos ângulos de incidência do vento no edifício estudado, Figura 4.67(b). Porém, os respectivos Momentos Fletores, Figura 4.68, correspondentes não estão fora da envoltória dos esforços o que denota que esses valores discrepantes ocorreram porque o respectivo coeficiente aerodinâmico (no caso coeficiente de momento fletor para a direção x) do edifício isolado está bem próximo de zero (respectivamente de C_{M_x} a $90^\circ = -0,00018$; C_{M_x} a $120^\circ = -0,15$ e C_{M_x} a $270^\circ = -0,00189$ e a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V7 por esses valores resultaram em valores altos no FV ($144,71$ a 90° ; $1,87$ a 120° e $-11,09$ a 270° para C_{M_x} – ao se analisar os respectivos momentos fletores, Figura 4.68, esses valores de pico puderam ser descartados pelos respectivos esforços estarem contemplados na envoltória, Figura 4,69.

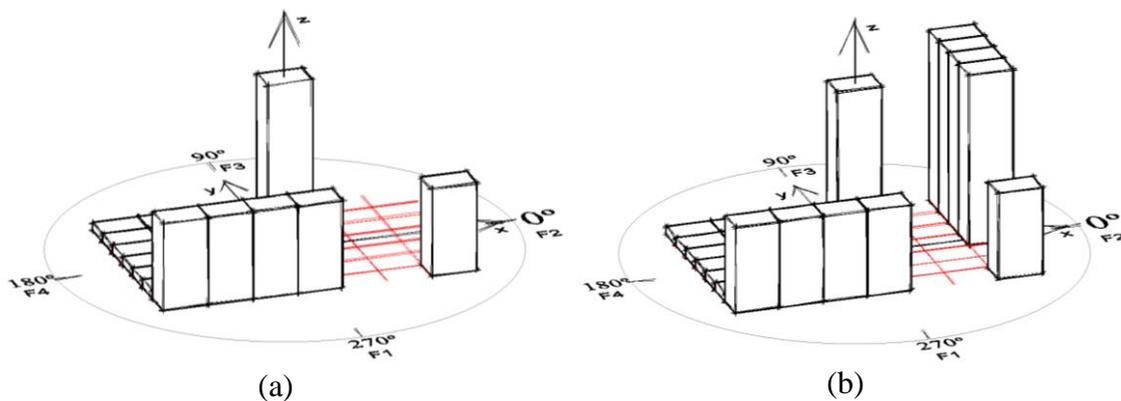
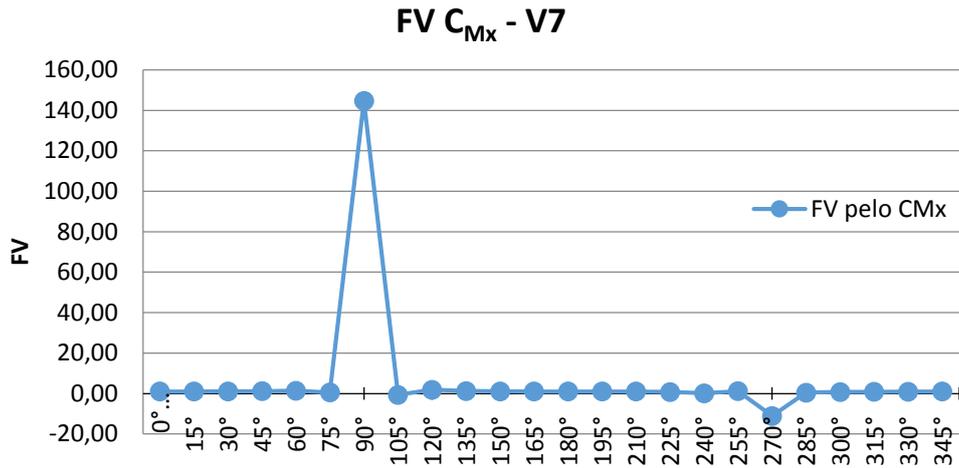
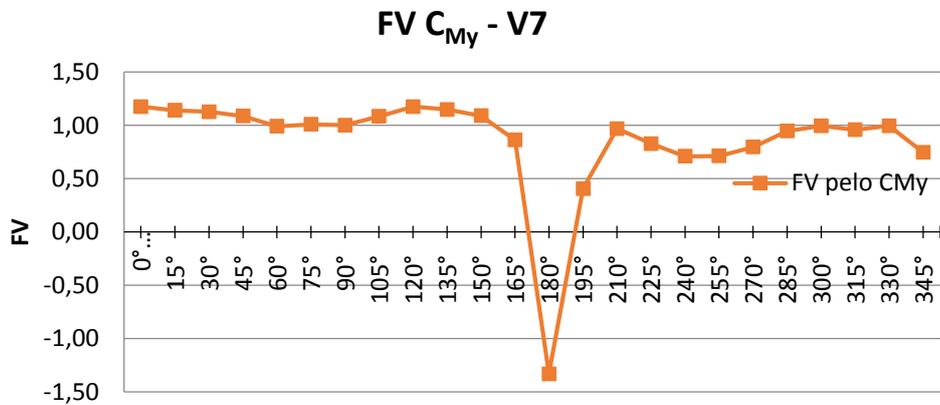


Figura 4.66 – a) Vizinhança V7; b) Vizinhança V8.



(a)



(b)

Figura 4.67 – FV calculados pelo coeficiente de momento fletor para a Vizinhança V7, pelo: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

A distribuição dos momentos fletores para a vizinhança V7 é mostrada na Figura 4.68.

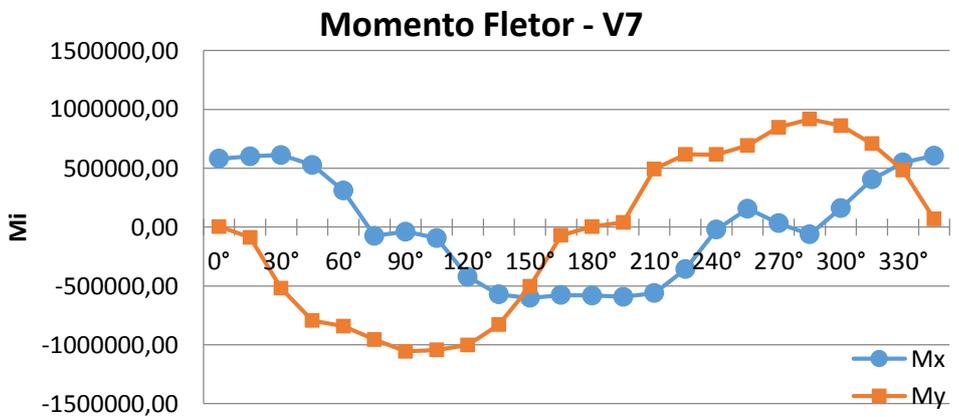


Figura 4.68 – Momento fletor M_x e M_y para a Vizinhança V7.

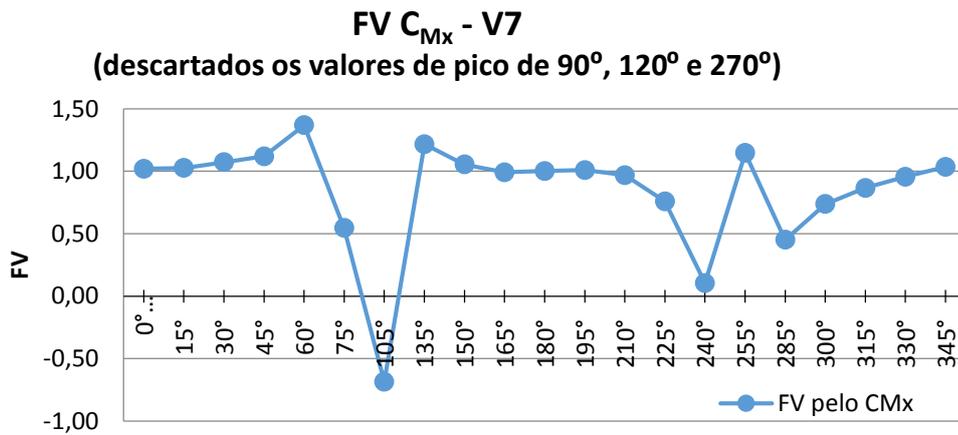
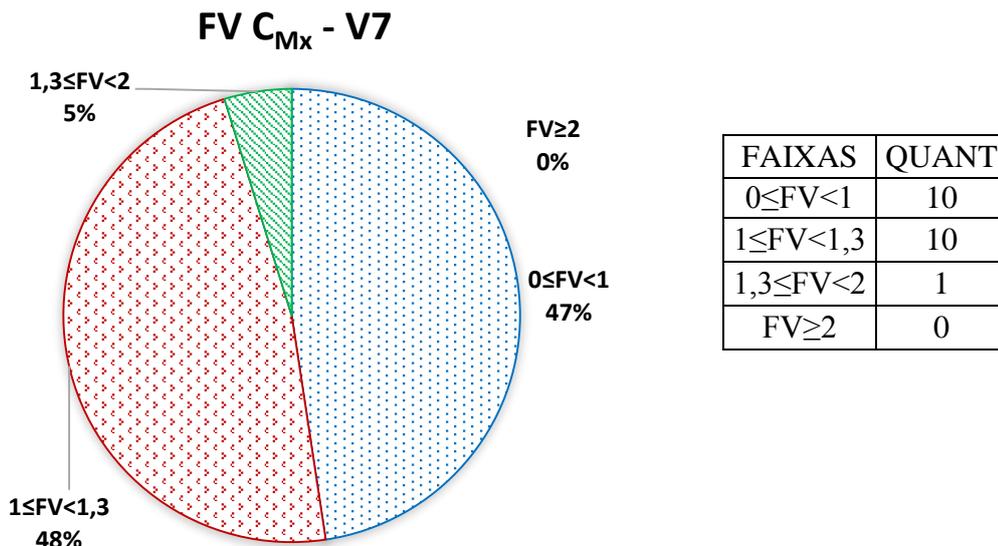
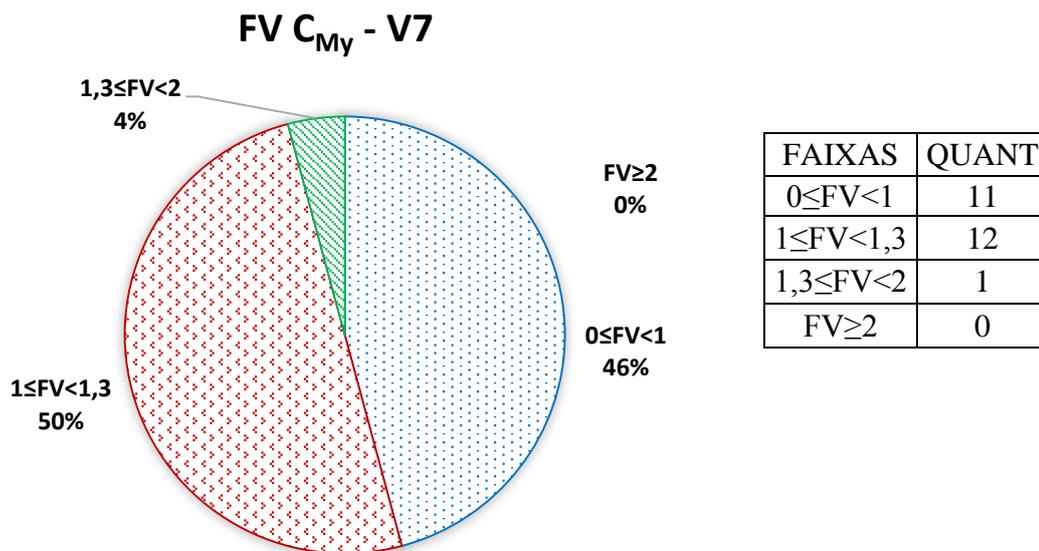


Figura 4.69 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V7 pelos coeficiente de momento fletor em x, C_{Mx} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a Vizinhança V7 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.70 na qual observa-se a grande maioria dos FV não majorando o carregamento frente ao esforço do Momento Fletor em relação ao eixo x sendo que em relação ao eixo y a majoração está mais frequente no que está prescrito na norma, valor de 1,3.



(a)

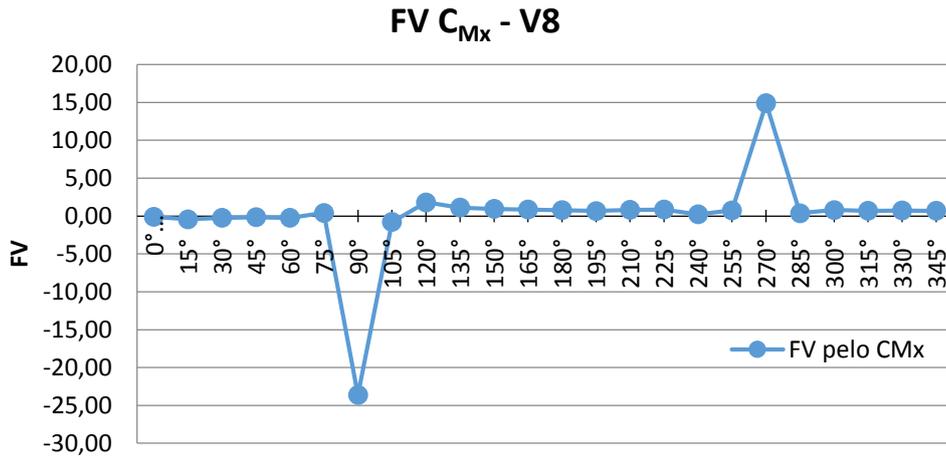


(b)

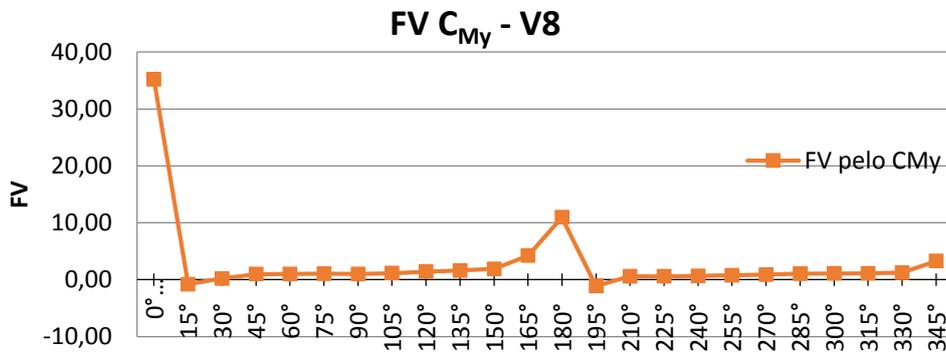
Figura 4.70 – FV calculados para a Vizinhança V7, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

4.4.8 – Resultados obtidos com a Vizinhança V8

Para a vizinhança V8, Figura 4.66(b), foram observados picos no FV gerados para aqueles calculados a partir de C_{Mx} a 90^0 , 120^0 e a 270^0 , e a 0^0 , 165^0 , 180^0 e 345^0 para aquele calculado a partir de C_{My} , Figura 4.71. Porém, os respectivos Momentos Fletores, Figura 4.72, correspondentes não estão fora da envoltória dos esforços, o que denota que esses valores discrepantes ocorreram porque os respectivos coeficientes aerodinâmicos (no caso coeficiente de momento fletor para as direções x e y) do edifício isolado estão bem próximos de zero (respectivamente, para C_{Mx} a $90^0 = -0,00018$, C_{Mx} a $120^0 = -0,00018$ e C_{Mx} a $270^0 = -0,00189$; e C_{My} a $0^0 = 0,00396$; C_{My} a $165^0 = -0,08$; C_{My} a $180^0 = -0,00298$ e C_{My} a $345^0 = 0,09$). A divisão dos respectivos coeficientes da Vizinhança V8 por esses valores resultou em valores altos no FV ($-23,62$ a 90^0 ; $-0,15$ a 120^0 e $14,90$ a 270^0 para C_{Mx} ; e $35,21$ a 0^0 ; $4,22$ a 165^0 ; $10,94$ a 180^0 ; $3,27$ a 345^0 para C_{My}) – que foram descartados porque ao se analisar os respectivos momentos fletores estes já estavam contemplados na envoltória a ser considerada, Figura 4.73.



(a)



(b)

Figura 4.71 – FV para a Vizinhança V8 calculados pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

A distribuição dos momentos fletores para a Vizinhança V8 é mostrada na Figura 4.72.

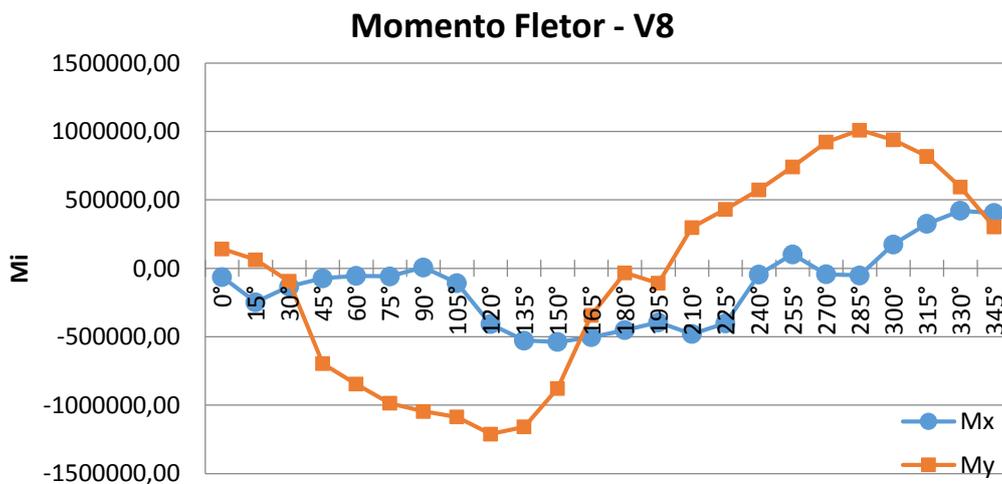
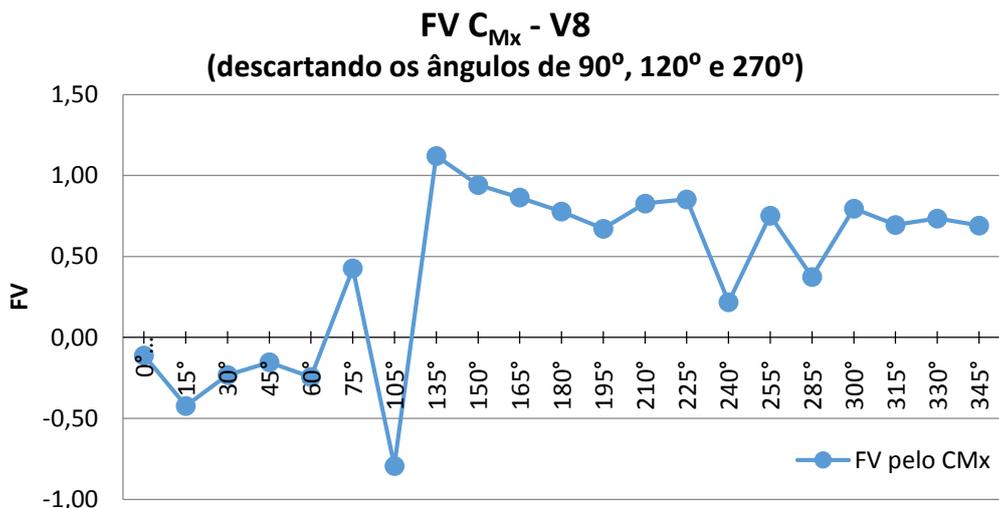
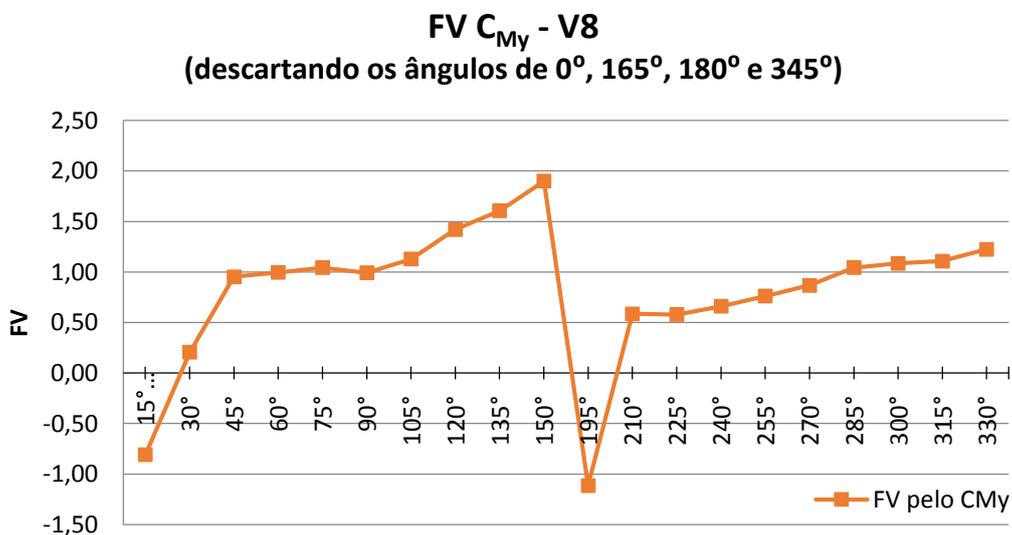


Figura 4.72 – Momento fletor para a Vizinhança V8.



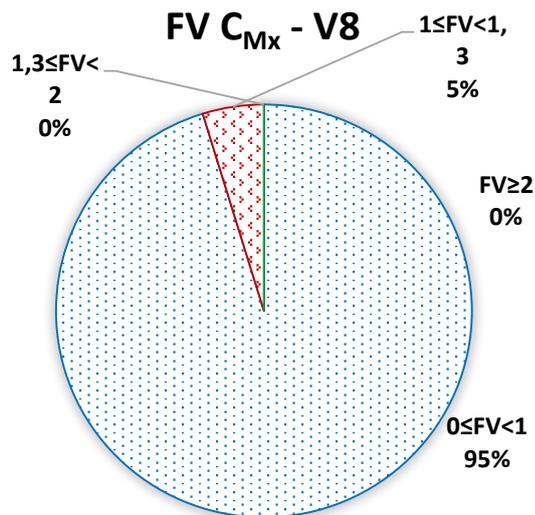
(a)



(b)

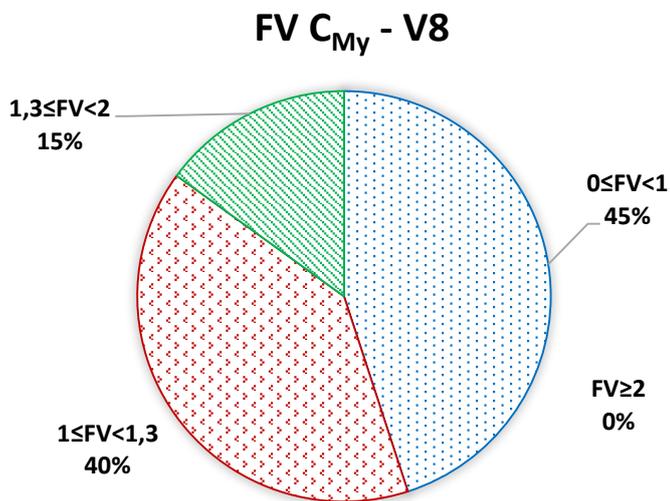
Figura 4.73 – FV, sem os valores de pico, para a Vizinhança V8 calculados pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a Vizinhança V8 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.74 na qual observa-se em 95% dos casos cujo FV foi calculado a partir de C_{Mx} que não é necessária qualquer majoração do carregamento (FV na faixa entre 0 e 1) contra apenas 5% (ou seja uma única angulação) que exigiria a majoração dentro do valor estabelecido em norma (FV entre 1 e 1,3). Já em relação ao eixo y tem-se a necessidade da majoração em apenas 15% dos ângulos de incidência do vento válidos em um valor superior ao da norma brasileira, contra 45% sem qualquer majoração necessária e de 40% cobertos pela Norma.



| FAIXAS | QUANT |
|-------------------|-------|
| $0 \leq FV < 1$ | 20 |
| $1 \leq FV < 1,3$ | 1 |
| $1,3 \leq FV < 2$ | 0 |
| $FV \geq 2$ | 0 |

(a)



| FAIXAS | QUANT |
|-------------------|-------|
| $0 \leq FV < 1$ | 9 |
| $1 \leq FV < 1,3$ | 8 |
| $1,3 \leq FV < 2$ | 3 |
| $FV \geq 2$ | 0 |

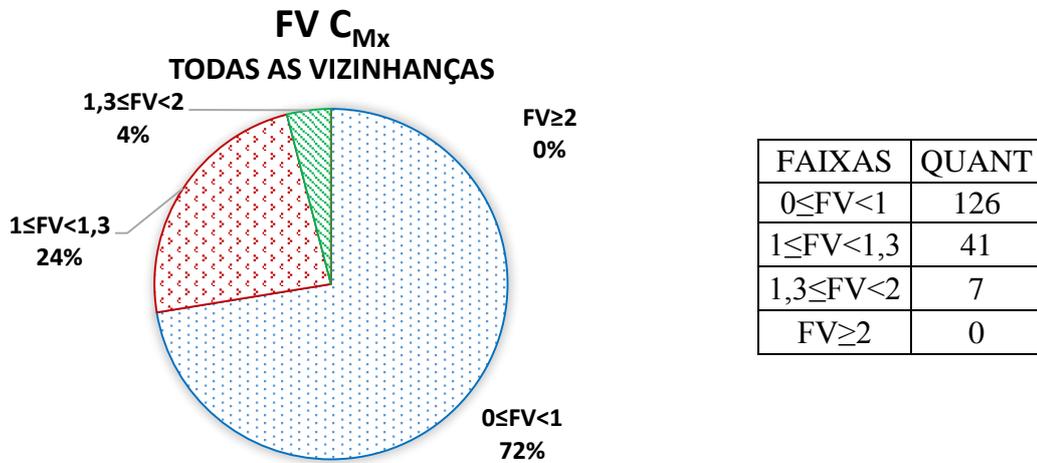
(b)

Figura 4.74 – FV para a Vizinhança V8, em porcentagem, calculados pelos coeficientes: a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

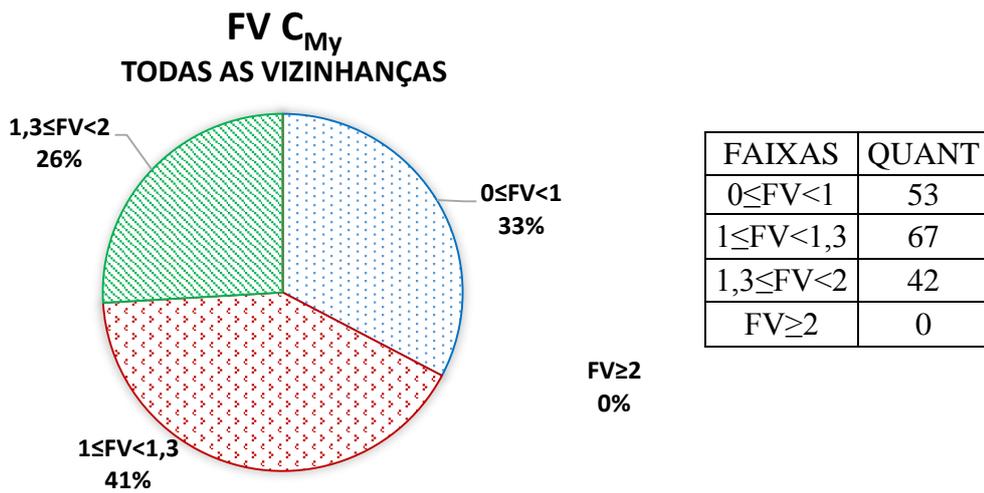
4.4.9 – Resultados do FV obtido pelo coeficiente de momento fletor para todas as vizinhanças

Assim, um resultado global alcançado com a pesquisa mostra que para a maior parte dos ângulos de incidência do vento para todas as vizinhanças consideradas não é necessária a majoração das cargas tendo em vista o FV calculado pelo coeficiente de momento fletor, em relação ao eixo x (FV até 1,0). Já em relação ao eixo y tem-se a necessidade da majoração em 41% dos ângulos de incidência do vento, porém, essa majoração,

desconsiderados os valores de pico, estaria dentro do valor estabelecido na norma brasileira (FV na faixa de 1 a 1,3). Figura 4.75.



(a)



(b)

Figura 4.75 – Resumos dos resultados dos FV calculado pelos coeficientes de momento fletor em relação ao eixo x e ao eixo y para todas as vizinhanças propostas

a) C_{Mx} ; b) C_{My} .

4.5 – RESULTADOS DOS ENSAIOS COM VIZINHANÇA PARA A FORÇA RESULTANTE

4.5.1 – Resultados obtidos para a Vizinhança V1

Passando agora a analisar os FV calculados a partir dos coeficientes de Força Resultante para a vizinhança V1, Figura 4.76(a). Observa-se pico pelo C_{Fx} apenas a 90° para o FV, já para aquele calculado a partir de C_{Fy} os picos encontram-se nos ângulos de 0° , 15° , 180° e 345° . Porém, o gráfico dos respectivos C_{Fi} , em substituição ao gráfico da própria solicitação, Figura 4.78, correspondentes mostram que esses não estão fora da envoltória dos esforços o que denota que esse valor discrepante aconteceu porque o respectivo coeficiente aerodinâmico do edifício isolado está bem próximo de zero (respectivamente de C_{Fx} a $90^\circ=0,00144$; e C_{Fy} a $0^\circ=0,01$; C_{Fy} a $15^\circ=-0,12$; C_{Fy} a $180^\circ=-0,0031$ e C_{Fy} a $345^\circ=0,14$ e a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V1E1 por esses valores induziu a valores altos no FV (-4,85 a 90° para C_{Fx} ; e 4,12 a 0° ; 2,55 a 15° ; 2,29 a 180° e 2,36 a 345° para C_{Fy}). Analisados os respectivos coeficientes de força em x e em y, Figura 4.78, pode-se inferir que esses valores de pico podem ser descartados por estarem na envoltória dos esforços a serem considerados em um cálculo estrutural. Os valores dos FV sem as situações de pico foram mostrados na Figura 4.79.

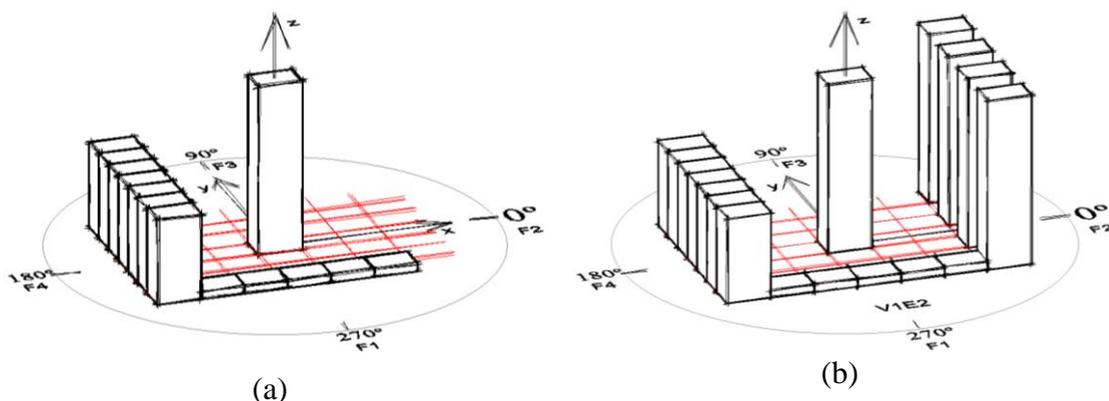
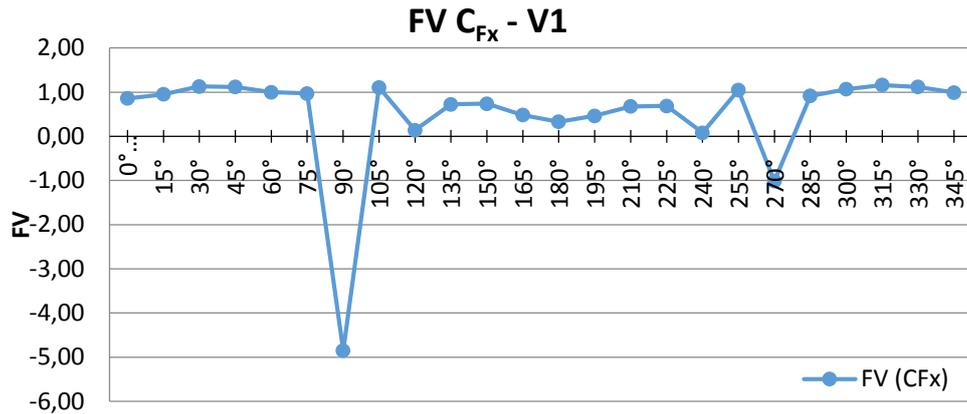
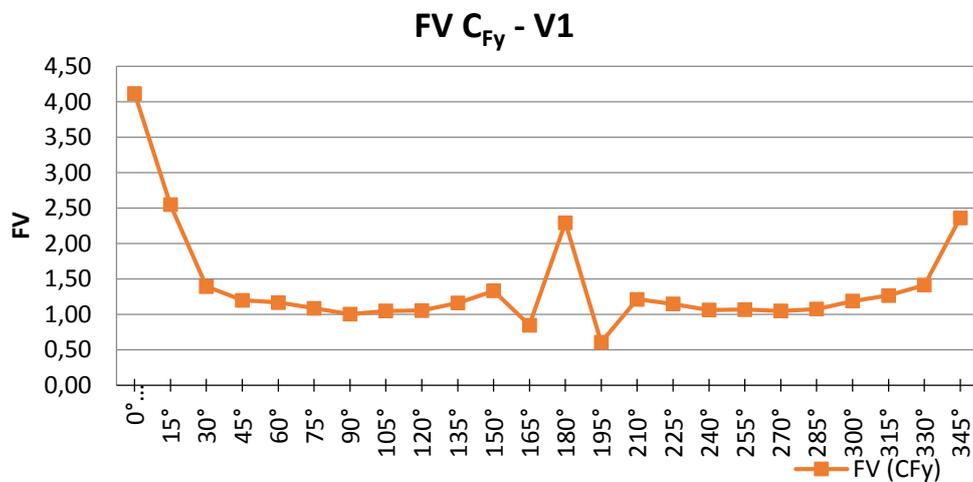


Figura 4.76 – a) Vizinhança V1; b) Vizinhança V2.



(a)



(b)

Figura 4.77 – FV calculada para a Vizinhança V1 pelos coeficientes de força: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

A distribuição dos coeficientes de força resultante para a Vizinhança V1 é mostrada na Figura 4.78.

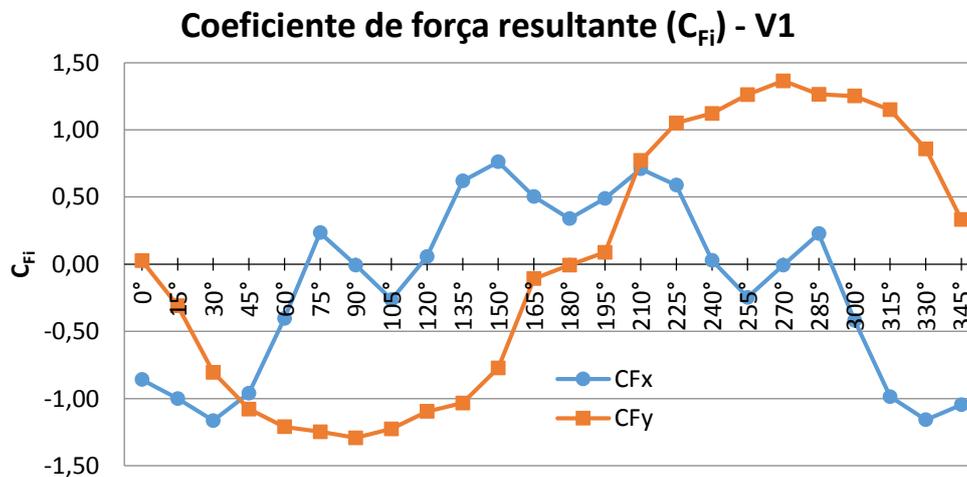


Figura 4.78 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V1.

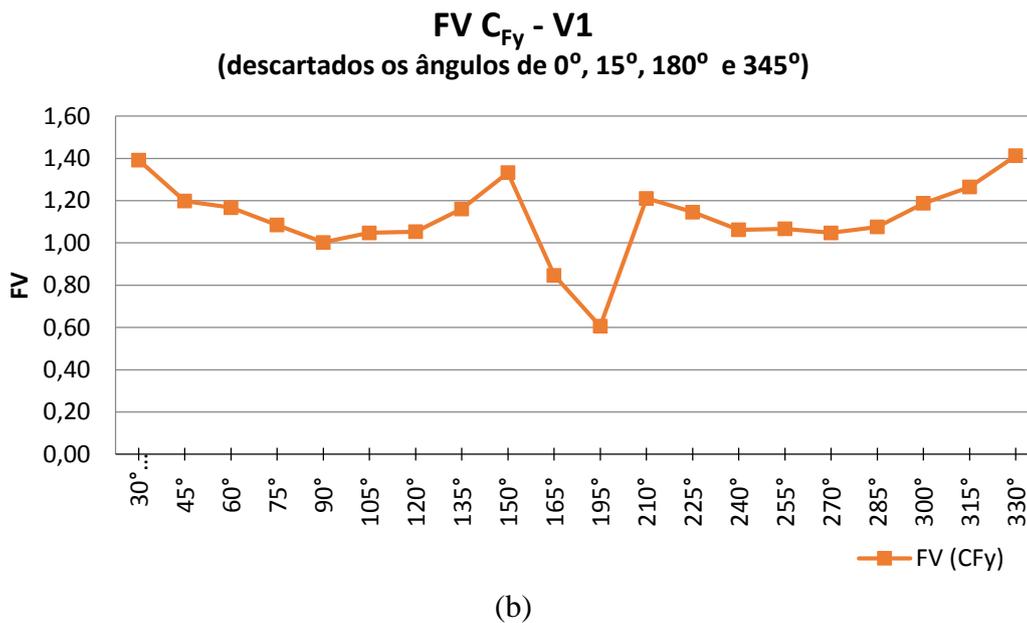
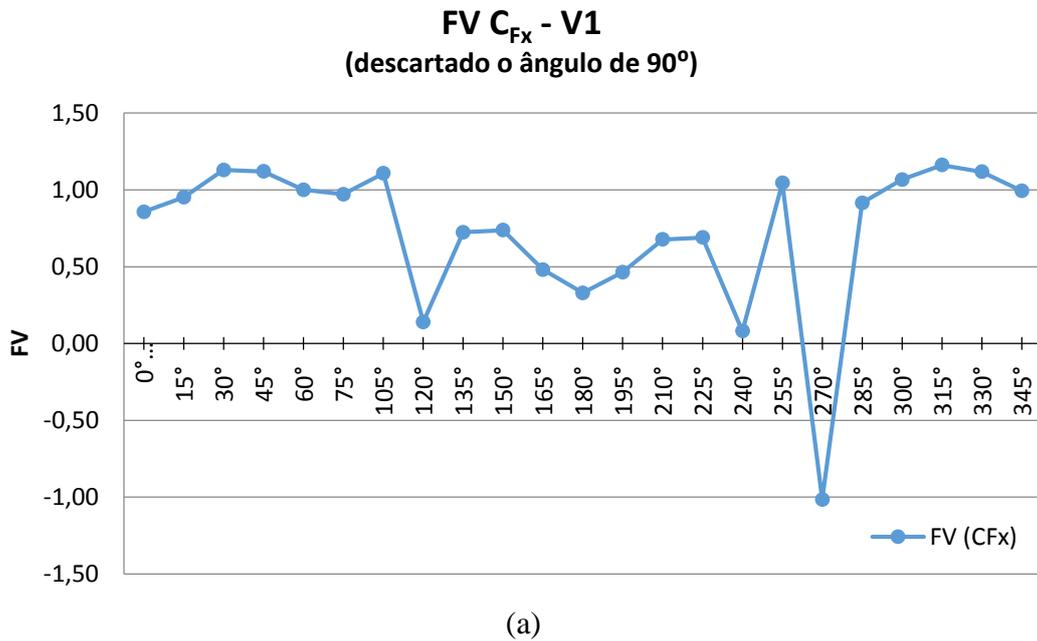


Figura 4.79 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V1 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a Vizinhança V1 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.80, na qual observa-se que para o FV calculado a partir de C_{Fx} , 61% dos ângulos ensaiados e considerados válidos não requerem qualquer majoração devido ao FV estar na faixa entre 0 e 1 e que 39% estão expressos entre valores dentro do que está estabelecido em norma (faixa de FV até 1,3). Em relação ao C_{Fy} tem-

se que 81% dos ângulos estariam cobertos pela norma brasileira de vento e que 10% estariam fora dessa faixa, requerendo inclusive majoração superior, entre 1,3 e 2,0.

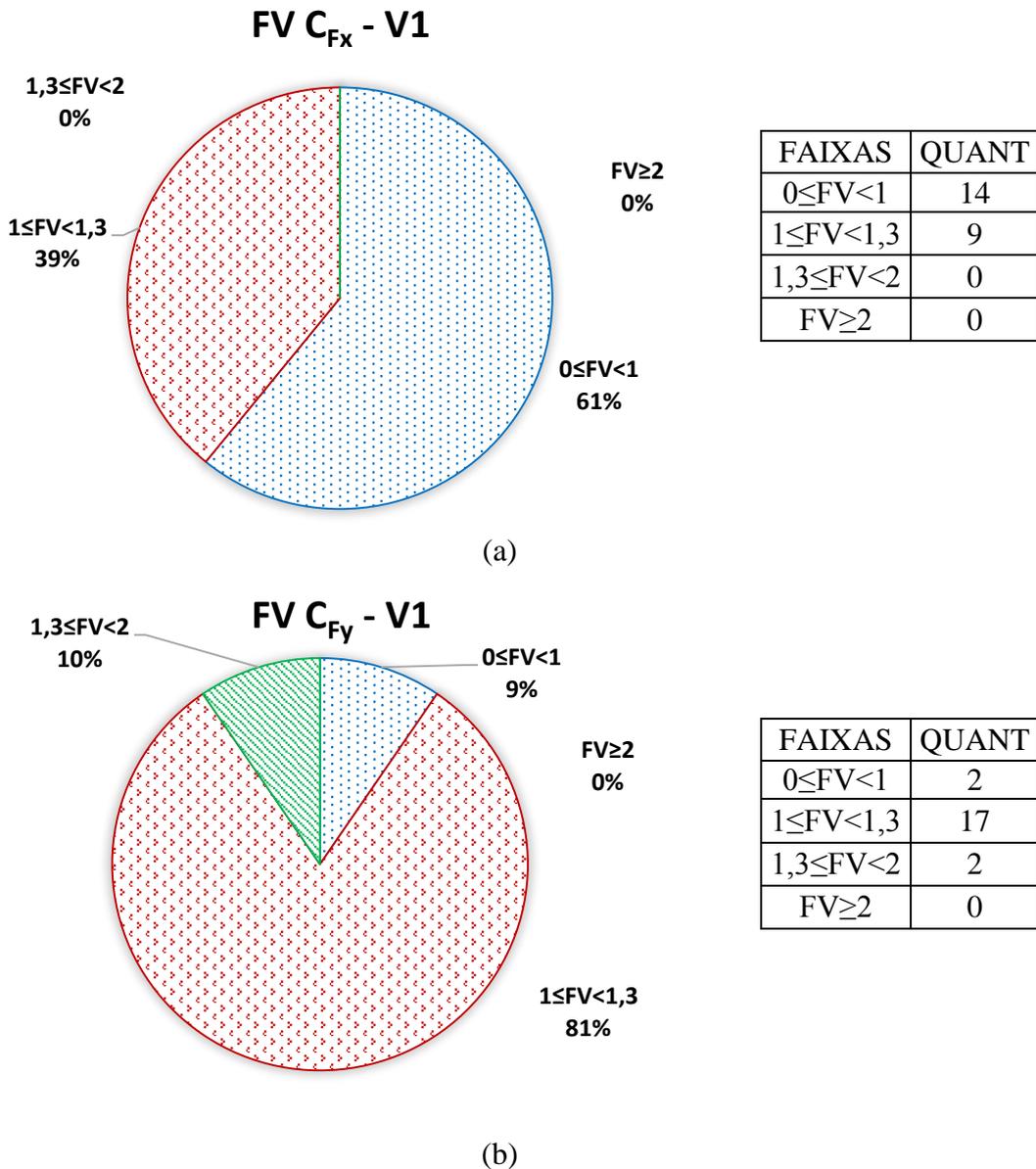


Figura 4.80 – FV calculados para a Vizinhança V1, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{F_x} ; b) C_{F_y} .

4.5.2 – Resultados obtidos com a Vizinhança V2

Na vizinhança V2, Figura 4.76(b) observa-se pico do FV calculado pelo C_{F_x} apenas a 90° ; já para aquele calculado a partir de C_{F_y} os picos encontram-se nos ângulos de 15° , 165° ,

180° e 345°. Porém, o gráfico dos respectivos C_{Fi} , em substituição ao gráfico da própria solicitação, Figura 4.82, correspondentes mostram que esses não estão fora da envoltória dos esforços o que denota que os valores discrepantes ocorreram porque o respectivo coeficiente aerodinâmico do edifício isolado está bem próximo de zero (respectivamente de C_{Fx} a 90°=0,00144; e C_{Fy} a 15°=-0,12; C_{Fy} a 165°=-0,13; C_{Fy} a 180°=-0,0031 e C_{Fy} a 345°=0,14. Com isso, a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V2 por esses valores induziu a valores altos no FV (13,82 a 90° para C_{Fx} ; e 1,83 a 15°; 2,17 a 165°, 3,34 a 180° e 1,77 a 345° para C_{Fy}). Analisados os respectivos coeficientes de força em x e em y, Figura 4.82, pode-se inferir que esses valores de pico podem ser descartados por estarem na envoltória dos esforços a serem considerados em um cálculo estrutural. Os valores dos FV sem as situações de pico foram mostrados na Figura 4.83.

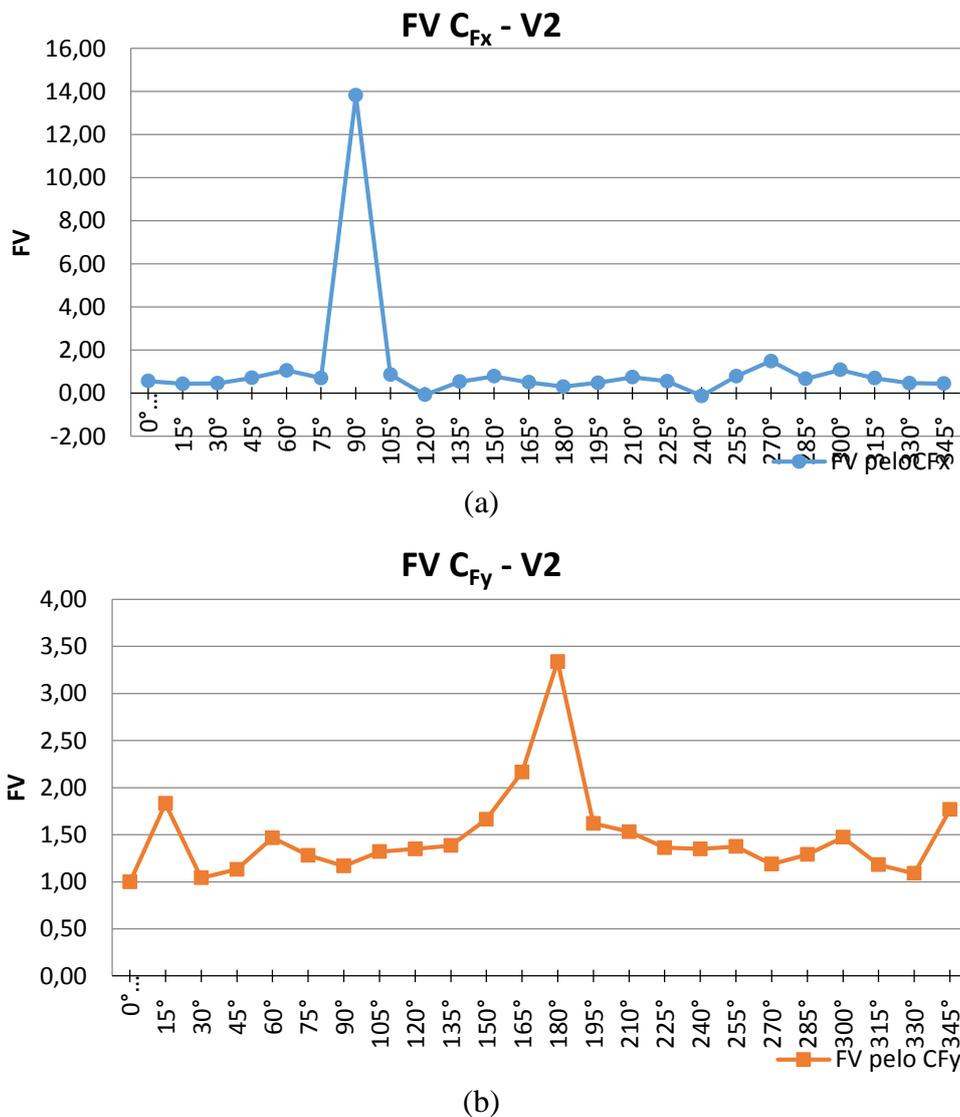


Figura 4.81 – FV calculados para a Vizinhança V2 pelo coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

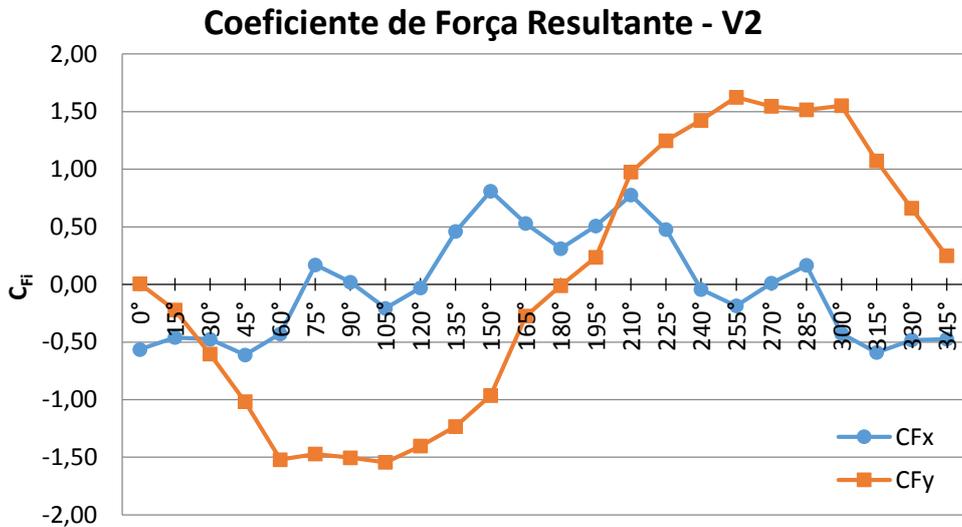
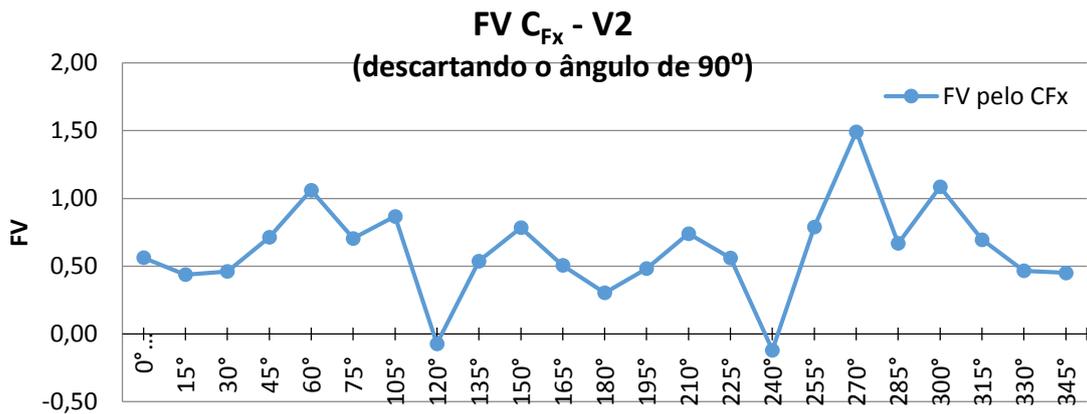
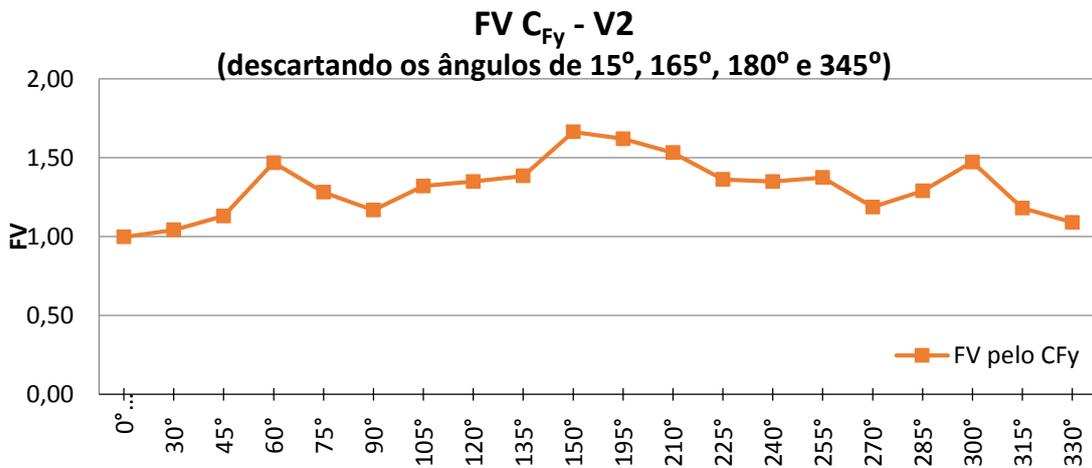


Figura 4.82 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V2.



(a)



(b)

Figura 4.83 – FV, sem valores de pico, calculados para a Vizinhança V2 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a Vizinhança V2 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.84, na qual observa-se que a grande maioria dos ângulos estudados, 87%, não requerem qualquer majoração devido ao FV calculado pelo C_{Fx} (faixa entre 0 e 1) e aqueles calculados pelo C_{Fy} devem majorar a carga não só dentro do valor fixado pela norma, 45% (faixa entre 1 e 1,3), mas também valores entre 1,3 e 2,0, para 55% dos ângulos.

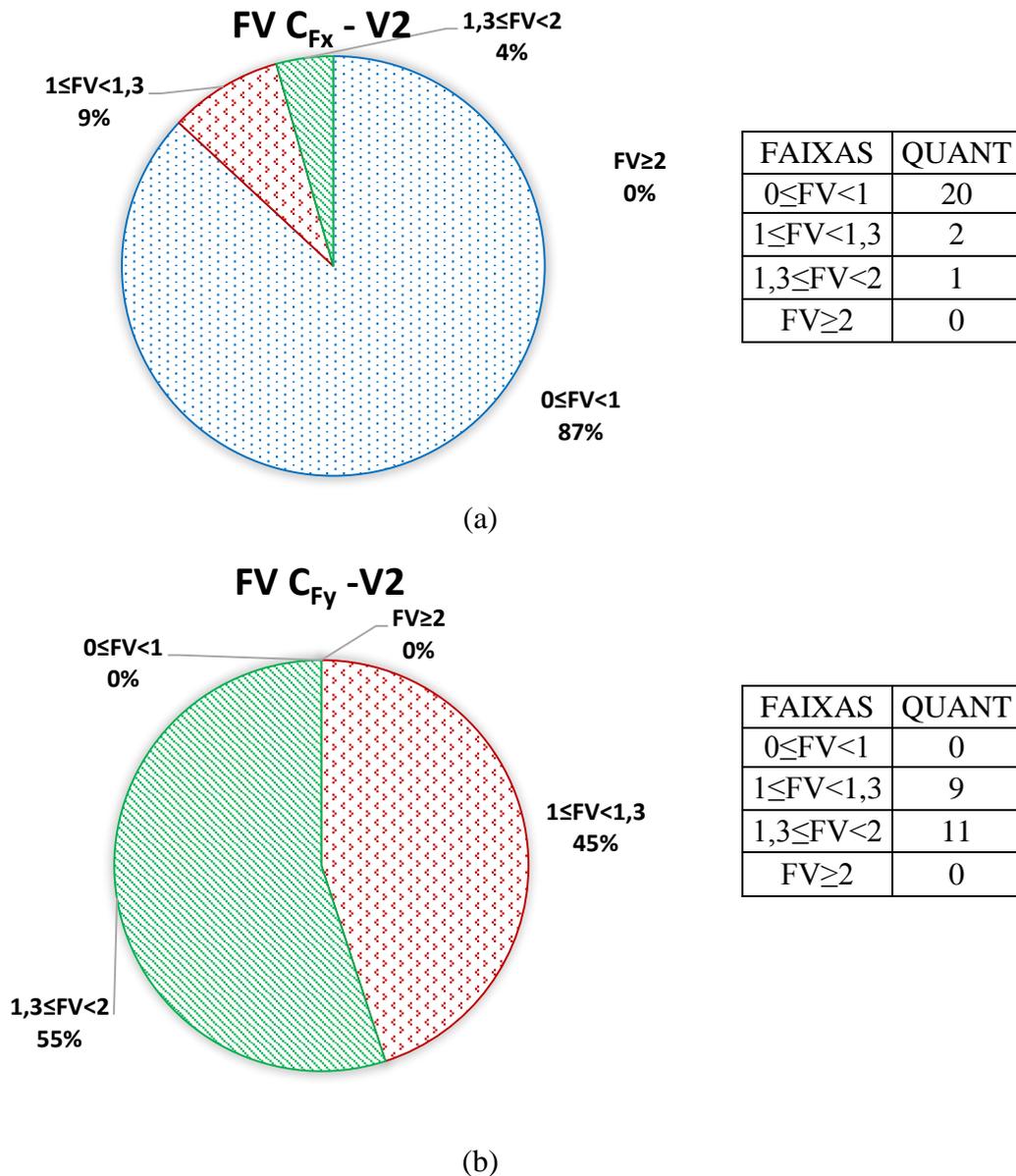


Figura 4.84 – FV calculados para a Vizinhança V2, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

4.5.3 – Resultados obtidos para a Vizinhança V3

A vizinhança V3, Figura 4.85(a), tem valores de pico para os FV calculados a partir dos coeficientes de Força Resultante em x a 90° e a 270° , Figura 4.86. Já para aqueles calculados a partir de C_{Fy} os picos encontram-se nos ângulos de 15° , 180° , 195° e 345° . Porém, o gráfico dos respectivos C_{Fi} , em substituição ao gráfico da própria solicitação, Figura 4.87, correspondentes mostram que esses não estão fora da envoltória dos esforços o que denota que esse valor discrepante aconteceu porque o respectivo coeficiente aerodinâmico do edifício isolado está bem próximo de zero (respectivamente de C_{Fx} a $90^{\circ}=0,00144$ e C_{Fx} a $270^{\circ}=0,01$; e C_{Fy} a $15^{\circ}=-0,12$; C_{Fy} a $180^{\circ}=-0,0031$; C_{Fy} a $195^{\circ}=0,15$ e C_{Fy} a $345^{\circ}=0,14$. Com isso, a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V3 por esses valores induziu a valores altos no FV (43,75 a 90° e -3,68 a 270° para C_{Fx} ; e 3,85 a 15° ; 3,00 a 180° , 2,84 a 195° e 2,01 a 345°). Analisados os respectivos coeficientes de força em x e em y, Figura 4.87, pode-se inferir que esses valores de pico podem ser descartados por estarem na envoltória dos esforços a serem considerados em um cálculo estrutural. Os valores dos FV sem as situações de pico foram mostrados na Figura 4.88.

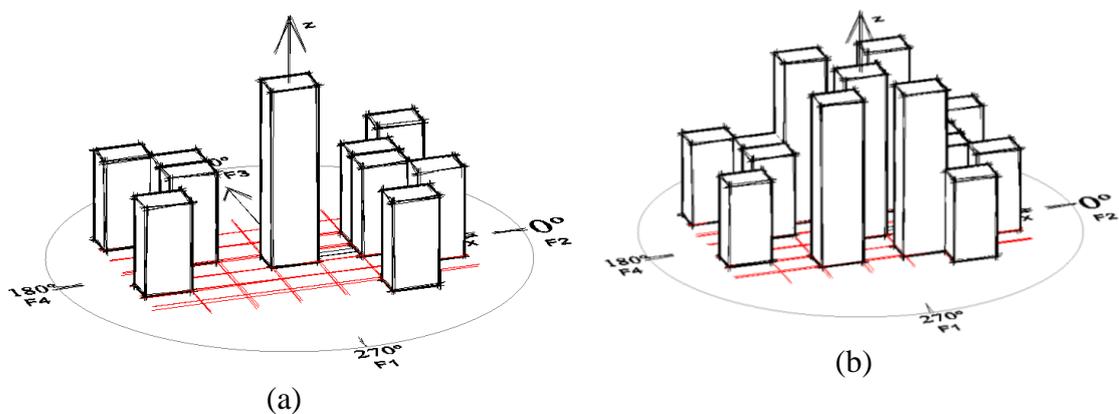
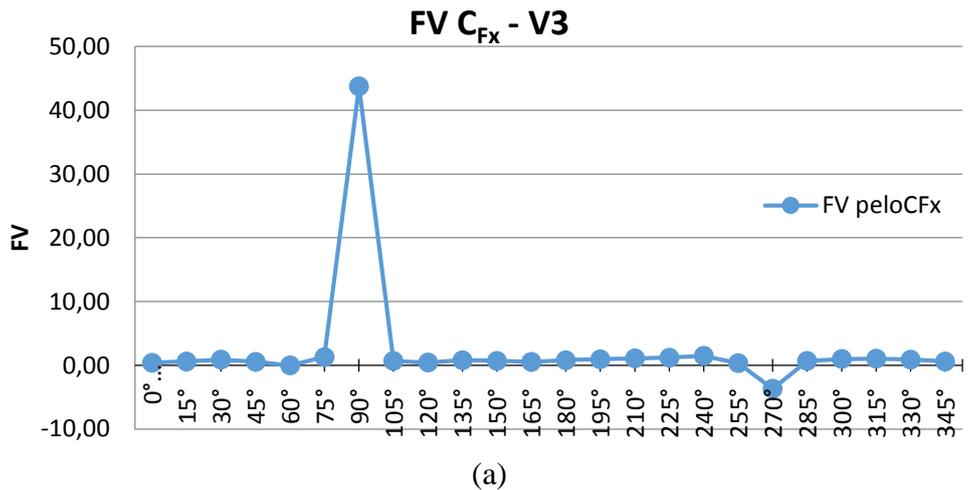
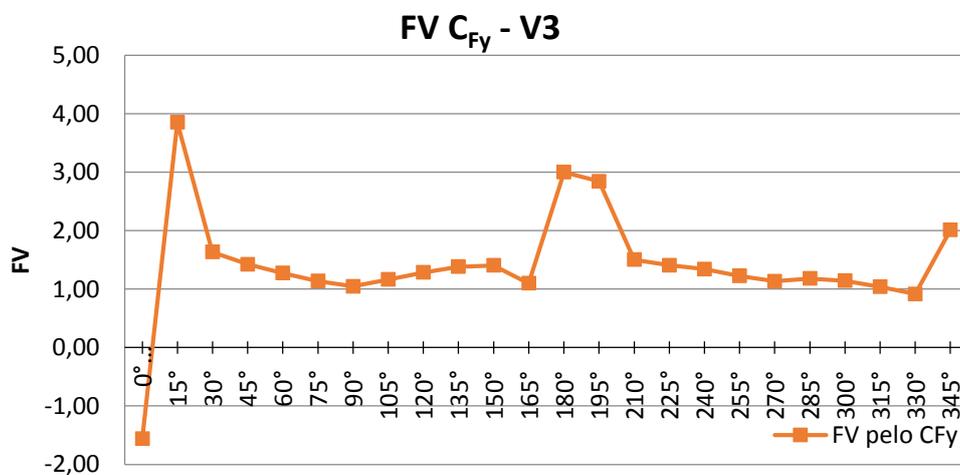


Figura 4.85 – a) Vizinhança V3; b) Vizinhança V4.



(a)



(b)

Figura 4.86 – FV calculados para a Vizinhança V3 pelos coeficientes: a) C_{F_x} ; b) C_{F_y} .

A distribuição dos coeficientes de força resultante para a Vizinhança V3 é mostrada na Figura 4.87.

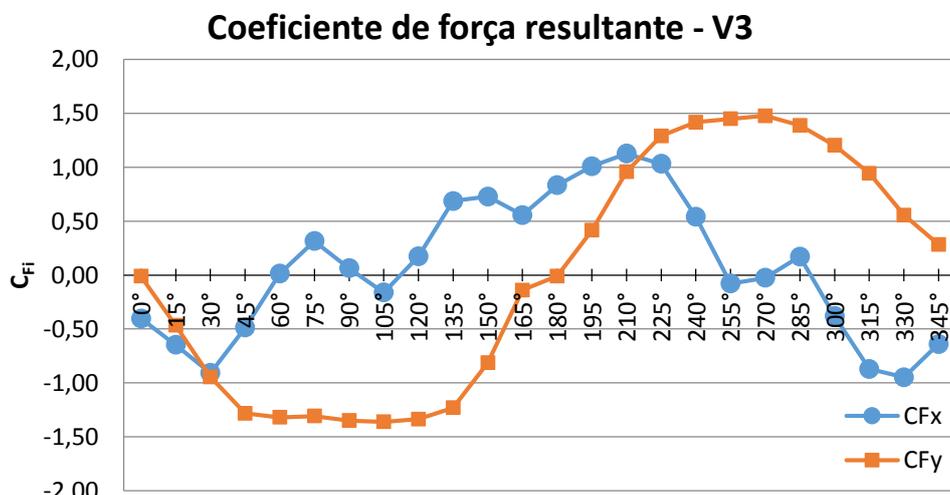
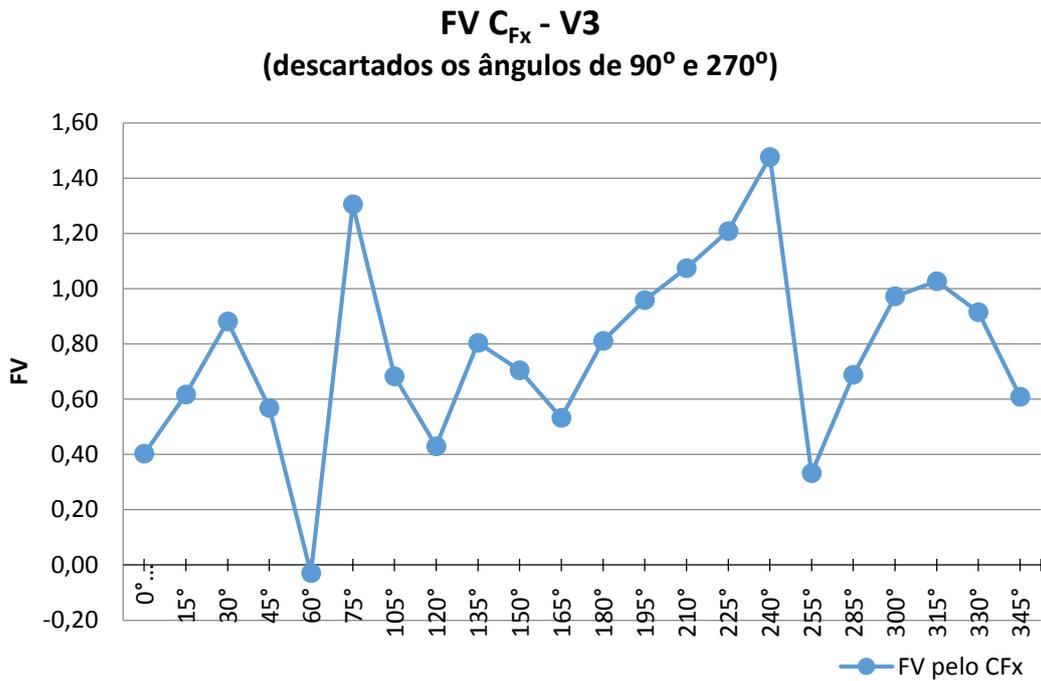
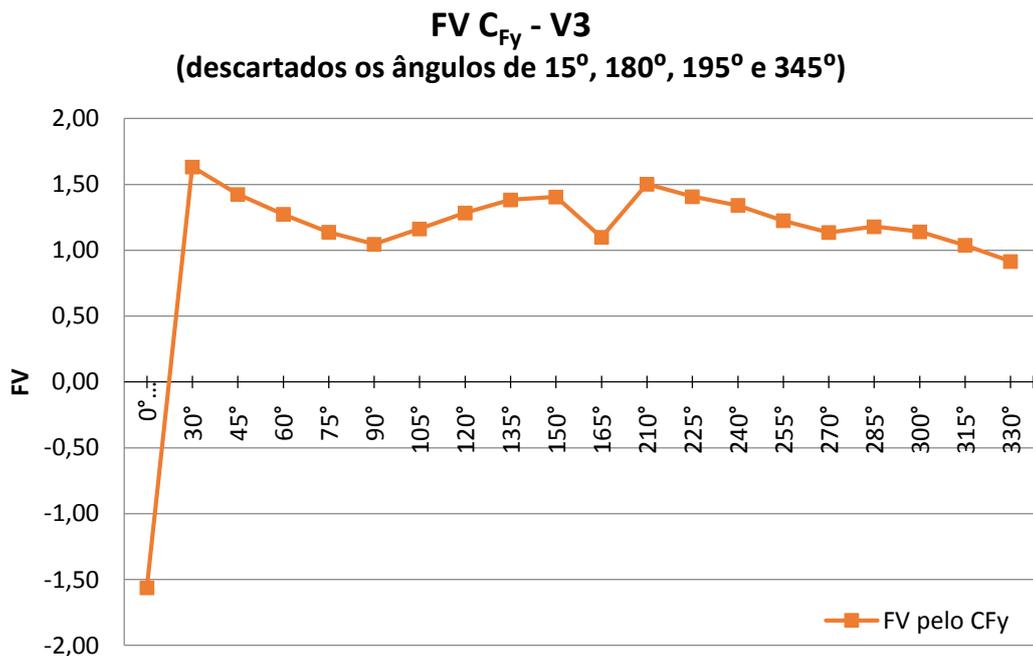


Figura 4.87 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V3.



(a)

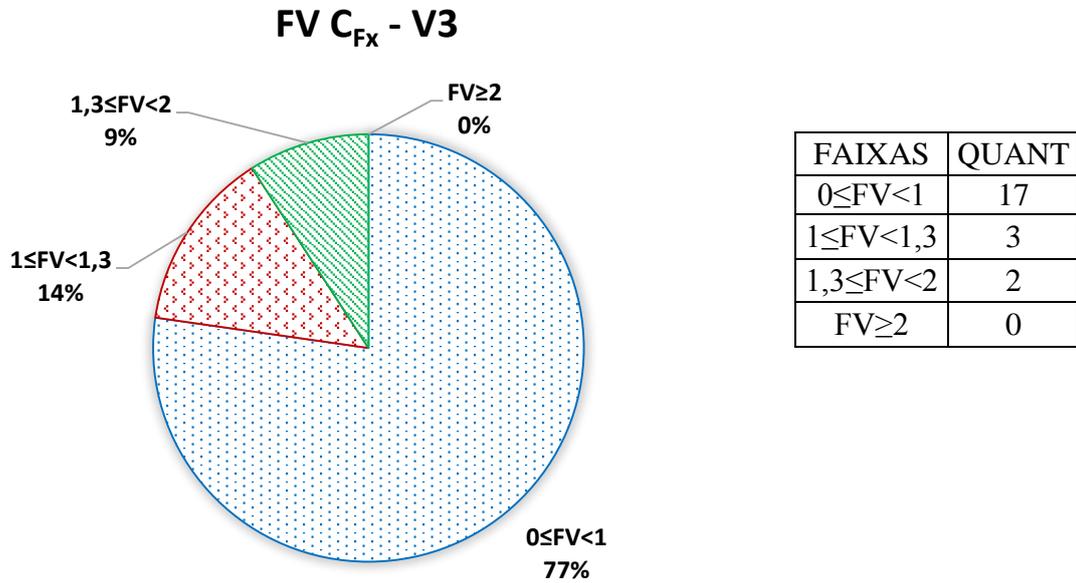


(b)

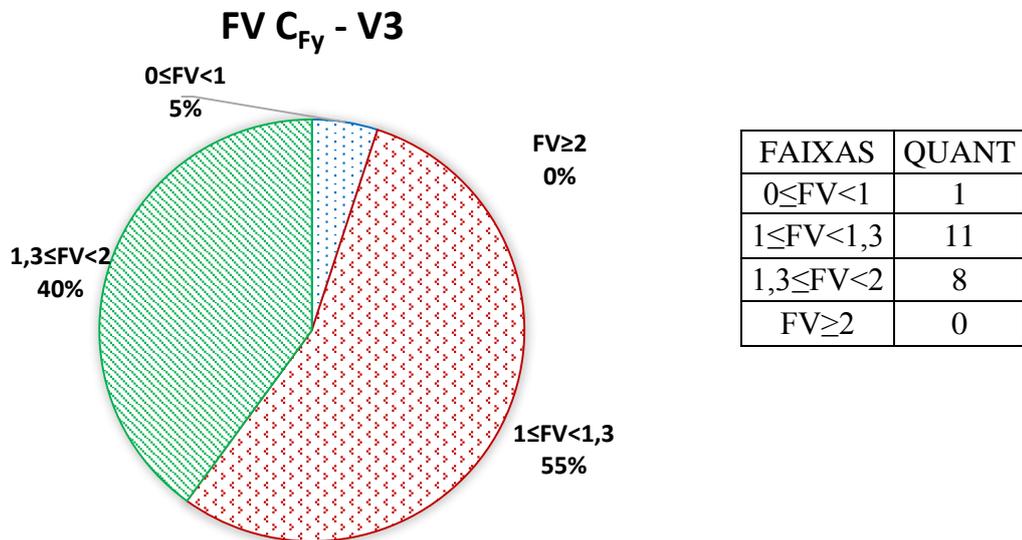
Figura 4.88 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V3 pelos coeficientes: a) C_{F_x} ; b) C_{F_y} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a Vizinhança V3 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.89 na qual observa-se que a grande maioria dos ângulos

estudados, 77%, não requer qualquer majoração devido ao FV calculado pelo C_{Fx} (faixa entre 0 e 1) e aqueles calculados pelo C_{Fy} devem majorar a carga não só dentro do valor fixado pela norma, cerca de 55% (faixa entre 1 e 1,3) mas também valores entre 1,3 e 2, para 40% dos ângulos considerados válidos.



(a)

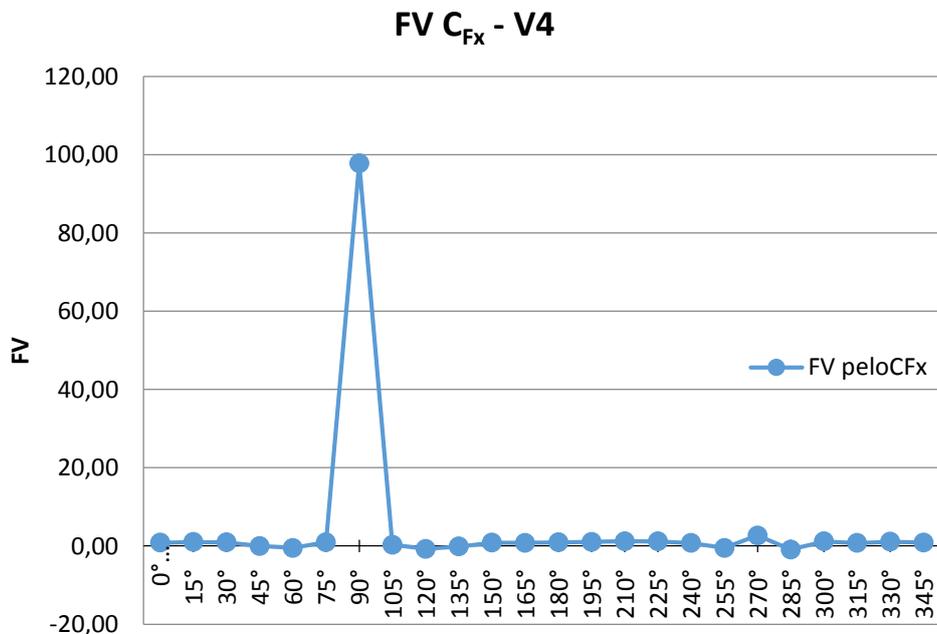


(b)

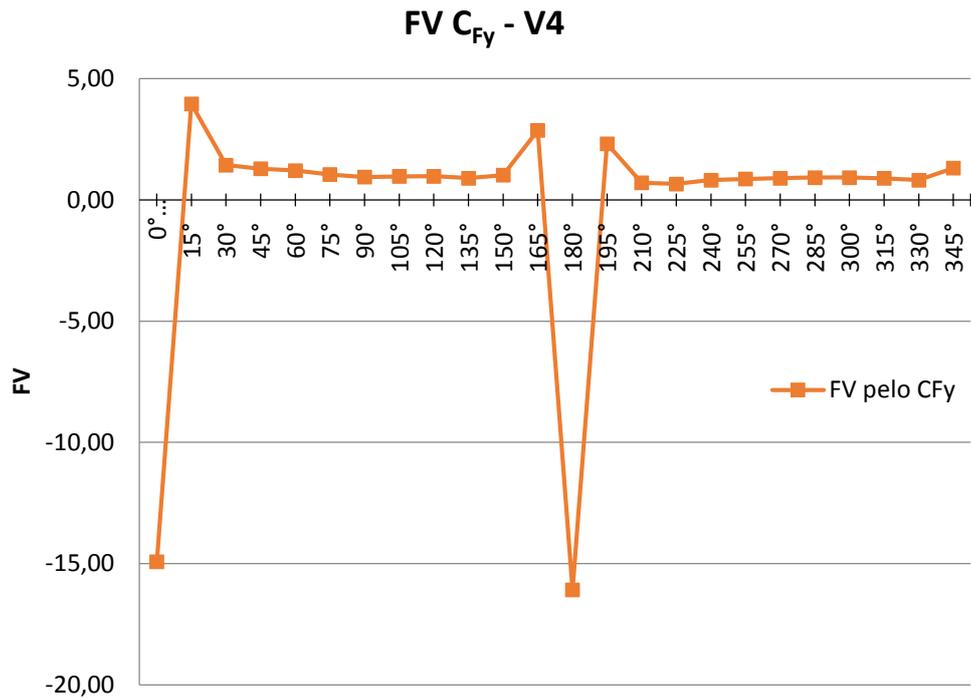
Figura 4.89 – FV calculados para a Vizinhança V3, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

4.5.4 – Resultados obtidos para a Vizinhança V4

A vizinhança V4, Figura 4.85(b), tem valores de pico para os FV calculados a partir dos coeficientes de Força Resultante em x a 90° e a 270° , Figura 4.90. Já para aqueles calculados a partir de C_{Fy} os picos encontram-se nos ângulos de 0° , 15° , 165° , 180° e 195° . Porém, o gráfico dos respectivos C_{Fi} , em substituição ao gráfico da própria solicitação, Figura 4.91, correspondentes mostram que esses valores não estão fora da envoltória dos esforços o que denota que os valores discrepantes ocorreram porque os respectivos coeficientes aerodinâmicos do edifício isolado estão bem próximo de zero (respectivamente de C_{Fx} a $90^{\circ}=0,00144$ e C_{Fx} a $270^{\circ}=0,01$; para C_{Fy} a $0^{\circ}=0,01$; C_{Fy} a $15^{\circ}=-0,12$; C_{Fy} a $165^{\circ}=-0,13$; C_{Fy} a $180^{\circ}=-0,0031$ e C_{Fy} a $195^{\circ}=0,15$). Com isso, a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V4 por esses valores resultaram em valores altos no FV (97,78 a 90° e 2,67 a 270° para C_{Fx} ; e -14,92 a 0° , 3,97 a 15° ; 2,87 a 165° , -16,09 a 180° e 2,32 a 195°). Analisados os respectivos coeficientes de força em x e em y, Figura 4.91, pode-se inferir que esses valores de pico podem ser descartados por estarem na envoltória dos esforços a serem considerados em um cálculo estrutural. Os valores dos FV sem as situações de pico foram mostrados na Figura 4.92.



(a)



(b)

Figura 4.90 – FV calculados para a Vizinhança V4 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

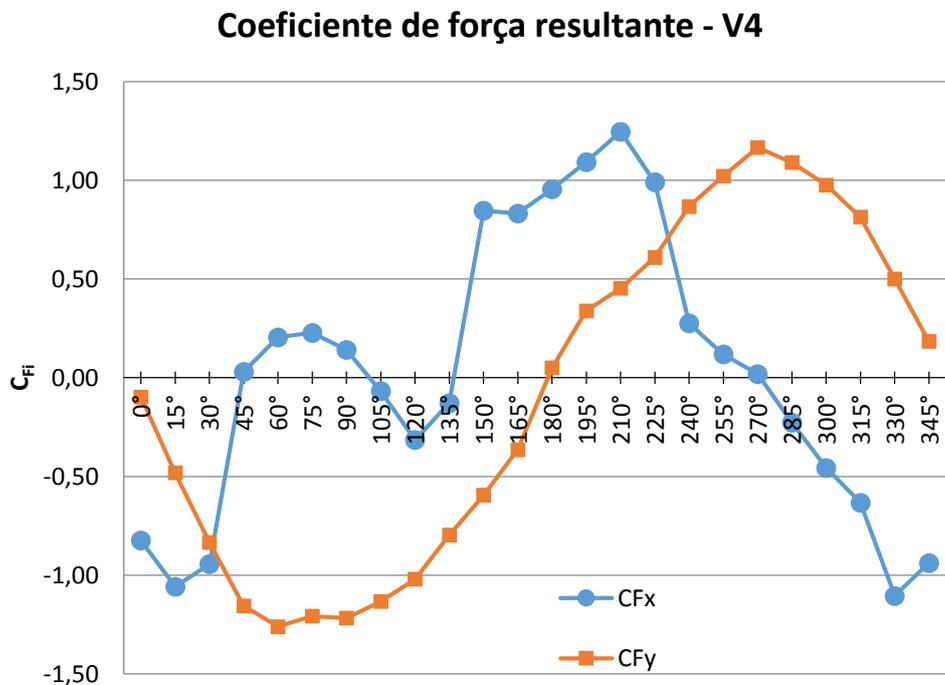
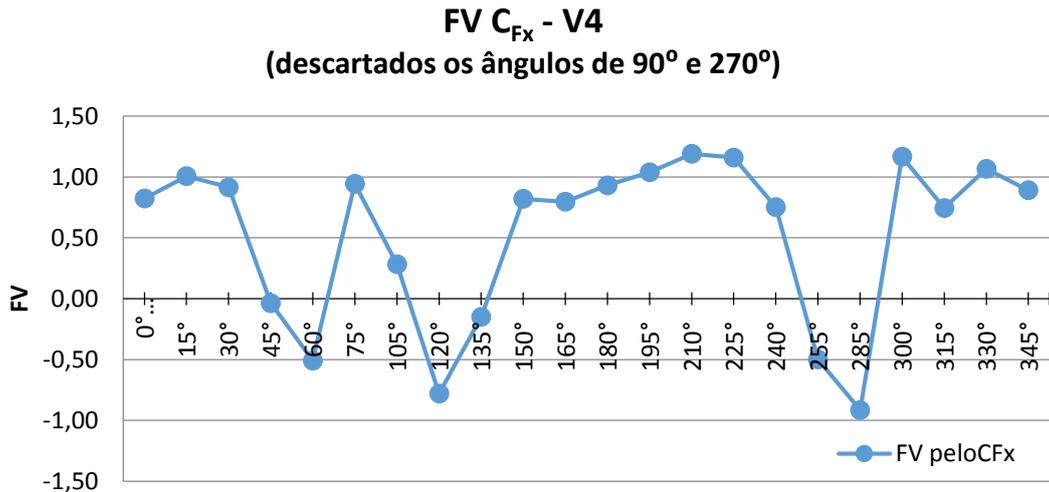
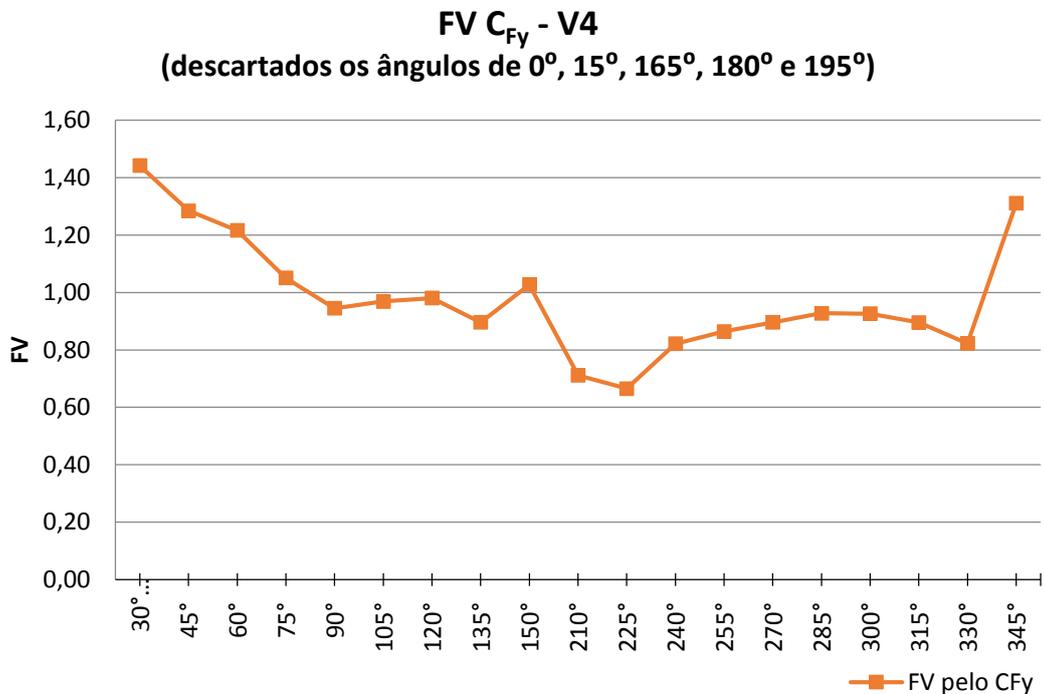


Figura 4.91 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V4.



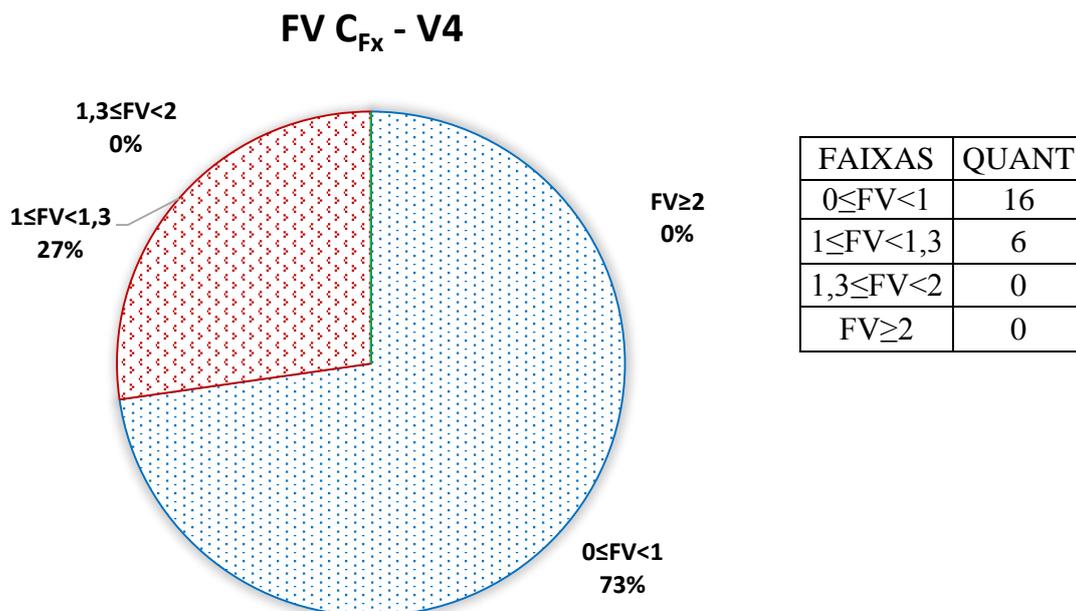
(a)



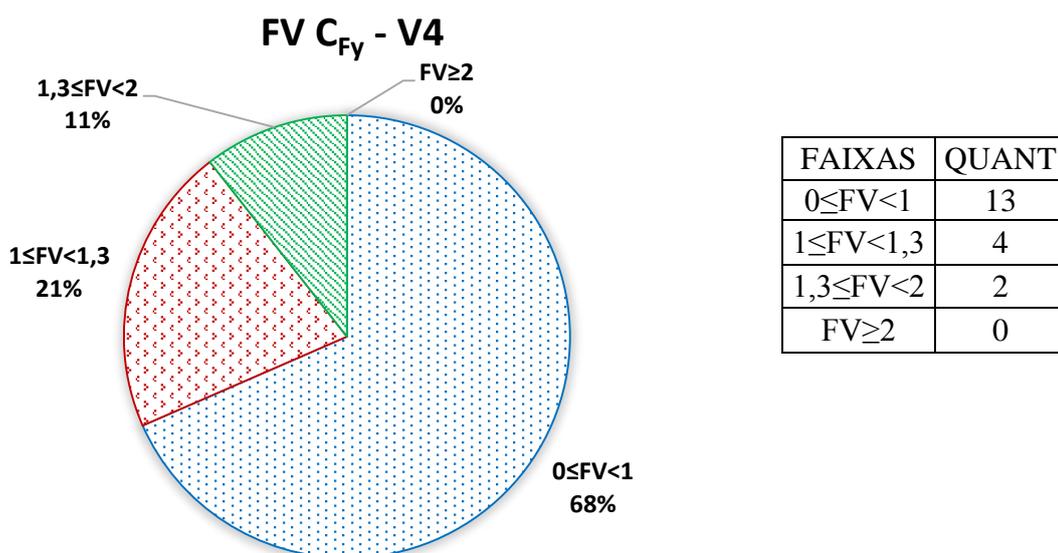
(b)

Figura 4.92 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V4 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a Vizinhança V4 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.93, na qual observa-se que a grande maioria dos ângulos estudados, 73% e 68% respectivamente, tanto calculados pelo C_{Fx} quanto pelo C_{Fy} , não requer qualquer majoração (FV na faixa entre 0 e 1). E apenas 11% dos ângulos contariam com a majoração das cargas acima do valor estabelecido em norma (cujo FV foi calculado pelo C_{Fy} encontra-se na faixa de 1,3 a 2).



(a)



(b)

Figura 4.93 – FV calculados para a Vizinhança V4, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

4.5.5 – Resultados obtidos para a Vizinhança V5

Para a Vizinhança V5, Figura 4.94(a), tem valores de pico para os FV calculados a partir dos coeficientes de Força Resultante em x a 60° , 75° , 90° e a 270° , Figura 4.95(a). Já para aqueles calculados a partir de C_{Fy} os picos encontram-se nos ângulos de 0° , 15° e 180° ,

Figura 4.95(b). Porém, o gráfico dos respectivos C_{Fi} , em substituição ao gráfico da própria solicitação, Figura 4.96, correspondentes mostram que esses valores não estão fora da envoltória dos esforços o que denota que os valores discrepantes ocorreram porque os respectivos coeficientes aerodinâmicos do edifício isolado estão bem próximo de zero (respectivamente de C_{Fx} a $60^0=-0,40$; C_{Fx} a $75^0=0,24$ e C_{Fx} a $90^0=0,00144$; para C_{Fy} a $0^0=0,01$; C_{Fy} a $15^0=-0,12$ e C_{Fy} a $180^0=-0,0031$). Com isso, a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V5 por esses valores induziu a valores altos no FV (2,50 a 60^0 ; -2,10 a 75^0 ; 122,90 a 90^0 e 15,47 a 270^0 para C_{Fx} ; e -29,88 a 0^0 ; 3,26 a 15^0 e 29,44 a 180^0 para C_{Fy}). Analisados os respectivos coeficientes de força em x e em y, Figura 4.96, pode-se inferir que esses valores de pico podem ser descartados por estarem na envoltória dos esforços a serem considerados em um cálculo estrutural. Os valores dos FV sem as situações de pico foram mostrados na Figura 4.97.

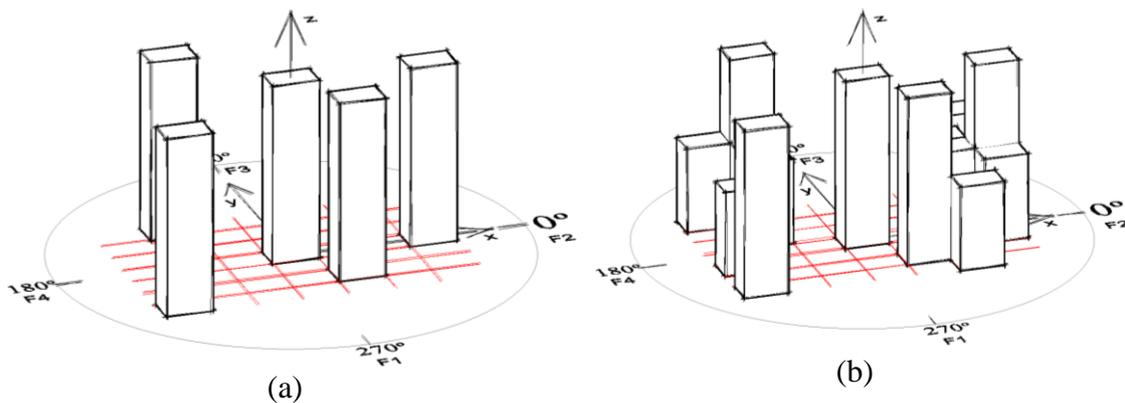
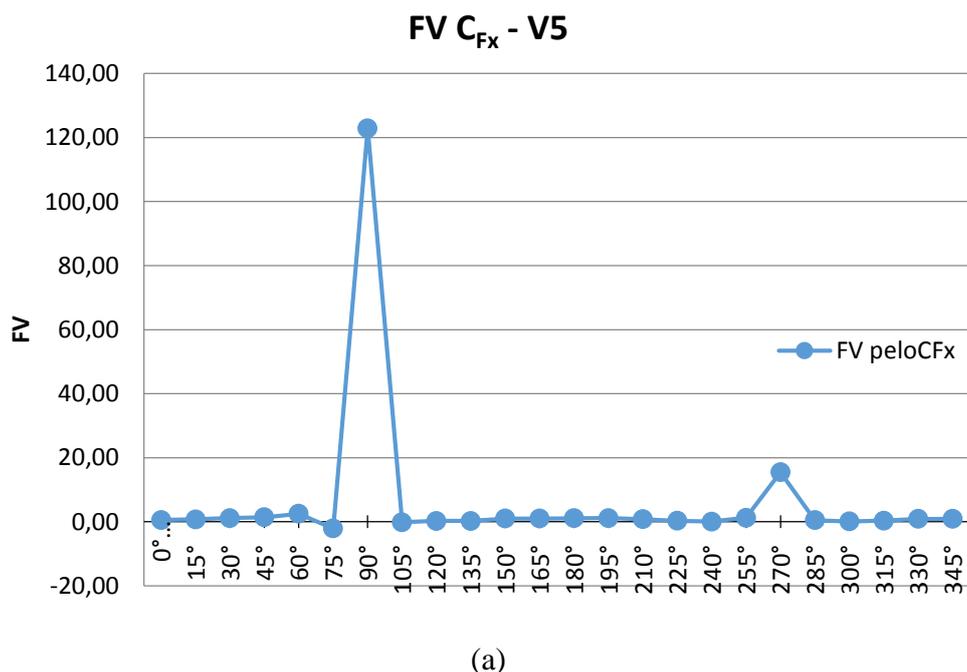
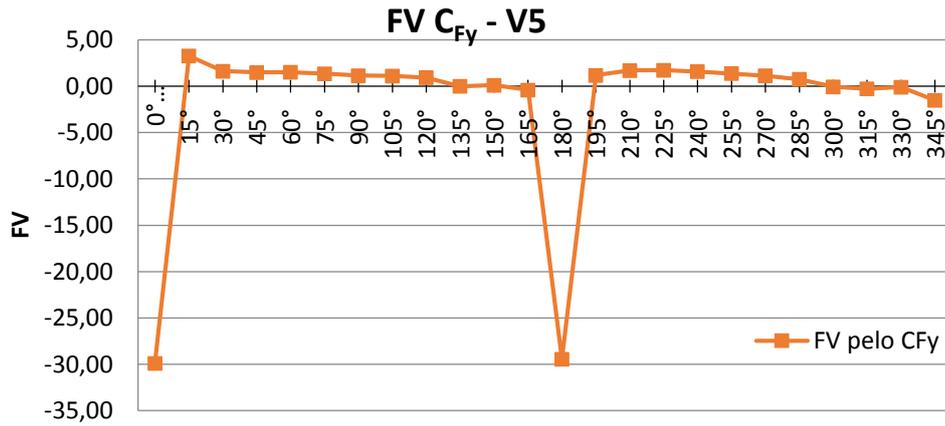


Figura 4.94 – a) Vizinhança V5; b) Vizinhança V6.



(a)



(b)

Figura 4.95 – FV calculados para a Vizinhança V5 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

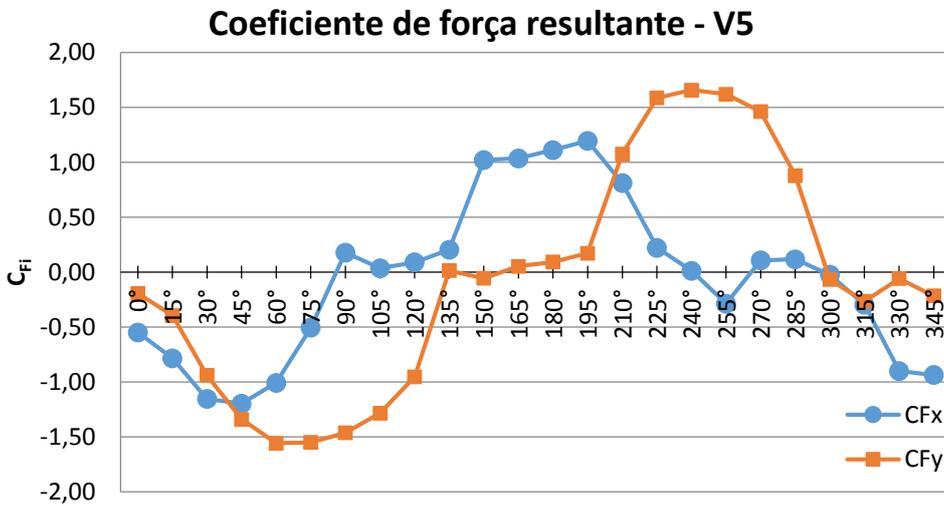
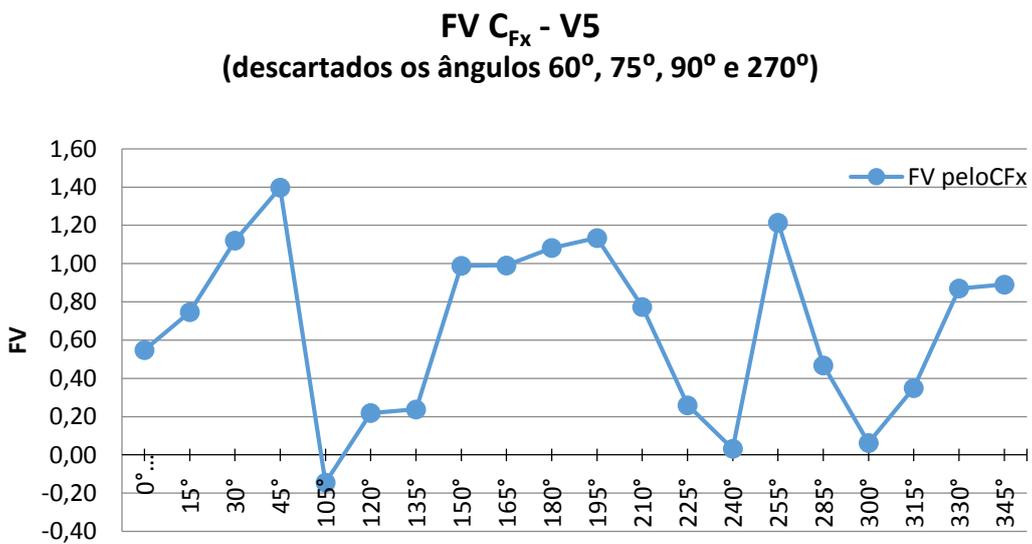
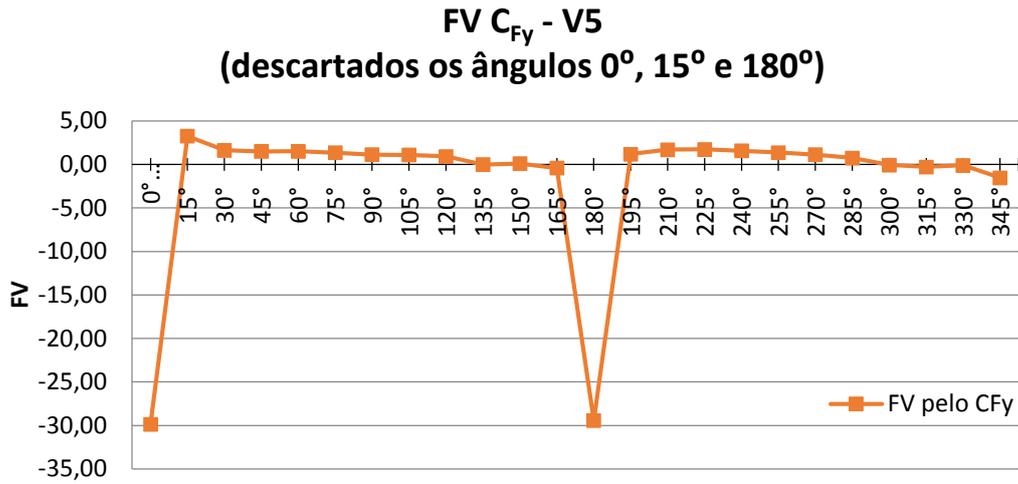


Figura 4.96 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V5.



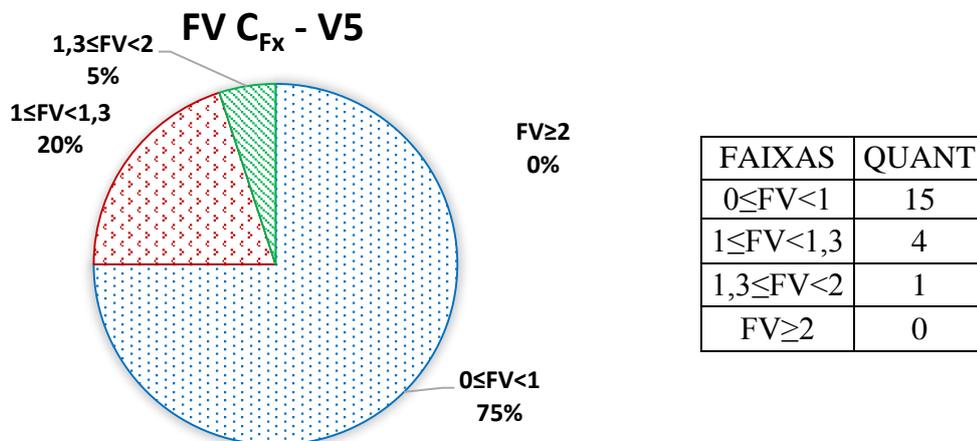
(a)



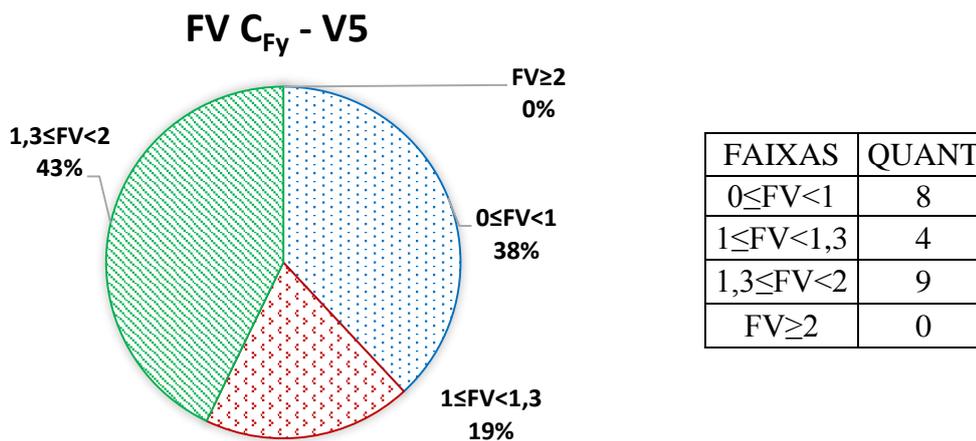
(b)

Figura 4.97 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V5 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a Vizinhança V5 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.98, na qual se observa que a grande maioria dos ângulos estudados e calculados pelo C_{Fx} , 75%, não requer qualquer majoração (FV na faixa entre 0 e 1). Porém, a maior parte calculada por C_{Fy} , 43%, requer majoração acima do valor estabelecido na norma brasileira (FV na faixa entre 1,3 e 2).



(a)

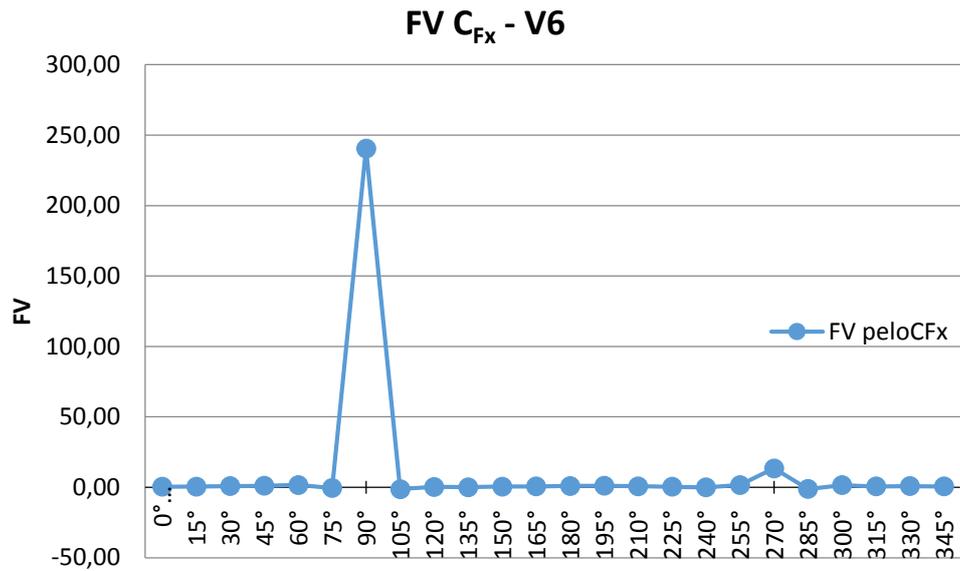


(b)

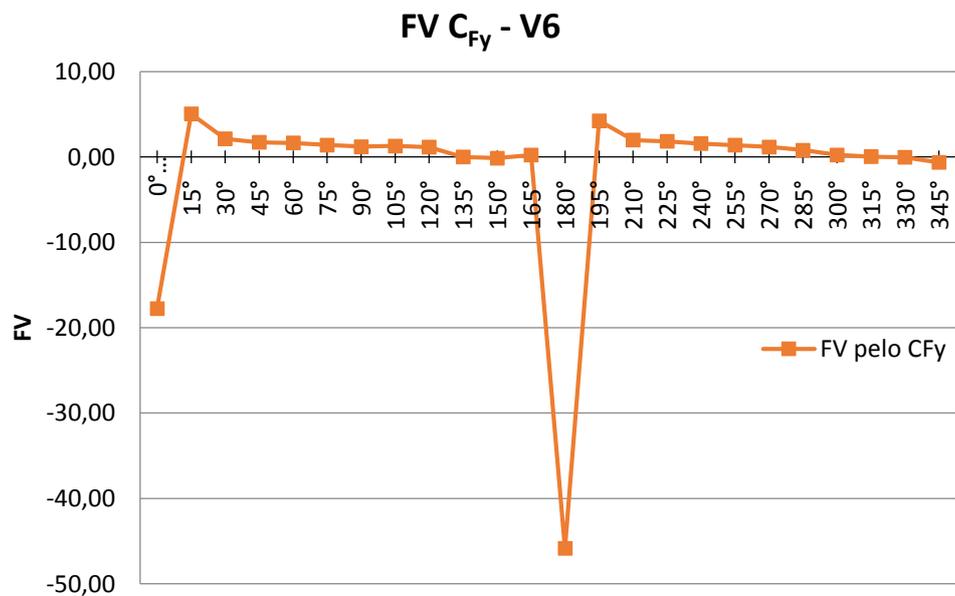
Figura 4.98 – FV calculado para a Vizinhança V5, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

4.5.6 – Resultados obtidos com a Vizinhança V6

Para a Vizinhança V6, Figura 4.94(b), tem valores de pico para os FV calculados a partir dos coeficientes de Força Resultante em x a 90^0 e a 270^0 , Figura 4.99(a). Já para aqueles calculados a partir de C_{Fy} os picos encontram-se nos ângulos de 0^0 , 15^0 , 30^0 , 180^0 , 195^0 , 210^0 e 225^0 , Figura 4.99(b). Porém, o gráfico dos respectivos C_{Fi} , em substituição ao gráfico da própria solicitação, Figura 4.100, correspondentes mostram que esses valores não estão fora da envoltória dos esforços o que denota que os valores discrepantes ocorreram porque os respectivos coeficientes aerodinâmicos do edifício isolado estão bem próximo de zero (respectivamente de C_{Fx} a $90^0=0,00144$ e C_{Fx} a $270^0=0,01$; para C_{Fy} a $0^0=0,01$; C_{Fy} a $15^0=-0,12$; C_{Fy} a $30^0=-0,58$; C_{Fy} a $180^0=-0,0031$; C_{Fy} a $195^0=0,15$; C_{Fy} a $210^0=0,64$ e C_{Fy} a $225^0=0,92$). Com isso, a divisão dos respectivos coeficientes da Vizinhança V6 por esses valores resultou em valores altos para o FV (240,49 a 90^0 e 13,38 a 270^0 para C_{Fx} ; e -17,74 a 0^0 ; 5,05 a 15^0 ; 2,13 a 30^0 ; -45,85 a 180^0 ; 4,25 a 195^0 ; 1,99 a 210^0 e 1,84 a 225^0 para C_{Fy}). Analisados os respectivos coeficientes de força em x e em y, Figura 4.100, pode-se inferir que esses valores de pico podem ser descartados por estarem na envoltória dos esforços a serem considerados em um cálculo estrutural. Os valores dos FV sem as situações de pico foram mostrados na Figura 4.101.



(a)



(b)

Figura 4.99 – FV calculados para a Vizinhança V6 pelos coeficientes: a) C_{F_x} ; b) C_{F_y} .

A distribuição dos coeficientes de força resultante para a Vizinhança V6 é mostrada na Figura 4.100.

Coeficiente de força resultante - V6

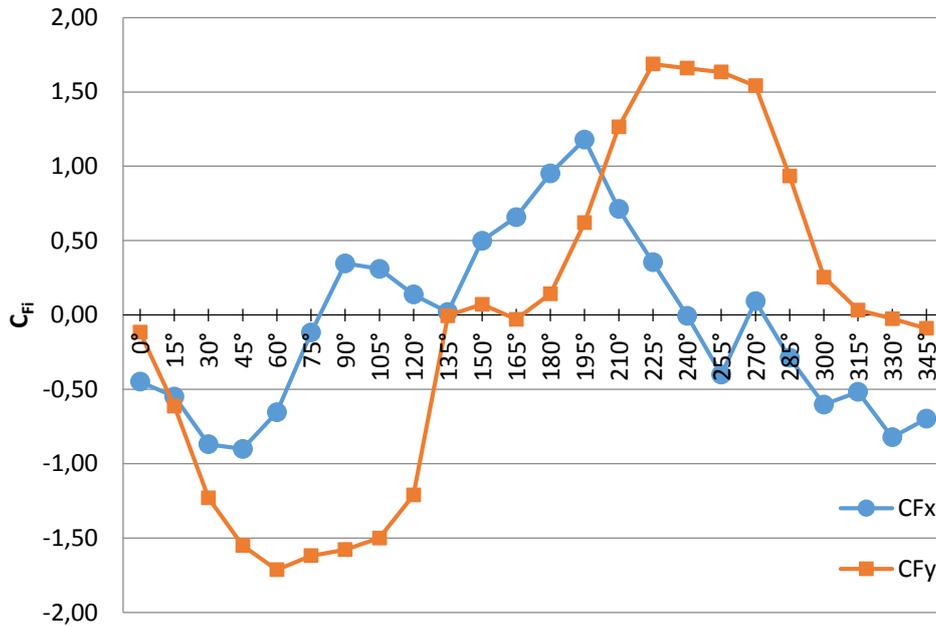
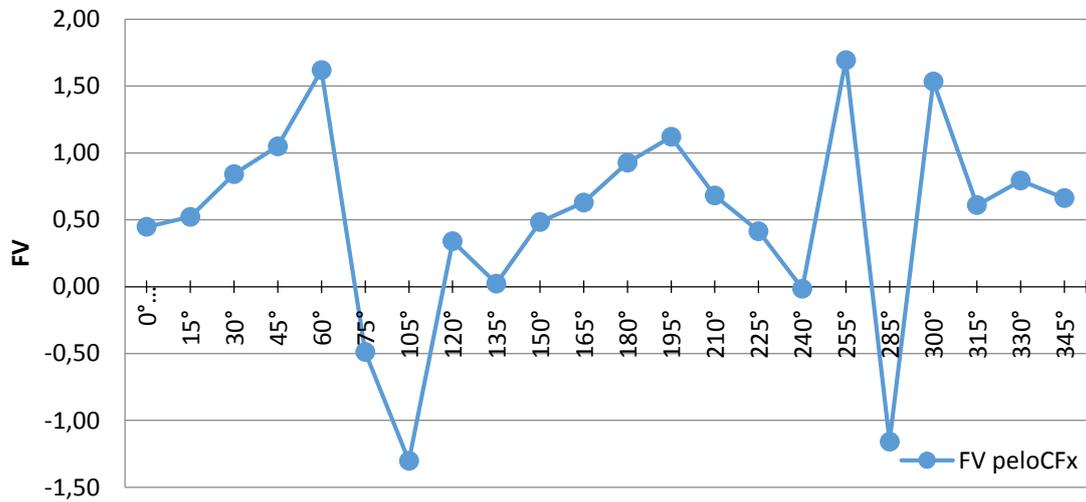
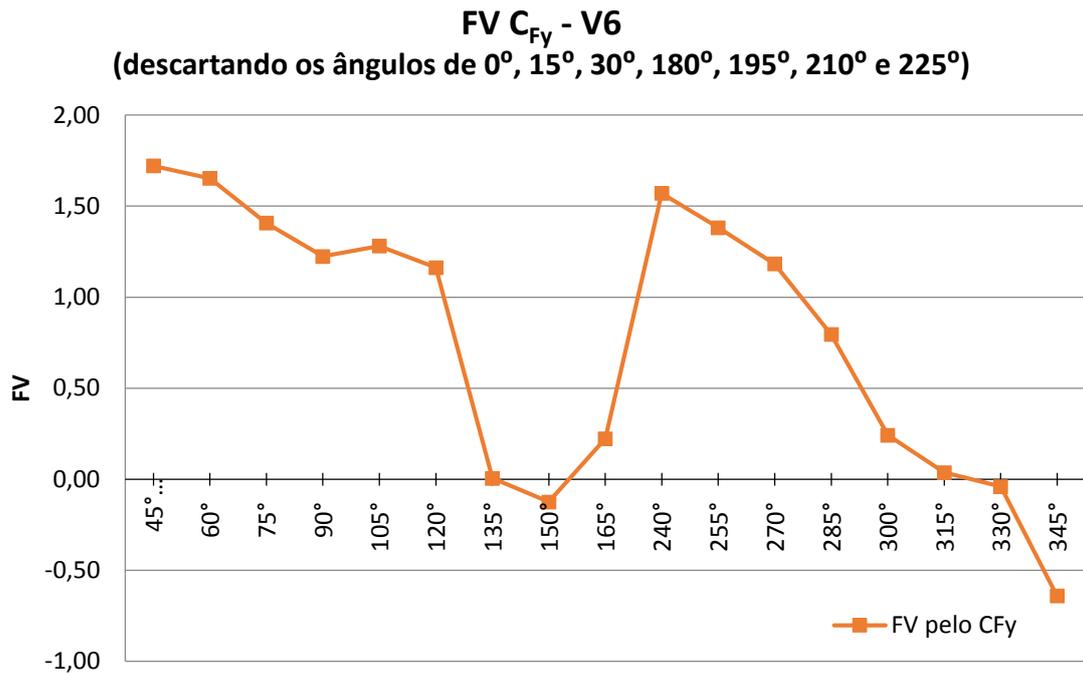


Figura 4.100 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V6.

FV C_{Fx} - V6 (descartando os ângulos de 90° e 270°)



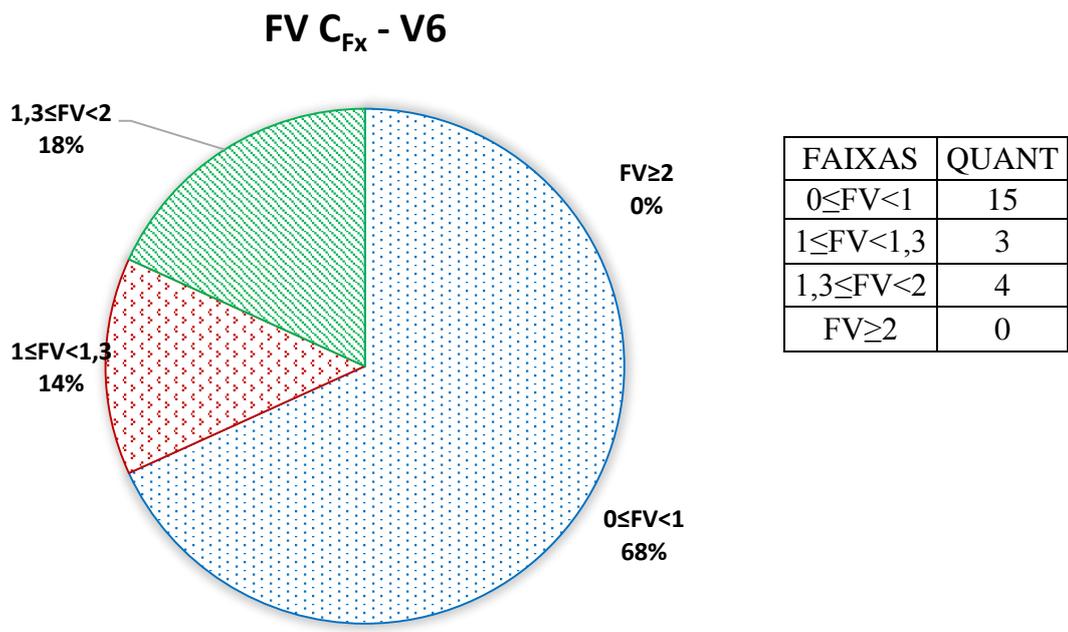
(a)



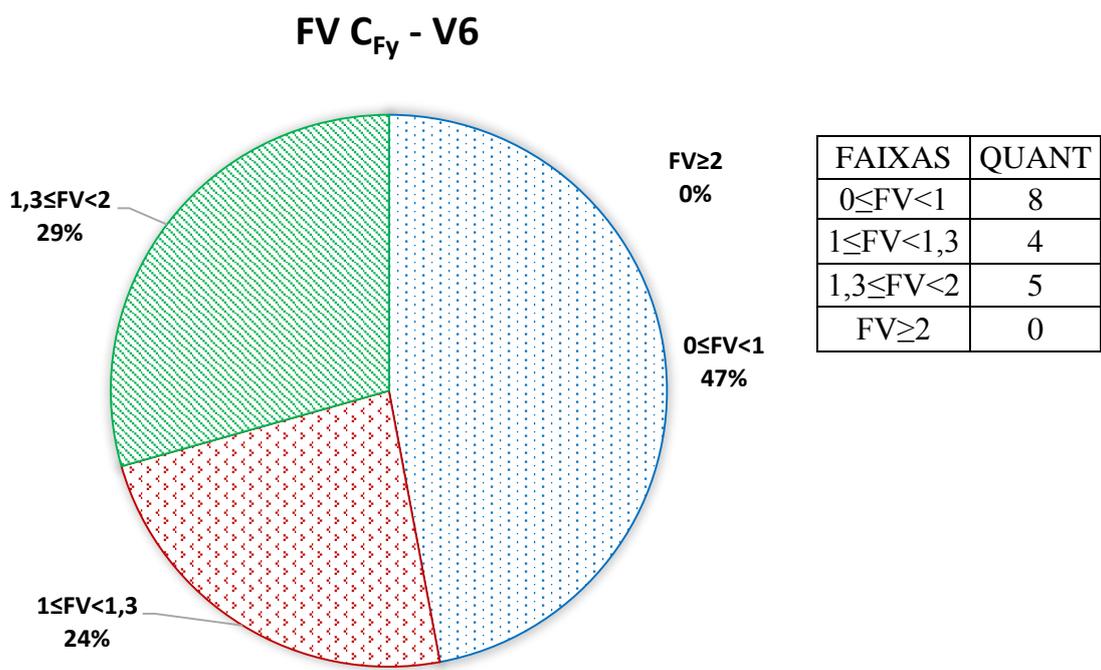
(b)

Figura 4.101 – FV, sem os valores de pico, para a Vizinhança V6 pelos coeficientes:
a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a Vizinhança V6 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.102, na qual se observa que a grande maioria dos ângulos estudados e calculados tanto pelo C_{Fx} quanto pelo C_{Fy} não requer qualquer majoração (FV na faixa entre 0 e 1). Mas ainda assim são encontrados ângulos que vão requerer majoração das cargas tanto para o valor estabelecido em norma (FV entre 1 e 1,3) quanto valores a maior (FV na faixa entre 1,3 e 2).



(a)



(b)

Figura 4.102 – FV calculados para a Vizinhança V6, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{F_x} ; b) C_{F_y}

4.5.7 – Resultados obtidos para a Vizinhança V7

Para a Vizinhança V7, Figura 4.103(a), tem valores de pico para os FV calculados a partir dos coeficientes de Força Resultante em x a 90° , 120° e a 270° , Figura 4.104(a). Já para aqueles calculados a partir de C_{Fy} os picos encontram-se nos ângulos de 0° e 180° , Figura 4.104(b). Porém, o gráfico dos respectivos C_{Fi} , em substituição ao gráfico da própria solicitação, Figura 4.105, correspondentes mostram que esses valores não estão fora da envoltória dos esforços o que denota que esses valores discrepantes ocorreram porque os respectivos coeficientes aerodinâmicos do edifício isolado estão bem próximo de zero (respectivamente de C_{Fx} a $90^\circ=0,00144$; C_{Fx} a $120^\circ=0,40$ e C_{Fx} a $270^\circ=0,01$; para C_{Fy} a $0^\circ=0,01$ e C_{Fy} a $180^\circ=-0,0031$). Com isso, a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V7 por esses valores induziu a valores altos no FV (56,58 a 90° ; 2,17 a 120° e -7,37 a 270° para C_{Fx} ; e 3,43 a 0° e -6,39 a 180° para C_{Fy}). Analisados os respectivos coeficientes de força em x e em y, Figura 4.105, pode-se inferir que esses valores de pico podem ser descartados por estarem na envoltória dos esforços a serem considerados em um cálculo estrutural. Os valores dos FV sem as situações de pico foram mostrados na Figura 4.106.

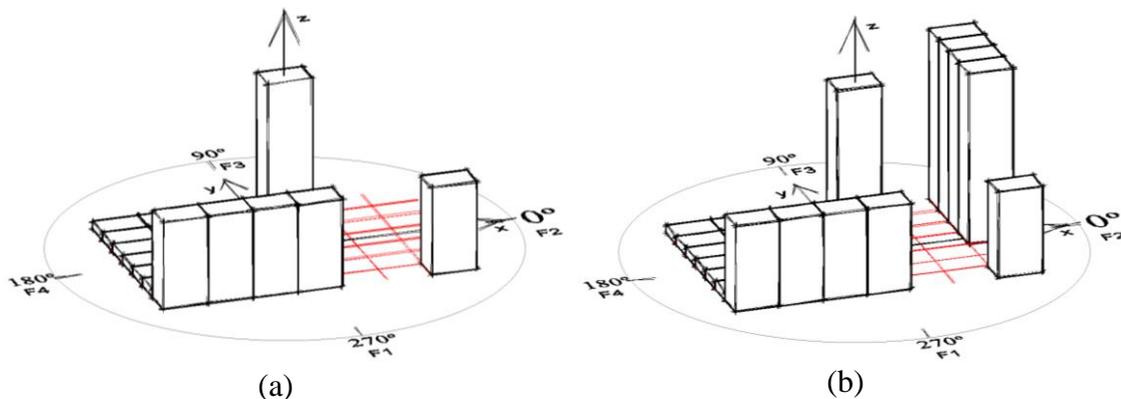
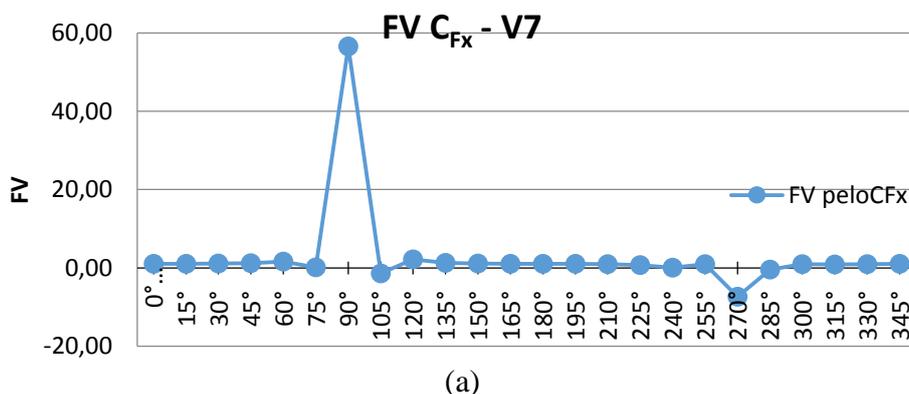
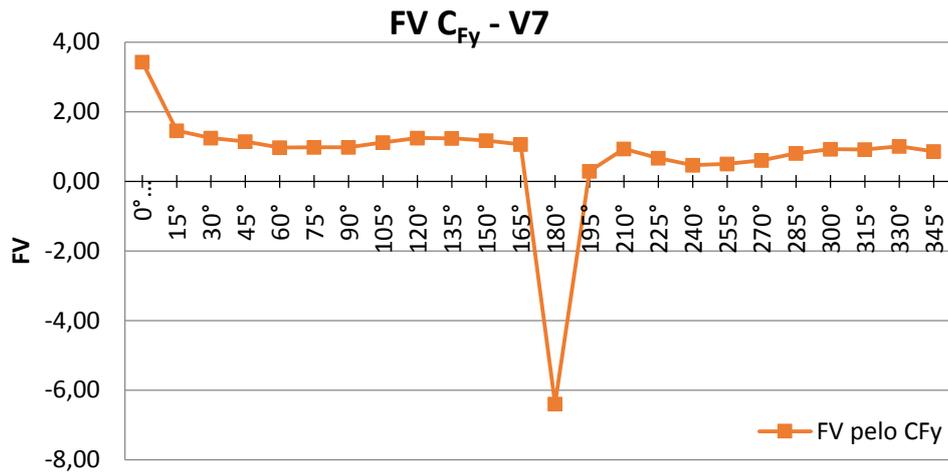


Figura 4.103 – a) Vizinhança V7; b) Vizinhança V8.



(a)



(b)

Figura 4.104 – FV calculados para a Vizinhança V7 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

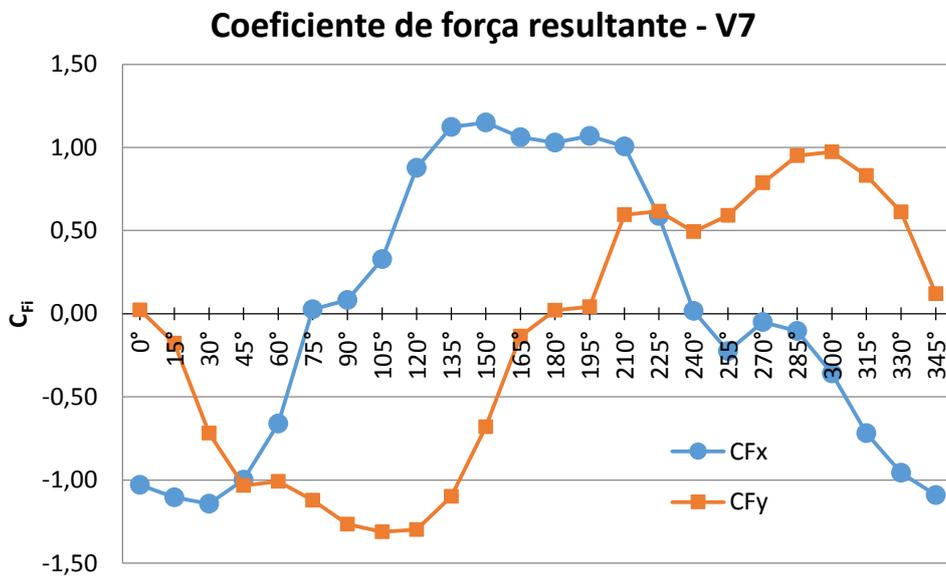
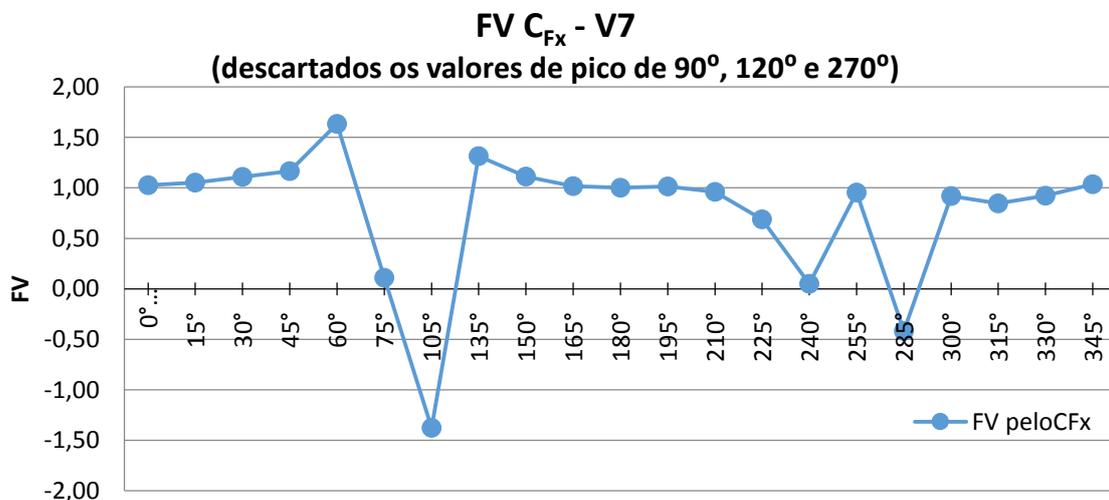
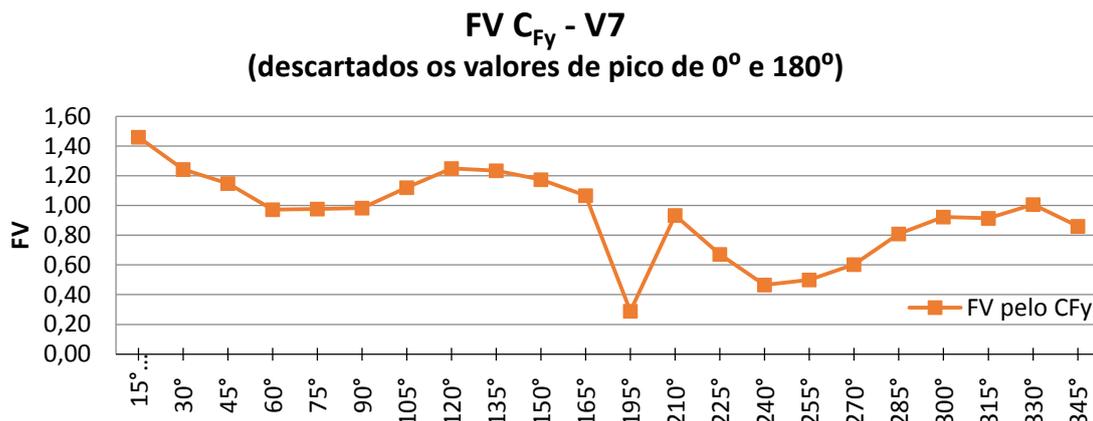


Figura 4.105 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V7.



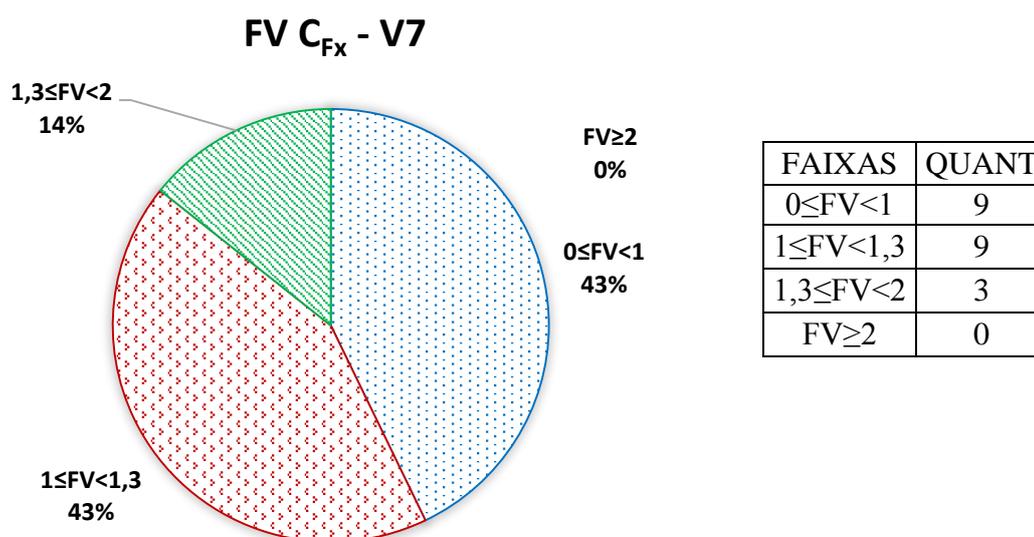
(a)



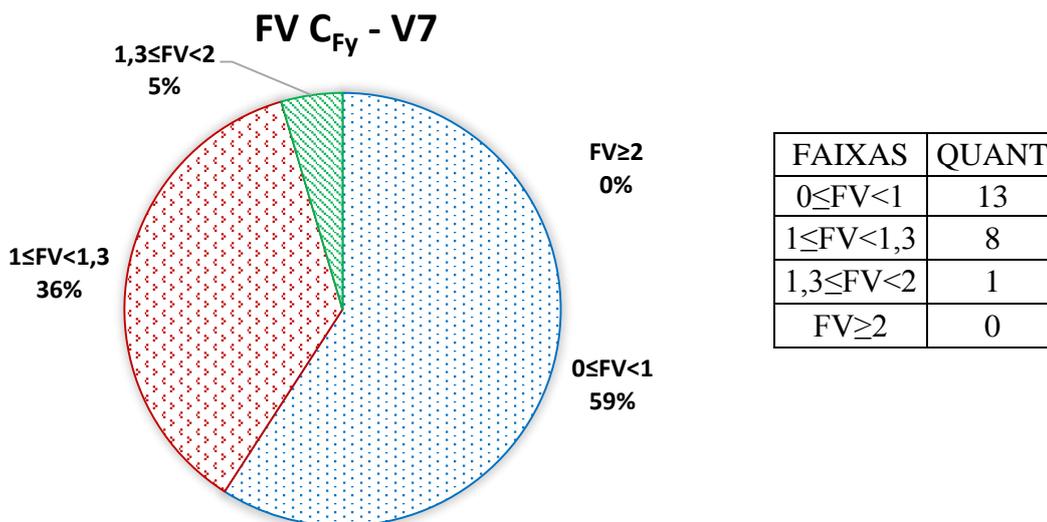
(b)

Figura 4.106 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V7 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a Vizinhança V7 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.107, na qual se observa, como a maioria dos casos anteriores, que a grande maioria dos ângulos estudados e calculados tanto pelo C_{Fx} quanto pelo C_{Fy} não requer qualquer majoração (FV na faixa entre 0 e 1), 43% e 59% respectivamente. Mas ainda assim ainda são encontrados uma grande parte dos dados calculados a partir do C_{Fy} , 36%, que terão o carregamento aumentado do valor estabelecido em norma (FV entre 1 e 1,3) e alguma parte cuja majoração supera esse valor, 14% por C_{Fx} e 5% por C_{Fy} .



(a)

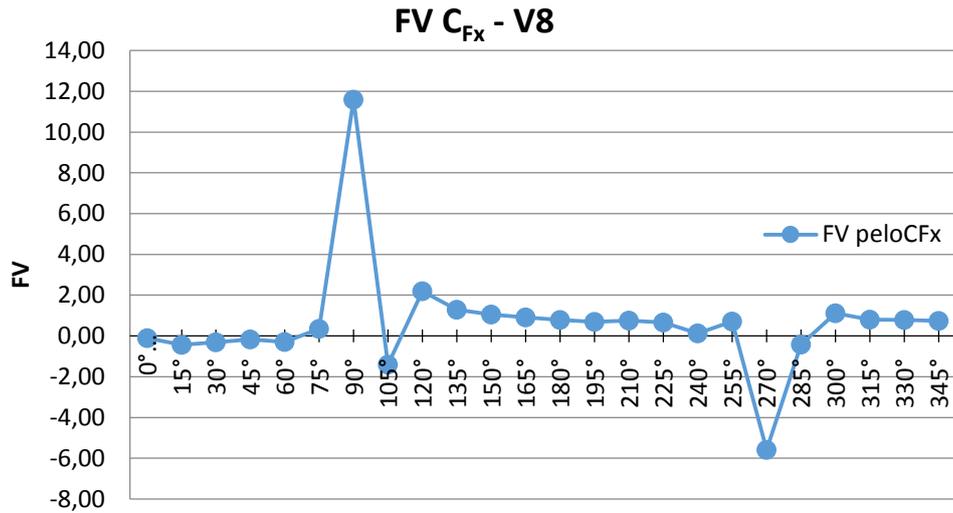


(b)

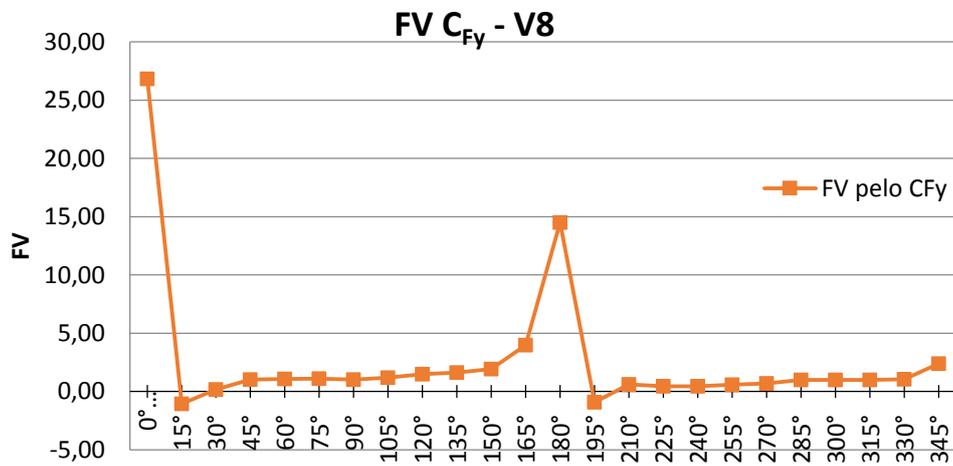
Figura 4.107 – FV calculados para a Vizinhança V7, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

4.5.8 – Resultados obtidos para a Vizinhança V8

Para a vizinhança V8, Figura 4.103(b), tem valores de pico para os FV calculados a partir dos coeficientes de Força Resultante em x a 90^0 , 120^0 e a 270^0 , Figura 4.108(a). Já para aqueles calculados a partir de C_{Fy} os picos encontram-se nos ângulos de 0^0 , 150^0 , 165^0 , 180^0 e 345^0 , Figura 4.108(b). Porém, o gráfico dos respectivos C_{Fi} , em substituição ao gráfico da própria solicitação, Figura 4.109, correspondentes mostram que esses valores não estão fora da envoltória dos esforços o que denota que os valores discrepantes ocorreram porque os respectivos coeficientes aerodinâmicos do edifício isolado estão bem próximo de zero (respectivamente de C_{Fx} a $90^0=0,00144$; C_{Fx} a $120^0=0,40$ e C_{Fx} a $270^0=0,01$; para C_{Fy} a $0^0=0,01$; C_{Fy} a $150^0=-0,58$; C_{Fy} a $165^0=-0,13$; C_{Fy} a $180^0=-0,0031$ e C_{Fy} a $345^0=0,14$). Com isso, a divisão dos respectivos coeficientes da vizinhança V8 por esses valores resultou em valores altos no FV (11,59 a 90^0 ; 2,19 a 120^0 e -5,58 a 270^0 para C_{Fx} ; e 26,83 a 0^0 ; 1,92 a 150^0 ; 3,98 a 165^0 ; 14,51 a 180^0 e 2,39 a 345^0 para C_{Fy}). Analisados os respectivos coeficientes de força em x e em y, Figura 4.109, pode-se inferir que esses valores de pico podem ser descartados por estarem na envoltória dos esforços a serem considerados em um cálculo estrutural. Os valores dos FV sem as situações de pico foram mostrados na Figura 4.110.



(a)



(b)

Figura 4.108 – FV calculados para a Vizinhança V8 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

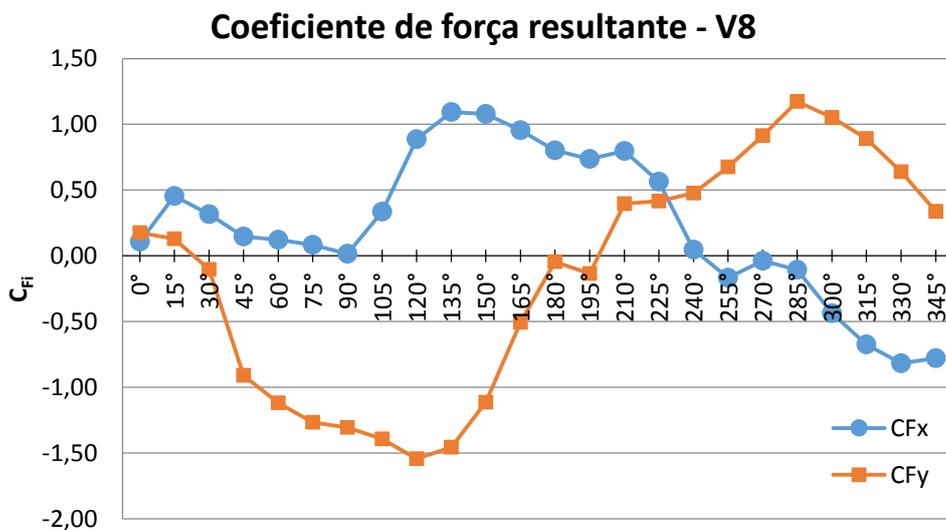
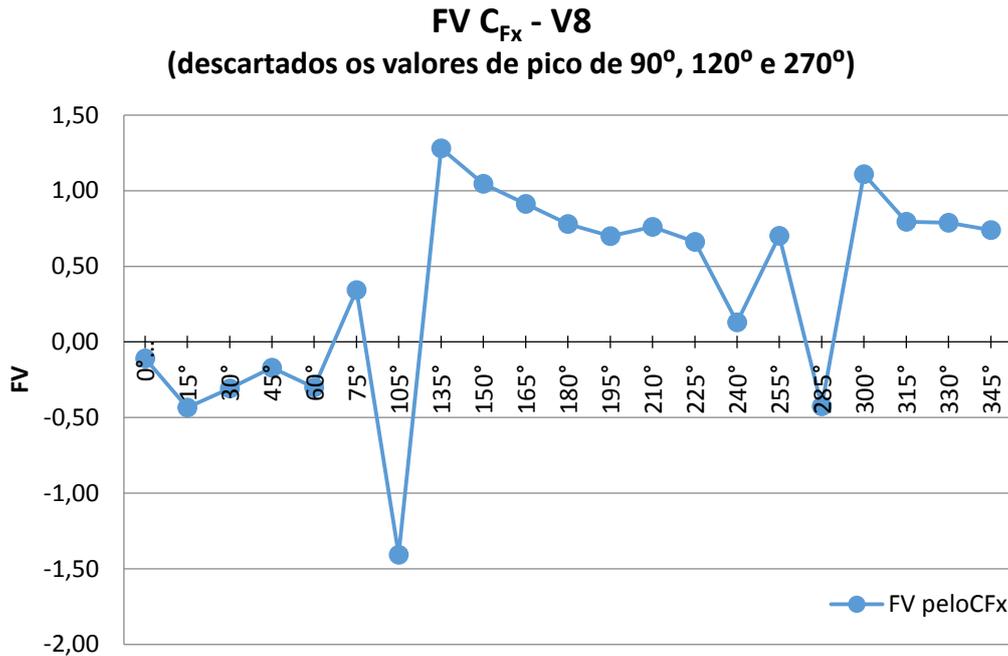
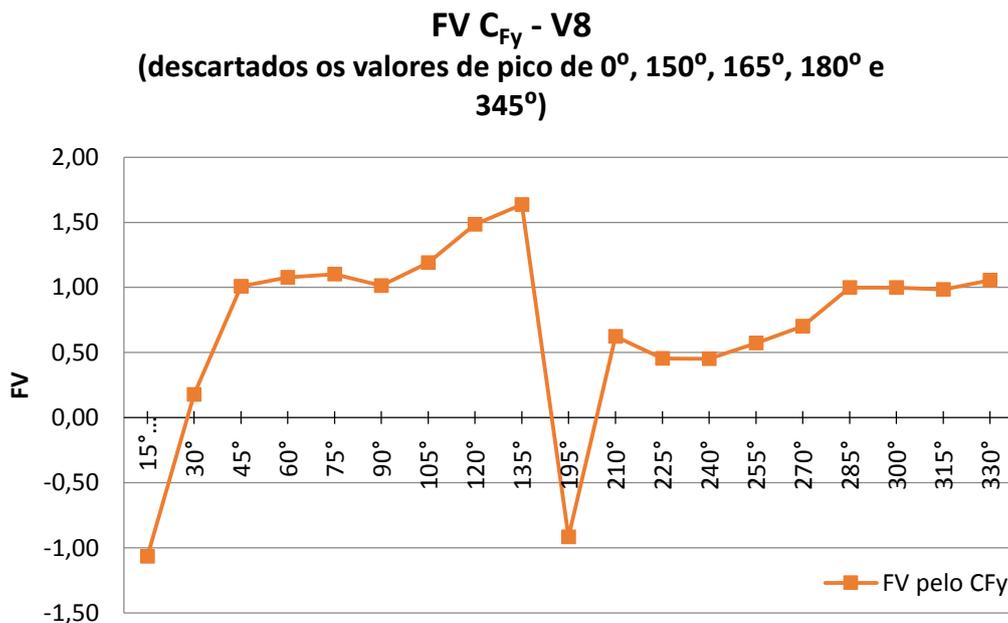


Figura 4.109 – Coeficiente de força resultante para a Vizinhança V8.



(a)



(b)

Figura 4.110 – FV, sem os valores de pico, calculados para a Vizinhança V8 pelos coeficientes: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

Em termos de quantidades dos dados experimentais para a Vizinhança V8 tem-se a distribuição mostrada na Figura 4.111 na qual observa-se que a grande maioria dos ângulos estudados e calculados pelo C_{Fx} não requer qualquer majoração, 81% dos ângulos estudados (FV na faixa entre 0 e 1) e uma pequena parcela dos dados, 5%, requerem majoração acima da norma (FV entre 1,3 e 2). Já no caso do FV calculado a partir de C_{Fy}

a maior parte dos dados solicita majoração porém esta dentro do valor estabelecido em norma (FV entre 1 e 1,3). Os dados que requerem majoração acima da média poderia ter seu valor de pico ignorado a partir da análise da envoltória dos esforços cujo valor estaria abaixo do valor máximo dessa.

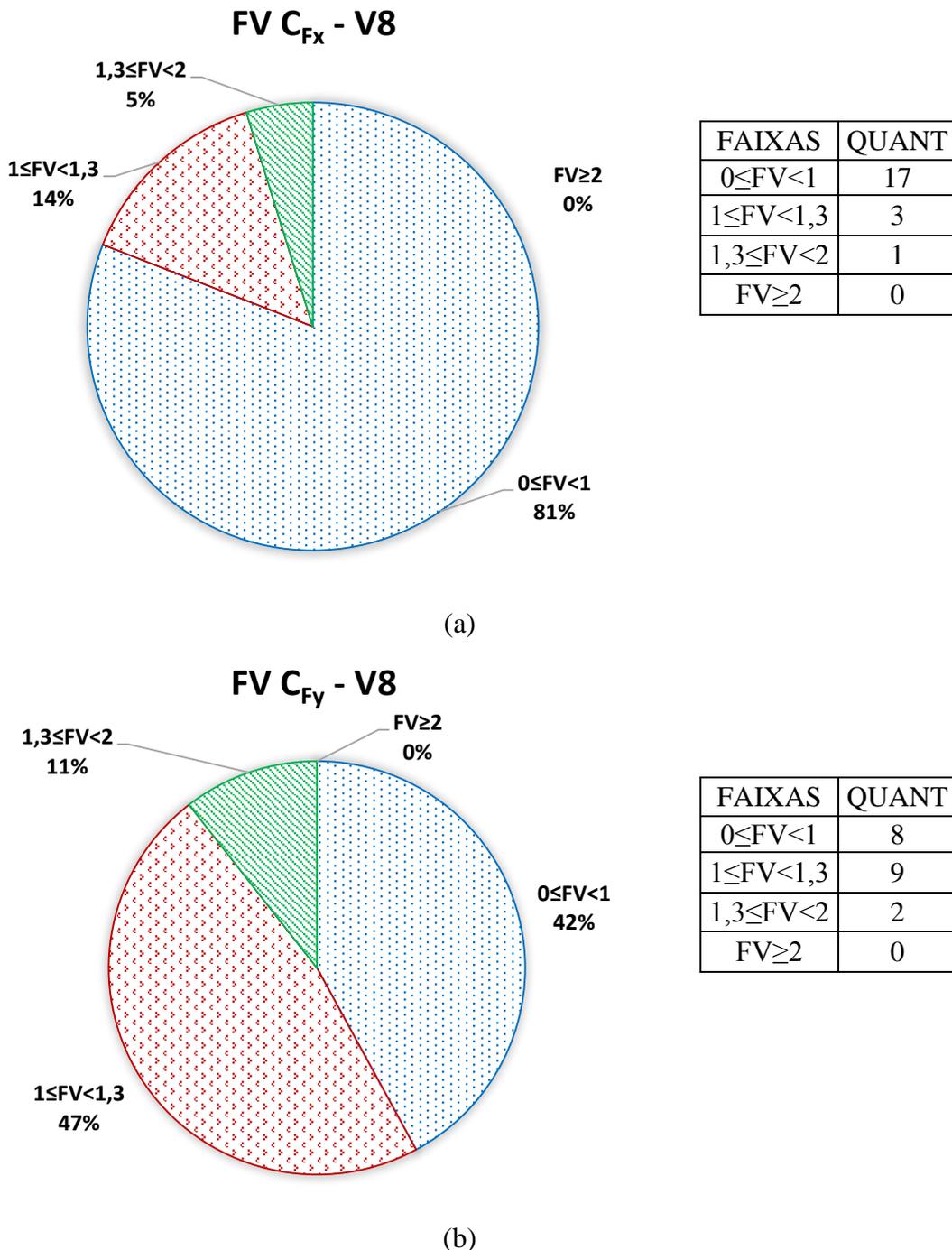
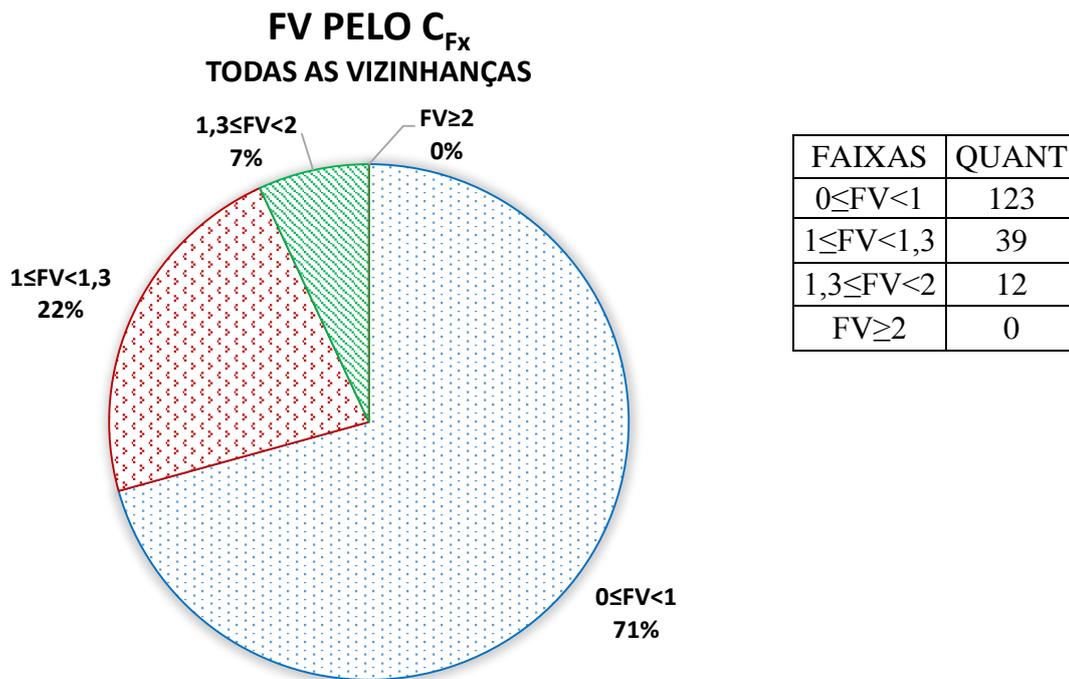


Figura 4.111 – FV calculados para a Vizinhança V8, em porcentagem, pelos coeficientes: a) C_{Fx}; b) C_{Fy}.

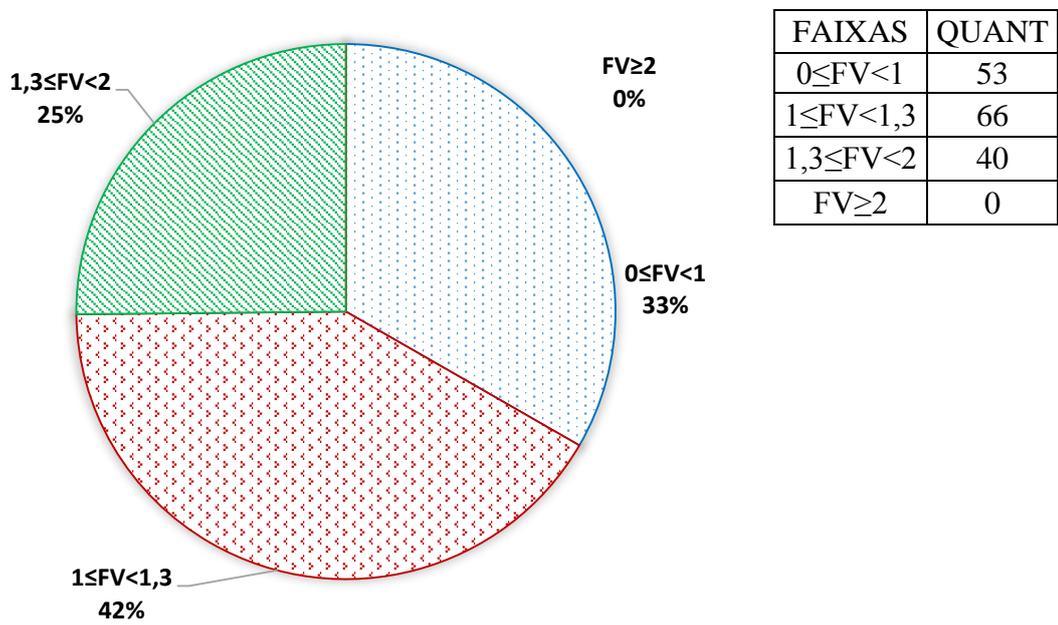
4.5.9 – Resultado do FV obtido pelo coeficiente de força resultante para todas as vizinhanças

Assim, um resultado global alcançado com a pesquisa mostra que para a maior parte dos ângulos de incidência do vento para todas as vizinhanças consideradas não é necessária a majoração das cargas tendo em vista o FV calculado pelo coeficiente de força resultante em relação ao eixo x (FV até 1,0). Já em relação ao eixo y tem-se a necessidade da majoração em 42% dos ângulos de incidência do vento. Porém, essa majoração, desconsiderados os valores de pico, estaria dentro do valor estabelecido na norma brasileira (FV na faixa de 1 a 1,3), Figura 4.112. Uma mínima parte estaria sendo majorada acima do valor estabelecido em norma, 7% para o FV calculado por C_{Fx} . Já no caso de C_{Fy} temos que um quarto dos valores deveria ser majorada acima deste valor.



(a)

FV PELO C_{Fy}
TODAS AS VIZINHANÇAS



(b)

Figura 4.112 – Resumos dos resultados dos FV calculados pelos coeficientes de força de todas as vizinhanças propostas, sem as situações de pico, calculados por: a) C_{Fx} ; b) C_{Fy} .

4.6 – CÁLCULO DO FATOR DE VIZINHANÇA, SEGUNDO ANEXO G DA NBR 6123/1988

Seguindo a NBR 6123/1988 no que dispõem sobre o FV a partir dos parâmetros geométricos do edifício isolado, Anexo G, tem-se as relações, mostradas nas equações e nos passos a seguir:

Passo 1: Encontrando o valor de s = afastamento entre os planos das faces confrontantes de duas edificações altas vizinhas, sendo axb as dimensões em planta das edificações axb entre $1x1$ e $4x1$ – como o CAARC tem a relação $1x1,5$, pôde ser adotado esse parâmetro.

Para cada vizinhança ensaiada, mostrada a seguir, é mostrado o valor de s adotado para as direções de 0° , 90° , 180° e 270° .

4.6.1 – Para a Vizinhança V1

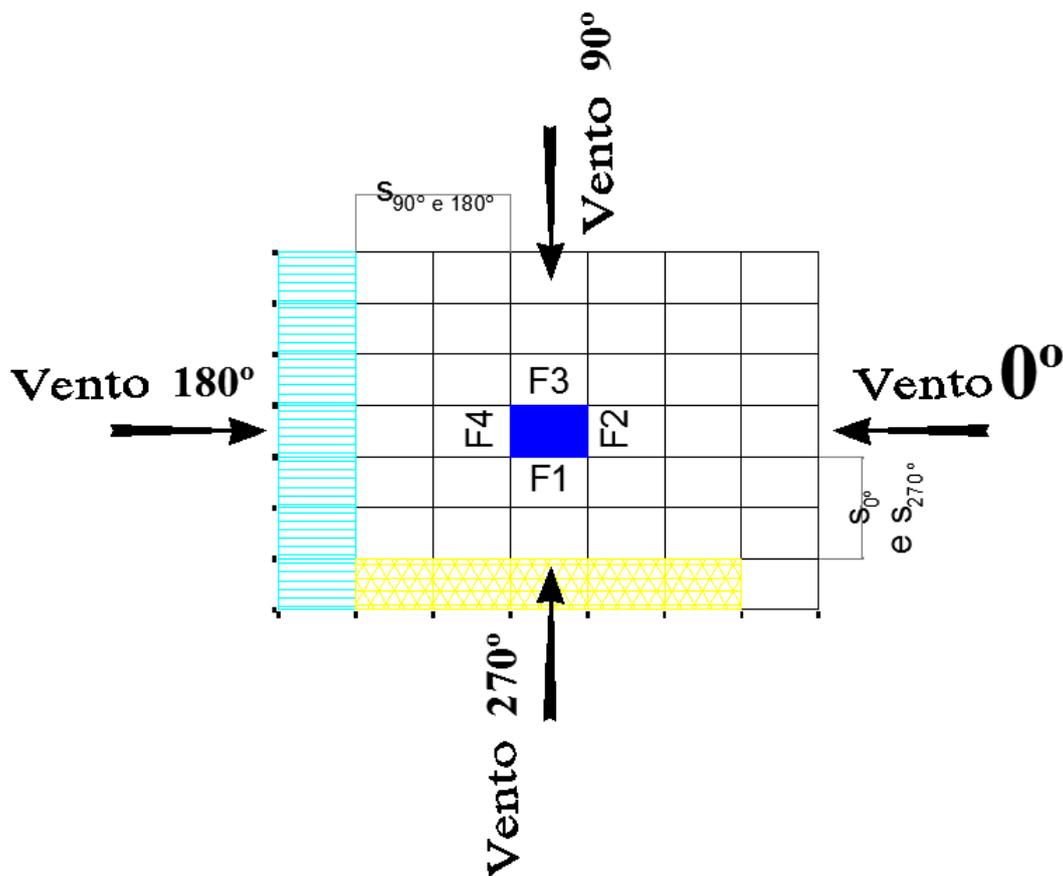


Figura 4.113 – Distância s para os ventos 0° , 90° , 180° e 270° na vizinhança V1.

4.6.2 – Vizinhança V2

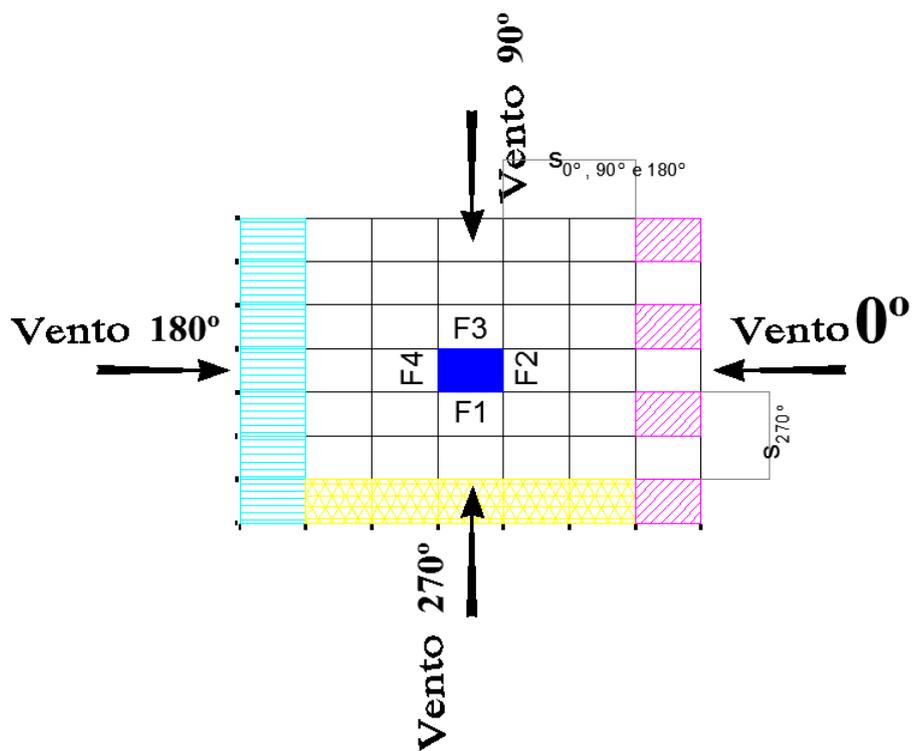


Figura 4.114 – Distância s para os ventos 0° , 90° , 180° e 270° na vizinhança V2.

4.6.3 – Vizinhança V3

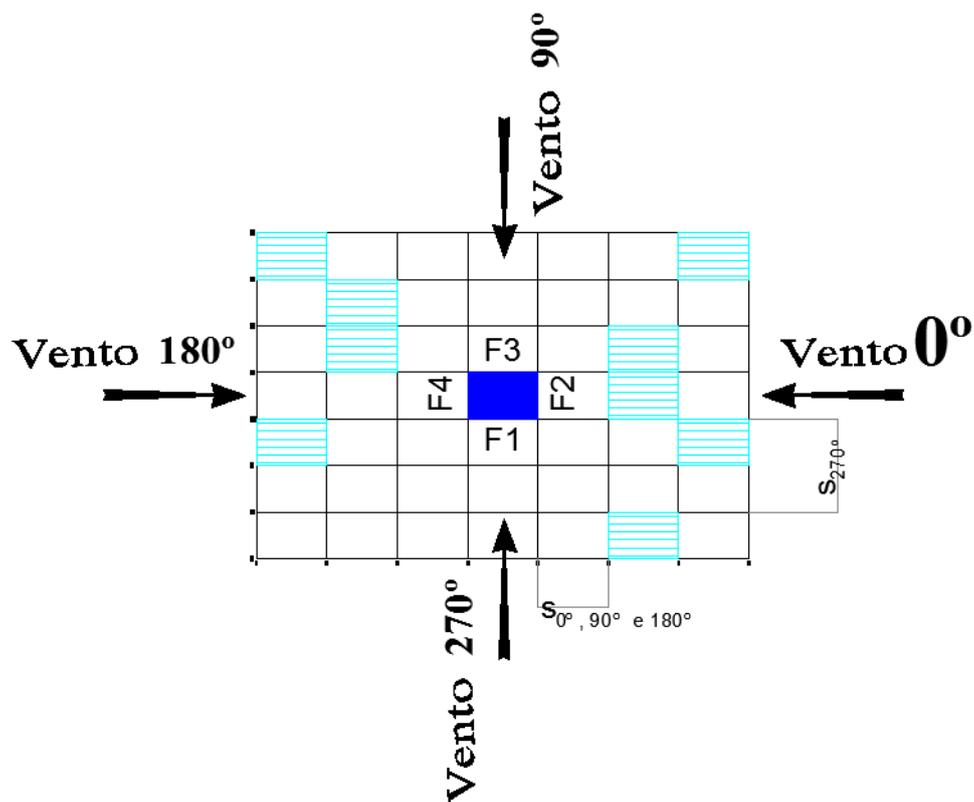


Figura 4.115 – Distância s para os ventos 0° , 90° , 180° e 270° na vizinhança V3.
 4.6.4 – Vizinhança V4

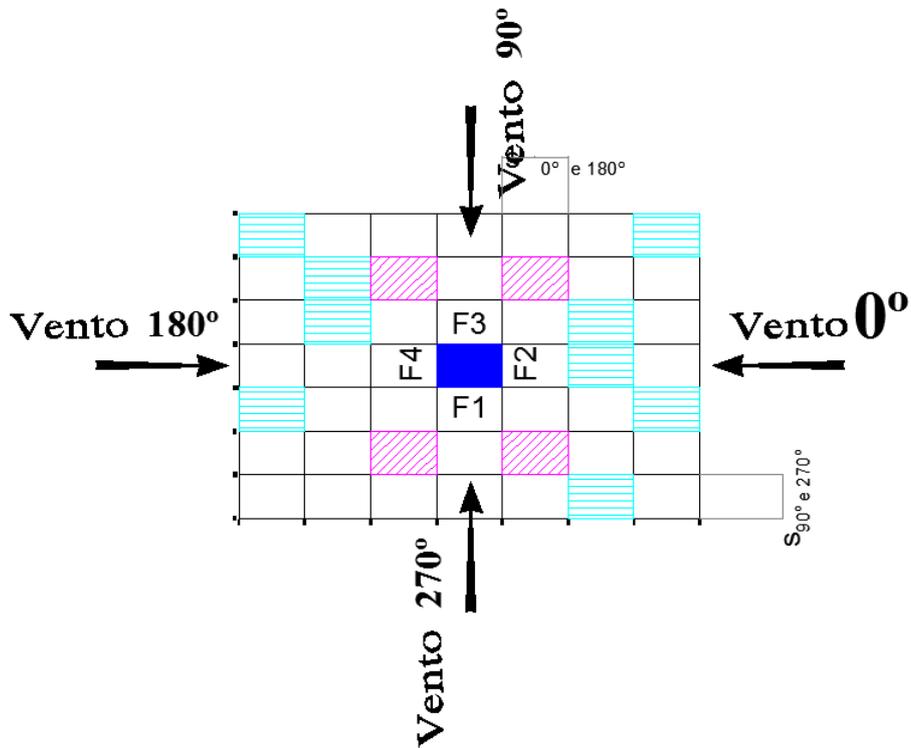
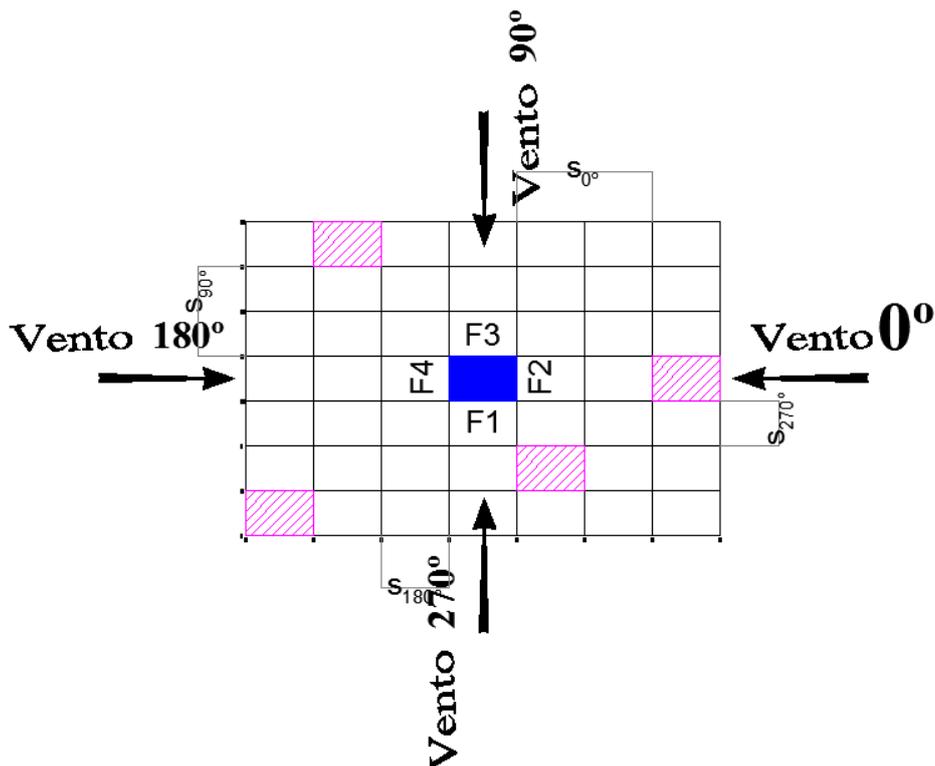


Figura 4.116 – Distância s para os ventos 0° , 90° , 180° e 270° na vizinhança V4.

4.6.5 – Vizinhança V5



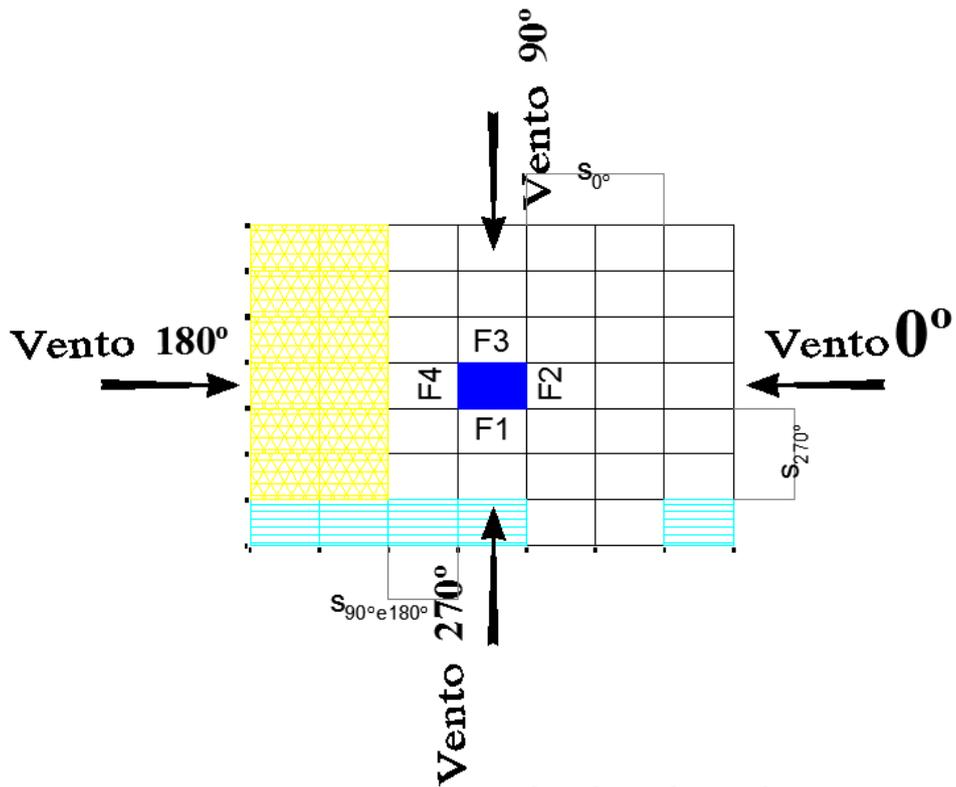


Figura 4.119 – Distância s para os ventos 0° , 90° , 180° e 270° na vizinhança V7.
4.6.8 – Vizinhança V8

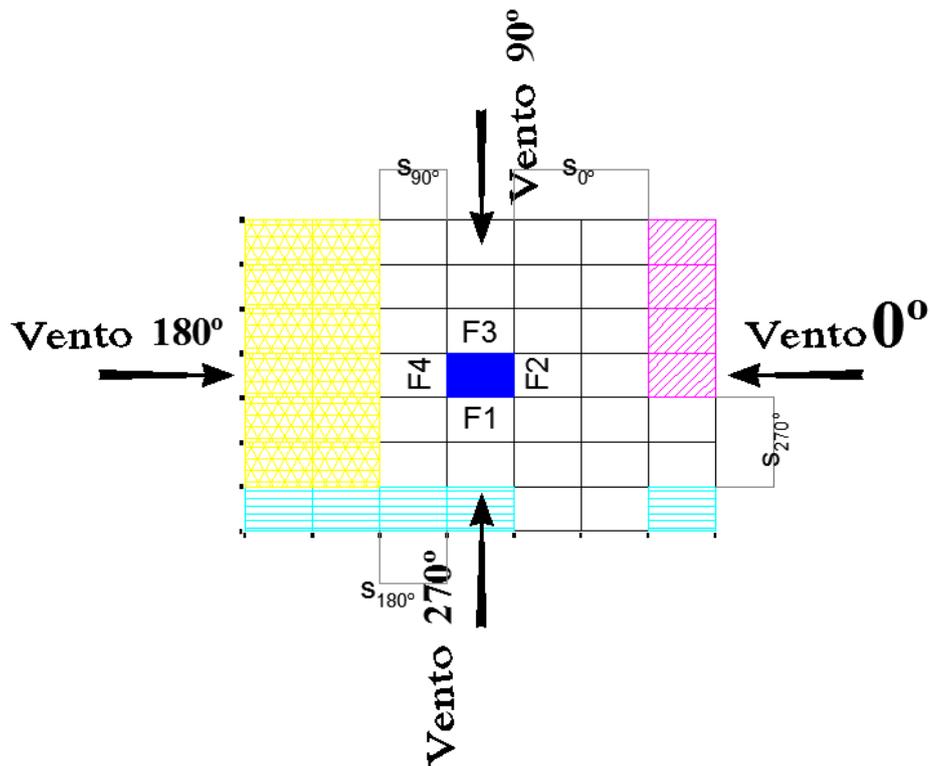


Figura 4.120 – Distância s para os ventos 0° , 90° , 180° e 270° na vizinhança V4E2.

Passo 2: Encontrando o valor de d a partir dos parâmetros geométricos do CAARC e da equação (4-2):

$$d^* = a \text{ menor das duas dimensões} \begin{cases} \text{lado menor } b; \\ \text{semidiagonal } \frac{1}{2}\sqrt{a^2 + b^2} \end{cases} \quad (4-2)$$

Sendo $b = 30,48m$ e a semidiagonal $\frac{1}{2}\sqrt{a^2 + b^2} = \frac{1}{2}\sqrt{45,72^2 + 30,48^2} \cong 27,47m$.

Assim, o menor desses dois valores faz:

$$\boxed{d^* = 27,47m}$$

Passo 3: Para cada uma das vizinhanças estabelecidas chega-se ao valor do parâmetro

$$\frac{s}{d^*} \quad (4-3)$$

O qual estabelecerá o FV para cada situação, através das relações da NBR 6123/1988 (p.58) expressas nas equações para coeficiente de arrasto, cujos resultados encontram-se na Tabela 4.3:

$$\text{para } c_a, c_e \text{ e } c_{pe} \text{ para paredes confrontantes} \begin{cases} \frac{s}{d^*} \leq 1,0 \rightarrow FV = 1,3 \\ \frac{s}{d^*} \geq 3,0 \rightarrow FV = 1,0 \end{cases} \quad (4-4)$$

$$\text{para } c_e \text{ e } c_{pe} \text{ para a cobertura} \begin{cases} \frac{s}{d^*} \leq 0,5 \rightarrow FV = 1,3 \\ \frac{s}{d^*} \geq 3,0 \rightarrow FV = 1,0 \end{cases} \quad (4-5)$$

Tabela 4.3 – Valores de s/d para cada vizinhança.

| | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 | V7 | V8 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| VENTO 0° | 2,22 | 3,33 | 1,66 | 1,66 | 3,33 | 1,66 | 3,33 | 3,33 |
| VENTO 90° | 3,33 | 3,33 | 1,66 | 1,11 | 2,22 | 1,66 | 1,66 | 1,66 |
| VENTO 180° | 3,33 | 3,33 | 1,66 | 1,66 | 1,66 | 1,66 | 1,66 | 1,66 |
| VENTO 270° | 2,22 | 2,22 | 2,22 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 2,22 | 2,22 |

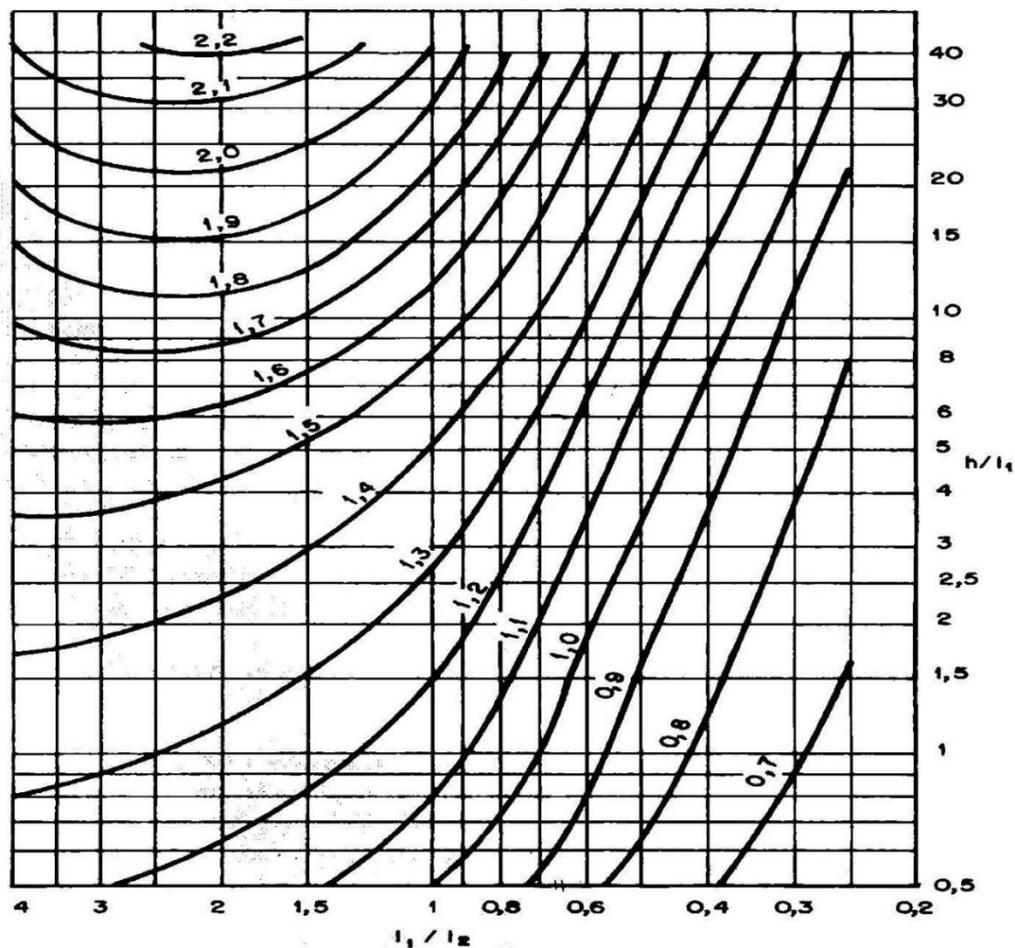
Para outros valores do parâmetro s/d fora da especificação da norma é sugerido fazer interpolação para encontrar outros fatores de vizinhança. Tais valores estão contrapostos com o especificado em norma na Tabela 4.4:

Tabela 4.4 – Valores interpolados do FV para s/d fora do valor da norma.

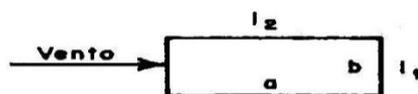
| s/d*≤1→FV=1,3 | s/d*≥3→FV=1,0 | s/d*→ deu um outro valor | |
|---------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------|
| | | Vizinhança | FV interpolado |
| Nenhuma das vizinhanças ensaiadas constaram s/d≤1 | V1 (0°) (s/d=3,33) | V1 (0°) (s/d=2,22) | 1,18 |
| | V5 (0°) (s/d=3,33) | V3 (0°) (s/d=1,66) | 1,10 |
| | V7 (0°) (s/d=3,33) | V4 (0°) (s/d=1,66) | 1,10 |
| | V8 (0°) (s/d=3,33) | V3 (90°) (s/d=1,66) | 1,10 |
| | V1 (90°) (s/d=3,33) | V4 (90°) (s/d=1,11) | 1,02 |
| | V2 (90°) (s/d=3,33) | V5 (90°) (s/d=2,22) | 1,08 |
| | V1(180°) (s/d=3,33) | V6 (90°) (s/d=1,66) | 1,10 |
| | V2 (180°) (s/d=3,33) | V7 (90°) (s/d=1,66) | 1,10 |
| | | V8 (90°) (s/d=1,66) | 1,10 |
| | | V3 (180°) (s/d=1,66) | 1,10 |
| | | V4 (180°) (s/d=1,66) | 1,10 |
| | | V5 (180°) (s/d=1,66) | 1,10 |
| | | V6 (180°) (s/d=1,66) | 1,10 |
| | | V7 (180°) (s/d=1,66) | 1,10 |
| | | V8 (180°) 1,66 | 1,10 |
| | | V1 (270°) (s/d=2,22) | 1,18 |
| | | V2 (270°) (s/d=2,22) | 1,18 |
| | | V3 (270°) (s/d=2,22) | 1,18 |
| | | V4 (270°) (s/d=1,11) | 1,02 |
| | | V5 (270°) (s/d=1,11) | 1,02 |
| | | V3E2 (270°) (s/d=1,11) | 1,02 |
| | | V7 (270°) (s/d=2,22) | 1,18 |
| | | V8 (270°) (s/d=2,22) | 1,18 |

4.7 – COMPARATIVO ENTRE AS EXCENRICIDADES CALCULADAS PELO ANEXO G DA NBR 6123/1988 E ENCONTRADAS NO TÚNEL DE VENTO

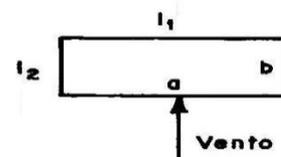
Seguindo a NBR 6123/1988 no coeficiente de arrasto, Figura 4.121, encontrado através dos parâmetros geométricos do edifício em estudo com duas inclinações de incidência do vento, a saber:



(a)



(b)



(c)

Figura 4.121 – Coeficiente de arrasto para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência (NBR 6123/1988, p.20).

Pela NBR 6123/1988 tem-se que:

- 1) Para edifícios sem vizinhança (denominada “malha base” nesse trabalho) a excentricidade é encontrada por (4-6) e (4-7),

$$e_{a_NBR} = 0,075a = 0,075.45,72 = 3,429m \quad (4-6)$$

$$e_{b_NBR} = 0,075b = 0,075.30,48 = 2,286m \quad (4-7)$$

- 2) Para edifícios com efeitos de vizinhança a excentricidade é encontrada por (4-8) e (4.9),

$$e_{a_NBR} = 0,15a = 0,15.45,72 = 6,858m \quad (4-8)$$

$$e_{b_NBR} = 0,15b = 0,15.30,48 = 4,572m \quad (4-9)$$

Passo 1: Para vento incidente na menor dimensão, Figura 4.121(b).

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{30,48}{45,72} = 0,67 \quad (4-10)$$

$$\frac{h}{l_1} = \frac{182,88}{30,48} = 6 \quad (4-11)$$

A partir dessas relações e da Figura 4.121(a) chegamos a (4-12).

$$Ca = 1,25 \quad (4-12)$$

Agora, o valor é da excentricidade experimental pode ser obtida pela equação (4-13):

$$e_{a_experimental} = \frac{M_{t_experimental}}{Fa_experimental} \quad (4-13)$$

Isso é feito para cada um dos vinte e quatro ângulos de incidência do vento ensaiados. No entanto,

$$e_{a_experimental} = \frac{M_{t_experimental}}{Fa_experimental} = \frac{c_t \cdot q \cdot a \cdot A}{c_a \cdot q \cdot A} = \frac{c_t \cdot a}{c_a} = \frac{45,72c_t}{1,25} = 30,92c_t \quad (4-14)$$

Implementando a equação (4-10) com os dados provenientes dos ensaios experimentais, encontram-se as excentricidades do túnel na direção a do CAARC, Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Excentricidade experimental da direção a , em metros.

| e_a_experimental | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ângulos [°] | Edifício Isolado | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 | V7 | V8 | V9 |
| 0 | 0,00 | -0,37 | 0,00 | 0,73 | 0,37 | -2,19 | -3,29 | -0,37 | -0,73 | -0,37 |
| 15 | 4,39 | 2,93 | -0,37 | 0,73 | 1,83 | 2,19 | -1,10 | 4,02 | -1,10 | -0,73 |
| 30 | -0,37 | -1,10 | -1,83 | -1,83 | 1,83 | -1,46 | -2,56 | 0,00 | 0,00 | 0,73 |
| 45 | -2,56 | -2,93 | 0,00 | -4,02 | 4,02 | -2,93 | -3,66 | -2,19 | -2,93 | -2,56 |
| 60 | -4,02 | -4,02 | -5,49 | -4,75 | 2,56 | -4,02 | -5,12 | -3,29 | -4,75 | -4,02 |
| 75 | -3,29 | -2,56 | -4,39 | -2,56 | 1,46 | -4,39 | -4,39 | -2,93 | -3,41 | -1,83 |
| 90 | 0,01 | 0,37 | -0,10 | -0,37 | -1,46 | -2,19 | -1,83 | 1,10 | -1,83 | 0,73 |
| 105 | 2,93 | 2,93 | 2,19 | 1,83 | -3,29 | 0,00 | -0,73 | 3,66 | 0,00 | 3,29 |
| 120 | 4,02 | 4,39 | 4,39 | 4,39 | -4,02 | -2,19 | -2,19 | 3,66 | 0,73 | 4,02 |
| 135 | 2,56 | 3,66 | 4,02 | 3,66 | -4,39 | -0,37 | -0,73 | 2,56 | 1,83 | 2,93 |
| 150 | 0,00 | 0,73 | 2,19 | 1,10 | -1,83 | -4,02 | -0,37 | -0,37 | 1,46 | 1,83 |
| 165 | -4,39 | -2,56 | -2,56 | -1,46 | -1,10 | -3,29 | -1,46 | -4,02 | -1,46 | -2,19 |
| 180 | 0,07 | -0,03 | -0,01 | 1,26 | 1,09 | 3,56 | 2,38 | 0,33 | 0,01 | -0,90 |
| 195 | 4,75 | 2,93 | 2,93 | 2,19 | 3,66 | 4,39 | 1,46 | 4,75 | 2,93 | 4,02 |
| 210 | 0,37 | -0,37 | -2,19 | -1,46 | 3,29 | -0,37 | -1,46 | 0,37 | -0,37 | 0,37 |
| 225 | -2,19 | -3,29 | -3,66 | -2,93 | 2,19 | -4,39 | -5,85 | -1,83 | -1,83 | -1,46 |
| 240 | -3,66 | -4,39 | -4,02 | -4,02 | 3,29 | -5,12 | -6,22 | -2,56 | -2,19 | -2,19 |
| 255 | -2,93 | -2,56 | -1,83 | -3,66 | 2,19 | -4,02 | -4,75 | -1,10 | -2,19 | -1,46 |
| 270 | 0,01 | 0,00 | 0,37 | 0,37 | -0,73 | -3,29 | -2,93 | 0,00 | -1,46 | 0,73 |
| 285 | 2,93 | 2,93 | 4,39 | 2,56 | -2,19 | -6,58 | -5,49 | 3,66 | 2,56 | 5,85 |
| 300 | 3,66 | 4,02 | 5,12 | 2,56 | -2,93 | -2,56 | -4,39 | 5,12 | 2,56 | 5,12 |
| 315 | 2,19 | 2,56 | 2,19 | 1,46 | -1,83 | 0,73 | -2,56 | 3,66 | 2,19 | 2,56 |
| 330 | -0,37 | 0,73 | 2,19 | -0,37 | -2,56 | -1,10 | -2,56 | 1,10 | 0,73 | 0,37 |
| 345 | -4,75 | -3,29 | 0,73 | -1,83 | -3,66 | -5,12 | -5,49 | -4,75 | -1,46 | -2,19 |
| eNBR direção "a" [m] | 3,43 | 6,858 | | | | | | | | |

Passo 2: Para vento incidente perpendicularmente à maior face do edifício em estudo, Figura 4.120(c).

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{45,72}{30,48} = 1,5 \quad (4-15)$$

$$\frac{h}{l_1} = \frac{182,88}{45,72} = 4 \quad (4-16)$$

A partir dessas relações e da Figura 4.121(a) chegamos a (4-17).

$$Ca = 1,45 \quad (4-17)$$

Da mesma forma que o item anterior, o valor da excentricidade experimental pode ser obtida pela equação (4-18):

$$e_{b_experimental} = \frac{M_{t_experimental}}{Fa_experimental} \quad (4-18)$$

Feito isso para cada um dos vinte e quatro ângulos de incidência do vento ensaiados. Mas

$$e_{b_experimental} = \frac{M_{t_experimental}}{Fa_experimental} = \frac{c_t \cdot q \cdot b \cdot A}{c_a \cdot q \cdot A} = \frac{c_t \cdot b}{c_a} = \frac{30,48c_t}{1,45} = 21,02c_t \quad (4-19)$$

Implementando a equação (4-19) com os dados provenientes dos ensaios experimentais, encontram-se as excentricidades do túnel na direção *a* do CAARC, Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Excentricidade experimental na direção *b*.

| ÂNGULOS [°] | MALHA BASE | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 | V7 | V8 |
|----------------------|-------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,00 | -0,21 | 0,00 | 0,42 | 0,21 | -1,26 | -1,89 | -0,21 | -0,42 |
| 15 | 2,52 | 1,68 | -0,21 | 0,42 | 1,05 | 1,26 | -0,63 | 2,31 | -0,63 |
| 30 | -0,21 | -0,63 | -1,05 | -1,05 | 1,05 | -0,84 | -1,47 | 0,00 | 0,00 |
| 45 | -1,47 | -1,68 | 0,00 | -2,31 | 2,31 | -1,68 | -2,10 | -1,26 | -1,68 |
| 60 | -2,31 | -2,31 | -3,15 | -2,73 | 1,47 | -2,31 | -2,94 | -1,89 | -2,73 |
| 75 | -1,89 | -1,47 | -2,52 | -1,47 | 0,84 | -2,52 | -2,52 | -1,68 | -1,96 |
| 90 | 0,01 | 0,21 | -0,06 | -0,21 | -0,84 | -1,26 | -1,05 | 0,63 | -1,05 |
| 105 | 1,68 | 1,68 | 1,26 | 1,05 | -1,89 | 0,00 | -0,42 | 2,10 | 0,00 |
| 120 | 2,31 | 2,52 | 2,52 | 2,52 | -2,31 | -1,26 | -1,26 | 2,10 | 0,42 |
| 135 | 1,47 | 2,10 | 2,31 | 2,10 | -2,52 | -0,21 | -0,42 | 1,47 | 1,05 |
| 150 | 0,00 | 0,42 | 1,26 | 0,63 | -1,05 | -2,31 | -0,21 | -0,21 | 0,84 |
| 165 | -2,52 | -1,47 | -1,47 | -0,84 | -0,63 | -1,89 | -0,84 | -2,31 | -0,84 |
| 180 | 0,04 | -0,02 | 0,00 | 0,73 | 0,63 | 2,05 | 1,37 | 0,19 | 0,01 |
| 195 | 2,73 | 1,68 | 1,68 | 1,26 | 2,10 | 2,52 | 0,84 | 2,73 | 1,68 |
| 210 | 0,21 | -0,21 | -1,26 | -0,84 | 1,89 | -0,21 | -0,84 | 0,21 | -0,21 |
| 225 | -1,26 | -1,89 | -2,10 | -1,68 | 1,26 | -2,52 | -3,36 | -1,05 | -1,05 |
| 240 | -2,10 | -2,52 | -2,31 | -2,31 | 1,89 | -2,94 | -3,57 | -1,47 | -1,26 |
| 255 | -1,68 | -1,47 | -1,05 | -2,10 | 1,26 | -2,31 | -2,73 | -0,63 | -1,26 |
| 270 | 0,00 | 0,00 | 0,21 | 0,21 | -0,42 | -1,89 | -1,68 | 0,00 | -0,84 |
| 285 | 1,68 | 1,68 | 2,52 | 1,47 | -1,26 | -3,78 | -3,15 | 2,10 | 1,47 |
| 300 | 2,10 | 2,31 | 2,94 | 1,47 | -1,68 | -1,47 | -2,52 | 2,94 | 1,47 |
| 315 | 1,26 | 1,47 | 1,26 | 0,84 | -1,05 | 0,42 | -1,47 | 2,10 | 1,26 |
| 330 | -0,21 | 0,42 | 1,26 | -0,21 | -1,47 | -0,63 | -1,47 | 0,63 | 0,42 |
| 345 | -2,73 | -1,89 | 0,42 | -1,05 | -2,10 | -2,94 | -3,15 | -2,73 | -0,84 |
| eNBR direção "a" [m] | 2,29 | 4,572 | | | | | | | |

Comparando os resultados das excentricidades calculada pela norma NBR6123/1988 e aqueles calculados a partir dos dados experimentais (Tabelas 4.5 e 4.6) tem-se, graficamente, as Figuras 4.122 a 4.131.

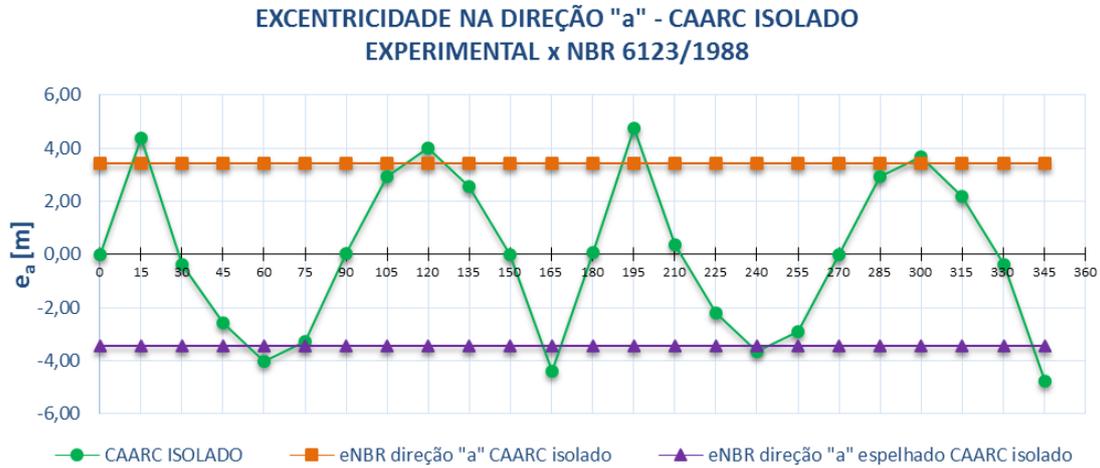
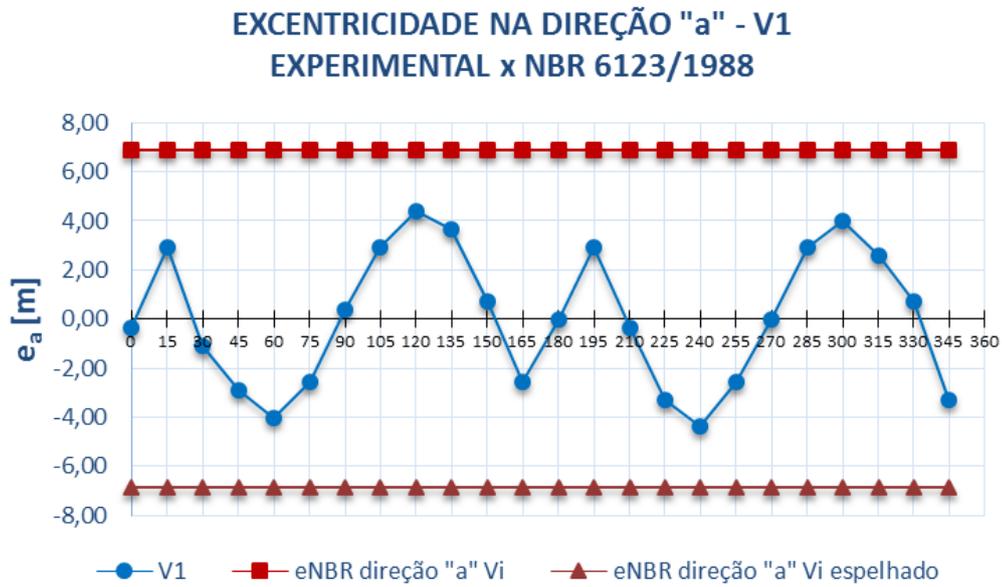
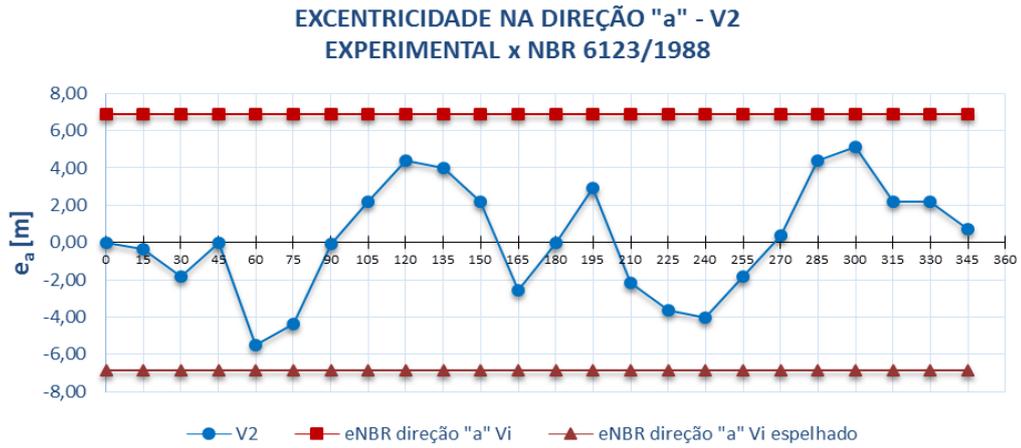


Figura 4.122 – Excentricidade experimental x NBR da malha base (edifício isolado) na direção *a*.

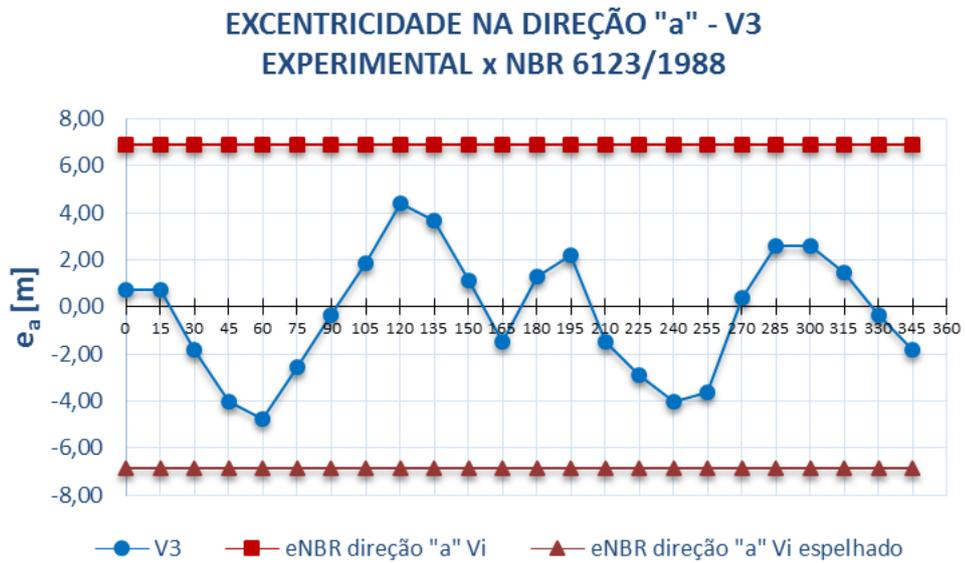


(a)

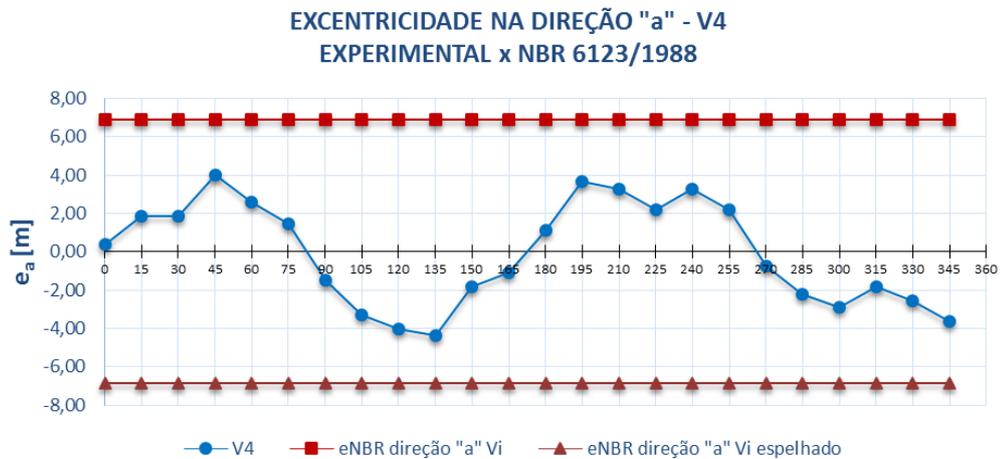


(b)

Figura 4.123 - Excentricidade túnel x NBR na direção *a*: a) V1; b) V2.



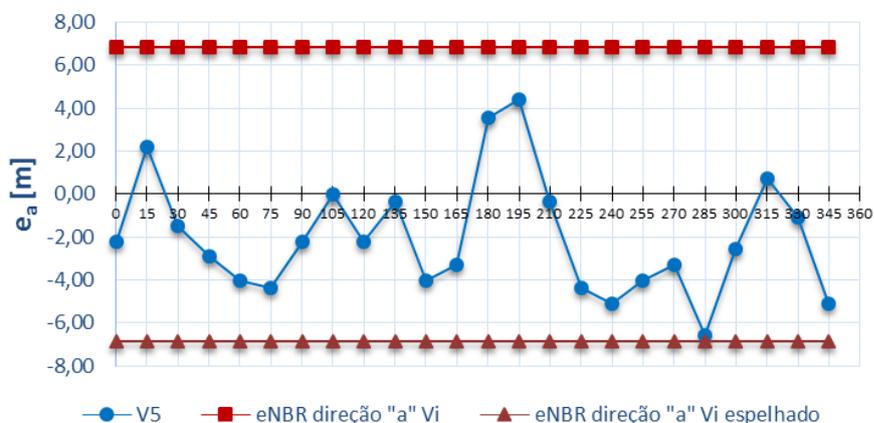
(a)



(b)

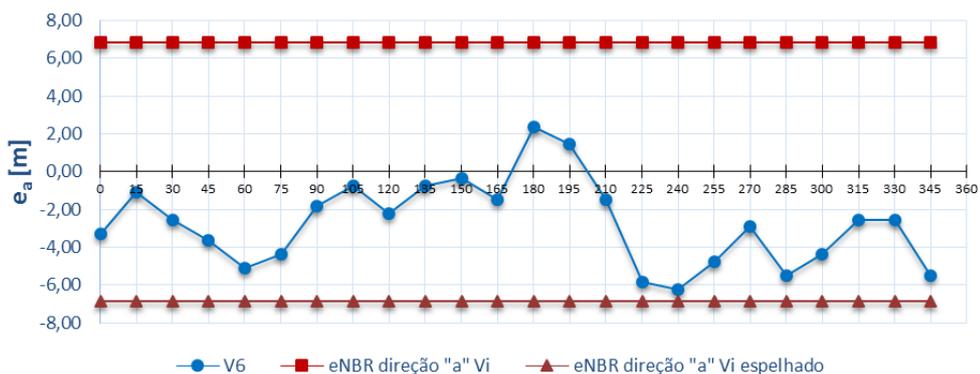
Figura 4.124 - Excentricidade túnel x NBR na direção *a*: a) V3; b) V4.

**EXCENTRICIDADE NA DIREÇÃO "a" - V5
EXPERIMENTAL x NBR 6123/1988**



(a)

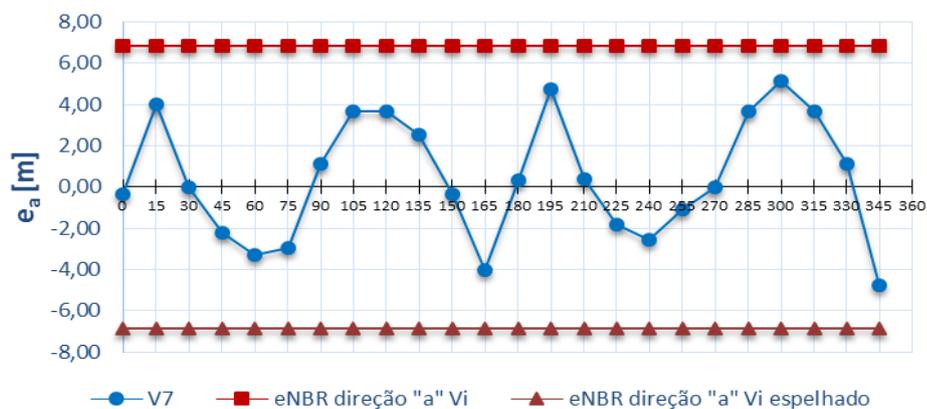
**EXCENTRICIDADE NA DIREÇÃO "a" - V6
EXPERIMENTAL x NBR 6123/1988**



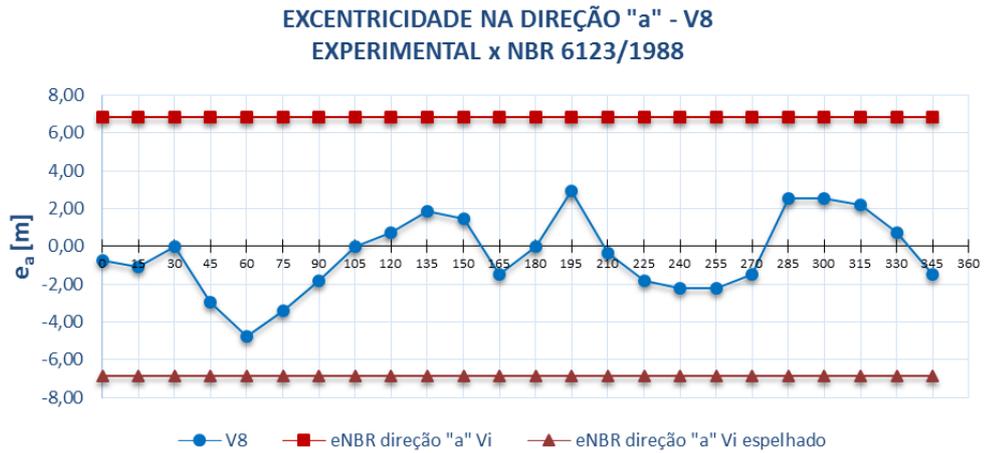
(b)

Figura 4.125 - Excentricidade túnel x NBR na direção α : a) V5; b) V6.

**EXCENTRICIDADE NA DIREÇÃO "a" - V7
EXPERIMENTAL x NBR 6123/1988**



(a)



(b)

Figura 4.126 - Excentricidade túnel x NBR na direção *a*: a) V7; b) V8.

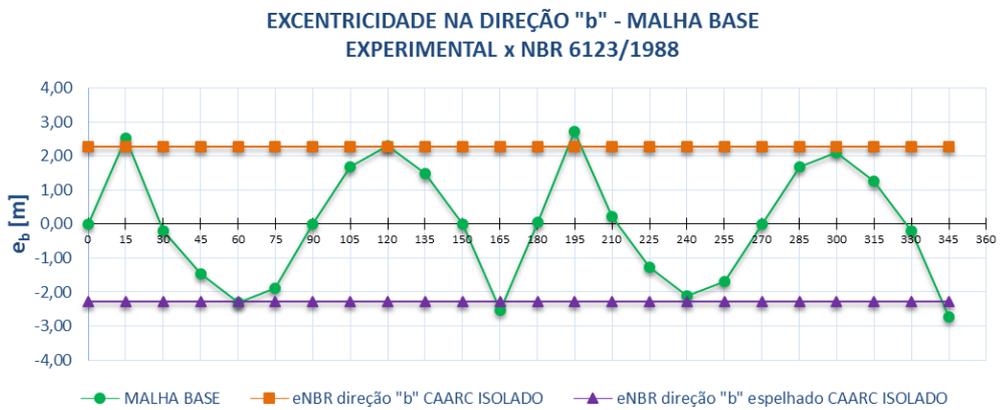
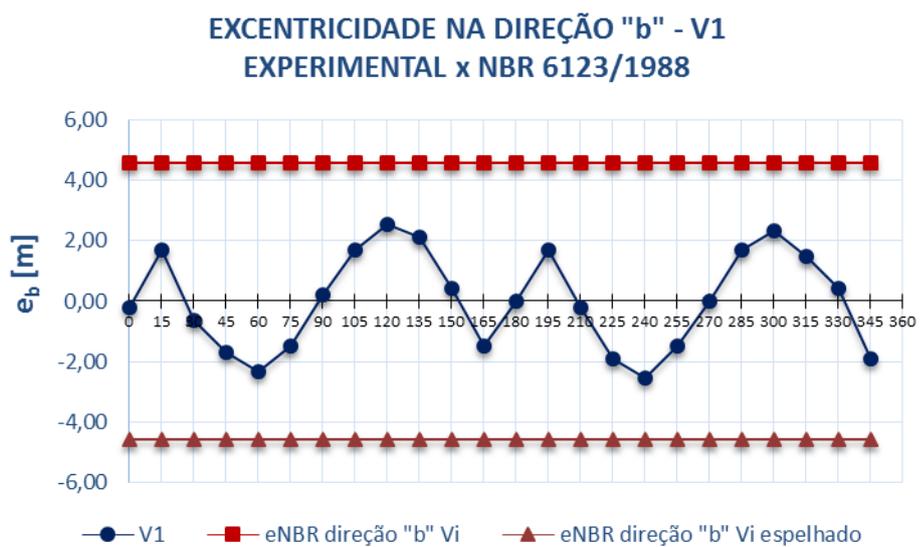
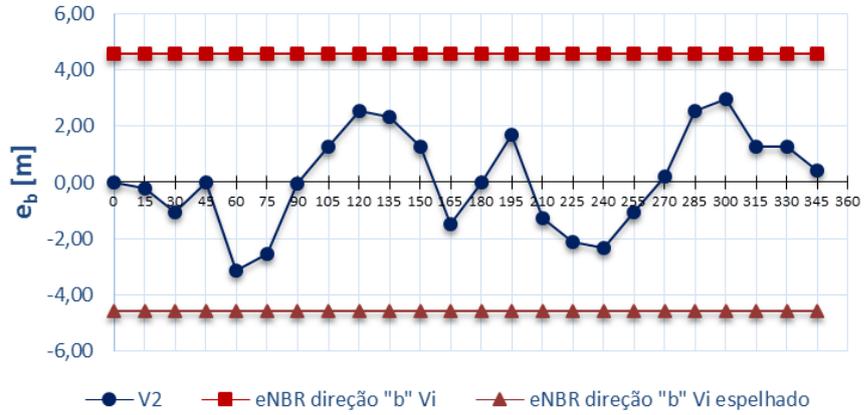


Figura 4.127 - Excentricidade túnel x NBR da malha base (edifício isolado) na direção *b*.



(a)

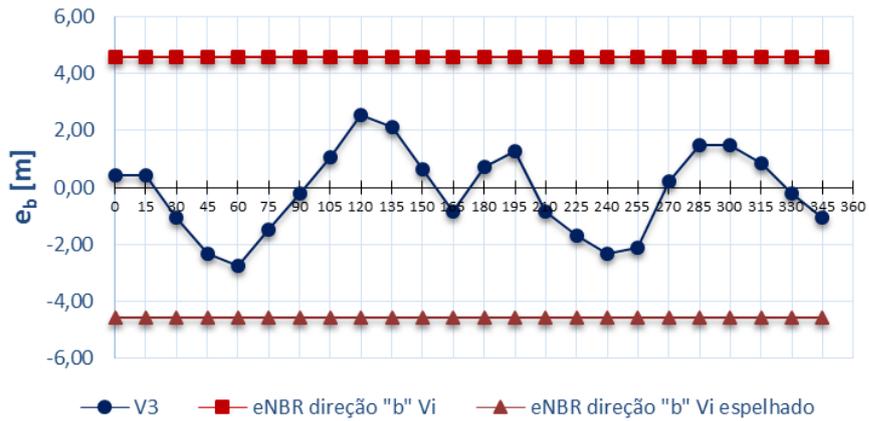
EXCENTRICIDADE NA DIREÇÃO "b" - V2
EXPERIMENTAL x NBR 6123/1988



(b)

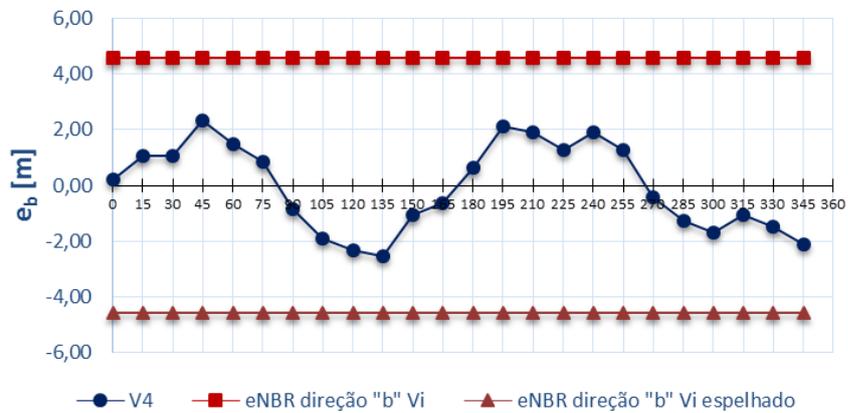
Figura 4.128 - Excentricidade túnel x NBR na direção *b*: a) V1; b) V2.

EXCENTRICIDADE NA DIREÇÃO "b" - V3
EXPERIMENTAL x NBR 6123/1988



(a)

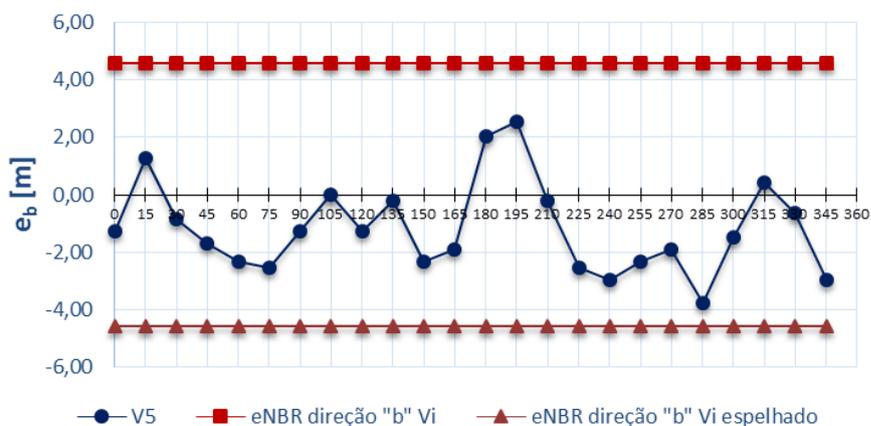
EXCENTRICIDADE NA DIREÇÃO "b" - V4
EXPERIMENTAL x NBR 6123/1988



(b)

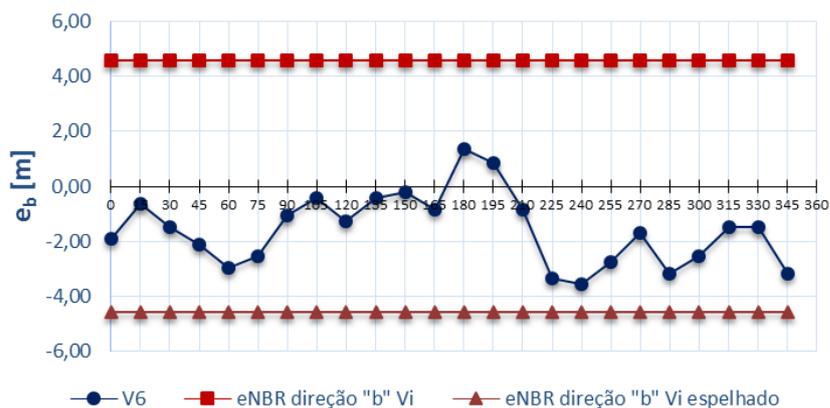
Figura 4.129 - Excentricidade túnel x NBR na direção *b*: a) V3; b) V4.

**EXCENTRICIDADE NA DIREÇÃO "b" - V5
EXPERIMENTAL x NBR 6123/1988**



(a)

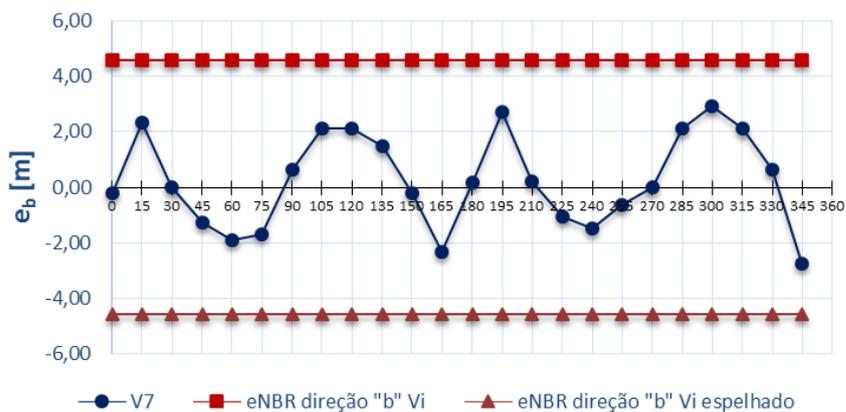
**EXCENTRICIDADE NA DIREÇÃO "b" - V6
EXPERIMENTAL x NBR 6123/1988**



(b)

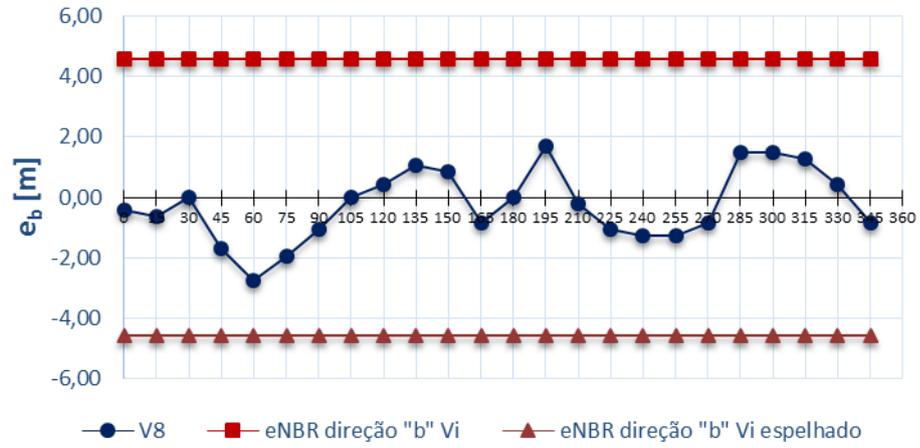
Figura 4.130 - Excentricidade túnel x NBR na direção *b*: a) V5; b) V6.

**EXCENTRICIDADE NA DIREÇÃO "b" - V7
EXPERIMENTAL x NBR 6123/1988**



(a)

EXCENTRICIDADE NA DIREÇÃO "b" - V8
 EXPERIMENTAL x NBR 6123/1988



(b)

Figura 4.131 - Excentricidade túnel x NBR na direção b : a) V7; b) V8.

4.8 – RESULTADOS FINAIS

Nesse item estão mostrados os resultados dos ensaios experimentais realizados com a inserção de vizinhança em um edifício padronizado isolado, CAARC. Foram coletados quatro coeficientes aerodinâmicos que geraram quatro fatores de vizinhança (FV) referente, cada um, a um efeito no edifício em questão.

4.8.1 – Resultados dos ensaios com vizinhança

Como mencionado, os valores dos coeficientes aerodinâmicos estudados foram organizados de duas formas: a primeira pelo ângulo de incidência do vento no modelo e a segunda conforme a vizinhança em estudo. Assim, pode-se acompanhar o que está acontecendo ora alterando a angulação do vento ora inserindo edifícios vizinhos ao que está sendo estudado. Em um projeto real, a angulação de incidência do vento frente à vizinhança nem sempre poderia ser alterada já que se trata de um entorno já existente, contudo nesse trabalho cujo objetivo foi comprovar a influência da vizinhança imediata e estabelecer um valor, ou uma faixa de valores, que denotaram essa influência.

Na Tabela 4.7 foram reunidos os valores máximos e mínimos de cada fator de vizinhança ordenados de acordo com a inserção da vizinhança e já desconsiderados os valores de pico, comentados anteriormente, que geravam análises enganosas dos resultados – superestimando a majoração do FV de alguns casos que se mostraram experimentalmente desnecessários. Os valores entre parêntesis mostram os ângulos de incidência do vento que geraram os máximos e os mínimos.

Tabela 4.7 – Tabela resumo.

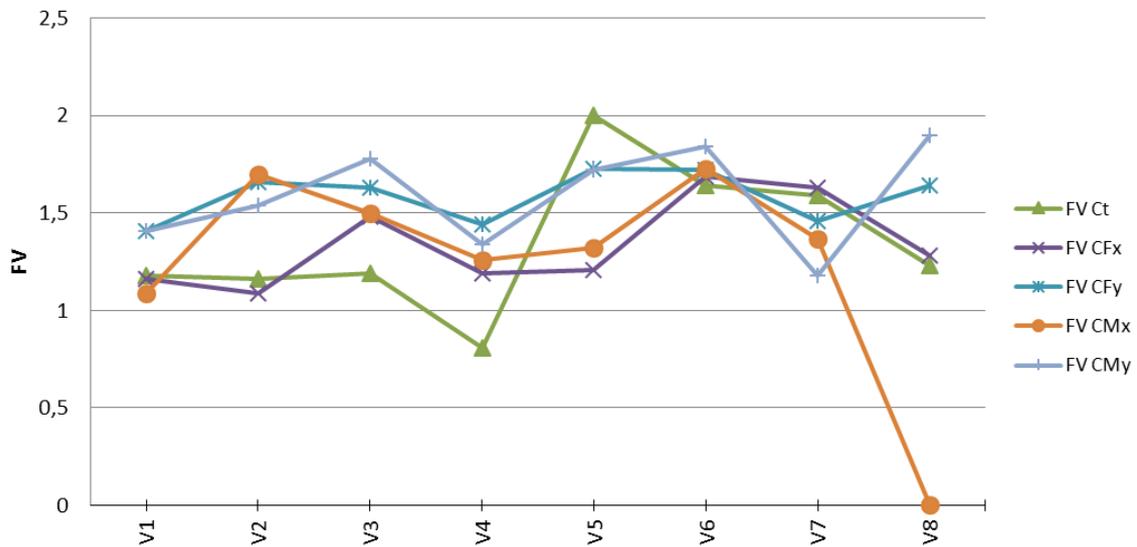
| FV | | V1 | | V2 | | V3 | |
|---------------------------------|---------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | valor máximo | valor mínimo | valor máximo | valor mínimo | valor máximo | valor mínimo |
| pelo coef. de força por fachada | | 2,26 (120°) F4 | 0,03 (330°) F1 | 1,70 (255°) F2 | -1,36 (210°) F1 | 1,74 (225°) F2 | -1,65 (225°) F4 |
| pelo coef. de torção | | 1,18 (120°) | -0,50 (180°) | 1,16 (120°) | -0,09 (15°) | 1,19 (60°) | 0,15 (15°) |
| pelo coef. de força resultante | FV em x | 1,16 (315°) | -1,01 (270°) | 1,09 (300°) | -0,12 (240°) | 1,48 (240°) | -0,03 (60°) |
| | FV em y | 1,41 (330°) | 0,61 (195°) | 1,66 (150°) | 1,00 (0°) | 1,63 (30°) | -1,56 (0°) |
| pelo coef. de mom. Fletor | FV em x | 1,09 (315°) | 0,40 (240°) | 1,70 (270°) | 0,19 (240°) | 1,50 (240°) | 0,30 (60°) |
| | FV em y | 1,41 (180°) | 0,54 (195°) | 1,54 (150°) | 0,33 (0°) | 1,78 (165°) | 0,93 (330°) |

| | | V4 | | V5 | | V6 | |
|---------------------------------|---------|---------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| | | valor máximo | valor mínimo | valor máximo | valor mínimo | valor máximo | valor mínimo |
| pelo coef. de força por fachada | | 1,83 (15°) F4 | -0,09 (300°) F1 | 1,96 (60°) F1 | 0,55 (210°) F4 | 2,13 (225°) F3 | 1,78 (300°) F1 |
| pelo coef. de torção | | 0,81 (345°) | -1,78 (135°) | 2,00 (225°) | -2,23 (285°) | 1,64 (255°) | -1,82 (285°) |
| pelo coef. de força resultante | FV em x | 1,19 (210°) | -0,91 (285°) | 1,21 (255°) | -0,15 (105°) | 1,69 (255°) | -1,30 (105°) |
| | FV em y | 1,44 (30°) | 0,67 (225°) | 1,73 (225°) | -1,53 (345°) | 1,72 (45°) | -0,64 (345°) |
| pelo coef. de mom. Fletor | FV em x | 1,26 (210°) | -0,55 (120°) | 1,32 (45°) | -1,61 (75°) | 1,73 (60°) | -1,16 (105°) |
| | FV em y | 1,34 (30°) | 0,65 (210°) | 1,72 (225°) | -0,48 (165°) | 1,84 (225°) | -1,36 (345°) |

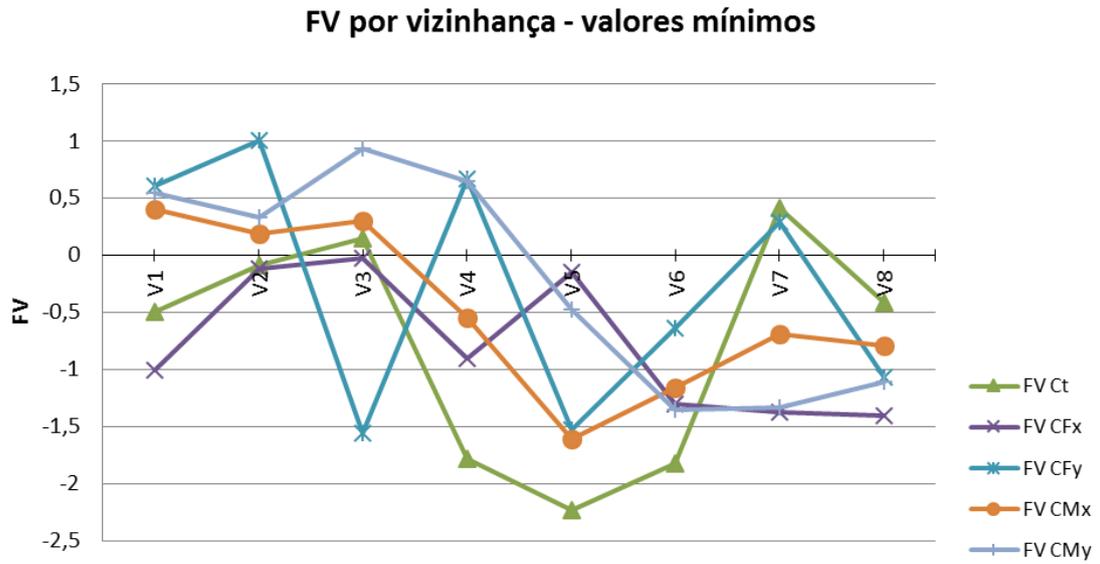
| FV | | V7 | | V8 | |
|---------------------------------|---------|--------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | valor máximo | valor mínimo | valor máximo | valor mínimo |
| pelo coef. de força por fachada | | 1,81 (150°) F3 | -1,62 (225°) F4 | 1,84 (120°) F1 | -1,49 (225°) F4 |
| pelo coef. de torção | | 1,59 (315°) | 0,41 (255°) | 1,23 (60°) | -0,42 (30°) |
| pelo coef. de força resultante | FV em x | 1,63 (60°) | -1,38 (105°) | 1,28 (135°) | -1,41 (105°) |
| | FV em y | 1,46 (15°) | 0,29 (195°) | 1,64 (135°) | -1,07 (15°) |
| pelo coef. de mom. Fletor | FV em x | 1,37 (60°) | -0,69 (105°) | 1,12 (135°) | -0,79 (105°) |
| | FV em y | 1,18 (0°) e (120°) | -1,33 (180°) | 1,90 (150°) | -1,11 (195°) |

Nas Figuras 4.132, 4.133, 4.134 e 4.135 são mostrados os resultados da Tabela 4.7 de forma gráfica, cujos valores dos FV estão sem os picos.

FV por vizinhança - valores máximos



(a)



(b)

Figura 4.132 – Valores dos FV de todas as vizinhanças: a) máximos; b) mínimos.

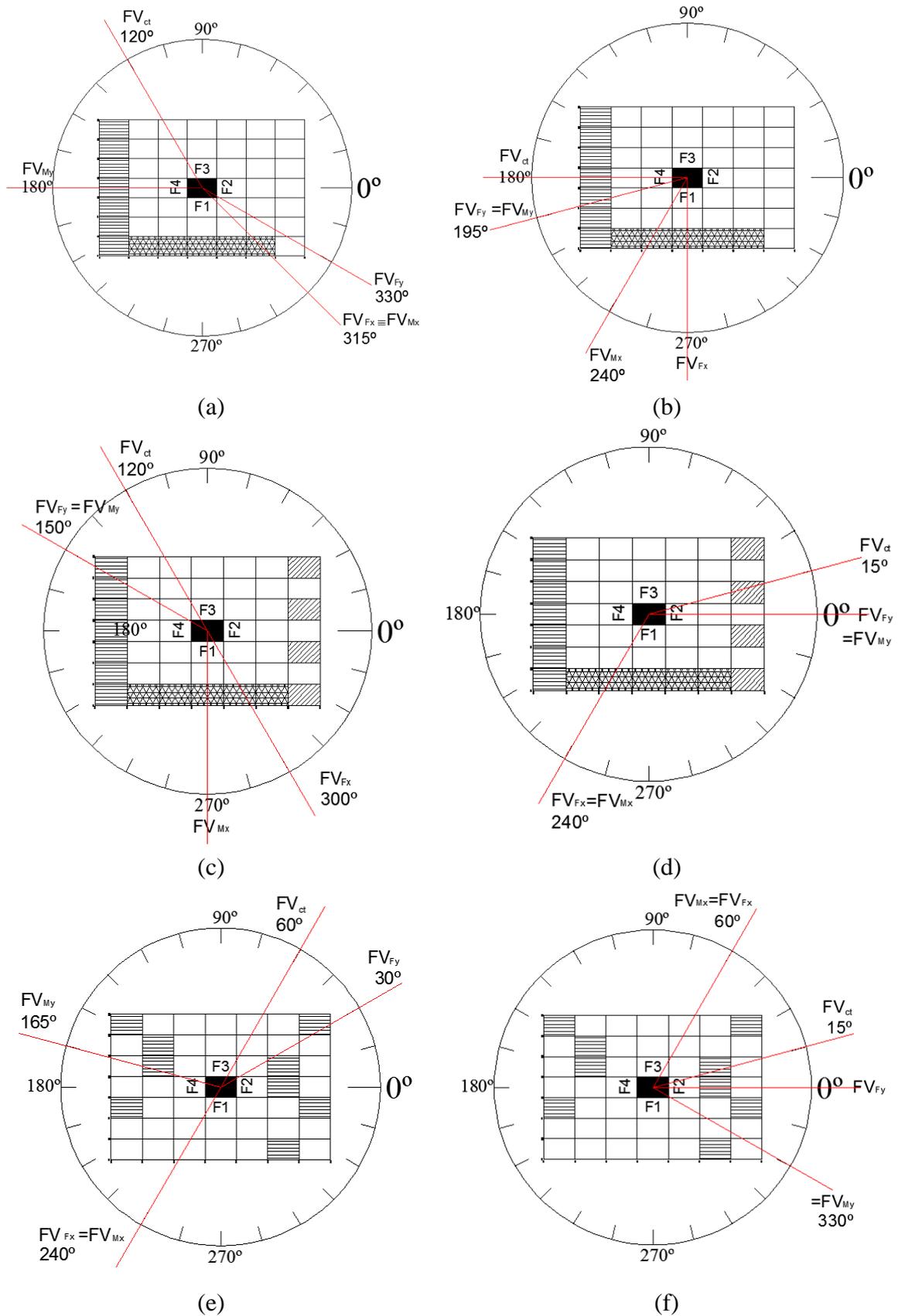


Figura 4.133 – Ângulos: a) valores máximos para V1; b) valores mínimos para V1; c) valores máximos para V2; d) valores mínimos para V2; e) valores máximos para V3; f) valores mínimos para V3.

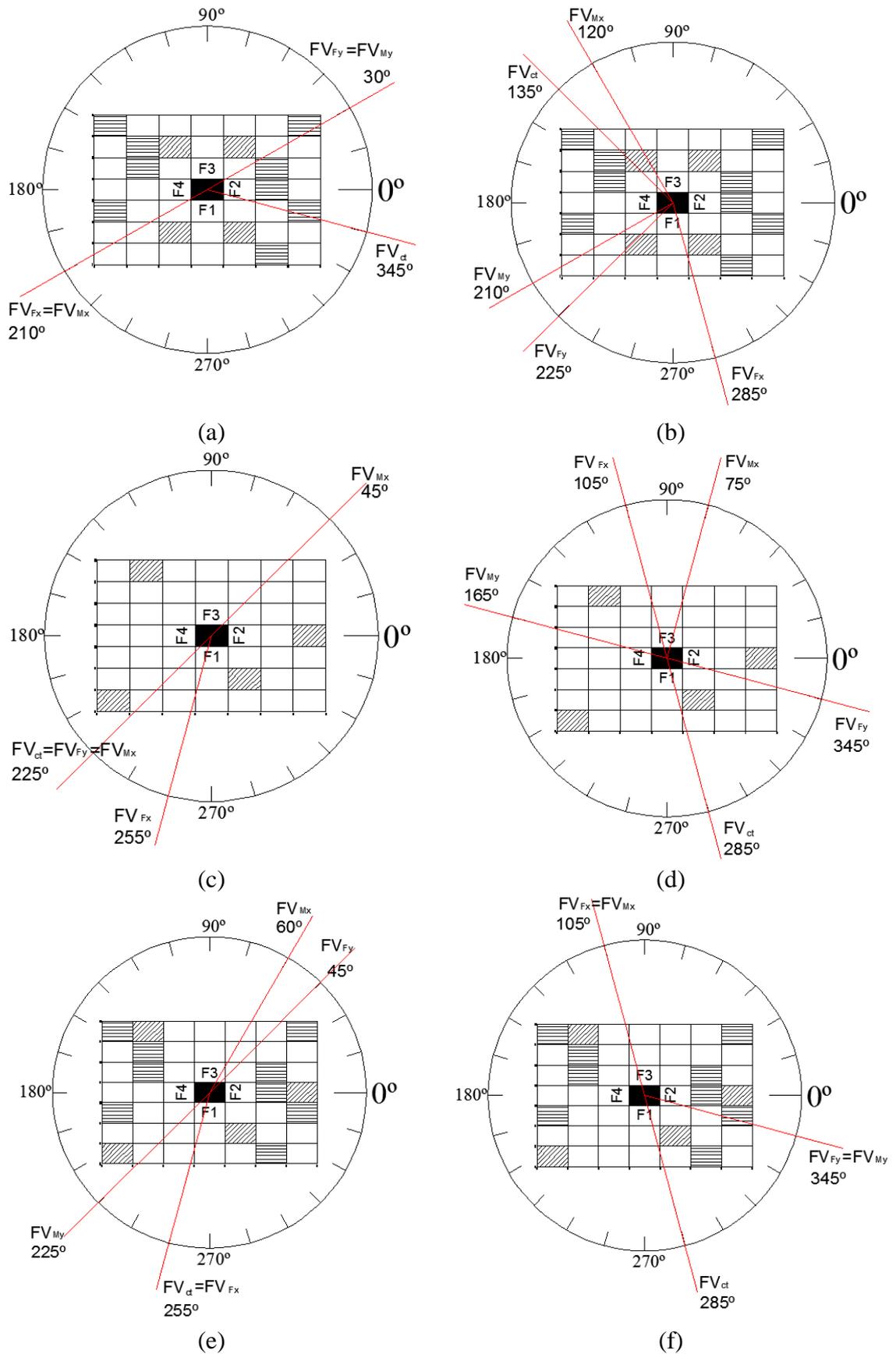


Figura 4.134 – Ângulos: a) valores máximos para V4; b) valores mínimos para V4; c) valores máximos para V5; d) valores mínimos para V5; e) valores máximos para V6; f) valores mínimos para V6.

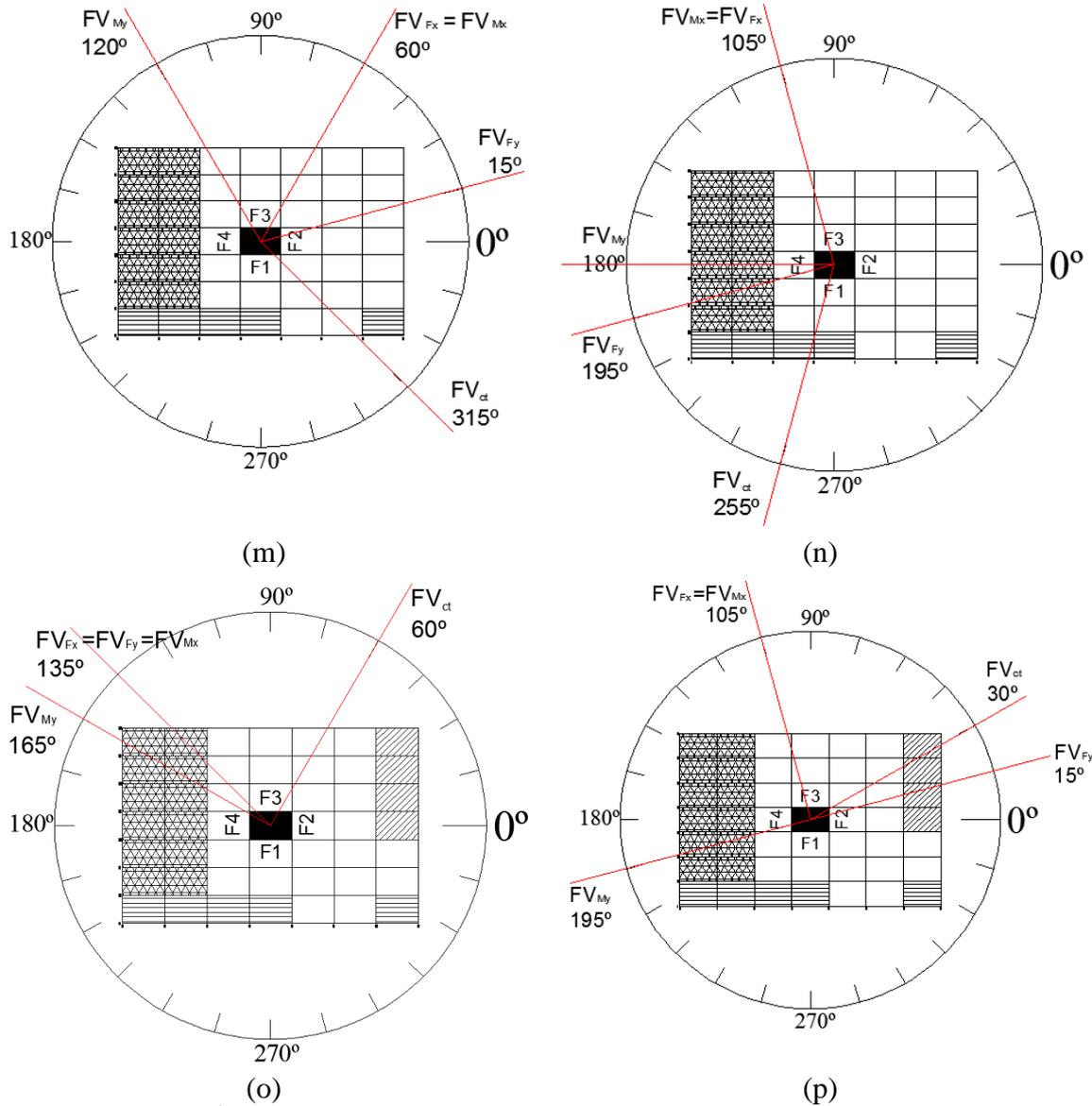


Figura 4.135 – Ângulos: a) valores máximos para V7; b) valores mínimos para V7; c) valores máximos para V8; d) valores mínimos para V8.

5 – CONCLUSÕES

Após o estudo de um edifício padronizado isolado e com oito vizinhanças distintas algumas conclusões foram possíveis em termos do FV proposto na norma brasileira. Esse fator tem como objetivo de majorar o carregamento de uma edificação frente aos esforços causados pelo vento com a inserção de edifícios vizinhos. Há diversas formas de calcular esse FV mas nessa tese foram coletados dados experimentais de ensaios em túnel de vento de um edifício padronizado que subsidiaram o cálculo de coeficientes aerodinâmicos e os respectivos esforços. São eles o coeficiente de torção, o de força resultante e o de momento fletor. Ainda foi calculado o coeficiente de força resultante por fachada que não compôs juntamente com os resultados desse trabalho por se tratar de interesse particular da envoltória do edifício, do seu fechamento, e como explicitado desde o início o interesse desse trabalho é exclusivamente o comportamento estrutural do edifício padronizado. Ficará a sugestão para trabalhos futuros a manipulação desses últimos dados.

Tendo em vista o FV calculado pelo C_t tem-se o efeito de proteção do edifício em estudo na maior parte dos vinte e quatro ângulos de incidência do vento ensaiados no túnel de vento. Esse resultado era, de certa forma esperado, por tratar-se de um edifício de forma regular. Foram poucas as angulações que passaram o valor estabelecido pela norma (de 1,3) e mesmo assim, em um segundo momento de análise das solicitações, poderiam ser descartados ainda outros ângulos. O que se pode afirmar é que em relação à torção, os ângulos de 135^0 e de 225^0 são os de maior frequência no FV acima do valor estabelecido na norma. Em outra leitura dos resultados, tomando-se o resultado global, de todos os dados significativos para o cálculo do FV pelo C_t tem-se que 20% dos dados estariam acima do valor estabelecido na norma em termos da majoração das solicitações para o projeto da estrutura da edificação estudada.

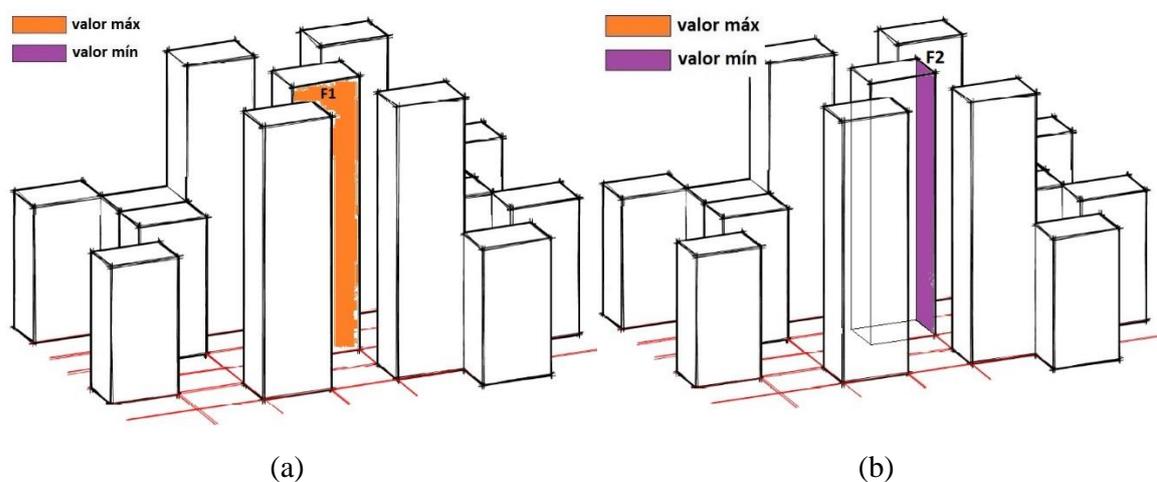
Analisando o FV agora calculado pelo C_{Mx} tem-se também a situação de proteção do edifício estudado, ou seja, a maior parte dos ângulos de incidência do vento geram FV abaixo de 1,0. Apenas uma das vizinhanças (V7) apresentou um equilíbrio na distribuição das frequências entre a proteção ($FV \leq 1,0$) e o prescrito na norma brasileira ($FV = 1,3$). Já para o FV pelo C_{My} tem-se a maior parte dos valores previsto na norma. Porém fica registrado que existem muitas angulações (26% das angulações válidas) que estão descobertas da norma brasileira,

ou seja, seu FV está acima dos 1,3. Isso implica uma verificação mais acurada de cada situação de projeto frente à solicitação de flexão em torno do eixo y.

Tendo em vista o FV calculado pelo coeficiente de força resultante em relação ao eixo x tem-se que o edifício instrumentalizado encontra-se protegido na maior parte dos ângulos de incidência do vento ($FV \leq 1$). E para alguns dos casos em que esse fator ultrapassa o valor estabelecido em norma tem-se que numa análise mais detalhada da respectiva solicitação, este poderia também ter sido desconsiderada. Para o fator calculado a partir do C_{Fy} apesar da maioria das vizinhanças produzirem FV prescrito no valor da norma (1,3) é considerável as angulações que geram proteção (33%) e aquele que apresenta um FV descoberto pela norma brasileira (25%). Nesse caso, para as solicitações geradas a partir da Força Resultante em relação ao eixo y seria necessária investigação cuidadosa dos efeitos do vento para cada direção estudada. Existem casos extremos de vizinhanças propostas cujo edifício estudado está completamente protegido nessa direção.

5.1 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os dados gerados nos ensaios experimentais propostos nessa tese poderão ser utilizados em futuros estudos da influência dos efeitos de vizinhança em edificações altas referentes ao fechamento da edificação instrumentalizada a partir dos coeficientes de forças resultantes por fachada, mostrados alguns exemplos na Figura 5.1.



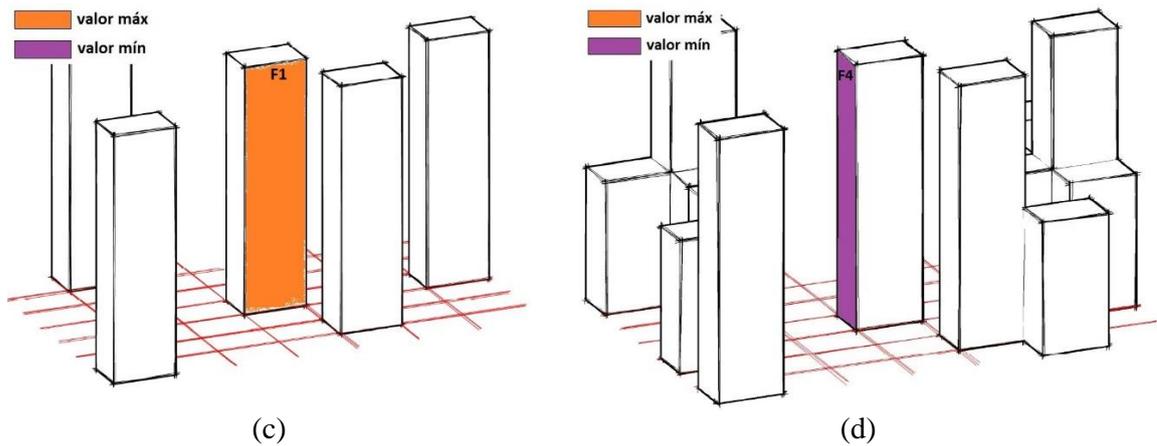


Figura 5.1 – Máximos e mínimos valores dos FV calculados pelo coeficiente de força resultante por fachada: a) máximo de V4; b) mínimo de V4; c) máximo de V5; d) mínimo de V5.

Poderá ser proposto um procedimento de cálculo para resposta de edifícios altos frente aos esforços impostos pelo vento considerando a majoração dos coeficientes aerodinâmicos a partir do FV definido como na NBR 6123/1988 ou das faixas criadas nesse trabalho.

Uma sequência desse trabalho seria realizar ensaios experimentais com a mesma configuração porém considerando afastamento de 10m em todas as faces limítrofes dos lotes. Assim, essa ocupação parcial do terreno (quadrícula da malha) poderia simular possíveis efeitos de vento (como o Venturi) que alterassem os coeficientes aerodinâmicos das paredes da edificação em estudo. Outra evolução nos modelos seria a considerar aberturas e pilotis nos edifício em estudo, Figuras 5.2.



(a)

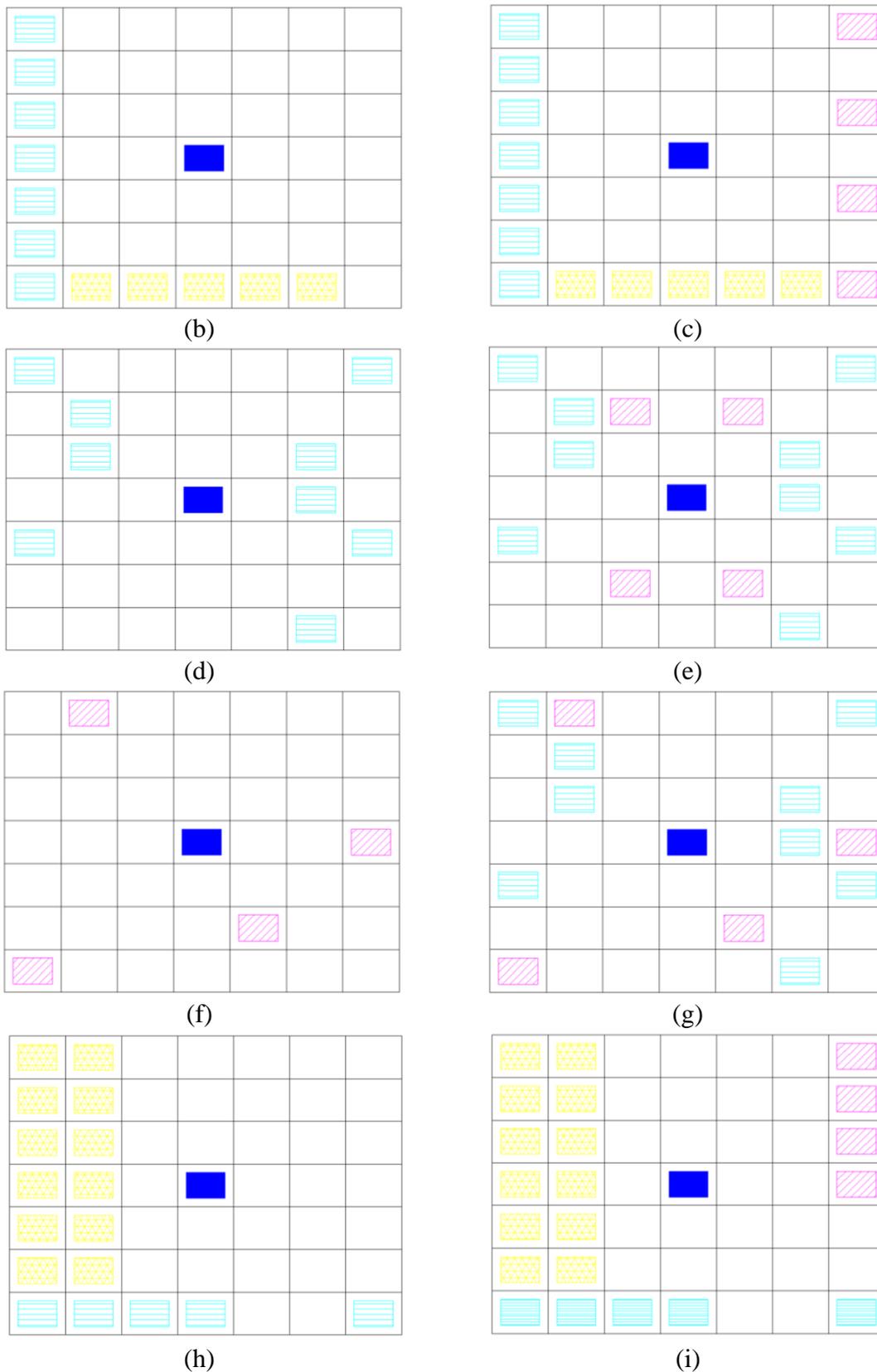


Figura 5.2 – Vizinhanças propostas com afastamento: a) CAARC isolado; b) V1; c) V2; d) V3; e) V4. f) V5; g) V6; h) V7; i) V8.

Diante dos dados experimentais gerados nos nove ensaios no túnel de vento Joaquim Blessmann da UFRGS poderia ser investigada a interação do vento e da edificação em estudo, a interação fluido-estrutura a partir de um modelo flexível, para as vinte e quatro angulações de incidência do vento.

A publicação direcionada a estudantes de engenharia e arquitetura no que se refere aos efeitos do vento diante da vizinhança composta ora por edifícios baixos ora por edifícios altos.

Ainda, divulgação e publicação do estudo realizado em um primeiro momento de elaboração dessa tese da evolução histórica e construtiva dos arranha-céus situados em Nova Iorque e em Chicago, cidades que contaram com os primeiros arranha-céus do mundo. Muitas dessas edificações foram visitadas e contam com depoimentos de seus construtores e administradores sendo um material de vasta contribuição tanto para a Engenharia quanto para a Arquitetura. Esse conteúdo fez parte de uma primeira abordagem do tema mas não foi incluído neste volume, exemplificada na Figura 5.3.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.3 – Arranha-céus e imagens de grandes metrópoles (flickr, c.2010): a) Nova Iorque; b) Chicago; c) Londres; d) Dubai.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A view on cities. (2010). *A view on cities*. Acesso em 05 de março de 2010, disponível em A view on cities: <http://www.aviewoncities.com/buildings/chicago/olympiacenter.htm>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: 1988. 88p.

Ali, M., & Moon, K. S. (13 de Junho de 2007). Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects. *Architectural Science Review*, 50.3, pp. 205-223.

american-architecture. (2010). *american-architecture*. Acesso em 13 de fevereiro de 2010, disponível em american-architecture: <http://www.american-architecture.info/USA/CHICAGO/CHIC-LS/CHIC-LS-036.htm>

Appliedresearch. (2010). *Appliedresearch*. Acesso em 13 de fevereiro de 2010, disponível em Appliedresearch: <http://www.appliedresearch.com/contact.htm>

Bailey, P.A., Kwok, K.C.S. (1985) Interference excitation of twin tall buildings, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 21, p. 323-338.

BARLOW, B. J.; RAE, W. H. Jr.; POPE, A. **Low-speed wind tunnel testing**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons.1999.

BENNETT, D. (1995). **Skyscrapers: Form & Function**. New York: Simon & Schuster. 1995.

BLESSMANN, J. and RIERA, J.D. (1985) Wind excitation of neighboring tall building. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Amsterdam, v. 18, p. 91-103.

BLESSMANN, J. Buffeting effects of neighboring tall building. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Amsterdam, v. 18, p. 105-110, 1985.

_____, J. (1989). **Ação do Vento em Edifícios**. Porto Alegre: Ed. Universidade /UFRGS.

_____, J. **Aerodinâmica das construções**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra. 1990. 263 p.

_____, J. Neighboring wind effects on two tall buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Amsterdam, v. 41-44, p. 1041-1052, 1985.

_____, J. **O vento na engenharia estrutural**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 166 p.

_____, J. **Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1998. 282 p.

Blogspot. (c.2010). *Blogspot 01*. Acesso em 12 de dezembro de c.2010, disponível em Blogspot 01:

[http://3.bp.blogspot.com/_mIPoGU4VqSk/SZVzOAUH94I/AAAAAAAAAFUI/8APyIRmRdRg/s1600-h/\(Woolworth\).jpg](http://3.bp.blogspot.com/_mIPoGU4VqSk/SZVzOAUH94I/AAAAAAAAAFUI/8APyIRmRdRg/s1600-h/(Woolworth).jpg)

Bluffton. (c.2009). *Bluffton*. Acesso em 14 de janeiro de 2010, disponível em Bluffton: (<http://www.bluffton.edu/~sullivanm/woolworth/portaldetlarge.jpg>)

Britannica, E. (c.2010). *Encyclopedia Britannica*. Acesso em 05 de janeiro de 2010, disponível em Encyclopedia Britannica: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic-art/85650/114041/The-Flatiron-Building-initially-known-as-the-Fuller-Building-designed>

Burden, E. (2002). *Dicionário Ilustrado de Arquitetura* (2 ed.). Porto Alegre, Brasil: Bookman.

Burjkhalifa (2010). <http://www.burjkhalifa.ae/en/TheTower/FactsFigures.aspx>

Carpeggiani, E. A; Loredou-Souza, A.M.; Núñez, G.J.Z.; Paluch, M.J. *Determinação dos efeitos estáticos de torção em edifícios altos devidos à ação do vento*. In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005, Olinda, Recife.

Cho, K. Hong, S. Hwang, K.S. (2004). Effects of Neighboring Building on Wind Loads. In: CTBUH Conference, Seoul.

Clément, D. E. (2002). *Seismic Analysis of Knee Elements for Steel Frames*. 225. Oxford, London.

Company, S. W. (2009). *Sunrisemusic*. (Sun Web Company) Acesso em 19 de outubro de 2010, disponível em Sunrisemusic: <http://www.sunrisemusics.com/rio.htm>

CTUBH. (2009). Fonte:

http://www.ctbuh.org/Events/Awards/BeedleAward/10_Pedersen/tabid/1577/language/en-GB/Default.aspx

_____. (2010). *Tall Building: a reference guide*. Chicago: CTBUH, 123p.

Duprè, J. (2008). *Skyscrapers* (2 ed.). New York: Black Dog & Leventhal Publishers.

Ecuip. (2010). *Ecuip*. Acesso em 13 de fevereiro de 2010, disponível em Ecuip: <http://ecuiplib.uchicago.edu/diglib/social/chi1919/dline/d1/hib.bmp.gif>

Eisele, J. e. (2003). *High-Rise Manual - Typology and Design, Construction and Technology*. (R. B. Elizabeth Schwaiger, Trad.) Basel, Switzerland: Birkhäuser.

Elnimeri, M., & Gupta, P. (3 de novembro de 2008). Sustainable Structure of Tall Buildings. *Wiley Interscience* , pp. 881-894.

Enterprises, J. (2000). *skyscrapercity*. Acesso em 05 de agosto de 2010, disponível em skyscrapercity: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=401827>

Flickr. (2010). *Flickr*. Acesso em 12 de março de 2010, disponível em Flickr: <http://www.flickr.com>

Fontoura, P., Milhomem, N., & Quirino, I. (27 de 09 de 2010). ESTUDO DA AÇÃO DO VENTO EM EDIFÍCIOS ALTOS DE ESTRUTURA METÁLICA COM NÚCLEO RÍGIDO: O EXEMPLO DO EDIFÍCIO JOHN HANCOCK CENTER. *artigo publicado nos anais do Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural* . San Juan, Argentina.

Gerhardt, H.J. (2003). Effects of Wind. in *High-Rise Manual - Typology and Design, Construction and Technology*.p. 116 a 125.

Giedion, S. (2004). *Espaço, tempo e arquitetura*. (A. L. Solot, Trad.) São Paulo: Martins Fontes.

Golub. (2010). *Golub*. Acesso em 13 de fevereiro de 2010, disponível em Golub International Real State Investment & Development: http://www.golubandcompany.com/pages/view_all_properties/90.php

Gonçalves, J. C. (2004). The tall building and the city: the discussion about urban sustainability. *The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture* (pp. 19-22). Eindhoven: The Netherlands.

Gonçalves, J. C. (2004). The Tall Building and the City: the discussion about urban sustainability. *The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture* (pp. 1-6). Eindhoven: Netherlands.

Group, S. (2005). *Sorgente Savinas Management Company*. Acesso em 12 de dez de 2009, disponível em Sorgente Group: <http://www.sorgentegroup.com/ing/gallery/michelangelo/flatiron.php>

Guardian. (2010). *Guardian*. Acesso em 12 de agosto de 2010, disponível em Guardian: <http://www.guardian.co.uk/pictures/image/0,8543,-10304216604,00.html>

Hanley Wood, L. (2010). *Architect Magazine*. Acesso em 01 de maio de 2010, disponível em Architext Mixed-Use Development: <http://www.architectmagazine.com/mixed-use-development/matrix-gateway-complex.aspx>

Höweler, E. (2005). *Skyscraper- Designs of the recent past and for the near future* (Reprinted ed.). London: Thames & Hudson Ltd.

Huerta, S. (2001). Mechanics of masonry vaults: The equilibrium approach. *International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, 3.,. Historical Constructions: Possibilities of numerical and experimental techniques*, pp. 47-69. Guimarães: Universidade do Minho; Lourenço, P.; Roca, P. (ed.).

ICS, N. J. (01 de 01 de 1998). *Structurae*. Acesso em 11 de 08 de 2010, disponível em Structurae: <http://en.structurae.de>

Irwin, P., Kilpatrick, J., Robinson, J., Frisque A. (2008) Wind and tall buildings: negative and positives, *Struct. Design Tall Spec. Build.* 17, p. 915-928

Jodidio, P. (2008). *Piano: Renzo Piano Building Workshop 1966 to today*. London: Taschen.

Kareem, A. (1987), The effects of aerodynamic interference on the dynamic response of prismatic structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 25, 365-372.

Khanduri, A.C. Stathopoulos, T. e Bédard, C. Wind-induced interference effects on buildings - a review of the state-of-the-art. *Engineering Structures*, v. 20, p. 617-630, 1998.

Koolhaas, R. (2008). *Nova York delirante: um manifesto retroativo para Manhattan*. (D. Bottmann, Trad.) São Paulo: Cosac Naify.

Lee, D. (2010). *Denslee*. Acesso em 19 de outubro de 2010, disponível em Denslee: <http://denslee.com/>

LIU, Henry. **Wind engineering: a handbook for structural engineers**. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1991.

MELBOURNE, W.H. Comparison of measurements on the CAARC standard tall building model in simulated wind flows. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Amsterdam, v. 6, p. 73-88, 1980.

Niemann, H.J. Köpper, H.D. (1998), Influence of adjacent buildings on wind effects on cooling towers. *Eng. Structures*, 20, 874-880.

Notas de aula, 2007, Brasília. [Disciplina **Curso de Aerodinâmica das Construções**]. Brasília: Universidade de Brasília, 2007.

OLIVEIRA, M. G. K. **Desenvolvimento de uma balança dinâmica de três graus de liberdade para estudo dos efeitos de flexo-torção em edifícios altos submetidos à ação do vento**. 2006. 207f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

Poulos, H. G. (23 de 08 de 2010). The piled raft foundation for the Burj Khalifa - design and performance. Brasília, DF, Brasil.

- Raaij, M. v. (01 de 01 de 2006). *Eikongraphia*. Acesso em 09 de 08 de 2010, disponível em Eikongraphia: <http://www.eikongraphia.com/?p=111>
- Reiss, M. (2007). *New York then & now*. San Diego, California, EUA: Thunder Bay Press.
- Sabino, M. (2008). As catedrais de Xangai. *Veja* (2072), 150-157.
- Salvadori, M. (2006). *Por que os edifícios ficam de pé*. (N. R. Eneida Vieira Santos, Trad.) São Paulo: Martins Fontes.
- Skyscrapercity. (2000). *Skyscr apercity*. Acesso em 2 de agosto de 2010, disponível em Skyscrapercity: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=434232>
- Smith, B. S., & Coull, A. (1991). *Tall Building Structures: Analysis and Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- SmithGill. (2013). Acesso em maio de 2013, disponível em: http://smithgill.com/work/imperial_tower/.
- Stathopoulos. T. (1984), Adverse wind loads on low buildings due to buffeting. *J. Struct. Engng, ASCE*, 110, 2374–2392.
- Stein, R. C. (2005). *The Great Chicago Fire*. Chicago: Scholastic.
- Tallest Skyscrapers . (2006). *Tallest Skyscrapers* . Acesso em 12 de março de 2010, disponível em Tallest Skyscrapers : <http://www.tallestskyscrapers.info/london-tower-42.php>
- Taniike, Y., (1992). Interference mechanism for enhance wind forces on neighbouring tall bildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 42: p. 1073-1083.
- Taranath, B. S. (1997). *Steel, Concrete, and Composite Design of Tall Buildings* (2 ed.). Massachusetts: McGraw-Hill.
- The Art Institute of Chicago . (2010). *The Art Institute of Chicago*. Acesso em 13 de fevereiro de 2010, disponível em The Art Institute of Chicago: <http://www.artic.edu/aic/libraries/research/specialcollections/oralhistories/bunshaft.html>
- Tomasetti, T. (s/d). *Tall and Supertall*.
- Tsui. (2007). *Tsui Design, Reseach & Inc*. Acesso em 2 de agosto de 2010, disponível em Tsui Design, Reseach & Inc.: <http://www.tdrinc.com/ultima.html>
- Twombly, R. (1996). *Power and style: a critique of twentieth-century architecture in the United States*. EUA: Hill and Wang.
- Uniform Building Code (?)

Venturi, c.2013. Disponível em: <http://rotadosconcursos.com.br/provas/analista-de-desenvolvimento-%C3%A1rea-arquiteto-14984/10>

Webster, J. C. (1959). The Skyscraper: Logical and Historical Considerations. *Journal of the Society of Architectural Historians* , 18, pp.126-139.

Wells, M. (2005). *Skyscrapers: Structure and Design*. New Haven, EUA: Yale University Press.

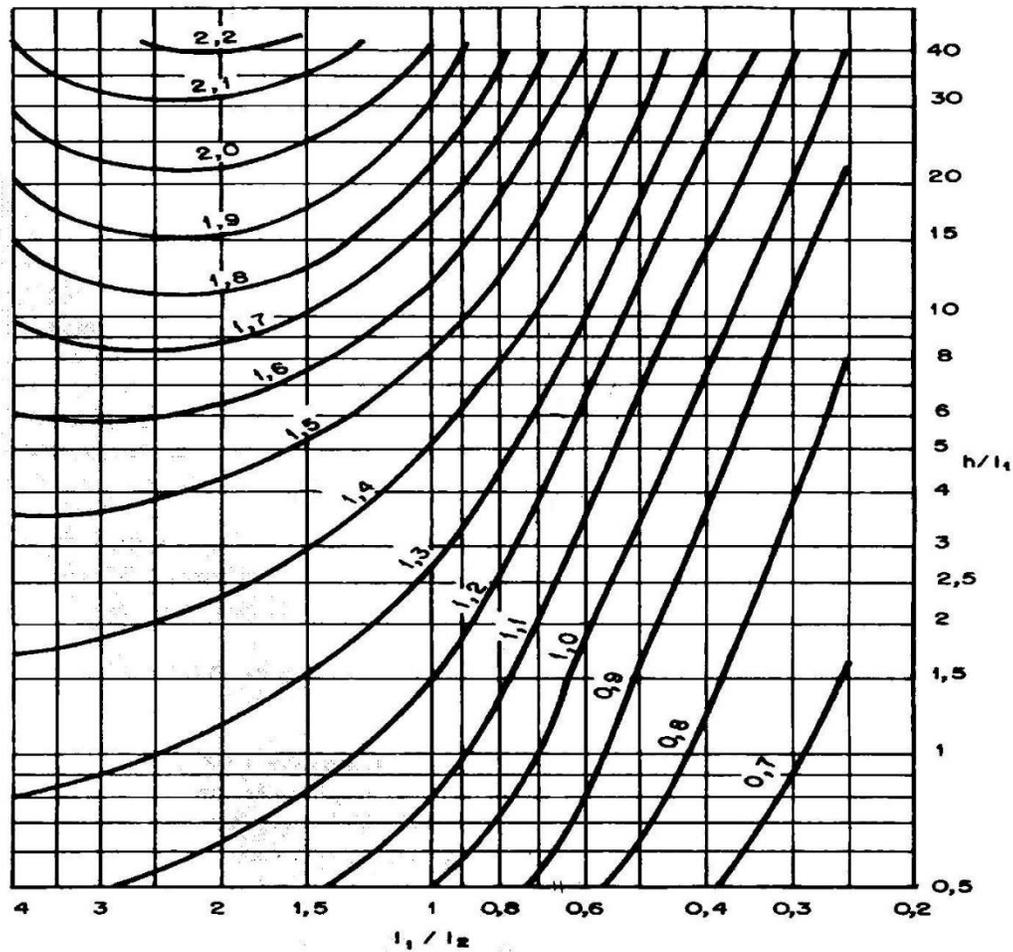
Willis, C. (1995). *Form Follows Finance: Skyscrapers and Skylines in New York and Chicago*. New York, EUA: Princeton Architectural Press.

Willis, C., & Friedman, D. (1998). *Building the Empire State*. New York: W.W.Norton & Company.

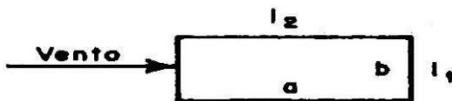
wordpress. (2010). *wordpress*. Acesso em 06 de agosto de 2010, disponível em wordpress: http://c2329.files.wordpress.com/2010/05/carson_pirie_scott_building_chicago_illinois_-_louis_sullivan.jpg

APÊNDICE B – CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ARRASTO PELA NBR 6123/1988

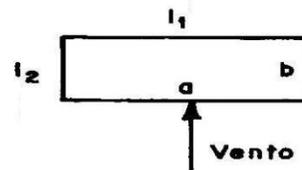
Pela Figura 4 da norma, Figura 1, para edificações parapipédicas em vento de baixa turbulência.



(a)



(b)



(c)

Figura B.1 – Edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência (NBR 6123/1988, p.20): a) coeficiente de arrasto; b) para vento horizontal; c) para vento vertical.

Se considerada a incidência do vento na menor fachada do CAARC conforme Figura B.1(b), tem-se as relações:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{30,48}{45,72} = 0,667 \quad (\text{B-1})$$

$$\frac{h}{l_1} = \frac{182,88}{30,48} = 6 \quad (\text{B-2})$$

Com esses dois parâmetros, na Figura B.1(a), é encontrado o coeficiente de arrasto para tal condição de vento, Figura B.1(b).

$$\boxed{Ca = 1,15} \quad (\text{B-3})$$

Para a segunda condição do vento pela norma, Figura B.1(c), tem-se as relações:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{45,72}{30,48} = 1,5 \quad (\text{B-4})$$

$$\frac{h}{l_1} = \frac{182,88}{45,72} = 4 \quad (\text{B-5})$$

Com isso,

$$\boxed{Ca = 1,45} \quad (\text{B-3})$$

APÊNDICE F – PLANILHA DOS FV E RESPECTIVOS COEFICIENTES PARA O EDIFÍCIO ISOLADO E TODAS AS VIZINHANÇAS ORGANIZADOS POR VIZINHANÇA

Esse apêndice traz os resultados dos coeficientes e FV calculados a partir do ensaio em túnel de vento do edifício isolado e das oito vizinhanças propostas. Ao longo da tese esses dados foram mostrados graficamente. Segue agora a apresentação desses na forma original de sua manipulação – planilhas do excel. Essa distribuição organizada por vizinhança demonstra o que acontece com a edificação inserida em uma determinada vizinhança à medida que o ângulo de incidência do vento muda de direção.

F.1 – MALHA BASE OU CAARC ISOLADO

Tabela F.1 – Valores dos C_t do Edifício Isolado

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_t | -0,001463 | 0,119489 | -0,005289 | -0,072066 | -0,107720 | -0,085927 | 0,000402 | 0,083017 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,105308 | 0,065917 | -0,000086 | -0,121731 | 0,001883 | 0,126095 | 0,006000 | -0,060970 | -0,103093 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,076917 | 0,000176 | 0,080315 | 0,101001 | 0,061857 | -0,007464 | -0,125309 | | |

Tabela F.2 – Valores dos C_{Fi} do Edifício Isolado

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_{Fx} | -1,00 | -1,05 | -1,03 | -0,86 | -0,40 | 0,24 | 0,00144 | -0,24 |
| C_{Fy} | 0,01 | -0,12 | -0,58 | -0,90 | -1,04 | -1,15 | -1,29 | -1,17 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,40 | 0,85 | 1,03 | 1,05 | 1,03 | 1,05 | 1,05 | 0,85 | 0,37 |
| -1,04 | -0,89 | -0,58 | -0,13 | -0,0031 | 0,15 | 0,64 | 0,92 | 1,06 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,24 | 0,01 | 0,25 | -0,39 | -0,85 | -1,04 | -1,05 | | |
| 1,18 | 1,30 | 1,18 | 1,05 | 0,91 | 0,61 | 0,14 | | |

Tabela F.3 – Valores dos C_{Mi} do Edifício Isolado

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_{Mx} | 0,37 | 0,38 | 0,37 | 0,31 | 0,15 | -0,09 | -0,00018 | 0,09 |
| C_{My} | 0,00396 | -0,08 | -0,45 | -0,72 | -0,83 | -0,93 | -1,03 | -0,94 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,15 | -0,31 | -0,37 | -0,38 | -0,38 | -0,38 | -0,38 | -0,31 | -0,13 |
| -0,84 | -0,71 | -0,45 | -0,08 | -0,00298 | 0,10 | 0,50 | 0,73 | 0,85 |

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° |
| 0,09 | -0,00189 | -0,09 | 0,14 | 0,31 | 0,38 | 0,38 |
| 0,96 | 1,04 | 0,95 | 0,85 | 0,73 | 0,48 | 0,09 |

F.2 – VIZINHANÇA V1

Tabela F.4 – Valores dos C_t de V1

| | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_t | -0,01 | 0,08 | -0,03 | -0,08 | -0,11 | -0,07 | 0,01 | 0,08 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,12 | 0,10 | 0,02 | -0,07 | 0,00 | 0,08 | -0,01 | -0,09 | -0,12 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,07 | 0,00 | 0,08 | 0,11 | 0,07 | 0,02 | -0,09 | | |

Tabela F.5 – Valores dos C_{Fi} de V1

| | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_{Fx} | -0,86 | -1,00 | -1,16 | -0,96 | -0,40 | 0,23 | -0,01 | -0,26 |
| C_{Fy} | 0,03 | -0,31 | -0,81 | -1,08 | -1,21 | -1,25 | -1,29 | -1,23 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,06 | 0,62 | 0,76 | 0,50 | 0,34 | 0,49 | 0,71 | 0,59 | 0,03 |
| -1,10 | -1,03 | -0,77 | -0,11 | -0,01 | 0,09 | 0,77 | 1,05 | 1,12 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,25 | -0,01 | 0,23 | -0,42 | -0,99 | -1,16 | -1,05 | | |
| 1,26 | 1,36 | 1,26 | 1,25 | 1,15 | 0,86 | 0,33 | | |

Tabela F.6 – Valores dos C_{Mi} de V1

| | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_{Mx} | 0,34 | 0,37 | 0,40 | 0,32 | 0,14 | -0,09 | 0,00 | 0,09 |
| C_{My} | 0,01 | -0,17 | -0,58 | -0,81 | -0,93 | -0,98 | -1,03 | -0,98 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,06 | -0,27 | -0,33 | -0,27 | -0,23 | -0,27 | -0,32 | -0,26 | -0,05 |
| -0,86 | -0,77 | -0,52 | -0,07 | 0,00 | 0,05 | 0,53 | 0,79 | 0,89 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,09 | 0,00 | -0,09 | 0,15 | 0,33 | 0,40 | 0,38 | | |
| 1,02 | 1,09 | 1,00 | 0,96 | 0,86 | 0,62 | 0,20 | | |

Tabela F.7 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V1

| | | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| V1E1 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV (C) | 4,99 | 0,71 | 5,82 | 1,08 | 1,05 | 0,87 | 14,73 | 0,94 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 1,18 | 1,51 | -239,29 | 0,61 | -0,50 | 0,61 | -2,11 | 1,49 | 1,15 |

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° |
| 0,94 | -22,37 | 0,94 | 1,05 | 1,08 | -2,72 | 0,69 |

Tabela F.8 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V1

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV (C_{Fx}) | 0,86 | 0,95 | 1,13 | 1,12 | 1,00 | 0,97 | -4,85 | 1,11 |
| FV (C_{Fy}) | 4,12 | 2,55 | 1,39 | 1,20 | 1,17 | 1,08 | 1,00 | 1,05 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,14 | 0,72 | 0,74 | 0,48 | 0,33 | 0,46 | 0,68 | 0,69 | 0,08 |
| 1,05 | 1,16 | 1,33 | 0,85 | 2,29 | 0,61 | 1,21 | 1,15 | 1,06 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 1,05 | -1,01 | 0,92 | 1,07 | 1,16 | 1,12 | 0,99 | | |
| 1,07 | 1,05 | 1,08 | 1,19 | 1,26 | 1,41 | 2,36 | | |

Tabela F.9 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V1

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV (C_{Mx}) | 0,92 | 0,96 | 1,07 | 1,05 | 0,92 | 1,04 | -8,07 | 1,06 |
| FV (C_{My}) | 3,03 | 2,19 | 1,29 | 1,13 | 1,11 | 1,06 | 1,00 | 1,04 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,41 | 0,89 | 0,89 | 0,71 | 0,61 | 0,70 | 0,84 | 0,86 | 0,40 |
| 1,03 | 1,09 | 1,15 | 0,82 | 1,41 | 0,54 | 1,07 | 1,08 | 1,05 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 1,00 | -1,22 | 0,96 | 1,01 | 1,09 | 1,07 | 0,98 | | |
| 1,07 | 1,05 | 1,06 | 1,13 | 1,19 | 1,30 | 2,15 | | |

F.2 – VIZINHANÇA V2

Tabela F.10 – Valores dos C_t de V2

| | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_t | 0,00 | -0,01 | -0,05 | -0,07 | -0,15 | -0,12 | 0,00 | 0,06 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,12 | 0,11 | 0,06 | -0,07 | 0,00 | 0,08 | -0,06 | -0,10 | -0,11 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,05 | 0,01 | 0,12 | 0,14 | 0,06 | 0,06 | 0,02 | | |

Tabela F.11 – Valores dos C_{Fi} de V2

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_{Fx} | -0,56 | -0,46 | -0,48 | -0,61 | -0,43 | 0,17 | 0,02 | -0,21 |
| C_{Fy} | 0,01 | -0,22 | -0,60 | -1,02 | -1,52 | -1,47 | -1,50 | -1,54 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,03 | 0,46 | 0,81 | 0,53 | 0,31 | 0,51 | 0,78 | 0,48 | -0,04 |
| -1,40 | -1,23 | -0,96 | -0,28 | -0,01 | 0,24 | 0,98 | 1,25 | 1,43 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,19 | 0,01 | 0,17 | -0,43 | -0,59 | -0,48 | -0,47 | | |
| 1,62 | 1,55 | 1,52 | 1,55 | 1,07 | 0,66 | 0,25 | | |

Tabela F.12 – Valores dos C_{Mi} de V2

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_{Mx} | 0,20 | 0,14 | 0,13 | 0,19 | 0,12 | -0,06 | -0,0072 | 0,08 |
| C_{My} | 0,00 | -0,16 | -0,45 | -0,72 | -1,15 | -1,15 | -1,18 | -1,22 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,03 | -0,24 | -0,36 | -0,27 | -0,22 | -0,27 | -0,36 | -0,25 | -0,03 |
| -1,11 | -0,95 | -0,70 | -0,15 | -0,01 | 0,13 | 0,72 | 0,97 | 1,14 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,07 | 0,00 | -0,06 | 0,12 | 0,19 | 0,14 | 0,15 | | |
| 1,29 | 1,22 | 1,20 | 1,19 | 0,76 | 0,50 | 0,19 | | |

Tabela F.13 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V2

| V2 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FV (C_t) | 2,60 | -0,09 | 10,38 | 0,95 | 1,37 | 1,41 | -6,97 | 0,71 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 1,16 | 1,69 | -744,86 | 0,61 | -0,12 | 0,63 | -9,78 | 1,72 | 1,10 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,70 | 41,40 | 1,55 | 1,37 | 1,05 | -7,63 | -0,12 | | |

Tabela F.14 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V2

| V2 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FV pelo C_{Fx} | 0,56 | 0,44 | 0,46 | 0,71 | 1,06 | 0,71 | 13,82 | 0,87 |
| FV pelo C_{Fy} | 1,00 | 1,83 | 1,04 | 1,13 | 1,47 | 1,28 | 1,17 | 1,32 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,07 | 0,54 | 0,78 | 0,51 | 0,30 | 0,48 | 0,74 | 0,56 | -0,12 |
| 1,35 | 1,38 | 1,66 | 2,17 | 3,34 | 1,62 | 1,53 | 1,36 | 1,35 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,79 | 1,49 | 0,67 | 1,09 | 0,70 | 0,47 | 0,45 | | |
| 1,37 | 1,19 | 1,29 | 1,47 | 1,18 | 1,09 | 1,77 | | |

Tabela F.15 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V2

| V2 | | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|------------------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| | | FV pelo C_{Mx} | 0,54 | 0,37 | 0,36 | 0,63 | 0,80 | 0,68 | 40,18 |
| FV pelo C_{My} | 0,33 | 2,14 | 1,00 | 1,01 | 1,39 | 1,24 | 1,15 | 1,30 | |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° | |
| 0,23 | 0,78 | 0,97 | 0,72 | 0,58 | 0,70 | 0,95 | 0,80 | 0,19 | |
| 1,33 | 1,34 | 1,54 | 1,86 | 2,07 | 1,34 | 1,45 | 1,33 | 1,33 | |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | | |
| 0,78 | 1,70 | 0,63 | 0,84 | 0,63 | 0,36 | 0,38 | | | |
| 1,35 | 1,17 | 1,26 | 1,40 | 1,05 | 1,06 | 2,03 | | | |

F.3 – VIZINHANÇA V3

Tabela F.16 – Valores dos C_t de V3

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_t | 0,02 | 0,02 | -0,05 | -0,11 | -0,13 | -0,07 | -0,01 | 0,05 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,12 | 0,10 | 0,03 | -0,04 | 0,03 | 0,06 | -0,04 | -0,08 | -0,11 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,10 | -0,01 | 0,07 | 0,07 | 0,04 | -0,01 | -0,05 | | |

Tabela F.17 – Valores dos C_{Fi} de V3

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_{Fx} | -0,40 | -0,65 | -0,91 | -0,49 | 0,01 | 0,31 | 0,06 | -0,16 |
| C_{Fy} | -0,01 | -0,47 | -0,94 | -1,28 | -1,32 | -1,31 | -1,35 | -1,36 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,17 | 0,69 | 0,73 | 0,56 | 0,83 | 1,01 | 1,13 | 1,03 | 0,54 |
| -1,34 | -1,23 | -0,81 | -0,14 | -0,01 | 0,42 | 0,96 | 1,29 | 1,42 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,08 | -0,03 | 0,17 | -0,38 | -0,87 | -0,95 | -0,64 | | |
| 1,45 | 1,48 | 1,39 | 1,20 | 0,94 | 0,56 | 0,28 | | |

Tabela F.18 – Valores dos C_{Mi} de V3

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_{Mx} | 0,23 | 0,30 | 0,38 | 0,25 | 0,04 | -0,11 | -0,02 | 0,07 |
| C_{My} | -0,02 | -0,31 | -0,69 | -0,97 | -1,03 | -1,03 | -1,05 | -1,05 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,06 | -0,28 | -0,32 | -0,27 | -0,34 | -0,39 | -0,42 | -0,38 | -0,20 |
| -1,02 | -0,92 | -0,63 | -0,14 | -0,03 | 0,25 | 0,71 | 0,99 | 1,10 |

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° |
| 0,06 | 0,01 | -0,09 | 0,13 | 0,32 | 0,36 | 0,30 |
| 1,14 | 1,15 | 1,08 | 0,98 | 0,79 | 0,44 | 0,20 |

Tabela F.19 – Valores dos FV calculados a partir do Ct de V3

| | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| V3 | | | | | | | | |
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV (C_t) | -10,65 | 0,15 | 8,95 | 1,47 | 1,19 | 0,84 | -23,10 | 0,60 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 1,11 | 1,52 | -367,30 | 0,31 | 18,36 | 0,45 | -7,13 | 1,32 | 1,11 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 1,32 | -47,57 | 0,89 | 0,70 | 0,61 | 1,70 | 0,41 | | |

Tabela F.20 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V3

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| V3 | | | | | | | | |
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV pelo C_{Fx} | 0,40 | 0,62 | 0,88 | 0,57 | -0,03 | 1,30 | 43,75 | 0,68 |
| FV pelo C_{Fy} | -1,56 | 3,85 | 1,63 | 1,42 | 1,27 | 1,14 | 1,05 | 1,16 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,43 | 0,80 | 0,70 | 0,53 | 0,81 | 0,96 | 1,07 | 1,21 | 1,48 |
| 1,28 | 1,38 | 1,40 | 1,10 | 3,00 | 2,84 | 1,50 | 1,41 | 1,34 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,33 | -3,68 | 0,69 | 0,97 | 1,03 | 0,91 | 0,61 | | |
| 1,22 | 1,13 | 1,18 | 1,14 | 1,04 | 0,92 | 2,01 | | |

Tabela F.21 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V3

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| V3 | | | | | | | | |
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV pelo C_{Mx} | 0,62 | 0,79 | 1,02 | 0,81 | 0,30 | 1,24 | 100,46 | 0,80 |
| FV pelo C_{My} | -4,69 | 4,13 | 1,52 | 1,35 | 1,24 | 1,11 | 1,01 | 1,12 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,43 | 0,90 | 0,85 | 0,70 | 0,90 | 1,02 | 1,11 | 1,25 | 1,50 |
| 1,22 | 1,31 | 1,40 | 1,78 | 10,80 | 2,57 | 1,42 | 1,35 | 1,30 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,66 | -7,67 | 0,94 | 0,88 | 1,04 | 0,97 | 0,78 | | |
| 1,19 | 1,11 | 1,14 | 1,16 | 1,09 | 0,93 | 2,14 | | |

F.4 – VIZINHANÇA V4

Tabela F.22 – Valores dos Ct de V4

| | | | | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_t | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,11 | 0,07 | 0,04 | -0,04 | -0,09 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,11 | -0,12 | -0,05 | -0,03 | 0,03 | 0,10 | 0,09 | 0,06 | 0,09 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,06 | -0,02 | -0,06 | -0,08 | -0,05 | -0,07 | -0,10 | | |

Tabela F.23 – Valores dos C_{Fi} de V4

| | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_{Fx} | -0,82 | -1,06 | -0,94 | 0,03 | 0,21 | 0,23 | 0,14 | -0,07 |
| C_{Fy} | -0,10 | -0,48 | -0,83 | -1,16 | -1,26 | -1,21 | -1,22 | -1,13 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,32 | -0,13 | 0,85 | 0,83 | 0,96 | 1,09 | 1,25 | 0,99 | 0,27 |
| -1,02 | -0,80 | -0,60 | -0,36 | 0,05 | 0,34 | 0,45 | 0,61 | 0,87 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,12 | 0,02 | -0,23 | -0,46 | -0,63 | -1,10 | -0,94 | | |
| 1,02 | 1,17 | 1,09 | 0,98 | 0,81 | 0,50 | 0,18 | | |

Tabela F.24– Valores dos C_{Mi} de V4

| | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_{Mx} | 0,36 | 0,43 | 0,43 | 0,03 | -0,05 | -0,08 | -0,03 | 0,04 |
| C_{My} | -0,04 | -0,32 | -0,61 | -0,91 | -1,02 | -0,97 | -0,98 | -0,90 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,08 | 0,02 | -0,39 | -0,36 | -0,40 | -0,44 | -0,48 | -0,28 | -0,06 |
| -0,79 | -0,61 | -0,42 | -0,27 | -0,01 | 0,21 | 0,32 | 0,50 | 0,67 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,10 | 0,18 | 0,43 | 0,38 | | |
| 0,84 | 0,96 | 0,85 | 0,73 | 0,59 | 0,33 | 0,11 | | |

Tabela F.25 – Valores dos FV calculados a partir do Ct de V4

| | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| V4 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV (C_t) | -3,83 | 0,42 | -10,20 | -1,59 | -0,67 | -0,51 | -90,44 | -1,11 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -1,08 | -1,78 | 630,04 | 0,26 | 15,86 | 0,77 | 14,35 | -0,98 | -0,84 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,73 | -118,38 | -0,69 | -0,78 | -0,85 | 9,01 | 0,81 | | |

Tabela F.26 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V4

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| V4 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV pelo C_{Fx} | 0,82 | 1,01 | 0,92 | -0,04 | -0,51 | 0,94 | 97,78 | 0,28 |
| FV pelo C_{Fy} | -14,92 | 3,97 | 1,44 | 1,28 | 1,22 | 1,05 | 0,95 | 0,97 |

| | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,78 | -0,15 | 0,82 | 0,80 | 0,93 | 1,04 | 1,19 | 1,16 | 0,75 |
| 0,98 | 0,90 | 1,03 | 2,87 | -16,09 | 2,32 | 0,71 | 0,67 | 0,82 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,50 | 2,67 | -0,91 | 1,17 | 0,75 | 1,07 | 0,89 | | |
| 0,86 | 0,90 | 0,93 | 0,93 | 0,90 | 0,82 | 1,31 | | |

Tabela F.27 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V4

| V4 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | FV pelo C_{Mx} | 0,97 | 1,13 | 1,16 | 0,09 | -0,32 | 0,86 | 189,15 |
| FV pelo C_{My} | -10,27 | 4,27 | 1,34 | 1,27 | 1,23 | 1,04 | 0,95 | 0,95 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,55 | -0,06 | 1,05 | 0,95 | 1,06 | 1,14 | 1,26 | 0,90 | 0,42 |
| 0,95 | 0,86 | 0,94 | 3,36 | 2,25 | 2,17 | 0,65 | 0,69 | 0,79 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,11 | -5,17 | -0,53 | 0,68 | 0,60 | 1,14 | 1,00 | | |
| 0,88 | 0,92 | 0,89 | 0,86 | 0,82 | 0,70 | 1,16 | | |

F.5 – VIZINHANÇA V5

Tabela F.28 – Valores dos C_t de V5

| | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_t | -0,06 | 0,06 | -0,04 | -0,08 | -0,11 | -0,12 | -0,06 | 0,00 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,06 | -0,01 | -0,11 | -0,09 | 0,10 | 0,12 | -0,01 | -0,12 | -0,14 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,11 | -0,09 | -0,18 | -0,07 | 0,02 | -0,03 | -0,14 | | |

Tabela F.29 – Valores dos C_{Fi} de V5

| | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| C_{Fx} | -0,55 | -0,78 | -1,16 | -1,20 | -1,01 | -0,51 | 0,18 | 0,03 |
| C_{Fy} | -0,20 | -0,40 | -0,94 | -1,34 | -1,56 | -1,55 | -1,46 | -1,28 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,09 | 0,20 | 1,02 | 1,04 | 1,11 | 1,19 | 0,81 | 0,22 | 0,01 |
| -0,95 | 0,01 | -0,06 | 0,05 | 0,09 | 0,17 | 1,08 | 1,59 | 1,66 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,29 | 0,11 | 0,12 | -0,02 | -0,30 | -0,90 | -0,94 | | |
| 1,62 | 1,46 | 0,88 | -0,07 | -0,27 | -0,06 | -0,22 | | |

Tabela F.30– Valores dos C_{Mi} de V5

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_{Mx} | 0,19 | 0,27 | 0,40 | 0,41 | 0,33 | 0,15 | -0,08 | -0,01 |
| C_{My} | -0,15 | -0,29 | -0,71 | -1,02 | -1,20 | -1,21 | -1,16 | -1,03 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,03 | -0,05 | -0,37 | -0,38 | -0,40 | -0,43 | -0,23 | -0,07 | -0,01 |
| -0,73 | -0,01 | -0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,13 | 0,81 | 1,26 | 1,30 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,11 | -0,03 | -0,03 | 0,02 | 0,08 | 0,31 | 0,34 | | |
| 1,27 | 1,14 | 0,65 | -0,08 | -0,17 | -0,02 | -0,19 | | |

Tabela F.31 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V5

| V5 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FV (C_t) | 41,50 | 0,47 | 7,33 | 1,09 | 1,00 | 1,37 | -144,45 | -0,03 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,57 | -0,13 | 1313,08 | 0,73 | 51,71 | 0,94 | -1,45 | 2,00 | 1,31 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 1,39 | -483,80 | -2,23 | -0,72 | 0,28 | 4,57 | 1,09 | | |

Tabela F.32 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V5

| V5 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FV pelo C_{Fx} | 0,55 | 0,75 | 1,12 | 1,40 | 2,50 | -2,10 | 122,90 | -0,15 |
| FV pelo C_{Fy} | -29,88 | 3,26 | 1,63 | 1,49 | 1,50 | 1,35 | 1,14 | 1,10 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,22 | 0,24 | 0,99 | 0,99 | 1,08 | 1,13 | 0,77 | 0,26 | 0,03 |
| 0,92 | -0,01 | 0,10 | -0,41 | -29,44 | 1,18 | 1,69 | 1,73 | 1,57 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 1,21 | 15,47 | 0,47 | 0,06 | 0,35 | 0,87 | 0,89 | | |
| 1,37 | 1,12 | 0,75 | -0,06 | -0,29 | -0,10 | -1,53 | | |

Tabela F.33 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V5

| V5 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FV pelo C_{Mx} | 0,50 | 0,71 | 1,07 | 1,32 | 2,25 | -1,61 | 465,45 | -0,06 |
| FV pelo C_{My} | -38,41 | 3,88 | 1,57 | 1,42 | 1,44 | 1,30 | 1,13 | 1,09 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,22 | 0,15 | 0,99 | 0,99 | 1,06 | 1,13 | 0,60 | 0,24 | 0,05 |
| 0,88 | 0,02 | 0,11 | -0,48 | -5,88 | 1,31 | 1,62 | 1,72 | 1,53 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 1,23 | 16,38 | 0,29 | 0,16 | 0,26 | 0,82 | 0,88 | | |
| 1,33 | 1,10 | 0,69 | -0,09 | -0,24 | -0,04 | -2,04 | | |

F.6 – VIZINHANÇA V6

Tabela F.34– Valores dos C_t de V6

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| C_t | -0,08733 | -0,03086 | -0,07130 | -0,10439 | -0,14215 | -0,11692 | -0,05462 | -0,02373 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,06497 | -0,02249 | -0,01246 | -0,03602 | 0,06519 | 0,04179 | -0,04165 | -0,15747 | -0,16869 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,12623 | -0,07991 | -0,14633 | -0,11888 | -0,07491 | -0,07440 | -0,14938 | | |

Tabela F.35 – Valores dos C_{Fi} de V6

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C_{Fx} | -0,45 | -0,55 | -0,87 | -0,90 | -0,65 | -0,12 | 0,35 | 0,31 |
| C_{Fy} | -0,12 | -0,61 | -1,23 | -1,55 | -1,71 | -1,62 | -1,58 | -1,50 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,14 | 0,02 | 0,50 | 0,66 | 0,95 | 1,18 | 0,71 | 0,35 | -0,01 |
| -1,21 | 0,00 | 0,07 | -0,03 | 0,14 | 0,62 | 1,26 | 1,69 | 1,66 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,40 | 0,09 | -0,29 | -0,60 | -0,52 | -0,82 | -0,70 | | |
| 1,63 | 1,54 | 0,93 | 0,25 | 0,03 | -0,02 | -0,09 | | |

Tabela F.36– Valores dos C_{Mi} de V6

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C_{Mx} | 0,19 | 0,22 | 0,36 | 0,35 | 0,26 | 0,04 | -0,14 | -0,10 |
| C_{My} | -0,08 | -0,42 | -0,89 | -1,18 | -1,31 | -1,25 | -1,25 | -1,18 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,04 | -0,03 | -0,25 | -0,30 | -0,38 | -0,47 | -0,26 | -0,14 | -0,01 |
| -0,92 | -0,02 | 0,02 | -0,05 | 0,03 | 0,43 | 1,00 | 1,34 | 1,31 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,14 | -0,03 | 0,05 | 0,14 | 0,13 | 0,30 | 0,29 | | |
| 1,27 | 1,18 | 0,68 | 0,10 | -0,03 | -0,06 | -0,12 | | |

Tabela F.37 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V6

| V6 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|-------|------------|--------|-------|-------|------|-------|------|---------|
| | $FV (C_t)$ | 59,69 | -0,26 | 13,48 | 1,45 | 1,32 | 1,36 | -135,90 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,62 | -0,34 | 144,74 | 0,30 | 34,61 | 0,33 | -6,94 | 2,58 | 1,64 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 1,64 | -454,36 | -1,82 | -1,18 | -1,21 | 9,97 | 1,19 | | |

Tabela F.38 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V6

| V6 | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV pelo C_{Fx} | 0,45 | 0,52 | 0,84 | 1,05 | 1,62 | -0,49 | 240,49 | -1,30 |
| FV pelo C_{Fy} | -17,74 | 5,05 | 2,13 | 1,72 | 1,65 | 1,41 | 1,22 | 1,28 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,34 | 0,02 | 0,48 | 0,63 | 0,93 | 1,12 | 0,68 | 0,42 | -0,02 |
| 1,16 | 0,01 | -0,12 | 0,22 | -45,85 | 4,25 | 1,99 | 1,84 | 1,57 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 1,69 | 13,38 | -1,16 | 1,54 | 0,61 | 0,79 | 0,66 | | |
| 1,38 | 1,18 | 0,80 | 0,24 | 0,04 | -0,04 | -0,64 | | |

Tabela F.39 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V6

| V6 | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV pelo C_{Mx} | 0,51 | 0,59 | 0,95 | 1,15 | 1,73 | -0,45 | 765,98 | -1,16 |
| FV pelo C_{My} | -19,86 | 5,62 | 1,95 | 1,64 | 1,57 | 1,35 | 1,21 | 1,25 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,28 | 0,10 | 0,68 | 0,78 | 1,01 | 1,22 | 0,69 | 0,45 | 0,10 |
| 1,10 | 0,03 | -0,04 | 0,62 | -11,57 | 4,47 | 2,00 | 1,84 | 1,54 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 1,55 | 16,43 | -0,53 | 0,99 | 0,41 | 0,80 | 0,76 | | |
| 1,33 | 1,14 | 0,72 | 0,12 | -0,04 | -0,12 | -1,36 | | |

F.7 – VIZINHANÇA V7

Tabela F.40 – Valores dos C_t de V7

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_t | -0,01 | 0,11 | -0,0026 | -0,06 | -0,09 | -0,08 | 0,03 | 0,10 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,10 | 0,07 | -0,01 | -0,11 | 0,01 | 0,13 | 0,01 | -0,05 | -0,07 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,03 | 0,00 | 0,10 | 0,14 | 0,10 | 0,03 | -0,13 | | |

Tabela F.41 – Valores dos C_{Fi} de V7

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C_{Fx} | -1,03 | -1,10 | -1,14 | -1,00 | -0,66 | 0,03 | 0,08 | 0,33 |
| C_{Fy} | 0,02 | -0,18 | -0,72 | -1,03 | -1,01 | -1,12 | -1,27 | -1,31 |

| | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,88 | 1,12 | 1,15 | 1,06 | 1,03 | 1,07 | 1,01 | 0,59 | 0,02 |
| -1,30 | -1,10 | -0,68 | -0,14 | 0,02 | 0,04 | 0,59 | 0,61 | 0,49 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,23 | -0,05 | -0,10 | -0,36 | -0,72 | -0,96 | -1,09 | | |
| 0,59 | 0,79 | 0,95 | 0,97 | 0,83 | 0,61 | 0,12 | | |

Tabela F.42– Valores dos C_{Mi} de V7

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_{Mx} | 0,38 | 0,39 | 0,40 | 0,34 | 0,20 | -0,05 | -0,03 | -0,06 |
| C_{My} | 0,00 | -0,09 | -0,51 | -0,78 | -0,83 | -0,94 | -1,04 | -1,02 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,28 | -0,37 | -0,39 | -0,38 | -0,38 | -0,39 | -0,37 | -0,23 | -0,01 |
| -0,98 | -0,81 | -0,49 | -0,07 | 0,00 | 0,04 | 0,48 | 0,61 | 0,60 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,10 | 0,02 | -0,04 | 0,11 | 0,26 | 0,36 | 0,40 | | |
| 0,68 | 0,83 | 0,90 | 0,84 | 0,70 | 0,47 | 0,07 | | |

Tabela F.43 – Valores dos FV calculados a partir do C_t de V7

| V7 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FV (C_t) | 9,36 | 0,94 | 0,50 | 0,81 | 0,84 | 0,93 | 69,50 | 1,26 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,95 | 1,04 | 71,55 | 0,90 | 4,75 | 1,06 | 1,55 | 0,74 | 0,65 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,41 | -19,50 | 1,21 | 1,42 | 1,59 | -3,81 | 1,01 | | |

Tabela F.44 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V7

| V7 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FV pelo C_{Fx} | 1,03 | 1,05 | 1,11 | 1,17 | 1,63 | 0,11 | 56,58 | -1,38 |
| FV pelo C_{Fy} | 3,43 | 1,46 | 1,24 | 1,15 | 0,97 | 0,98 | 0,98 | 1,12 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 2,17 | 1,31 | 1,11 | 1,02 | 1,00 | 1,02 | 0,96 | 0,69 | 0,05 |
| 1,25 | 1,23 | 1,17 | 1,07 | -6,39 | 0,29 | 0,93 | 0,67 | 0,47 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,95 | -7,37 | -0,42 | 0,92 | 0,85 | 0,92 | 1,04 | | |
| 0,50 | 0,60 | 0,81 | 0,92 | 0,91 | 1,01 | 0,86 | | |

Tabela F.45 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V7

| V7 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FV pelo C_{Mx} | 1,02 | 1,03 | 1,07 | 1,12 | 1,37 | 0,55 | 144,71 | -0,69 |
| FV pelo C_{My} | 1,18 | 1,14 | 1,13 | 1,09 | 0,99 | 1,01 | 1,00 | 1,08 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 1,87 | 1,22 | 1,05 | 0,99 | 1,00 | 1,01 | 0,97 | 0,76 | 0,10 |
| 1,18 | 1,15 | 1,09 | 0,86 | -1,33 | 0,41 | 0,97 | 0,83 | 0,71 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 1,15 | -11,09 | 0,45 | 0,74 | 0,87 | 0,96 | 1,04 | | |
| 0,71 | 0,80 | 0,95 | 1,00 | 0,96 | 1,00 | 0,75 | | |

F.8 – VIZINHANÇA V8

Tabela F.46 – Valores dos C_t de V8

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_t | -0,02 | -0,03 | 0,00 | -0,08 | -0,13 | -0,09 | -0,05 | 0,00 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,02 | 0,05 | 0,04 | -0,04 | 0,00 | 0,08 | -0,01 | -0,05 | -0,06 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,06 | -0,04 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,02 | -0,04 | | |

Tabela F.47 – Valores dos C_{Fi} de V8

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_{Fx} | 0,11 | 0,46 | 0,32 | 0,15 | 0,12 | 0,08 | 0,02 | 0,33 |
| C_{Fy} | 0,18 | 0,13 | -0,10 | -0,91 | -1,12 | -1,27 | -1,31 | -1,39 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,89 | 1,09 | 1,08 | 0,96 | 0,80 | 0,74 | 0,80 | 0,57 | 0,05 |
| -1,54 | -1,46 | -1,11 | -0,51 | -0,05 | -0,13 | 0,40 | 0,42 | 0,48 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| -0,17 | -0,04 | -0,11 | -0,43 | -0,67 | -0,82 | -0,78 | | |
| 0,68 | 0,91 | 1,17 | 1,05 | 0,89 | 0,64 | 0,34 | | |

Tabela F.48 – Valores dos C_{Mi} de V8

| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C_{Mx} | -0,04 | -0,16 | -0,09 | -0,05 | -0,04 | -0,04 | 0,00 | -0,07 |
| C_{My} | 0,14 | 0,06 | -0,09 | -0,68 | -0,83 | -0,97 | -1,02 | -1,07 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| -0,27 | -0,34 | -0,35 | -0,33 | -0,29 | -0,26 | -0,31 | -0,26 | -0,03 |
| -1,19 | -1,14 | -0,86 | -0,34 | -0,03 | -0,11 | 0,29 | 0,42 | 0,56 |

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° |
| 0,07 | -0,03 | -0,03 | 0,11 | 0,21 | 0,28 | 0,26 |
| 0,73 | 0,90 | 0,99 | 0,92 | 0,80 | 0,58 | 0,30 |

Tabela F.49 – Valores dos FV calculados a partir do Ct de V8

| | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| V8 | | | | | | | | |
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV (C_t) | 12,70 | -0,27 | -0,42 | 1,09 | 1,23 | 1,08 | -114,62 | -0,02 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 0,21 | 0,71 | -459,05 | 0,30 | 0,15 | 0,65 | -1,63 | 0,75 | 0,59 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,72 | -243,27 | 0,89 | 0,65 | 1,05 | -2,69 | 0,28 | | |

Tabela F.50 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Fi} de V8

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| V8 | | | | | | | | |
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV pelo C_{Fx} | -0,11 | -0,43 | -0,31 | -0,17 | -0,30 | 0,34 | 11,59 | -1,41 |
| FV pelo C_{Fy} | 26,83 | -1,07 | 0,18 | 1,01 | 1,08 | 1,10 | 1,01 | 1,19 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 2,19 | 1,28 | 1,05 | 0,91 | 0,78 | 0,70 | 0,76 | 0,66 | 0,13 |
| 1,48 | 1,64 | 1,92 | 3,98 | 14,51 | -0,92 | 0,62 | 0,45 | 0,45 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,70 | -5,58 | -0,43 | 1,11 | 0,79 | 0,79 | 0,74 | | |
| 0,57 | 0,70 | 1,00 | 1,00 | 0,98 | 1,05 | 2,39 | | |

Tabela F.51 – Valores dos FV calculados a partir do C_{Mi} de V8

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| V8 | | | | | | | | |
| | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° |
| FV pelo C_{Mx} | -0,11 | -0,42 | -0,23 | -0,15 | -0,24 | 0,43 | -23,62 | -0,79 |
| FV pelo C_{My} | 35,21 | -0,81 | 0,21 | 0,95 | 1,00 | 1,04 | 0,99 | 1,13 |
| 120° | 135° | 150° | 165° | 180° | 195° | 210° | 225° | 240° |
| 1,81 | 1,12 | 0,94 | 0,86 | 0,78 | 0,67 | 0,83 | 0,85 | 0,22 |
| 1,42 | 1,61 | 1,90 | 4,22 | 10,94 | -1,11 | 0,59 | 0,58 | 0,66 |
| 255° | 270° | 285° | 300° | 315° | 330° | 345° | | |
| 0,75 | 14,90 | 0,37 | 0,80 | 0,70 | 0,73 | 0,69 | | |
| 0,76 | 0,87 | 1,04 | 1,09 | 1,11 | 1,22 | 3,27 | | |

ANEXO A – ANEXO G DA NBR 6123/1988

A Figura AN.1 traz o Anexo G da norma brasileira de ventos, utilizado para a determinação dos FV contidos nessa tese.

ANEXO G - Efeitos de vizinhança

Há certas situações em que é necessário considerar a influência de edificações situadas nas vizinhanças daquela em estudo. Estas edificações podem causar aumento das forças do vento de três modos diferentes:

G.1 Por efeito Venturi

Edificações vizinhas podem, por suas dimensões, forma e orientação, causar um "afunilamento" do vento, acelerando o fluxo de ar, com conseqüente alteração nas pressões. Este efeito aparece principalmente em edificações muito próximas, caso em que já foram observados coeficientes de pressão negativos (sucções) excedendo, em módulo, o valor 2,0. Estas pontas de sucção verificaram-se nas paredes confrontantes das duas edificações, próximo à aresta de barlavento.

G.2 Por deflexão do vento na direção vertical

Edificações altas defletem para baixo parte do vento que incide em sua fachada de barlavento, aumentando a velocidade em zonas próximas ao solo. Edificações mais baixas, situadas nestas zonas, poderão ter as cargas do vento aumentadas por este efeito, com os coeficientes de forma atingindo valores entre - 1,5 e - 2,0.

G.3 Pela turbulência da esteira

Uma edificação situada a sotavento de outra pode ser afetada sensivelmente pela turbulência gerada na esteira da edificação de barlavento, podendo causar efeitos dinâmicos ("efeitos de golpe") consideráveis e alterações nas pressões. Estas são particularmente importantes em edificações com coberturas e painéis de vedação feitos de materiais leves.

G.4 Determinação dos efeitos de vizinhança

Não é possível indicar valores numéricos para efeitos de vizinhança de um modo genérico e normativo.

Estes efeitos podem ser determinados por ensaios em túnel de vento, em que se reproduzem as condições de vizinhança e as características do vento natural que possam influir nos resultados. O problema é agravado pela possibilidade de alterações desfavoráveis das condições de vizinhança durante a vida útil da edificação em estudo.

Uma indicação aproximada dos aumentos que podem sofrer os coeficientes aerodinâmicos por efeitos de vizinhança será dada a seguir.

Seja:

s = afastamento entre os planos das faces confrontantes de duas edificações altas vizinhas, sendo $a \times b$ as dimensões em planta das edificações ($a \times b$ entre 1×1 e 4×1)

d^* = a menor das duas dimensões:

- lado menor b ;
- semidiagonal $\frac{1}{2} \sqrt{a^2 + b^2}$

FV = fator de efeito de vizinhança, definido pela relação:

$$FV = \frac{C \text{ na edificação com vizinhança}}{C \text{ na edificação isolada}}$$

C = coeficiente aerodinâmico em estudo (C_s , c_{pe} médio, C_d)

Os valores representativos de FV são os seguintes:

- para coeficiente de arrasto, C_d (ver Figuras 4 e 5); para coeficiente de forma, C_s , e para valor médio do coeficiente de pressão, c_{pe} médio, em paredes confrontantes (faces paralelas ao vento na Tabela 4):
 - $s/d^* \leq 1,0$ FV = 1,3
 - $s/d^* \geq 3,0$ FV = 1,0
- para coeficiente de forma, C_s , e para valor médio do coeficiente de pressão, c_{pe} médio, na cobertura (ver Tabela 5):
 - $s/d^* \leq 0,5$ FV = 1,3
 - $s/d^* \geq 3,0$ FV = 1,0

Interpoliar linearmente para valores intermediários de s/d^* .

Os fatores de efeito de vizinhança são considerados até a altura do topo dos edifícios vizinhos.

Os ensaios em que se baseiam as recomendações anteriores foram feitos com dois ou alguns poucos modelos de alturas aproximadamente iguais. Para o caso de muitos edifícios vizinhos nestas condições, os fatores de vizinhança geralmente serão menores, podendo ficar abaixo de 1,0. Entretanto, pode haver incidências do vento que causem valores de FV próximos aos indicados anteriormente, principalmente quando há "vazios" nas vizinhanças do edifício em estudo.

Efeitos de vizinhança no coeficiente de torção, C_t , foram considerados em 0,8.

Figura AN.1 – Anexo G da norma brasileira de ventos (NBR 6123/1988, p.58).